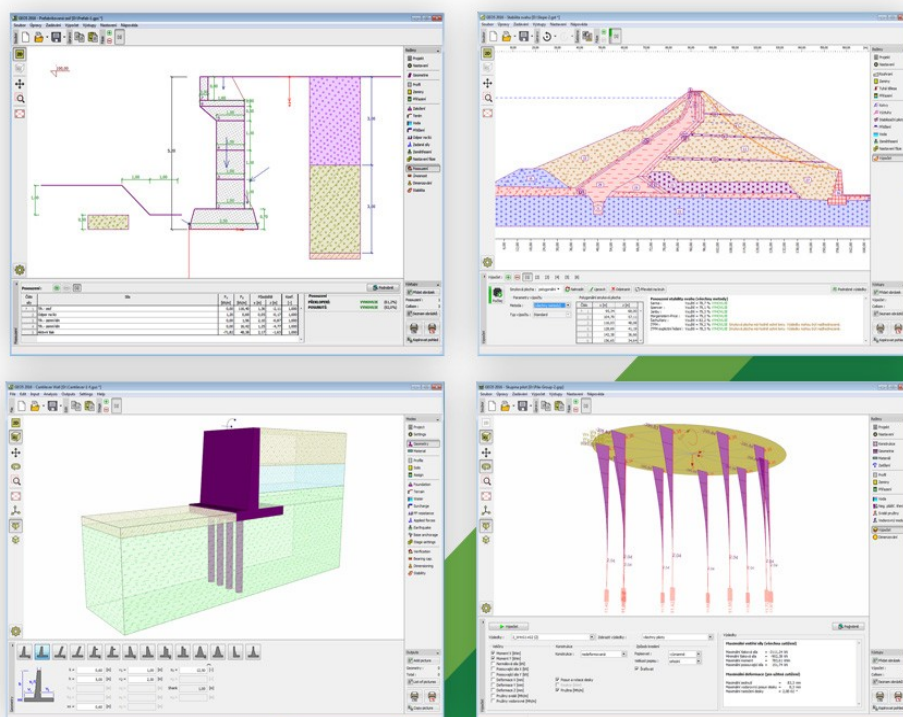




# Руководство пользователя

Издание 2018



## Содержание

Как пользоваться справкой.....	40
Работа с функцией Поиск.....	41
Пользовательская среда.....	42
Окно приложения.....	43
Управляющее меню.....	44
Панели инструментов и управления.....	45
Файлы.....	46
Правки.....	47
Шаблон.....	48
Этап проектирования.....	48
Управление рисунком.....	49
Режимы.....	51
Выводы .....	51
3D Изображение.....	52
Настройка рисования.....	53
Администратор стилей изображения.....	55
Рамки.....	56
Таблицы.....	58
Диалоговые окна.....	60
Активные отметки и объекты.....	61
Функции мыши компьютера.....	62
Контекстное меню.....	65
Единицы измерения - метрические / дюймовые.....	66
Копия в буфер обмена.....	66
Геобуфер.....	67
Копирование, вставка данных проекта.....	68
Копирование и вставка 2D границы контура.....	68
Копирование и вставка грунтов и твёрдых тел.....	70
Копирование и вставка 2D привязки.....	70
Опции.....	71
Опции - Задание.....	72
Опции - Копия в буфер обмена.....	73
Опции - Печать и изображения.....	74
Общие операции .....	75
Ввод и правка грунтов.....	76



---

Классификация грунтов.....	77
Символы грунтов и пород.....	79
Ручная классификация грунта.....	80
Границы контура в среде 2D.....	81
Добавление границы контура.....	82
Правка точек границы контура.....	84
Правка и удаление границы контура.....	86
Корректор заданной границы контура.....	88
Пространство модели.....	89
Ввод объектов и данных.....	92
Добавить.....	92
Добавить графически.....	93
Привязка грунтов.....	94
Коэффициенты расчёта.....	95
Задание нескольких расчётов / проверка.....	96
Связь программ.....	97
Выбор и сохранение видов.....	98
Настройка рисования : Расчёт.....	99
Настройка палитры.....	100
Определение палитры цветов.....	101
Импорт - экспорт DXF.....	102
Загрузка данных в шаблон.....	103
Загрузка данных в границы контура.....	104
Загрузка данных в Геобуфер.....	105
Ввод данных с помощью шаблона.....	105
Редактирование шаблона в процессе ввода.....	106
Экспорт DXF.....	108
DXF Импорт.....	108
Import табличных данных.....	109
(1) Входной файл.....	112
(2) Предварительный просмотр входного файла.....	113
(3) Параметры разделения входного файла на столбцы.....	114
(4) Входной файл разделённый на столбцы.....	115
(5) Привязка столбцов импортным данным.....	115
(6) Предварительный просмотр результата импорта.....	116
Импорт LandXML.....	116
Преемственность - этапы проектирования.....	118

---

---

Стандарты и методы расчёта программ.....	119
Администратор настройки.....	119
Экспорт/импорт настройки.....	120
Перечень настроек расчёта.....	121
Настройка расчёта.....	121
Материалы и стандарты.....	122
Расчёт стен.....	124
Расчёт давлений.....	125
Расчёты на устойчивость.....	126
Осадка.....	127
Отдельные фундаменты.....	127
Анкеры.....	129
Сваи.....	129
Сваи СРТ.....	130
Микросваи.....	131
Куст свай.....	132
Добавление новой настройки.....	132
Методика проверки.....	133
Расчёт по коэффициенту запаса.....	134
Расчёт по предельным состояниям.....	134
Расчёт по EN 1997.....	135
Частные коэффициенты.....	136
Проектные подходы.....	136
Проектный подход 1.....	137
Проектный подход 2 .....	138
Проектный подход 3.....	138
Национальное приложение (НП).....	139
Частный коэффициент нагрузки от воды.....	139
Расчёт стен (опорных конструкций).....	141
Расчёт ограждающих конструкций.....	141
Расчёт оснований (отдельные фундаменты, сваи).....	142
Расчёт устойчивости откоса.....	143
Комбинации нагрузок.....	144
Расчёт по LRFD ( КНиУ).....	146
LRFD - Проектные ситуации.....	146
LRFD - Расчёт стен (опорные конструкции).....	147
LRFD - Расчёт отдельного фундамента.....	148

---

---

LRFD - Расчёт устойчивости откоса.....	149
Analysis according to the chinese standards.....	150
Проектные ситуации.....	150
Отдельные программы.....	151
Программа Давление грунта.....	152
Проект.....	153
Настройка.....	153
Геометрия.....	154
Профиль.....	155
Грунты.....	156
Базовые данные.....	157
Привязка.....	158
Рельеф.....	159
Вода.....	160
Пригрузка.....	161
Землетрясение.....	162
Настройка этапа.....	163
Расчёт.....	164
Программа Угловая стена.....	165
Проект.....	165
Настройка.....	166
Геометрия.....	167
Материал.....	168
Профиль.....	169
Грунты.....	170
Базовые данные.....	171
Привязка.....	172
Заложение.....	173
Засыпка.....	174
Рельеф.....	175
Вода.....	176
Пригрузка.....	177
Соппротивление на лицевой стороне.....	178
Заданные силы.....	179
Землетрясение.....	180
Анкеровка фундамента.....	181
Настройка этапа.....	182

---

---

Проверка.....	183
Несущая способность.....	184
Подбор размеров.....	185
Устойчивость.....	187
Программа Гравитационная стена.....	188
Проект.....	189
Настройка.....	189
Геометрия.....	190
Общая форма стены.....	192
Материал.....	196
Профиль.....	197
Грунты.....	198
Базовые данные.....	199
Привязка.....	200
Заложение.....	201
Засыпка.....	202
Рельеф.....	203
Вода.....	204
Пригрузка.....	205
Сопротивление на лицевой стороне.....	206
Заданные силы.....	207
Землетрясение.....	208
Настройка этапа.....	209
Проверка.....	210
Несущая способность.....	211
Подбор размеров.....	212
Устойчивость.....	214
Программа Сборная стена.....	215
Проект.....	216
Настройка.....	216
Геометрия.....	217
Профиль.....	218
Грунты.....	219
Базовые данные.....	220
Привязка.....	221
Заложение.....	222
Засыпка.....	223

---

---

Рельеф.....	224
Вода.....	225
Пригрузка.....	226
Сопротивление на лицевой стороне.....	227
Заданные силы.....	228
Землетрясение.....	229
Настройка этапа.....	230
Проверка.....	231
Несущая способность.....	232
Подбор размеров.....	233
Смещение по арматуре.....	234
Устойчивость.....	235
Программа Армированная стена.....	236
Проект.....	237
Настройка.....	237
Геометрия.....	238
Типы блоков.....	239
Материал.....	240
Профиль.....	241
Грунты.....	242
Базовые данные.....	243
Привязка.....	244
Заложение.....	245
Засыпка.....	246
Рельеф.....	247
Вода.....	248
Пригрузка.....	249
Сопротивление на лицевой стороне.....	250
Заданные силы.....	251
Землетрясение.....	252
Анкеровка фундамента.....	253
Настройка этапа.....	254
Проверка.....	255
Несущая способность.....	256
Подбор размеров.....	257
Устойчивость.....	259
Программа Габион.....	260

---

---

Проект.....	261
Настройка.....	261
Материал.....	262
Геометрия.....	263
Профиль.....	264
Грунты.....	265
Базовые данные.....	266
Привязка.....	267
Заложение.....	268
Засыпка.....	269
Рельеф.....	270
Вода.....	271
Пригрузка.....	272
Соппротивление на лицевой стороне.....	273
Заданные силы.....	274
Землетрясение.....	275
Настройка этапа.....	276
Проверка.....	277
Несущая способность.....	278
Подбор размеров.....	279
Устойчивость.....	280
Программа Устой.....	281
Проект.....	282
Настройка.....	282
Геометрия разрез.....	283
Крылья.....	284
Геометрия план.....	285
Уступы фундаментов.....	286
Материал.....	287
Профиль.....	288
Грунты.....	289
Базовые данные.....	290
Привязка.....	291
Нагрузка.....	292
Заложение.....	293
Засыпка.....	294
Рельеф.....	295

---

---

Вода.....	296
Пригрузка.....	297
Сопротивление на лицевой стороне.....	298
Заданные силы.....	299
Землетрясение.....	300
Настройка этапа.....	301
Проверка.....	302
Несущая способность.....	303
Подбор размеров.....	304
Устойчивость.....	306
Программа Нагельное крепление.....	307
Проект.....	308
Настройка.....	308
Геометрия.....	309
Типы нагелей.....	310
Геометрия нагелей.....	311
Материал.....	312
Профиль.....	313
Грунты.....	314
Базовые данные.....	315
Привязка.....	316
Рельеф.....	317
Вода.....	318
Пригрузка.....	319
Землетрясение.....	320
Настройка этапа.....	321
Внутренняя устойчивость.....	322
Проверка.....	322
Несущая способность.....	324
Подбор размеров.....	325
Устойчивость.....	326
Программа Стена Redi-Rock .....	327
Проект.....	328
Настройка.....	329
Блоки.....	330
Геометрия.....	331
Фундамент.....	331

---

---

Профиль.....	332
Грунты.....	333
Базовые данные.....	334
Привязка.....	335
Типы армирующих элементов.....	336
Армирующие элементы.....	337
Рельеф.....	340
Вода.....	341
Пригрузка.....	342
Сопротивление на лицевой стороне.....	343
Заданные силы.....	344
Землетрясение.....	345
Настройка этапа.....	346
Расчёты - Гравитационная стена.....	347
Проверка.....	347
Подбор размеров.....	348
Несущая способность.....	349
Расчёты - Армированная стена.....	351
Проверка.....	352
Подбор размеров.....	353
Несущая способность.....	354
Сдвиг по геоармировке.....	355
Внутренняя устойчивость.....	356
Устойчивость.....	357
Программа Ограждения котлованов - проект.....	358
Проект.....	359
Настройка.....	359
Профиль.....	360
Грунты.....	361
Базовые данные.....	362
Привязка.....	363
Геометрия.....	364
Материал.....	365
Анкеры.....	366
Распорки.....	367
Опоры.....	368
Определение давления.....	369

---



---

Перераспределение давления .....	370
Рельеф.....	372
Вода.....	373
Пригрузка.....	374
Заданные силы.....	375
Землетрясение.....	376
Настройка этапа.....	377
Расчёт.....	378
Подбор размеров.....	379
Устойчивость.....	380
Программа Ограждения котлованов - анализ.....	382
Проект.....	383
Настройка.....	384
Профиль.....	384
Модуль Kh.....	385
Испытания прессиометр.....	387
Испытания DMT.....	388
Грунты.....	389
Базовые данные.....	389
Геометрия.....	391
Материал.....	391
Определение давления.....	392
Привязка.....	393
Разработка выемки.....	394
Рельеф.....	395
Вода.....	396
Пригрузка.....	397
Заданные силы.....	398
Анкеры.....	399
Распорки.....	400
Опоры.....	401
Землетрясение.....	402
Настройка этапа.....	403
Расчёт.....	404
Внутренняя устойчивость.....	407
Внешняя устойчивость.....	408
Гидравлический подъём.....	409

---

---

Подбор размеров.....	410
Несущая способность анкеров.....	411
Программа Стабилизирующая свая.....	412
Проект.....	413
Настройка.....	414
Профиль.....	415
Модуль Kh.....	416
Испытания прессиометр.....	418
Испытания DMT.....	419
Грунты.....	420
Базовые данные.....	420
Геометрия.....	422
Материал.....	422
Определение давления.....	423
Порода.....	424
Привязка.....	425
Лицевая сторона конструкции.....	426
Рельеф.....	427
Вода.....	428
Пригрузка.....	429
Заданные силы.....	430
Анкеры.....	431
Опоры.....	432
Землетрясение.....	433
Настройка этапа.....	434
Расчёт.....	435
Подбор размеров.....	438
Несущая способность анкеров.....	439
Программа Шахта.....	440
Проект.....	441
Настройка.....	441
Геометрия.....	442
Profile.....	443
Грунты.....	444
Базовые данные.....	445
Привязка.....	446
Вода.....	447

---

---

Пригрузка.....	448
Настройка этапа.....	450
Расчёт.....	450
Подбор размеров.....	451
Программа Устойчивость откоса.....	453
Проект.....	454
Настройка.....	454
Границы контура.....	455
Насыпь.....	456
Выемка.....	457
Грунты.....	458
Базовые данные.....	459
Твёрдые тела.....	460
Привязка.....	461
Анкеры.....	462
Нагели.....	463
Арматуры.....	464
Стабилизирующая свая.....	465
Пригрузка.....	466
Вода.....	467
Землетрясение.....	468
Настройка этапа.....	469
Расчёт.....	470
Задание поверхности скольжения.....	472
Ограничение оптимизации поверхности скольжения.....	473
Множитель высоты.....	474
Программа Скальный откос.....	475
Проект.....	476
Настройка.....	477
Рельеф-плоская и полигональная поверхность скольжения.....	478
Порода.....	479
Поверхность скольжения - плоская.....	480
Поверхность скольжения - полигональная.....	481
Параметры - полигональная поверхность скольжения.....	482
Вода - плоская поверхность скольжения.....	484
Вода - полигональная поверхность скольжения.....	484
Пригрузка - плоская и полигональная поверхности скольжения.....	485

---

---

Анкеры - плоская и полигональная поверхности скольжения.....	486
Землетрясение.....	487
Настройка этапа.....	488
Расчёт - плоская поверхность скольжения.....	489
Расчёт - полигональная поверхность скольжения.....	489
Геометрия-клин породы.....	490
Поверхность скольжения - клин породы.....	492
Параметры - клин породы.....	494
Вода - клин породы.....	496
Пригрузка - клин породы.....	498
Анкеры - клин породы.....	500
Расчёт - клин породы.....	502
Программа Армированные насыпи.....	504
Проект.....	505
Настройка.....	505
Геометрия.....	506
Материал.....	507
Типы армировок.....	508
Добавление и правка типа армировки.....	509
Пользовательский каталог.....	511
Армировка.....	512
Армировка.....	514
Профиль.....	515
Грунты.....	516
Базовые данные.....	517
Привязка.....	518
Рельеф.....	519
Вода.....	520
Вода.....	521
Пригрузка.....	522
Соппротивление на лицевой стороне.....	523
Заданные силы.....	524
Землетрясение.....	525
Настройка этапа.....	526
Проверка.....	527
Подбор размеров.....	528
Несущая способность.....	529

---

---

Смещение по армировке.....	530
Внутренняя устойчивость.....	531
Глобальная устойчивость.....	532
Устойчивость.....	534
Программа Отдельные фундаменты.....	534
Проект.....	535
Настройка.....	536
Профиль.....	537
Испытания DMT.....	537
Грунты.....	538
Базовые данные.....	539
Привязка.....	540
Заложение.....	541
Нагрузка.....	542
Геометрия.....	543
Обрез фундамента.....	545
Гравий-песчаная подушка.....	546
Материал.....	547
Пригрузка.....	548
Вода, несжимаемое основание.....	549
Настройка этапа.....	550
1.ПС - несущая способность фундамента.....	551
2.ПС - осадка и крен фундамента.....	552
Подбор размеров.....	553
Программа Отдельные фундаменты CPT.....	554
Проект.....	555
Настройка.....	555
Испытания CPT.....	556
Испытания SPT.....	557
Классификация грунтов.....	558
Профиль.....	559
Грунты.....	560
Базовые данные.....	561
Привязка.....	562
Вода .....	563
Заложение.....	564
Нагрузка.....	565

---

---

Геометрия.....	566
Материал.....	568
Расчёт.....	568
Подбор размеров.....	570
Программа Сваи.....	570
Проект.....	571
Настройка.....	572
Профиль.....	573
Модуль реакции основания.....	574
Грунты.....	574
Базовые данные.....	575
Привязка.....	576
Нагрузка.....	577
Геометрия.....	578
Материал.....	579
Вода, несжимаемое основание.....	580
Отрицательное боковое сопротивление.....	581
Настройка этапа.....	582
Вертикальная несущая способность - аналитическое решение.....	583
Вертикальная несущая способность - метод пружины.....	584
Осадка - линейная кривая нагрузки (Poulos).....	585
Осадка - нелинейная кривая нагрузки (Masopust).....	586
Горизонтальная несущая способность -упругое полупространство.....	587
Горизонтальная несущая способность - метод Бромса.....	590
Программа Свая СРТ.....	591
Проект.....	592
Настройка.....	592
Испытания СРТ .....	593
У.Г.В. + НПС.....	594
Классификация грунтов.....	596
Профиль.....	597
Грунты.....	598
Базовые данные.....	599
Привязка.....	600
Конструкция.....	601
Куст свай.....	603
Геометрия.....	605

---

---

Эффект планировки рельефа.....	606
Несущая способность.....	607
Осадка.....	608
Программа Куст свай.....	610
Проект.....	611
Настройка.....	611
Конструкция.....	612
Куст свай в общей форме.....	614
Геометрия.....	618
Материал.....	619
Нагрузка.....	620
Определение нагрузки на куст свай.....	621
Профиль.....	623
Грунты.....	623
Базовые данные.....	624
Привязка.....	625
Вода.....	626
Отрицательное боковое сопротивление.....	627
Вертикальные пружины.....	628
Горизонтальный модуль.....	629
Настройка этапа.....	630
Вертикальная несущая способность - аналитическое решение.....	631
Осадка - связный грунт.....	632
Осадка - несвязный грунт (кривая нагрузки).....	632
Расчёт - метод пружины.....	633
Подбор размеров.....	634
Несущая способность.....	635
Программа Микросвая.....	637
Проект.....	638
Настройка.....	638
Профиль.....	639
Грунты.....	640
Базовые данные.....	641
Геометрия.....	642
Материал.....	643
Привязка.....	644
Нагрузка.....	645

---

---

Вода.....	646
Испытания SPT.....	647
Испытания прессиометр.....	648
Проверка сечения.....	649
Проверка корня.....	650
Программа Плита.....	651
Проект.....	652
Настройка.....	652
Joints.....	653
Lines.....	654
Macroelements.....	655
Openings.....	656
Joint refinements.....	657
Line refinements.....	658
Macroelement refinements.....	659
Mesh generation.....	660
Mesh generator warning.....	663
Joint supports.....	665
Line supports.....	667
Beams.....	668
Catalog of materials.....	669
Editor of materials.....	671
Types of cross-section.....	672
Catalog of profiles.....	673
Cross-section editor.....	674
Internal hinges.....	675
Macroelement subsoils.....	676
Winkler-Pasternak parameters C1 a C2.....	677
Calculation of Winkler-Pasternak constants from deformation parameters of soils. .	678
Load cases.....	678
Load case parameters.....	679
Joint loads.....	681
Line loads.....	682
Temperature load.....	683
Macroelement loads.....	683
Free point loads.....	684
Free line loads.....	685

---



---

Free area loads.....	686
Combination ULS.....	687
Parameters of combinations of ULS.....	688
Generator of combinations of ULS.....	689
Combination SLS.....	692
Parameters of combinations of SLS.....	693
Generator of combinations of SLS.....	694
Dimensioning parameters.....	694
Macroelement dimensionings.....	695
Analysis.....	696
Procedure of analysis.....	697
Results.....	698
Tool bar - Results.....	699
Results visualization settings.....	700
List of variables.....	700
List of variables of dimensioning.....	701
Reduction of Bending Moments.....	702
Values.....	704
Distributions.....	705
Coordinate system (sign convention).....	706
Программа Балка.....	708
Проект.....	709
Настройка.....	710
Коэффициенты Винклера-Пастернака C1 и C2.....	711
Дорасчёт коэффициентов Винклера-Пастернака C1, C2 из геологического профиля .....	711
Довычисление коэффициентов Винклера-Пастернака по коэффициентам деформации характеристик грунтов.....	711
Геометрия.....	712
Основание.....	713
Границы контура.....	714
Расположение.....	715
Грунты.....	716
Базовые данные.....	717
Привязка.....	718
Вода.....	719
Опоры.....	720

---

---

Сочетания нагрузок.....	721
Параметры сочетания нагрузок.....	722
Нагрузка.....	724
Комбинация КПС.....	725
Параметры комбинаций КПС.....	726
Генератор комбинаций.....	727
Комбинации ЭПС.....	730
Параметры комбинаций ЭПС.....	731
Генератор комбинаций.....	732
Расчёт.....	732
Программа Осадка.....	733
Проект.....	734
Настройка.....	734
Границы контура.....	735
Насыпь.....	736
Выемка.....	737
Несжимаемое основание.....	738
Грунты.....	739
Базовые данные.....	740
Привязка.....	741
Пригрузка.....	742
Вода.....	743
Настройка этапа.....	744
Расчёт.....	745
Параметры консолидации.....	746
Программа Выработка.....	748
Проект.....	749
Настройка.....	749
Здания.....	750
Профиль.....	750
Грунты.....	751
Привязка.....	752
Геометрия.....	753
Замеры.....	755
Настройка этапа.....	755
Расчёт.....	756
Дефекты.....	758

---

---

Программа Рельеф.....	760
Проект.....	761
Исходные данные.....	761
Глобальная система координат.....	762
Грунты.....	763
Привязка.....	764
Точки.....	765
Импорт точек.....	766
Автоматическое вычисление высоты (отметки).....	767
Рёбра.....	769
Вода.....	770
Скважины.....	771
Планировка рельефа.....	773
Стройплощадка.....	776
Генерирование.....	778
Моделирование рельефа на краях.....	779
Точечные сооружения.....	780
Линейные сооружения.....	782
Пуск.....	784
Программа Стратиграфия.....	785
Проект.....	786
Настройка.....	786
Стратиграфия - Модель 2D.....	787
Стройплощадка.....	788
Активная кромка.....	789
Точки рельефа.....	790
Грунты.....	791
Испытания.....	792
Импорт испытаний.....	793
Скважина, шурф.....	794
Геологическая документация.....	795
Профили испытаний.....	797
Взаимоотношение между профилем испытания и испытанием, зондом.....	799
Создание профиля испытания из скважины.....	799
Создание профиля испытания из СРТ.....	800
Создание профиля испытания на основании классификации грунтов.....	800
Создание профиля испытания из DPT, SPT, PMT.....	802

---

---

Геологическая модель.....	803
Создание геологической модели - примеры порядка действия.....	805
Процедура создания геологической модели.....	805
Создание модели рельефа (DMT).....	807
Геологическая модель с горизонтальными слоями.....	808
Геологическая модель - слои копируют рельеф.....	811
Рёбра стройплощадки - активная зона.....	814
Правка слоёв модели.....	818
Создание линзы в грунте.....	820
Создание нового слоя в модели.....	825
Создание модели тектонического сброса.....	828
Типы зондов.....	833
Управляющий зонд.....	834
Правка зонда.....	836
Добавление зонда.....	838
Совместимость зондов.....	840
Профили 1D.....	842
Разрезы 2D.....	843
Программа МКЭ.....	843
Топология.....	844
Системы координат.....	845
Проект.....	847
Настройка.....	848
Расчёты на устойчивость.....	849
Плоская задача.....	849
Осевая симметрия.....	850
Тоннели.....	854
Консолидация.....	854
Прицип численного решения консолидации.....	855
Ко процедура.....	859
Движение потока.....	860
Расчёт движения потока.....	861
Границы контура.....	862
Грунты.....	863
Материальные модели.....	864
Линейные модели.....	865
Эластичны модели.....	866

---

---

Модифицированная эластичная модель.....	866
Нелинейные модели.....	867
Мора-Кулона (МС).....	869
Модель Мора-Кулона с ограничением прочности на разрыв.....	869
Модифицированная модель Мора-Кулона (МСМ).....	870
Друкер-Прагер.....	871
Ослабление и усиление.....	871
Угол замедления.....	873
Влияние материальной модели.....	873
Модифицированная модель Cam-clay (MCC).....	874
Обобщенная модель Cam clay (GCC).....	877
Численная реализация моделей MCC и GCC.....	878
Гипопластическая глина.....	881
Переменная жёсткость.....	888
Модели материала в течении анализа.....	888
Коэффициент проницаемости.....	892
Базовые данные.....	894
Геостатическое напряжение, расчёт подъёмной силы.....	896
Твёрдые тела.....	897
Привязка.....	898
Типы контактов.....	899
Контактные элементы.....	901
Обделка.....	902
Модуль Обделка - МКЭ.....	904
Свободные точки.....	905
Свободные линии.....	905
Сгущение линий.....	906
Настройка.....	907
Генератор форм обделки.....	908
Генератор заанкерowanych областей.....	910
Этапы проектирования.....	911
Свободные точки.....	911
Свободные линии.....	914
Сгущение точек.....	915
Сгущение линий.....	916
Свободные сгущения.....	917
Генерация сетки.....	918

---

---

Генератор сетки - предостережения.....	921
Корректор заданной геометрии.....	922
Стандартные краевые условия.....	923
Этап проектирования.....	924
Эксправация.....	925
Активация.....	926
GWT Активность областей ниже У.Г.В.....	928
Привязка.....	929
Обделка.....	930
Балки.....	931
Анкеры.....	932
Нагрузка на балки.....	933
Генератор анкеров на свободной линии.....	934
Балки.....	935
Типы поперечных сечений.....	937
Балка с заземленным концом.....	938
Разрушение и усиление балок.....	939
Каталог сечений.....	940
Редактор сечения.....	941
Каталог материалов.....	941
Редактор материала.....	942
Контакты.....	943
Контакты и балки (фильтрация воды).....	944
Сосредоточенные опоры.....	945
Точка потока.....	946
Линейные опоры.....	947
Линия потока.....	947
Анкеры.....	948
Модификация среды вблизи якоря.....	950
Анкеры в анализе устойчивости.....	951
Распорки.....	952
Геоарматура.....	954
Анкерное геоткрепление.....	956
Осевая жесткость геосинтетических материалов.....	958
Пригрузка.....	960
Упругие области.....	962
Нагрузки балок.....	963

---

---

Вода.....	964
Расчёт.....	965
Анализ переходных процессов потока.....	966
Рекомендуемый порядок моделирования.....	971
Потеря сходимости нелинейного анализа.....	972
Настройка и описание анализа.....	973
Метод решения.....	974
Изменение матрицы жесткости.....	975
Начальный шаг решения.....	976
Максимальное количество итераций.....	976
Критерий сходимости.....	977
Настройка метода Ньютона-Рафсона.....	977
Настройка метода длины дуги.....	978
Установка длины дуги.....	979
Автоматического управления длиной дуги.....	980
Метод поиска линии.....	981
Пластичность.....	982
Ход анализа.....	983
Результаты.....	984
Панель инструментов - Результаты.....	985
Настройка рисования : Расчёт.....	985
Список величин.....	986
Мониторы.....	988
Настройки диспетчеров.....	989
Графы.....	990
Устойчивость.....	991
Настройки основных параметров анализа устойчивости склонов.....	993
Настройка запуска параметров релаксации понижающего коэффициента.....	994
Области без редукции.....	995
Землетрясение.....	996
Выходы.....	996
Добавление рисунка.....	997
Список рисунков.....	999
Печать и экспорт документа.....	1001
Печать и экспорт вида.....	1003
Панель инструментов - печать и экспорт .....	1005
Внешний вид страницы.....	1007

---

---

Настройки верхнего и нижнего колонтитулов.....	1007
Нумерация страниц.....	1009
Данные о фирме.....	1010
Теория.....	1011
Напряжение в массиве грунта.....	1012
Геостатическое напряжение, расчёт подъёмной силы.....	1012
Действительное / общее напряжение.....	1013
Увеличение напряжения вследствие нагрузки.....	1014
Увеличение нагрузки грунта под основанием.....	1015
Давление грунта.....	1016
Правило знаков.....	1017
Активное давление грунта.....	1018
Теория Мазиндран (Рэнкин).....	1018
Теория Кулона.....	1019
Теория Мюллер-Бреслау.....	1020
Теория Каку.....	1021
Теория Абси.....	1023
Активное давление грунта - состояние полного напряжения.....	1024
Пассивное давление грунта.....	1024
Пассивное давление грунта - Теория Рэнкина-Мазиндран.....	1025
Пассивное давление грунта - Теория Кулона.....	1026
Пассивное давление грунта - Теория Каку - Керизеля.....	1027
Коэффициент пассивного давления грунта Кр.....	1027
Поправочный коэффициент пассивного давления грунта.....	1031
Пассивное давление грунта - Теория Мюллер-Бреслау.....	1031
Пассивное давление грунта - Теория Абси.....	1032
Пассивное давление грунта - Теория Соколовского.....	1032
Пассивное давление грунта - общее напряжение.....	1035
Статическое давление грунта.....	1035
Статическое давление грунта для наклоненной поверхности задней части конструкции.....	1036
Повышенное активное давление.....	1037
Распределение давления грунта при пересеченной местности.....	1037
Воздействие воды.....	1038
Без грунтовых вод, вода не учитывается .....	1039
Гидростатическое давление, грунтовая вода находится позади конструкции....	1039
Гидростатическое давление, грунтовая вода находится позади и перед	

---



---

конструкцией.....	1040
Гидродинамическое давление.....	1041
Особое распределение давления воды.....	1042
Гидростатическое противодействие в основании фундамента.....	1044
Воздействие трещин разрыва.....	1044
Минимальное определяемое давление.....	1044
Клин давления грунта.....	1045
Пригрузка.....	1047
Нагрузка поверхности - Активное давление грунта.....	1047
Ленточная нагрузка - Активное давление грунта.....	1048
Трапецевидная нагрузка - Активное давление грунта.....	1049
Сосредоточенная нагрузка - Активное давление грунта.....	1050
Линейная нагрузка - Активное давление грунта.....	1051
Прирост давления от горизонтальной пригрузки.....	1052
Нагрузка в неомогенном грунте .....	1054
Нагрузка поверхности - Статическое давление грунта.....	1054
Ленточная нагрузка - Статическое давление грунта.....	1055
Трапецевидная нагрузка - Статическое давление грунта.....	1056
Сосредоточенная нагрузка - Статическое давление грунта.....	1056
Нагрузка поверхности - Пассивное давление грунта.....	1056
Воздействие землетрясения.....	1057
Теория Мононоб - Окаба.....	1059
Теория Арранго.....	1060
NCMA - SRW.....	1061
Воздействие воды.....	1062
EN 1998-5 Сейсмические воздействия.....	1064
Силы от землетрясения на жёсткие конструкции (статическое давление).....	1064
Earthquake Chinese Standards.....	1065
Influence of earthquake according to JTJ 004-89.....	1065
Influence of earthquake according to JTS 146-2012.....	1066
Influence of earthquake according to SL 203-97.....	1069
Seismic fortification intensity according to Chinese standards.....	1070
Water influence according to Chinese standard.....	1071
Importance coefficient for seismic design $C_i$ .....	1073
Adjusting coefficient for seismic bearing capacity $\xi_a$ .....	1073
Воздействие трения между грунтом и задней поверхностью конструкции.....	1074
Таблица основных коэффициентов трения для разнородных материалов.....	1075

---

---

Сцепление грунта.....	1077
Параметры пород.....	1077
Анализ опор.....	1079
Определение сил в обресе фундамента.....	1080
Проверка - предельные состояния.....	1080
Проверка - коэффициента запаса.....	1081
Внутренний сдвиг.....	1082
Арматуры.....	1083
Анкераж основания.....	1084
Расчет выступа фундамента.....	1086
Несущая способность грунта основания.....	1087
Измерение опоры.....	1088
Внутренняя устойчивость габиона.....	1090
Внутренняя устойчивость габионной опоры - коэффициент запаса.....	1092
Внутренняя устойчивость габионной опоры - предельные состояния.....	1094
Расчет сил устоя.....	1095
Приведенное пассивное давление грунта.....	1096
Укрепление откосов нагелями.....	1097
Анализ внутренней устойчивости.....	1097
Анализ устойчивости гвоздей.....	1098
Ориентировочные значения бокового трения.....	1100
Несущая способность нагеля.....	1102
Коэффициент безопасности.....	1103
Теория предельных состояний.....	1104
Определение силы в нагеле.....	1104
Измерение защитного слоя бетона.....	1105
Конструкции ограждения .....	1106
Задание сечений ограждающих конструкций.....	1106
Свайная стена.....	1107
Железобетонная прямоугольная стена.....	1108
Шпунтовая свая.....	1109
Пластиковая шпунтовая свая (винил).....	1110
Стальной двутавр-сечение.....	1112
Задание пользовательских характеристик сеченияInput of A, I, E, G.....	1112
Пользовательский каталог.....	1114
Автоматическое вычисление коэфф. редукции давлений под дном котлована....	1115
Ограждения котлованов - проект.....	1116

---

---

Расчёт шпунтовой стенки.....	1116
Расчёт заанкерванной стенки с защемлением в грунте.....	1117
Расчёт анкерванной свободно опёртой стенки.....	1118
Ограждение котлованов проверка.....	1120
Виды анкеров.....	1122
Анкер стержневой, преднапряжённый.....	1123
Анкер жгутовый, преднапряжённый.....	1124
Анкер резьбовой - Helix.....	1125
Анкер стержневой, ненапряжённый.....	1127
Анкерная тяга.....	1128
Несущая способность на разрыв.....	1130
Несущая способность на выдёргивание (грунт).....	1131
Несущая способность на выдергивание (бетон).....	1132
Метод зависимых давлений.....	1134
Spring method according to JGJ 120-2012.....	1135
Определение модуля реакции основания.....	1136
Модуль реакции основания по Шмитту.....	1137
Модуль реакции основания по Шадессену.....	1137
Модуль реакции основания в соответствии с CUR 166.....	1138
Модуль реакции основания полученный путём итерации.....	1139
Модуль реакции основания по Менарду.....	1141
Модуль реакции основания по NF P 94-282.....	1142
Модуль реакции основания установленный по результатам испытания ДМТ.....	1143
Modulus of subsoil reaction according to Chinese standards.....	1144
Нелинейный модуль реакции основания.....	1144
Закладное крепление.....	1145
Улучшение свойств грунта.....	1146
Внутренняя устойчивость анкеров.....	1147
Гидравлический градиент.....	1149
Стабилизирующая свая.....	1150
Определение сил, действующих на стабилизирующую сваю.....	1151
Схемы давления над поверхностью скольжения.....	1153
Расчёты в программе Шахта.....	1154
Расчёт нагрузки на шахту.....	1154
Податливая конструкция шахты.....	1156
Полужёсткая конструкция шахты.....	1157
Жёсткая конструкция шахты .....	1158

---

---

Расчёт внутренних сил на конструкции шахты (подбор размеров).....	1159
Устойчивость откоса.....	1160
Массив грунта.....	1160
Воздействие воды.....	1160
Нагрузка.....	1163
Анкеры.....	1164
Нагели.....	1165
Арматуры.....	1166
Расположение арматуры.....	1168
Стабилизирующая свая.....	1169
Действие землетрясения.....	1170
Действие землетрясения - standard analysis.....	1171
Earthquake analysis according to JTJ 004-89.....	1172
Earthquake analysis according to SL 203-97.....	1172
Анализ по теории предельных состояний / коэффициенту надёжности.....	1173
Анализ по теории предельных состояний / коэффициенту надёжности.....	1174
Полигональная поверхность скольжения.....	1174
Сарма.....	1176
Спенсер.....	1178
Джанбу.....	1180
Моргенштерн-Прайс.....	1184
Шахунянц.....	1187
Метод ITF (Imbalance Thrust Force Method).....	1191
Стабилизирующее усилие в подошве поверхности скольжения.....	1194
Оптимизация полигональной поверхности скольжения .....	1195
Изменение наклона разделяющих плоскостей.....	1196
Круговая поверхность скольжения .....	1196
Феллениус / Петтерсон.....	1198
Бишоп.....	1198
Спенсер.....	1199
Джанбу.....	1199
Моргенштерн-Прайс.....	1199
Шахунянц.....	1199
Метод ITF (Imbalance Thrust Force Method).....	1199
Оптимизация кругло-цилиндрической поверхности скольжения.....	1199
Отслаивание.....	1200
Воздействие трещин разрыва.....	1200

---

---

Скальный откос.....	1201
Плоская поверхность скольжения.....	1202
Ступенчатая поверхность скольжения.....	1203
Прочность породы на растяжение.....	1203
Волнистая поверхность скольжения.....	1204
Укрепление скального откоса анкерами.....	1205
Пригрузка скального откоса.....	1206
Влияние воды на поверхность скольжения.....	1206
Уровень грунтовых вод над подошвой откоса.....	1207
Уровень грунтовых вод в трещине растяжения.....	1208
Уровень грунтовых вод в трещине растяжения, максимально.....	1209
Вода действует только в трещине растяжения.....	1211
Собственно гидростатическая сила, действующая только на поверхность скольжения.....	1211
Характер собственно гидростатической силы.....	1212
Полигональная поверхность скольжения.....	1212
Геометрия блока породы.....	1213
Анкерные силы, пригрузка.....	1214
Воздействие воды.....	1215
Принцип расчёта.....	1216
Концепт конуса трения.....	1218
Клин породы.....	1219
Геометрия клина породы.....	1220
Стереографическая проекция.....	1221
Воздействие грунтовой воды.....	1223
Разложение действующих сил.....	1224
Проверка.....	1225
Проверка по коэффициенту запаса.....	1225
Проверка по теории предельных состояний.....	1225
Критерий сопротивления породы сдвигу.....	1226
Мор - Кулон.....	1226
Параметры Мора-Кулона.....	1227
Хок - Браун.....	1227
Параметры Гука-Брауна.....	1228
Расчет параметров Гука-Брауна.....	1233
Бартон - Бэндис.....	1235
Параметры Бартона-Брандиса.....	1235

---

---

Объемная масса породы.....	1238
Влияние сейсмических воздействий.....	1239
Армированные насыпи.....	1241
Внутренняя устойчивость.....	1242
Проверка - коэффициент запаса.....	1243
Проверка - предельные состояния.....	1244
Форма поверхности скольжения.....	1244
Гибкая армировка - активное давление грунта.....	1245
Жёсткая армировка - комбинация давлений грунта.....	1246
Анализ несущей способности фундамента.....	1247
Устойчивость на дренированном подстилающем слое.....	1248
Стандартный анализ.....	1249
Устойчивость на недренируемом подстилающем слое.....	1250
Стандартный анализ.....	1251
Устойчивость основания на твердой породе.....	1252
Стандартный анализ.....	1252
Решение в соответствии с CSN 73 1001.....	1253
Анализ в соответствии с EC 7-1 (EN 1997-1:2003).....	1253
Параметры для расчета устойчивости основания.....	1254
Горизонтальная устойчивость основания.....	1258
Гомогенизация слоистого подгрунта.....	1260
Полезная площадь.....	1261
Определение перекрестных внутренних сил.....	1262
Проверка внецентренности фундамента.....	1263
Проверка растянутого отдельного фундамента.....	1264
Стандартный метод.....	1264
Конусный метод.....	1265
DL/T 5219 - 2005.....	1266
Анализ свай.....	1268
Вертикальная устойчивость.....	1268
Аналитические методы.....	1268
NAVFAC DM 7.2.....	1269
Несущая способность пяты сваи.....	1269
Несущая способность боковой поверхности сваи.....	1269
Коэффициент несущей способности $N_q$ .....	1270
Коэффициент бокового давления грунта $K$ .....	1270
Угол трения на боковой поверхности сваи.....	1271

---

Коэффициент сцепления.....	1272
Критическая глубина.....	1273
Метод Томлисона.....	1273
Коэффициент сцепления.....	1274
Эффективная длина.....	1274
Метод эффективного напряжения.....	1275
Коэффициенты несущей способности сваи.....	1276
CSN 73 1002.....	1276
Проверка.....	1277
Проверка в соответствии с теорией предельных состояний.....	1277
Расчетные коэффициенты.....	1278
Проверка на соответствие с коэффициентом запаса.....	1278
Вертикальная устойчивость: метод пружины .....	1279
Кривая предельной нагрузки.....	1280
Прочность боковой поверхности на сдвиг.....	1280
Коэффициент увеличения предельного трения боковой поверхности сваи...1281	
Глубина зоны деформации.....	1281
Несжимаемое основание (подстилающий слой).....	1284
Отрицательное трение на боковой поверхности.....	1284
Влияние технологии изготовления.....	1285
Соппротивление сдвигу на боковой поверхности.....	1285
Жесткость грунтового основания под пятой сваи.....	1287
Распределение сил, действующих на сваи.....	1287
Зависимость сдвига от деформации.....	1288
Осадка сваи.....	1288
Нелинейная теория (Масопуст).....	1288
Метод по Масопусту.....	1289
Коэффициенты регрессии.....	1291
Коэффициенты $m_1$ , $m_2$ .....	1292
Секущий модуль деформации $E_s$ .....	1293
Коэффициент влияния осадки $I_s$ .....	1295
Линейная теория (Поулос).....	1296
Сваи, расположенные на жестком основании (подстилающем слое).....	1296
Секущий модуль деформации $E_s$ .....	1298
Поправочный коэффициент коэффициента Пуассона $R_v$ по грунту.....	1300
Поправочный коэффициент для жесткости слоя грунта $R_b$ .....	1300
Коэффициент передачи нагрузки несжимаемой сваи $\beta_0$ .....	1301

Поправочный коэффициент жесткости сваи $S_k$ .....	1302
Поправочный коэффициент влияния коэффициента Пуассона грунта $S_v$ .....	1303
Поправочный коэффициент жесткости грунта $S_b$ .....	1304
Коэффициент жесткости сваи $K$ .....	1305
Исходный коэффициент влияния осадки $I_o$ .....	1305
Поправочный коэффициент жёсткости сваи $R_k$ .....	1306
Поправочный коэффициент влияния несжимаемого слоя под пятой сваи $R_h$ ....	1307
Горизонтальная несущая способность сваи – упругие полупространство (p-y method)	
.....	1308
Постоянное распределение модуля реакции грунтового основания.....	1309
Линейный характер модуля реакции грунтового основания.....	1309
Модуль реакции грунтового основания по CSN 73 1004.....	1310
Модуль реакции грунтового основания по теории Мэтлока и Риза.....	1311
Модуль реакции грунтового основания по теории Весика.....	1312
Горизонтальная несущая способность сваи – метод Бромса.....	1313
Анализ в программе Свая СРТ.....	1315
Несущая способность.....	1316
EN 1997-2.....	1317
NEN 6743.....	1317
LCPC (Bustamante).....	1318
Определение эквивалентного среднего сопротивления на конусе острия сваи	
.....	1318
Шмертманн.....	1319
Определение среднего сопротивления на конусе острия сваи.....	1320
Корректирующий коэффициент $K$ .....	1321
Отрицательное трение поверхности.....	1322
Коэффициент трения ствола ALFA $s$ .....	1323
Влияние переуплотнения (OCR).....	1325
Коэффициент конфигурации сваи $s$ .....	1326
Коэффициент увеличенного основания сваи BETA.....	1327
Коэффициент основания сваи ALFA $p$ .....	1328
Группа свай.....	1329
Расчет осадки основания сваи.....	1329
Графики для расчета осадки.....	1330
Расчет кривой предельной нагрузки.....	1332
Проверка.....	1332
Проверка по EN 1997-2.....	1332



Корреляционные коэффициенты для оценки стандартных значений устойчивости.....	1333
Проверка по коэффициенту запаса.....	1334
Проверка по теории предельных состояний.....	1334
Отдельные фундаменты CPT.....	1334
Несущая способность.....	1335
Метод Мейерхофа (CPT).....	1335
Метод Шмертмана (CPT).....	1336
Метод Скемптона (CPT).....	1339
Метод Мейерхофа (SPT).....	1341
Расчёт осадки.....	1342
Метод Шмертмана (CPT).....	1342
Метод NAVFAC DM7 (SPT).....	1344
Куст свай.....	1347
Аналитическое решение.....	1347
Несвязный грунт (расчёт для обезвоженных условий).....	1347
Кoeffициент полезного действия (КПД) куста свай.....	1347
Связный грунт (расчёт эффективности для необезвоженных условий).....	1348
Расчёт по коэффициенту запаса.....	1349
Расчёт по предельным состояниям.....	1349
Осадка куста свай.....	1350
Метод пружины.....	1351
Вычисление жёсткости вертикальных пружин.....	1353
Микросвая.....	1353
Проверка по коэффициенту запаса.....	1354
Проверка по предельным состояниям.....	1355
Проверка трубы микросваи.....	1356
Устойчивость спаренной части.....	1356
Срок службы микросваи.....	1356
Кoeffициент воздействия коррозии стальной трубы.....	1356
Устойчивость поперечного сечения, нагруженного стандартной силой.....	1357
Устойчивость поперечного сечения, нагруженного стандартной силой в сочетании с моментом изгиба.....	1358
Влияние продольного изгиба.....	1359
Внутренняя устойчивость секции.....	1360
Геометрический метод (Эйлера).....	1361
Теория Саласа.....	1363

Постоянная $A$ , выражающая тип опоры в головке микросваи.....	1364
Коэффициент $f$ .....	1364
Теория Вес-Суше.....	1364
Модуль горизонтальной реакции подгрунта.....	1365
Расчёт модуля горизонтальной реакции подстилающего слоя $E_r$ .....	1366
Значения модуля реакции подгрунта $E_r$ .....	1367
Устойчивость корневой части микросваи.....	1368
Теория Лиззи.....	1368
Трение поверхности корня микросваи.....	1369
Теория Литтлджона.....	1371
Теория Цвека.....	1372
Теория Боуля.....	1372
Теория Веса.....	1372
Коэффициенты типа применения микросваи.....	1374
Устойчивость корня в горной породе.....	1374
Трение поверхности и устойчивость корня микросваи в породе .....	1375
Метод Бустаманте (СПТ, Прессиометр РМТ).....	1375
Напряжение на боковой поверхности корня микросваи - графы.....	1376
Полевые испытания.....	1378
СПТ (Статическое пенетрационное испытание).....	1378
Классификация грунтов по Робертсону.....	1380
Коэффициент пенетрометра .....	1383
Импорт испытаний СПТ.....	1384
DPT - Динамическое пенетрационное испытание.....	1385
SPT- Стандартное пенетрационное испытание.....	1386
РМТ - Прессиометрическое испытание.....	1389
DMT - Дилатометрическое испытание.....	1390
Усадка.....	1392
Напряжение в нижней части основания.....	1393
Общая усадка и вращение основания.....	1395
Воздействие глубины основания и несжимающегося подгрунта.....	1395
Влияние песчано-гравийной подушки.....	1396
Анализ с использованием эдометрического модуля.....	1397
Анализ с использованием постоянной сжатия.....	1398
Анализ с использованием коэффициента сжимаемости.....	1398
Анализ в соответствии с NEN (Буйсманн, Ладде).....	1399
Анализ с использованием модели грунта Софта.....	1400

---

Анализ по теории Джанбу.....	1401
Анализ несвязного грунта по теории Джанбу.....	1401
Анализ крупнозернистого грунта по теории Джанбу.....	1402
Анализ песка и ила по теории Джанбу.....	1402
Анализ переуплотненного песка и или по теории Джанбу.....	1402
Анализ связного грунта по теории Джанбу.....	1403
Анализ переуплотненного связного грунта по теории Джанбу.....	1404
Расчёт осадки с помощью дилатомера.....	1404
Теория усадки.....	1405
Первичная усадка.....	1406
Вторичная усадка.....	1408
Консолидация.....	1409
Определение глубины зоны воздействия.....	1411
Теория конструктивной прочности.....	1411
Метод ограничения значения первичного напряжения.....	1412
Характеристики расчётов осадки.....	1413
Коэффициент сжатия.....	1414
Эдометрический модуль.....	1416
Постоянная сжатия.....	1418
Постоянная сжатия 10.....	1419
Коэффициент пористости.....	1419
Коэффициент повторного сжатия (рекомпресии).....	1420
Параметры Джанбу.....	1421
Влияние предшествующего нагружения.....	1422
Коэффициент $m$ .....	1422
Измененный коэффициент сжатия.....	1423
Коэффициент вторичного сжатия.....	1424
Коэффициент переуплотнения вторичного сжатия.....	1426
Анализ в программе «Выработка».....	1426
Расчёт мульды оседания.....	1426
Потеря объема.....	1426
Рекомендуемые значения параметров для анализа потери объема.....	1427
Классическая теория.....	1429
Анализ слоистого подгрунта.....	1430
Конфигурация мульды оседания.....	1432
Коэффициент расчета точки перегиба.....	1432
Мульда оседания с несколькими выработками.....	1433

---

Анализ мульды оседания на глубине.....	1433
Расчет других переменных.....	1434
Анализ разрушения зданий.....	1434
Трещины разрыва.....	1435
Градиентное разрушение.....	1435
Относительный прогиб.....	1436
Анализ разрушение части здания .....	1437
Измерение бетонных конструкций.....	1438
EN 1992-1-1 (EC2) или EN 1992-2 .....	1438
Материалы, коэффициенты, условные обозначения.....	1439
Стандартные значения коэффициентов.....	1440
Проверка прямоугольного сечения из неармированного бетона.....	1442
Проверка прямоугольного железобетонного сечения изгибающим моментом и нормальной сжимающей силой.....	1443
Проверка круглого железобетонного сечения.....	1445
Проверка отдельного фундамента на продавливание.....	1447
Расчет продольной арматуры для плиты.....	1449
Расчет арматуры на сдвиг для плиты.....	1450
Проверка ширины трещины.....	1451
CSN 73 1201 R.....	1451
Materials, Coefficients, Notation.....	1452
Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete.....	1452
Verification of Rectangular RC Cross-Section.....	1453
Verification of Circular RC Cross-Section.....	1455
Verification of Spread Footing for Punching Shear.....	1457
Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs.....	1458
Design of Shear Reinforcement for Slabs.....	1459
Проверка по CSN 73 6206.....	1460
PN-B-03264 : 2002.....	1461
Materials, Coefficients, Notation.....	1461
Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete.....	1462
Verification of Rectangular RC Cross-Section.....	1463
Verification of Circular RC Cross-Section.....	1465
Verification of Spread Footing for Punching Shear.....	1466
Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs.....	1467
Design of Shear Reinforcement for Slabs.....	1468
BS 8110 : 1997.....	1469

Materials, Coefficients, Notation.....	1469
Verification of rectangular cross-section made of plain concrete.....	1469
Verification of Rectangular RC Cross-Section.....	1470
Verification of Circular RC Cross-Section.....	1472
Verification of Spread Footing for Punching Shear.....	1473
Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs.....	1475
Design of shear reinforcement for plates.....	1476
IS 456.....	1476
Materials, Coefficients, Notation.....	1476
Verification of rectangular cross-section made of plain concrete.....	1477
Verification of rectangular RC cross-section.....	1478
Verification of circular RC cross-section.....	1480
Verification of spread footing for punching shear.....	1481
Design of longitudinal reinforcement for slabs.....	1482
Design of shear reinforcement for slabs.....	1483
ACI 318 - 2011.....	1484
Материалы, коэффициенты, обозначения.....	1484
Проверка поперечных сечений из неармированного бетона.....	1484
RC прямоугольное поперечное сечение при моменте изгиба и стандартной миле сжатия.....	1485
Проверка окружного RC поперечного сечения.....	1486
Проверка отдельного фундамента для натяжения среза при давлении.....	1487
Расчет продольного армирования для пластин.....	1488
Расчет продольного армирования для пластин.....	1489
AS 3600 - 2001.....	1489
Материалы, коэффициенты, обозначения.....	1490
Verification of rectangular cross-section made of plain concrete.....	1490
Verification of rectangular RC cross-section under N, M, V.....	1491
Verification of circular RC cross-section.....	1492
Verification of spread footing for punching shear.....	1494
Design of longitudinal reinforcement for slabs.....	1495
Design of shear reinforcement for plates.....	1496
SNiP 52-101 - 2003.....	1496
Материалы, коэффициенты, условные обозначения .....	1496
Проверка прямоугольного сечения из неармированного бетон.....	1497
Проверка прямоугольного железобетонного сечения на изгибающий момента и нормальную сжимающую силу.....	1498

Проверка круглого железобетонного сечения.....	1500
Проверка отдельного фундамента на продавливание.....	1501
Расчет продольного армирования для пластин.....	1502
Расчет продольного армирования для пластин.....	1502
GB 50010 - 2010.....	1503
Materials, Coefficients, Notation .....	1503
Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete.....	1503
Verification of Rectangular RC Cross-Section.....	1505
Verification of Circular RC Cross-Section.....	1506
Verification of Spread Footing for Punching Shear.....	1508
Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs.....	1509
Design of Shear Reinforcement for Slabs.....	1510
NZS 3101-2006.....	1511
Materials, coefficients, notation.....	1511
Verification of Rectangular Cross-Sections Made from Plain Concrete.....	1512
Verification of Rectangular RC Cross-Section.....	1513
Verification of Circular RC Cross-Section.....	1515
Verification of Spread Footing for Punching Shear.....	1517
Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs.....	1519
Design of Shear Reinforcement for Slabs.....	1519
CSA A23.3-14.....	1520
Materials, Coefficients, Notation.....	1520
Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete.....	1521
Verification of Rectangular RC Cross-Section.....	1522
Verification of Circular RC Cross-Section.....	1524
Verification of Spread Footing for Punching Shear.....	1525
Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs.....	1527
Design of Shear Reinforcement for Slabs.....	1528
NBR_6118.....	1529
NBR_Materialy_Soucinitele_Znaceni.....	1529
NBR_Posouzeni_Prurezu_Z_Prosteho_Betonu.....	1529
NBR_Posouzeni_Obdelnikoveho_Prurezu_Excentricky_Tlak.....	1529
NBR_Posouzeni_Kruhoveho_Prurezu.....	1529
NBR_Posouzeni_Patky_Na_Protlacení.....	1529
NBR_Navrh_Podelne_Vyztuze_Do_Desky.....	1529
NBR_Navrh_Smykove_Vyztuze_Do_Desky.....	1529
Подбор размеров стальных сечений.....	1529

---

Проверка по EN 1993-1-1 (EC3).....	1531
Проверка по CSN 731401.....	1532
Проверка по коэффициенту запаса.....	1533
Проверка по теории предельных состояний.....	1534
Verification according to GB 50017-2003.....	1535
Подбор сечений деревянных элементов конструкции.....	1536
Проверка по EN 1995-1-1 (EC5).....	1537
Проверка по коэффициенту запаса.....	1539
Проверка по теории предельных состояний.....	1539
Подбор размеров каменных конструкций.....	1540
Измерение каменной кладки в соответствии с AS 3700.....	1540
Подбор размеров армированной стены в соответствии с EN 1996-1-1.....	1542
Подбор размеров гравитационной стены - каменной кладки по EN 1996-1-1.....	1543
Dimensioning of gravity wall - masonry according to GB 50003-2011.....	1544
Подбор размеров пластиковых шпунтовых свай.....	1546

## Как пользоваться справкой

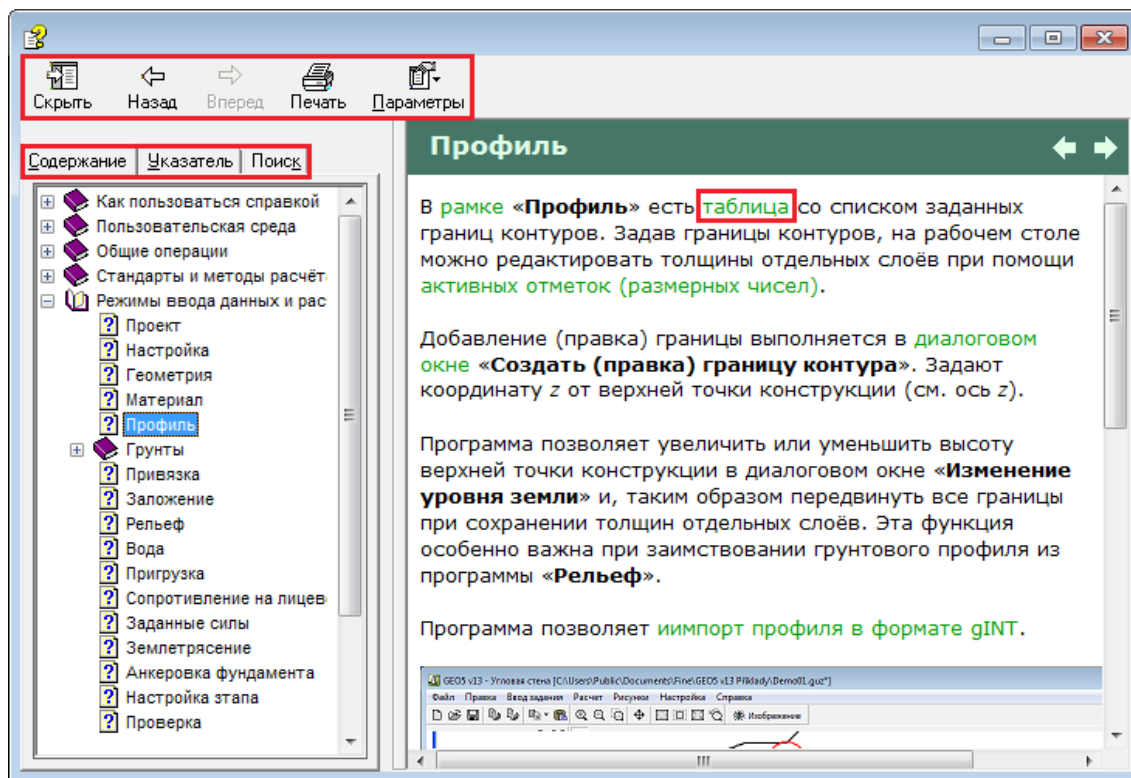
Справка программ GEO5 отображается в стандартном окне EXPLORER среды Windows. Диалоговое окно справки вызываем в меню программы (пункты «**Справка**», «**Содержание**»), или функциональной кнопкой «**F1**» в любом месте программы.

В некоторых диалоговых окнах (напр., «**Добавление новых грунтов**») можно соответствующий раздел справки открыть, нажав кнопку справки «**?**».

В диалоговом окне находятся:

- Панель с основными кнопками управления. Кнопка «**Скрыть (Показать)**» скроет (изобразит) древообразный список пунктов справки. Кнопки «**Назад / Вперёд**» позволяют перелистывать отображенные страницы. Кнопка «**Печать**» откроет системное окно для печати, а кнопка «**Опции**» открывает меню для настройки свойств окна проводника EXPLORER.
- Панель с закладкой «**Содержание**» (отображает древообразную структуру с темами справки), закладку «**Регистр**» и закладку «**Поиск**».
- **Древообразный список пунктов справки** – отдельные папки в древе **открываются / закрываются** щелчком на символе перед названием «+»/«-».
- Окно для собственно изображения справки – заголовок окна содержит имя текущего пункта и кнопки «**Назад / Вперёд**», выполняющие такую же функцию как вышеописанные кнопки на панели.

Текст справки содержит контекстные ссылки на следующие пункты. Текст этих контекстных ссылок выделен зелёным цветом.



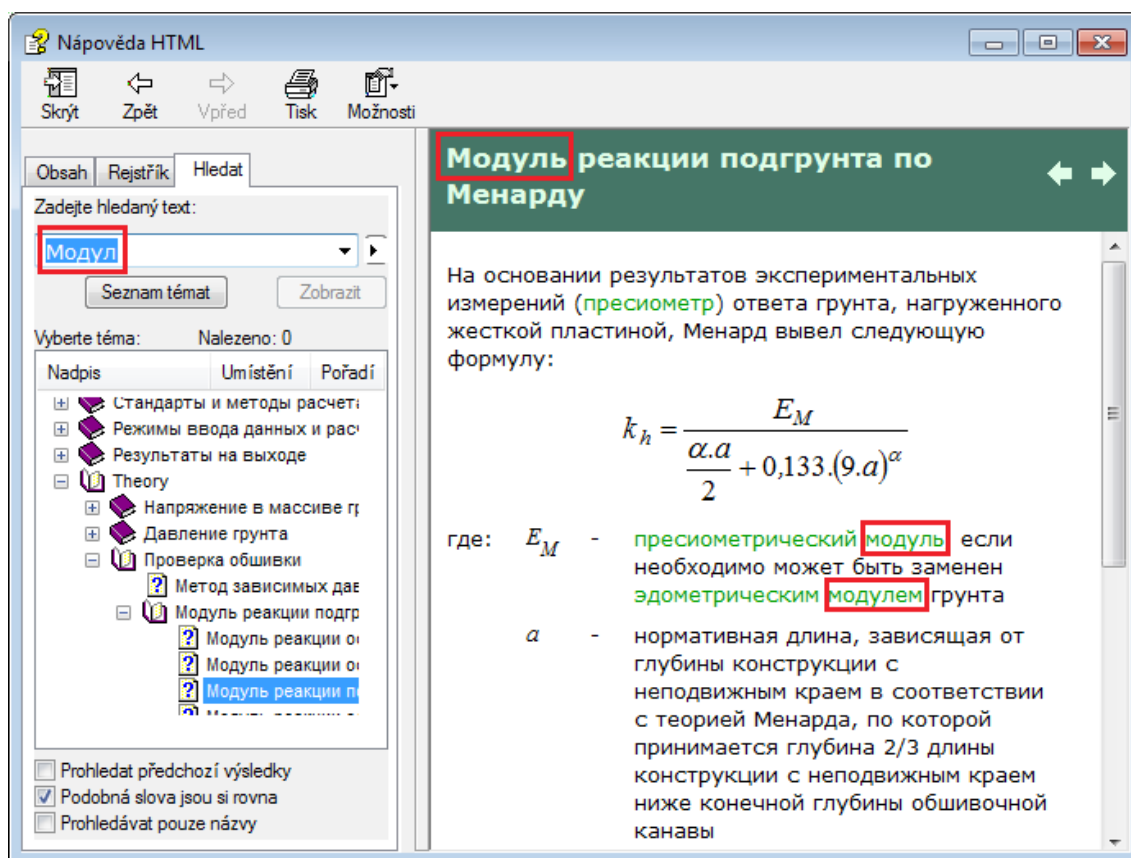
Диалоговое окно «Справка GEO 5»



## Работа с функцией Поиск

Функция «Поиск» позволяет находить любой текст в темах справки. Искомый текст нужно забить в поле «Задать искомый текст» и кнопкой «Список тем» запустить поиск. Список найденных тем, содержащих заданный текст, изображается в столбце под кнопками. Щелчком мыши на заголовке темы и нажатием кнопки «Отобразить» тема покажется в правой части окна (можно использовать двойной щелчок мыши, так наз. double-click).

Искомый текст на отображённой странице выделен синим цветом. Если переключить обратно в закладку «Содержание», можно увидеть, в которой части дерева (содержания справки) находится данная тема.



Применение функции «Поиск»

## Пользовательская среда

Программы GEO5 - это стандартные приложения windows. **Управление средой** приложения соответствует общим правилам среды Windows.

В этой части справки описаны функции пользовательской среды:

- Окно приложения
- Управляющее меню
- Панели инструментов и управления
- 3D изображения

- Настройка рисования
- Рамки
- Таблицы
- Диалоговые окна

Управление программой с **помощью мыши** описано в следующих разделах:

- Активные отметки и объекты
- Функция мыши компьютера
- Контекстное меню мыши

Во всех приложениях GEO5 можно **переключать единицы измерения** (метрические / дюймовые).

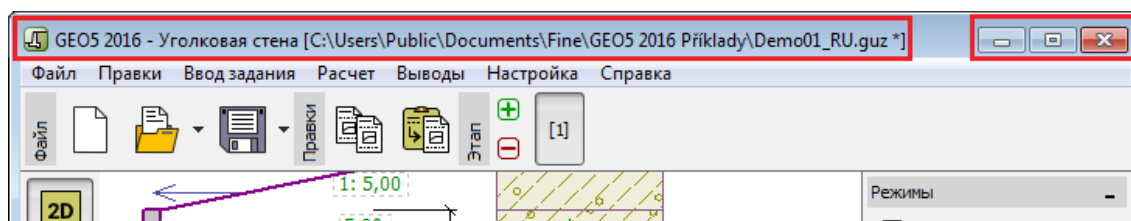
Как **копировать данные между приложениями** описано в следующих разделах:

- Копия в буфер обмена
- Геобуфер

Программы позволяют настройку в диалоговом окне «**Опции**» других свойств как, **параметры печати**, способ **копирования в буфер**, а также функции, **упрощающие ввод задания** - функции **Отмена и повтор**, вертикальные и горизонтальные **линейки** и рабочую **сетку**.

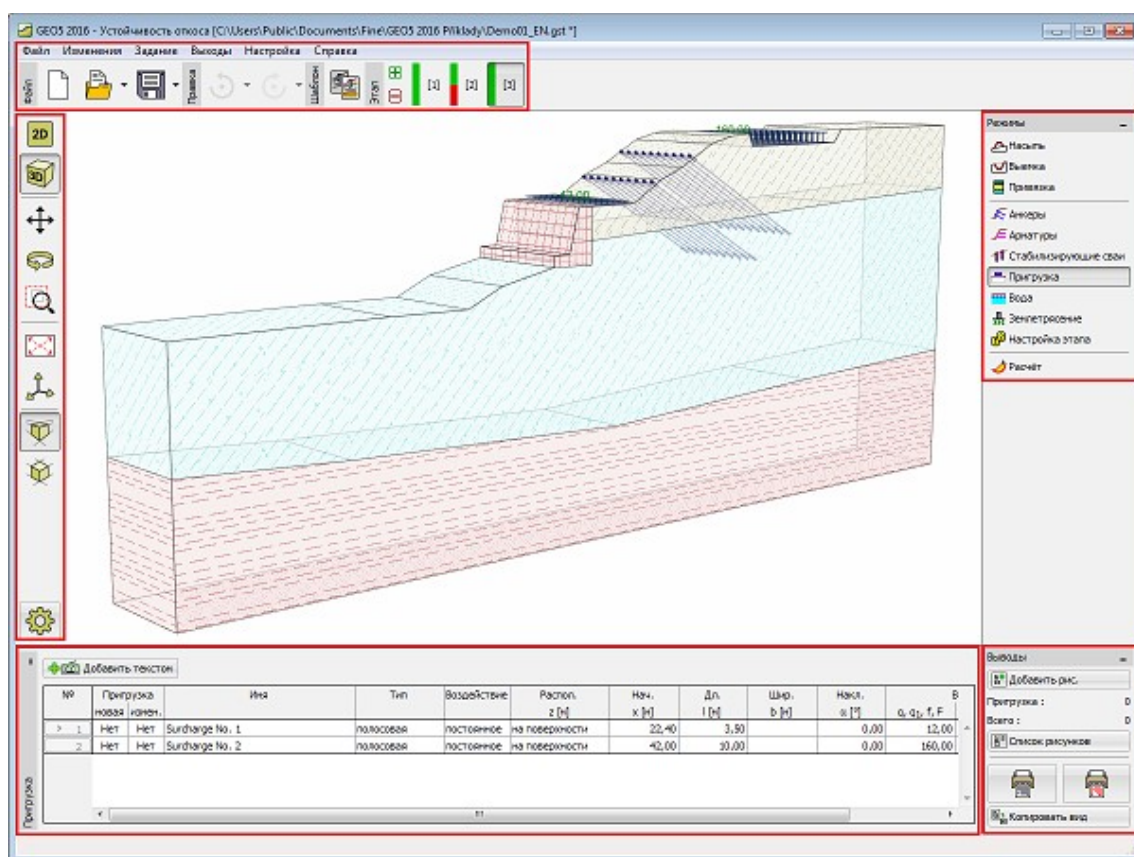
## Окно приложения

Программа запускается в стандартном диалоговом окне, в котором находятся все элементы управления типичные для среды Windows (свёртывание, развёртывание окна, выход из приложения....). Заголовок окна содержит информацию об обрабатываемой задаче (имя и помещение файла) - см. рисунок:



Элементы управления окна приложения

Рабочая область включает **управляющее меню**, **панели инструментов и управления** и рабочий стол, на котором отображается проектируемая конструкция. В нижней части экрана отображены **рамки** для ввода исходных данных задачи. Расположение элементов в приложении видно на рисунке:



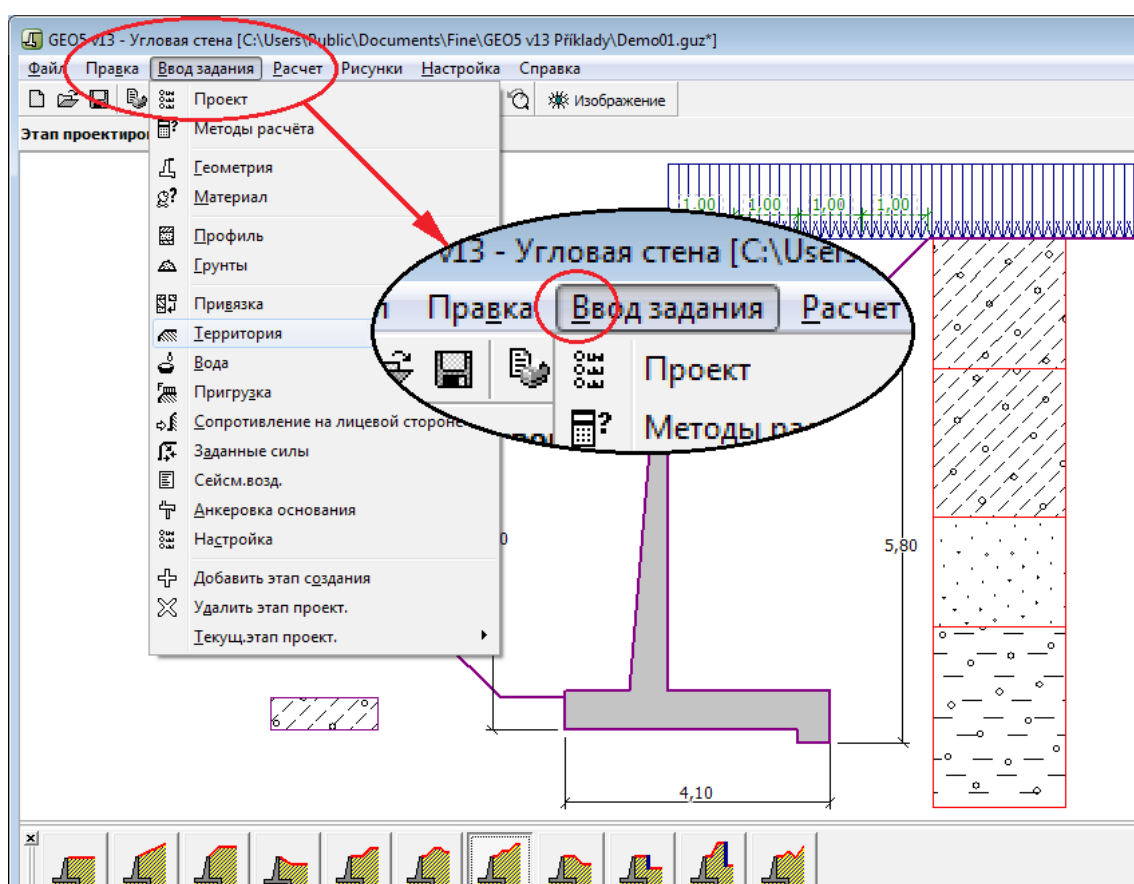
Организация рабочей области

## Управляющее меню

В меню программы выбираем щелчком **левой кнопкой мыши** или с помощью клавиатуры - нажатием сочетания клавиши **ALT и подчёркнутой буквы** в выбранном пункте меню.

Как принято в среде WINDOWS, некоторые команды в меню можно заменить кнопками на панелях инструментов или сочетаниями клавиш (сочетание показано рядом с командой в меню - напр., **Сохранить файл - CTRL+S**).

Некоторые команды в программе можно установить только через меню - напр., «**Опции**» программы.

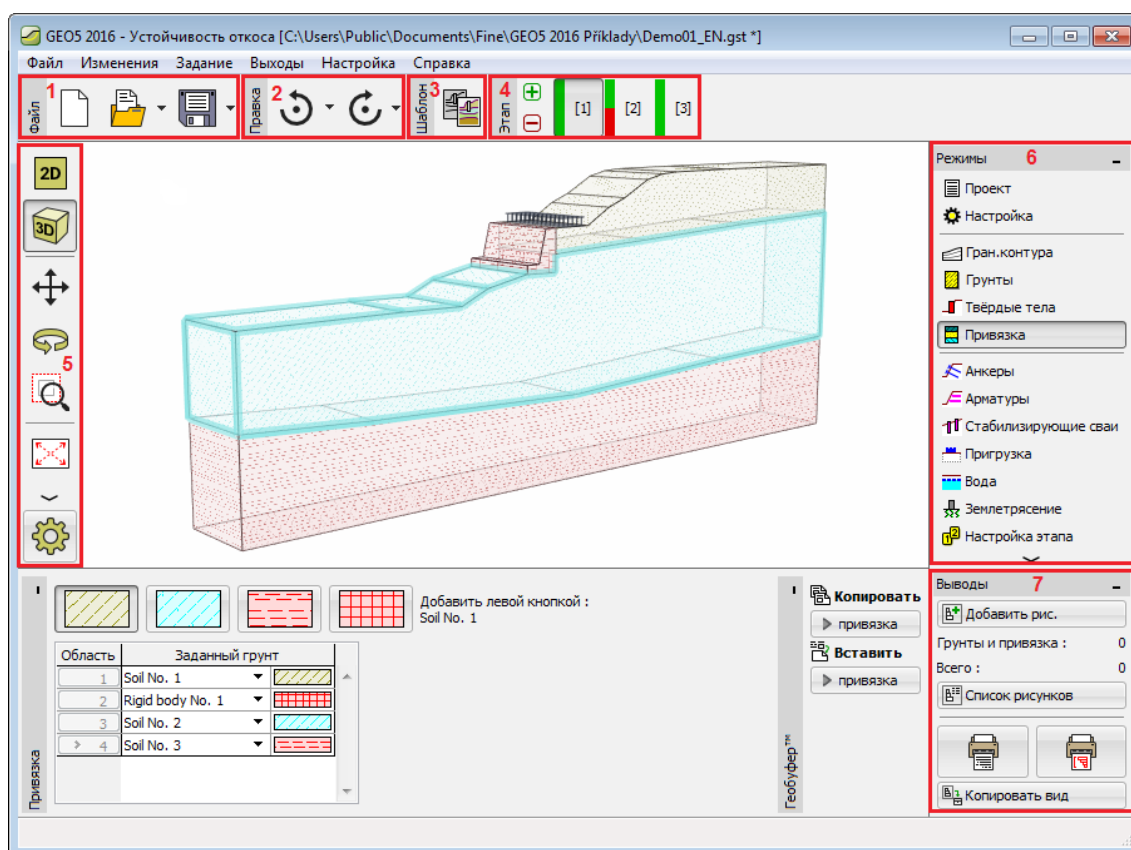


Управляющее меню программы

## Панели инструментов и управления

Программа содержит следующие панели инструментов и управления:

- (1) Файлы
- (2) Правки
- (3) Шаблон
- (4) Этап
- (5) Управление рисунком
- (6) Режимы
- (7) Выводы



Расположение панелей инструментов и управления на рабочем столе

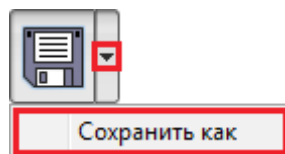
## Файлы

Кнопки на панели назначены для работы с файлами. На панели инструментов находятся следующие кнопки:



Панель инструментов «Файл»

Некоторые кнопки разделены на две части и одной кнопкой можно управлять несколькими функциями (отделена часть вправо со стрелкой).







Использование кнопки для нескольких функций

Назначение кнопок на панели:



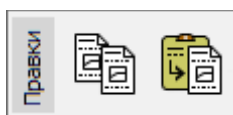
### Создать

- Откроет новый файл - в случае, что открыта недоделанная задача, программа потребует сохранить данные.

	<b>Открыть файл</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Откроет сохранённый файл - в случае, что открыта незаконченная задача, программа потребует сохранить данные.</li> </ul>
	<b>Откроет последние файлы</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Откроет список файлов, с которыми вы последний раз работали.</li> </ul>
	<b>Сохранить в файл</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Сохранит данные текущей открытой задачи - если задача не поименована, программа откроет диалоговое окно <b>«Сохранить как»</b>.</li> </ul>
	<b>Сохранить как</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Откроет диалоговое окно <b>«Сохранить как»</b> - текущую открытую задачу можно сохранить под другим именем.</li> </ul>

## Правки

Кнопки на **панели** назначены для работы с данными обрабатываемой задачи. Вид панели разный в 1D и 2D программах. На панели инструментов находятся следующие кнопки:

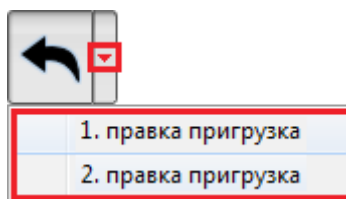


Панель инструментов «Правки» - 1D программы




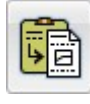

Панель инструментов «Правки» - 2D программы

Некоторые кнопки разделены на две части и одной кнопкой можно управлять несколькими функциями (отделена часть вправо со стрелкой).



Использование кнопки для нескольких функций

Назначение кнопок на панели:

	<b>Копировать данные</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Скопирует</b> данные текущей задачи в буфер обмена.</li> </ul>
	<b>Вставить данные</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Откроет диалоговое окно и <b>вставит</b> выбранные данные из другой программы GEO5 - напр., из программы <b>«Давление грунта»</b>, в программу <b>«Гравитационная стена»</b>.</li> </ul>
	<b>Отменить</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Вернёт последний выполненный шаг - функция доступна только в программах в 2D среде и должна</li> </ul>

- |  |                                   |  |
|--|-----------------------------------|--|
|  | <b>Отменить (несколько шагов)</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• быть включена в диалоговом окне «<b>Опции</b>»).</li> <li>• Откроет список шагов, которые можно вернуть.</li> </ul>                                   |
|  | <b>Вернуть</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Восстановит один отменённый шаг - функция доступна только в программах в 2D среды и должна быть включена в диалоговом окне «<b>Опции</b>».</li> </ul> |
|  | <b>Вернуть (несколько шагов)</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Откроет список шагов, которые можно восстановить.</li> </ul>  |

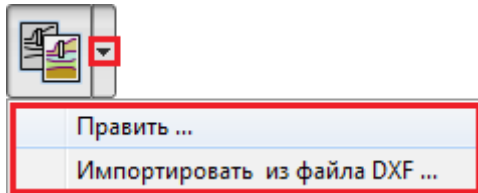
## Шаблон

Кнопки на панели назначены для работы с шаблоном DXF. На панели инструментов находятся следующие кнопки:



*Панель инструментов «Шаблон»*

Некоторые кнопки разделены на две части и одной кнопкой можно управлять несколькими функциями (отделена часть вправо со стрелкой). Кнопка получает эту функцию после загрузки шаблона.



*Использование кнопки для нескольких функций*

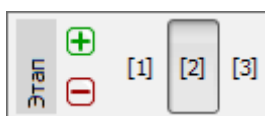
Individual buttons functions are following:

- |  |                            |  |
|--|----------------------------|--|
|  | <b>Шаблон</b>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Импортирует <b>шаблон из файла DXF</b>. Если шаблон установлен, <b>включает / выключает</b> отображение его значка на рабочем столе.</li> </ul> |
|  | <b>Править</b>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Откроет диалоговое окно <b>редактирования слоёв шаблона</b>.</li> </ul>   |
|  | <b>Импорт из файла DXF</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Откроет диалоговое окно <b>импорта</b> нового шаблона из файла DXF.</li> </ul>  |

## Этап проектирования

На панели расположены кнопки для работы с этапами проектирования. На рисунке показано расположение кнопок:





Панель инструментов «Список этапов проектирования»



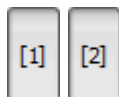
**Добавит этап проектирования**

- Добавит новый этап проектирования в конец списка.



**Удалит этап проектирования**

- Удалит последний этап проектирования из списка.



**Этап проектирования 1,2 ...**

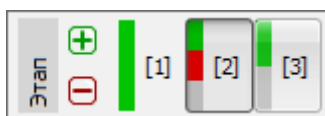
- Переключит между отдельными этапами проектирования - выборы делаем левой кнопкой мыши.

...

На этой панели во всех программах GEO5 можно задавать этапы проектирования. При помощи этапов проектирования создаётся модель постепенного возведения сооружения (**необходимо для программ «Ограждение котлованов-анализ», «Осадка», «МКЭ»**). Функция может быть использована также в параметрическом анализе; на каждом этапе проектирования расчёт можно делать с разной привязкой грунтов или другими коэффициентами расчёта. Очень удобно моделировать воздействия землетрясения на конструкцию на особом отдельном этапе проектирования, т.к. это позволяет вводить другие коэффициенты безопасности или расчёта.

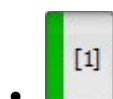
Всегда существует взаимосвязь между заданиями (привязка грунтов, анкеры, опоры....), **взаимосвязь между этапами проектирования** (**преемственность свойств**).

Некоторые программы с помощью цветной полоски показывают состояние, в котором находится расчёт на данном этапе.



Панель инструментов «Список этапов проектирования» - Цветная полоска показывает состояние расчёта

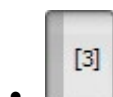
Значение цвета:



- зелёный - расчёт УДОВЛЕТВОРЯЕТ



- красный - расчёт НЕ УДОВЛЕТВОРЯЕТ

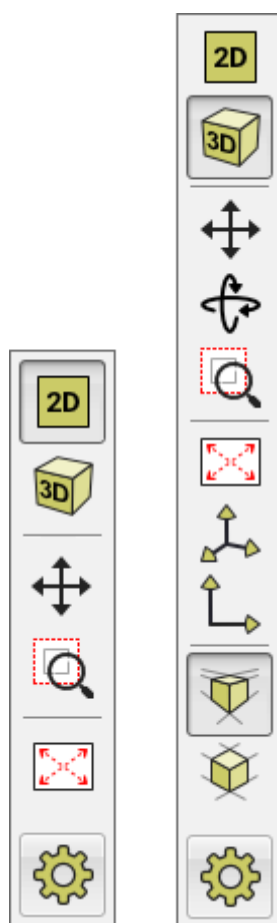


- серый - расчёт не выполнен

## Управление рисунком







Кнопки на панели назначены для управления рисунком на рабочем столе. Панель имеет разный вид в режимах 2D, 3D. На панели находятся следующие кнопки:










Панель инструментов «Управление рисунком» - вид панели в 2D и 3D изображении

Функции отдельных кнопок:

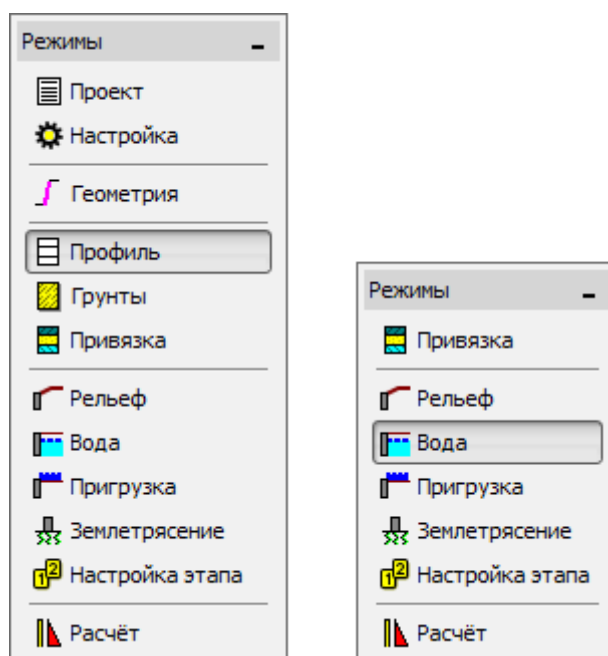
- |   |                                       |   |
|---|---------------------------------------|---|
|  | <b>2D изображение</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Покажет рисунок на рабочий стол в 2D изображении.</li> </ul>   |
|  | <b>3D изображение</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Покажет рисунок на рабочий стол в 3D изображении</li> </ul>  |
|  | <b>Сдвинет выделенный фрагмент</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Переместит в каком-либо направлении отображённый фрагмент-перемещение выполняем протягиванием и одновременным нажатием <b>левой кнопки мыши</b>.</li> </ul>        |
|  | <b>Развернёт сцену</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Развернёт в каком-либо направлении изображение рисунка ( в 3D) - перемещение выполняем протягиванием с одновременным нажатием <b>левой кнопки мыши</b>.</li> </ul> |
|  | <b>Изобразит обозначенную область</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Изобразит и увеличит обозначенную область - выбор площади области выполняем <b>левой кнопкой мыши</b>.</li> </ul>  |
|  | <b>Изменит масштаб</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Щелчком <b>левой кнопкой мыши</b> меняет максимальным увеличением/ уменьшением масштаб рисунка так, чтобы увидеть все объекты фрагмента.</li> </ul>                |

	<b>Предварительно заданный 3D вид</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Настроит вид рисунка по умолчанию (в <b>3D изображении</b>).</li> </ul>
	<b>2D вид</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Изобразит вид против направления оси Z</li> </ul>
	<b>Перспективный вид</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Настроит перспективный вид рисунка (в <b>3D изображении</b>).</li> </ul>
	<b>АксонOMETрический вид</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Настроит аксонометрический вид рисунка ( в <b>3D изображении</b>).</li> </ul>
	<b>Настройка рисунка</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Кнопка откроет рамку «<b>Настройка рисунка</b>». В рамке можно настраивать параметры рисования изображен</li> </ul>

## Режимы

На вертикальных панелях управления выбираем соответствующий режим ввода данных (проект, геометрия, профиль.....), включительно расчёта или проверки. После выбора в нижней части рабочего стола отобразится соответствующая **рамка** для ввода данных.

На панели управления всегда находятся только те режимы ввода, в которых могут быть заданы данные. Следовательно, если задача имеет несколько этапов проектирования, то на первом **этапе проектирования** на панели будут отображены все пункты меню, а на последующих этапах на панели будут отсутствовать пункты (режимы ввода), в которых нельзя изменять уже заданные данные.



*Панель переключения режимов ввода данных*

## Выводы

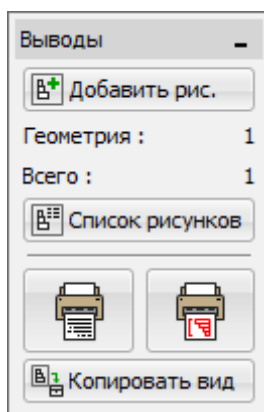
Отдельная панель инструментов назначена для работы с рисунками и выводимым

документом.

Кнопка «**Добавить рисунок**» открывает диалоговое окно «**Создать рисунок**». На следующей строке панели показано сколько сохранено рисунков в соответствующем режиме ввода данных. На строке «**Всего**» показано количество всех сохранённых рисунков. Кнопка «**Список рисунков**» открывает **списки рисунков**.

Следующие две кнопки открывают диалоговое окно «**Печать и экспорт документа**» и «**Печать и экспорт вида**».

Кнопка «**Копировать вид**» вставит текущий вид на рабочем столе в **буфер обмена**.

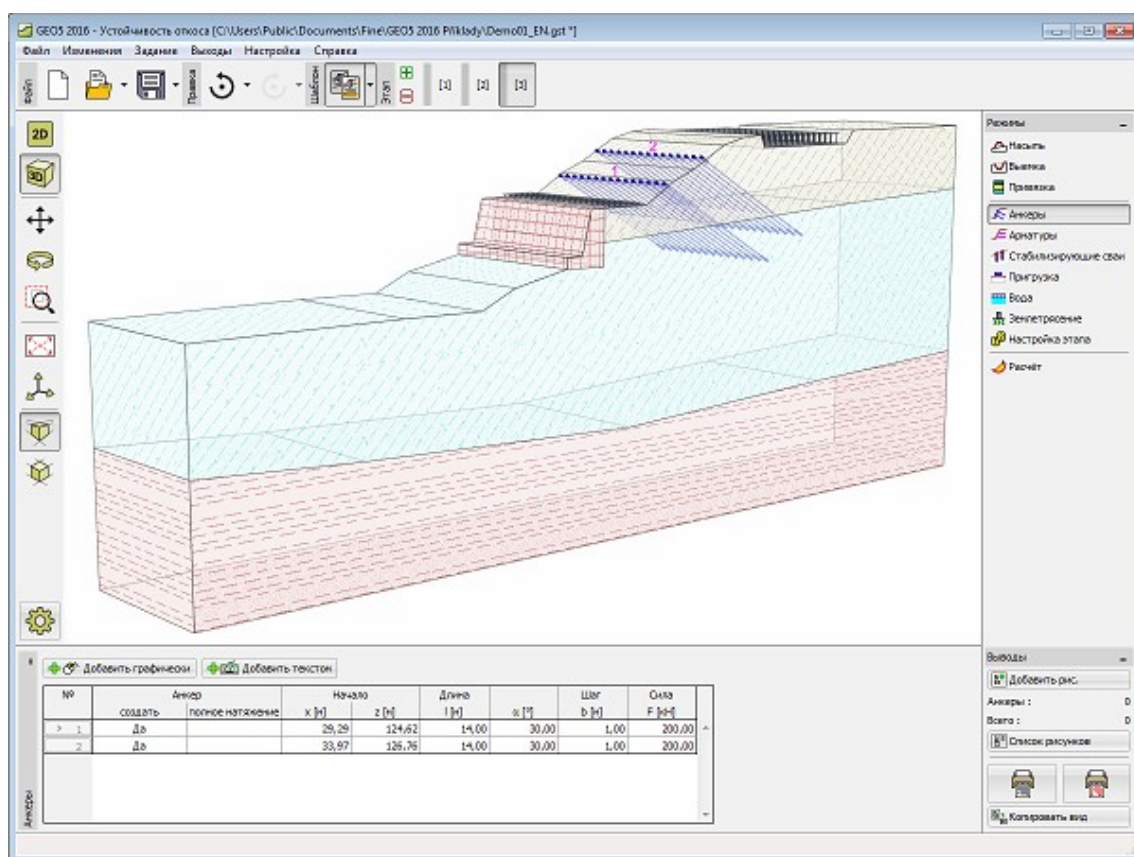


Панель управления «Выводы»

## 3D Изображение

Программы (1D, 2D) позволяют изобразить рисунок на рабочем столе в 3D режиме. 3D изображение информативно и позволяет более наглядную ориентировку в задаче (напр., расположение объектов) и презентацию результатов.

3D режим изображения рисунка включаем на панели инструментов «**Управление рисунком**». На панели находятся также инструменты для работы с рисунком.



3D изображение

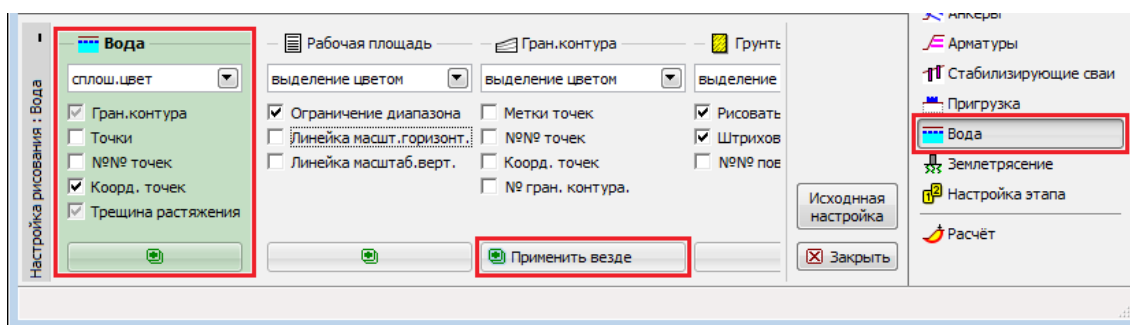
## Настройка рисования

С помощью рамки «**Настройка рисования**», устанавливаем параметры рисунка (это то, что будет изображено на рабочем столе компьютера). В любом режиме ввода данных можно рамку в нижней части рабочего стола переключить в режим «**Настройка рисования**», щёлкнув кнопку на панели инструментов «**Управление рисунком**».



Кнопка настройки рисования

Отдельные столбцы в окне соответствуют отдельным режимам ввода данных. Слева всегда показана настройка текущего режима (на рис. рамка «**Вода**»). В других столбцах можно определить изображение остальных вырисованных объектов. В рамке можно настраивать рисование только объектов текущего изображения.



Рамка в режиме «Настройка рисования»

Кнопка «**Применить везде**» внизу каждого столбца устанавливает параметры рисунка по умолчанию для **всех режимов ввода данных**.

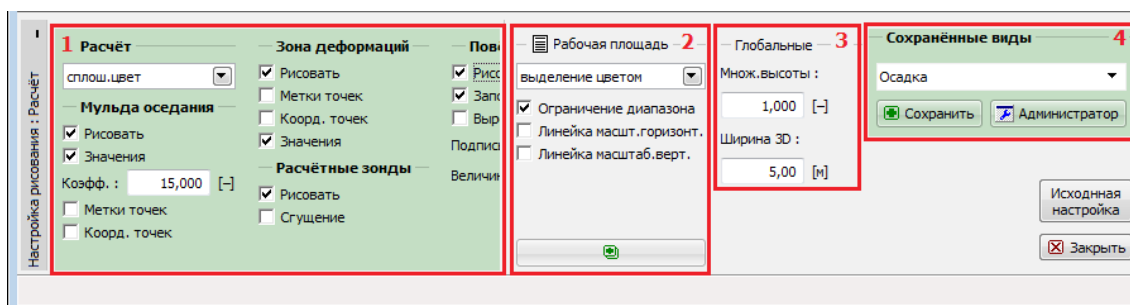
Кнопка «**Исходная настройка**» возвращает настройку в исходное состояние программы.

**Настройки в этой рамке предназначены исключительно для определения параметров отображения рисунка на рабочем столе - настройки параметров рисунка для вывода (на печать) устанавливаются в режиме «Добавление рисунка».**

В рамке могут находиться также столбцы со специальными настройками, которые отображаются только в отдельных случаях и в некоторых программах:

- Настройка **отображения результатов расчёта (1)**.
- Рабочая область (2D программы) - определяет некоторые специальные настройки (отображение пределов рисунка, масштаб) и являются глобальными настройками для **всех режимов ввода (2)**
- Множитель высоты (2D программы) - позволяет менять масштаб в вертикальном направлении (z). **(3)**
- Растягивание рисунка (1D программы) - позволяет менять масштаб в горизонтальном направлении (x). **(3)**
- 3D ширина - определяет в режиме **3D изображения** задачи ширину изображённого рисунка **(3)**
- **Сохранение видов** (программы «Осадка», «МКЭ») **(4)**

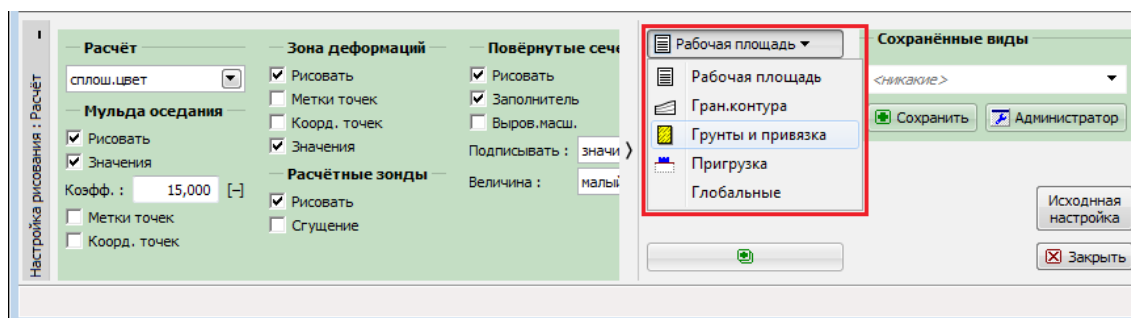
Настройка цветов фона, цветов линий стилей линий и стилей заполнителей определяется для всех программ в «**Администраторе стилей отображения**».



Рамка в режиме «Настройка рисования» - специальные настройки

Первый столбец в рамке иногда разделён на несколько секций (напр., настройка отображения результатов). В этом случае столбцы для остальных режимов объединены в один столбец. Кнопкой в заголовке столбца можно выбирать режим, в котором следует

отредактировать настройку рисунка.

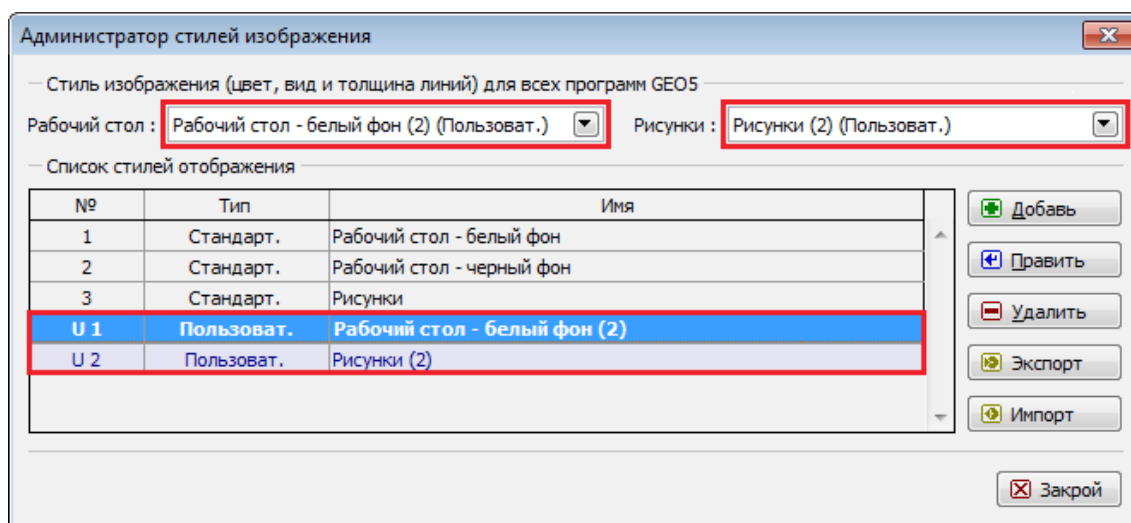


Рамка в режиме «Настройка рисования» - объединено несколько секций (столбцов)

## Администратор стилей изображения

**Администратор стилей изображения** служит для глобальной настройки стиля рисования (цвета изображаемых объектов, цвета линий, стили заливок, цвета при выборе объектов). Пользователь может настраивать стиль изображения для рисунков на рабочем столе и в **выводимых документах для всех программ GEO5**.

Диалоговое окно доступно в меню (пункты «**Настройка**», «**Стиль изображения**»). Стиль изображения выбирают в выпадающих списках «**Рабочий стол**» и «**Рисунки**».



Диалоговое окно «Администратор стилей изображения»

Помимо стилей изображения по умолчанию для **рабочего стола** (белый и чёрный фон) и **рисунков** можно определять собственный (пользовательский стиль изображения).

### Как создать пользовательский стиль изображения:

В списке в диалоговом окне «**Администратор стилей изображения**» выбираем исходный стиль изображения, который будем править.

Кнопкой «**Добавить**» открываем диалоговое окно «**Добавить стиль изображения**».

В выпадающем списке «**Показать настройку для программы**» можно отфильтровать режимы по программе или показать все настройки.

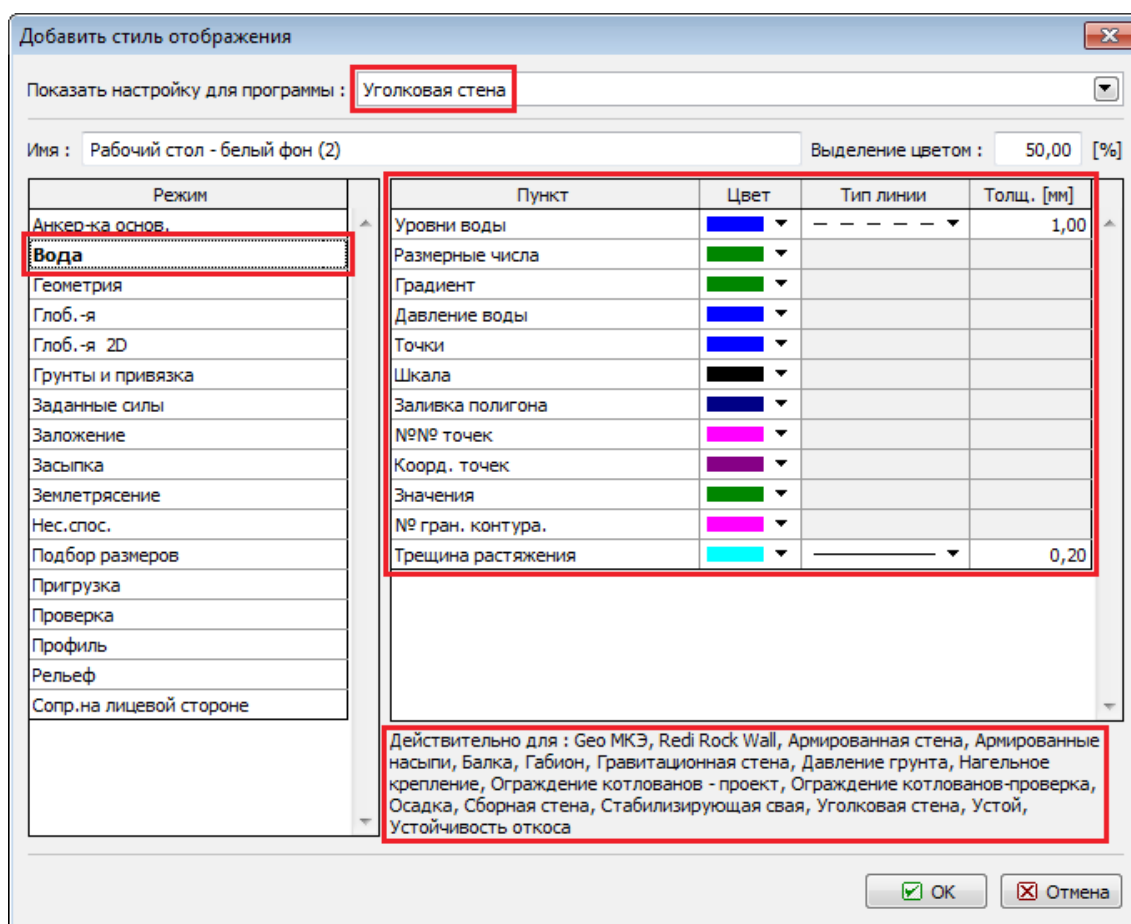
В поле «**Имя**» вводим название задаваемого стиля изображения.

В списке **«Режим»** в левой части окна **выбираем режим** (напр., Подбор размеров, Геометрия, Рельеф, Вода.....), для которого будем менять стиль изображения. В правой части окна **устанавливаем новый стиль** рисования объектов, изображаемых в данном режиме (напр., Уровень воды, Давление воды, Номера точек, Трещина растяжения.....)

В нижней части окна показан **список программ GEO5**, которых касается правка стиля изображения.

**Пример:** В программе **«Угловая стена»** в режиме **«Вода»** меняем стиль изображения **«Трещины растяжения»** (цвет, сплошная линия, толщина, 3мм). Эта настройка **распространяется на все программы перечисленные в списке** в диалоговом окне (»Габрион», »Гео МКЭ», »Нагельное крепление», »Балка», »Устой»....) - см. рисунок.

Кнопка **«ОК»** закрывает диалоговое окно, сохраняет пользовательскую настройку стиля и добавляет имя стиля в список в диалоговом окне **«Администратор стилей изображения»**. Одновременно имя будет отображено в выпадающих списках **«Рабочий стол»** или **«Рисунки»** - следовательно, после ввода нового стиля **необходимо новый стиль внести** в поле для рисования на рабочий стол или вывода на печать.



Диалоговое окно «Добавить стиль изображения»

## Рамки

Рамка - это постоянное окно в нижней части **окна программы**. Вид рамки меняется в зависимости от режима ввода данных задачи на вертикальной полосе управления **«Режимы»** и с помощью кнопки на панели инструментов **«Управление рисунком»**. Рамка

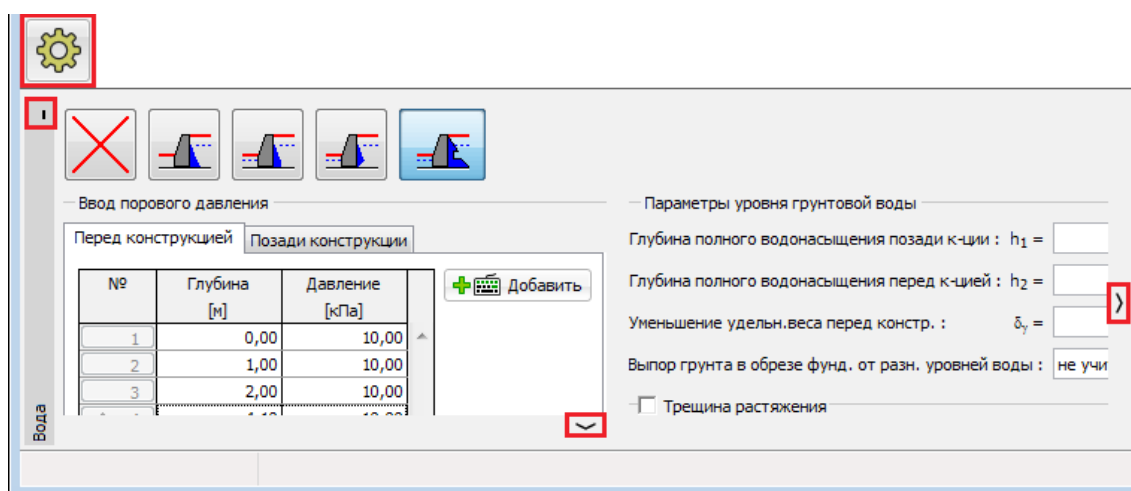


может содержать следующие элементы управления: **таблицу**, выпадающий список, поле ввода данных ( $h_1$ ,  $h_2$ ,...), командные кнопки.

При выборе элементов клавишами пользуемся функциональной клавишей **«ТАБУЛЯТОР»**, стрелками курсора для перемещения по выбранному элементу (напр., выпадающему списку). Флажки отмечаем или снимаем клавишей пробела. При выборе мышью пользуемся левой кнопкой.

Командными кнопками вызова диалоговых окон (**«Добавить»**, **«Добавить текстом»**, **«Добавить графически»**) можно управлять только левой кнопкой мыши.

В случае, что ширина или высота окна не позволяет отображать все элементы рамки, то с помощью кнопок можно производить перемещение в вертикальном или горизонтальном направлении.

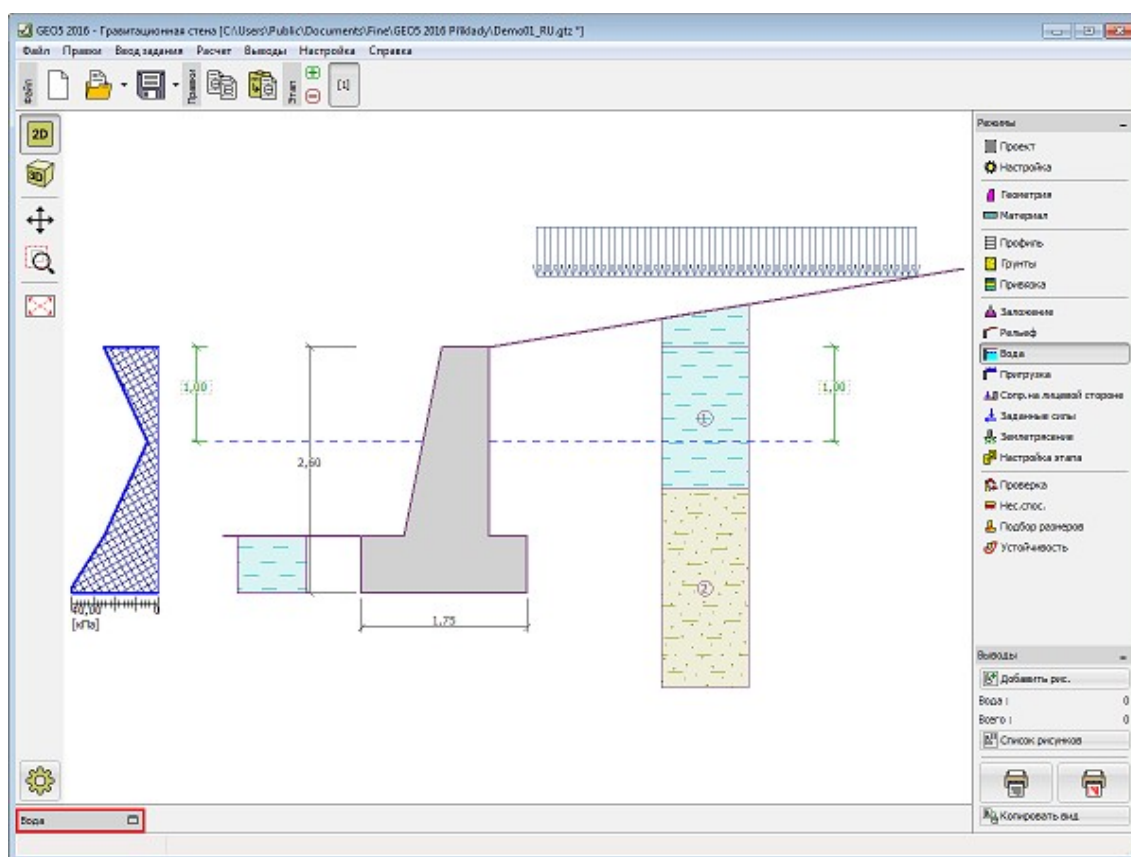


### Элементы управления рамки

Рамку можно свернуть кнопкой в верхнем левом углу. В этом случае рамку заменит поле для отрисовки задачи. Величину (высоту) рамки можно менять тоже мышью: удерживая левую кнопку мыши, одновременно тянуть верхний край рамки. Иногда удобнее использовать область рамки для увеличения рисунка, а ввиду того, что программа использует систему **активных отметок и объектов**, изображение рамки не всегда необходимо.

Возврат рамки в исходное состояние выполняем нажатием кнопки в левом нижнем углу рабочего стола, где находится название рамки. Свёрнутая рамка, напр., в режиме **«Грунты»**, остаётся свёрнутой и после переключения в другой режим ввода данных.





Элементы управления рамкой

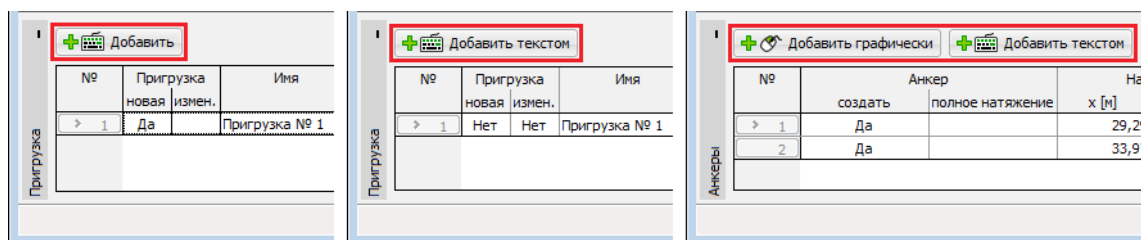
## Таблицы

Таблица - это список введенных данных (напр., список пригрузок, грунтов, границ контура.....). Заголовок таблицы содержит перечень строк (пригрузка, название, ширина, величина.....).

### Добавление новой строки в таблицу

Конкретный вид таблицы обусловлен выбранным **режимом ввода данных**. Важна графическая связь между строками таблицы и их отображением на рабочем столе. Некоторые данные (объекты) можно **вводить** только текстом, некоторые также графически мышью. Когда программа позволяет текстовый и графический вводы, в таблице отобразятся обе кнопки.

Пока **таблица ещё не содержит строку** или **в таблице нет выделенной строки**, над таблицей отображены только кнопки «**Добавить**», «**Добавить текстом**» или «**Добавить графически**». Пользуясь этими кнопками можно добавить новую строку в список таблицы.

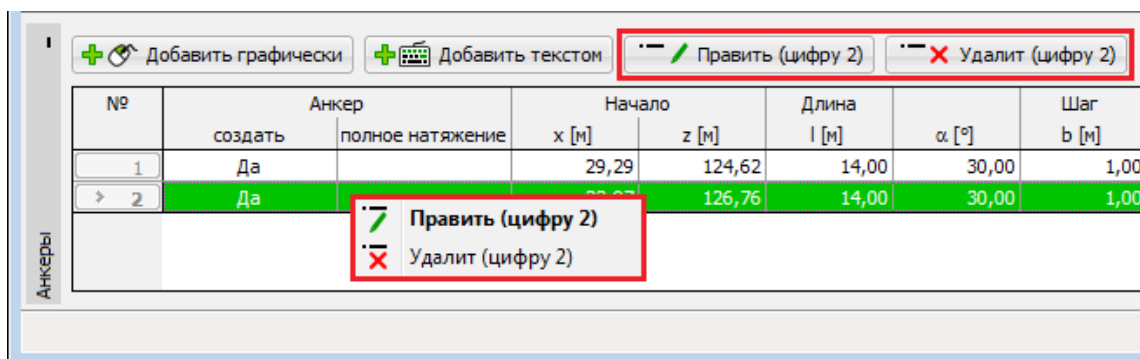


### Добавление новой строки в таблицу

#### Редактирование строк в таблице

В случае, что в таблице обозначена строка (выделена зелёным цветом), над таблицей активируются кнопки «**Править**» и «**Удалить**». В скобках в тексте на кнопке отобразится **номер строки** в таблице. С помощью этих кнопок можно редактировать отдельные строки в таблице.

Выбор строк в таблице выполняется нажатием **левой кнопки мыши**. Щелчком правой кнопки на любой строке таблицы открывается **контекстное меню**.

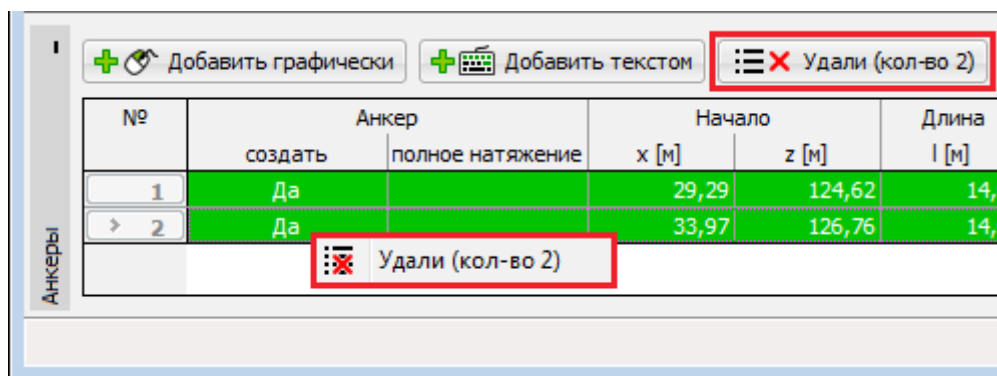


#### Правка строк таблицы

Когда данная операция **позволяет**, напр., **удалить строку** таблицы, то одновременно можно отредактировать несколько строк таблицы. На изображении показаны две выбранные строки таблицы. Из изображения следует, что в данном случае единственным возможным выбором - это убрать обе строки таблицы, следовательно, кнопка «**Править**» отсутствует.

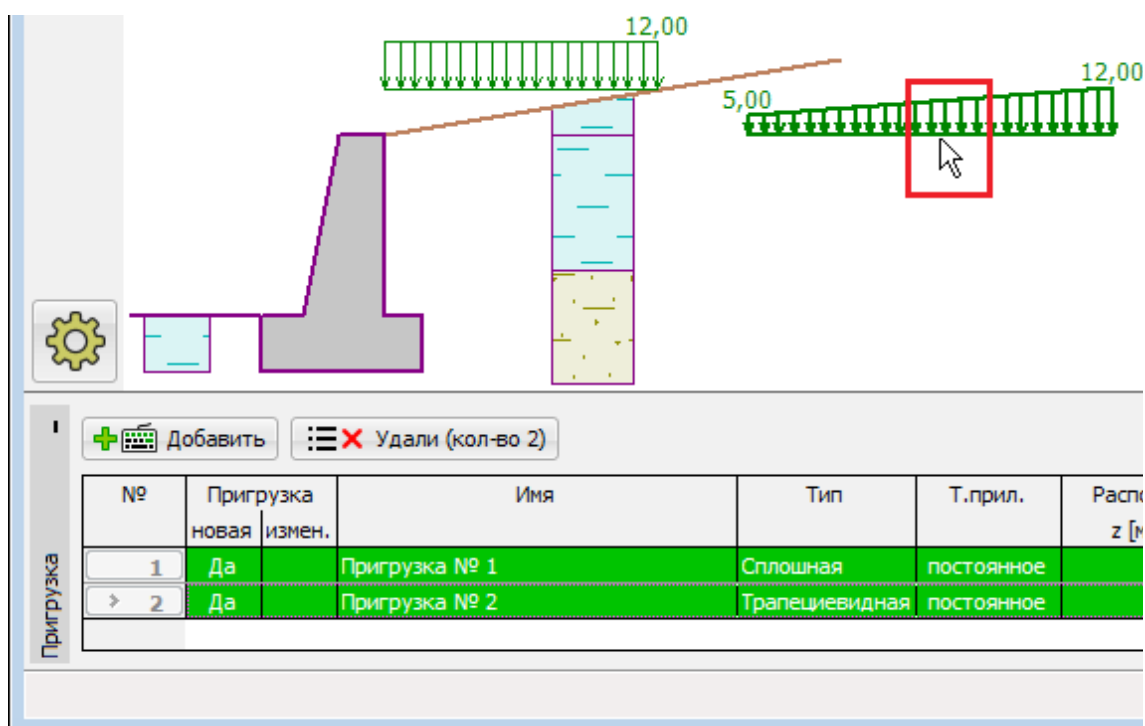
**Выбор нескольких строк таблицы осуществляется нажатием левой кнопки мыши и одновременным удерживанием клавиши CTRL.** Удерживанием клавиши **SHIFT** и щелчком левой кнопки мыши выбираем все строки вверх/вниз от выбранной строки.

Щелчок вне пределов строк отменяет выбор.



#### Правка нескольких строк таблицы

Состояние выбора строк в таблице соответствует состоянию отображения **объектов** на рабочем столе ( и обратно). Когда в таблице выбрана строка или группа строк, на рабочем столе соответствующие объекты будут выделены тем же цветом. Когда **указатель мыши** подведён над некоторый из объектов, объект отобразится **жирными** линиями. После нажатия кнопки «**Удалить**», объекты (и строки таблицы) назначенные на удаление будут выделены **красным** цветом.



Отображение выбранных объектов

Цвета обозначения объектов настроены по умолчанию, но их можно поменять в диалоговом окне «Администратор стилей изображения».

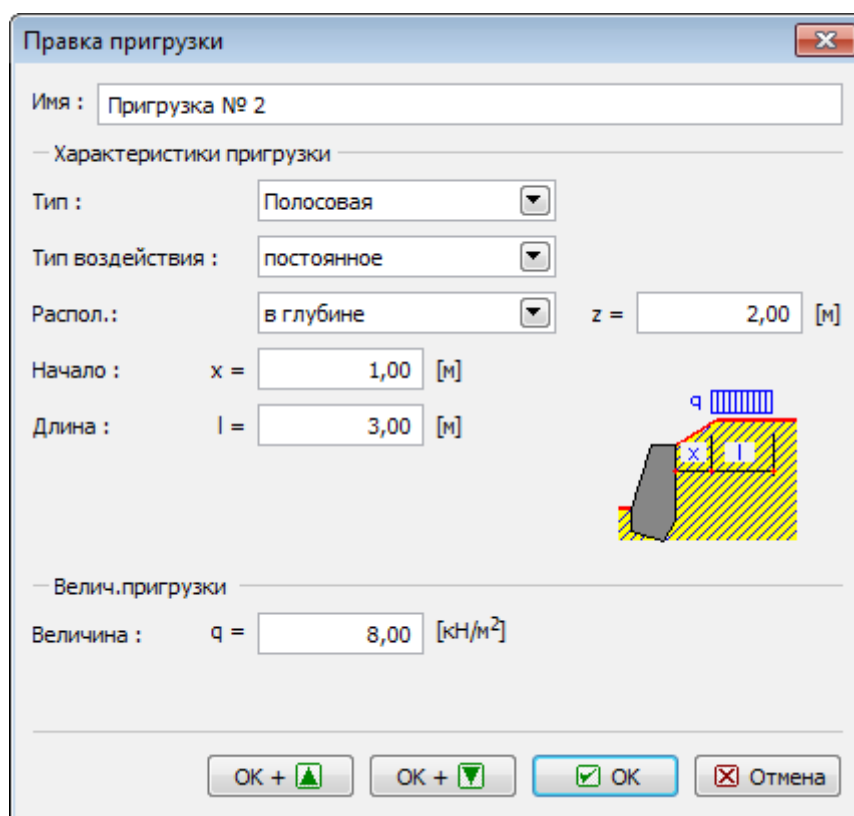
## Диалоговые окна

Диалоговое окно - один из элементов, с помощью которых вводим данные в программу. Диалоговые окна программ GEO соответствуют принятым обычаям управления в среде Windows. Выбор объектов в окне выполняется левой кнопкой мыши или функциональной клавишей «**ТАБУЛЯТОР**». Перемещение внутри объекта (напр., поля ввода) выполняется с помощью стрелок курсора и клавиши «**ENTER**».

Диалоговое окно может иметь следующие элементы управления: **таблицу**, выпадающий список, поле ввода данных (чисел, текста), командные кнопки. Командная кнопка «**ОК**» подтверждает выбор, «**Отмена**» отменяет задание.

Если в окне находится нетипичный элемент управления (или элемент использован другим образом, чем обычно), его функция описана в соответствующем режиме ввода данных.

Напр., на следующем рисунке отображено диалоговое окно «**Правка пригрузки**», в котором находятся кнопки «**ОК+▲**» и «**ОК+▼**». Эти кнопки позволяют перелистывать список заданных пригрузок и одновременно подтверждать изменения в окне. Нажатие этой кнопки даёт тот же эффект как закрытие окна кнопкой «**ОК**» и повторное её открытие для следующего элемента списка пригрузки.

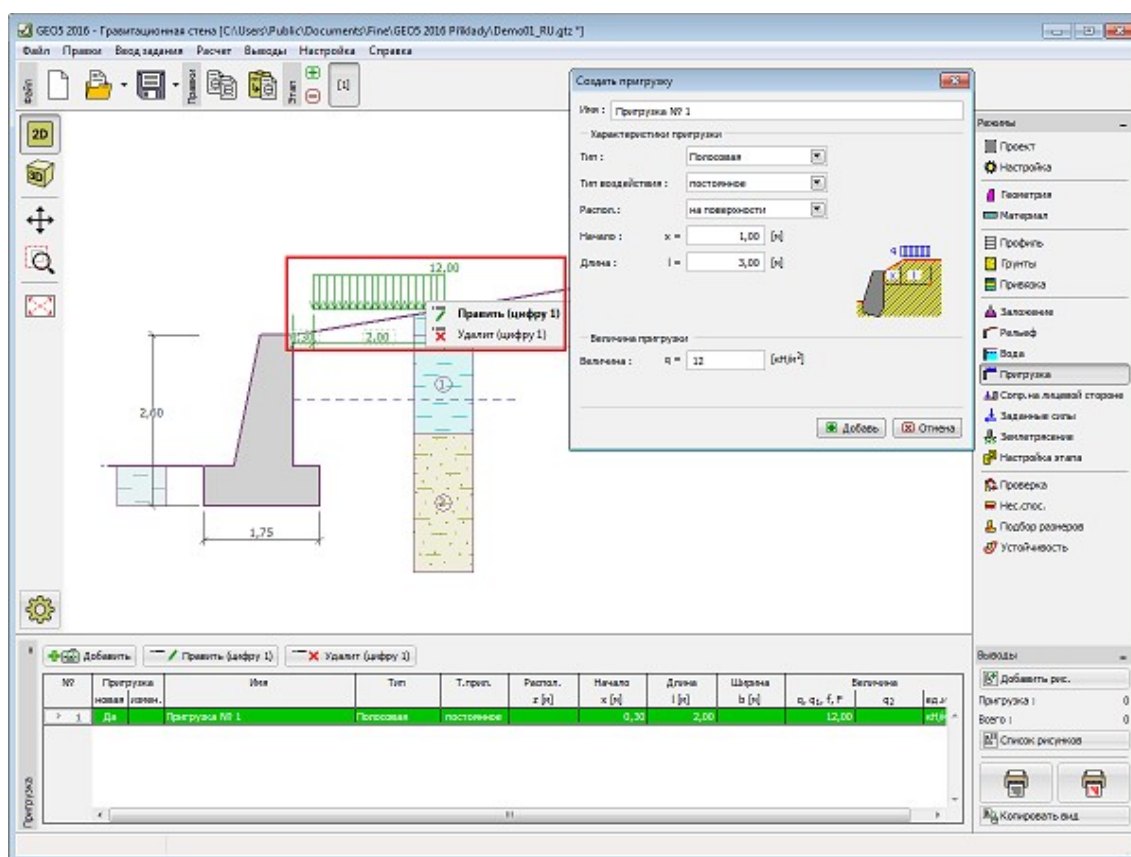


Пример диалогового окна

## Активные отметки и объекты

Система активных отметок (размеров) и объектов ускоряет редактирование заданных данных.

- **Активный размер** - это размер, редактировать который можно непосредственно на рабочем столе компьютера. Значение активного размера обозначено рамкой (штрихованной). Щелчком **левой кнопки мыши** на значение рамка меняется (показана сплошной линией), а возле цифры начинает мигать курсор и размер можно редактировать. Правка завершается клавишей «**Enter**», или щелчком левой кнопки мыши вне рамки со значением. Изменение немедленно отобразится на рабочем столе.
- **Активный объект** работает подобным образом. Двойным щелчком левой кнопкой мыши активируем процесс редактирования. В данном случае значения меняем не на рабочем столе, а в диалоговом окне, в котором был объект создан. На рисунке показан пример активного объекта (пригрузка); после щелчка на рабочий стол откроется диалоговое окно «**Правка пригрузки**». У активных объектов можно использовать также **контекстное предложение**.



Пример применения активной отметки (размера) и объекта

## Функции мыши компьютера

Также как остальные приложения в среде Windows, программы GEO5 используют мышь компьютера.

### Использование Маска мыши

#### Выбор 1 элемента

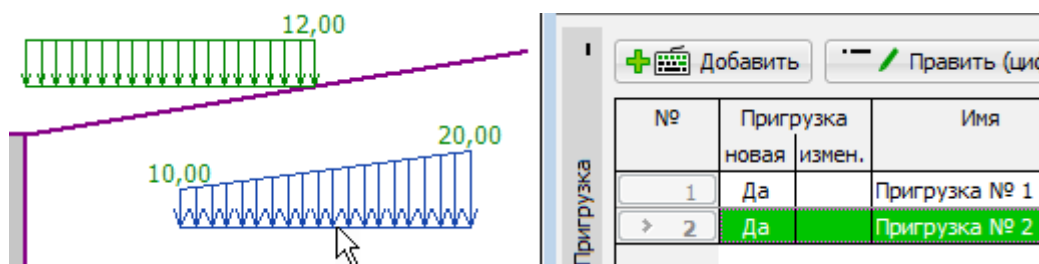


### Кнопка мыши

левая

### Описание функций

Щелчок левой кнопки мыши выделяет **активный объект** или строку **таблицы**.



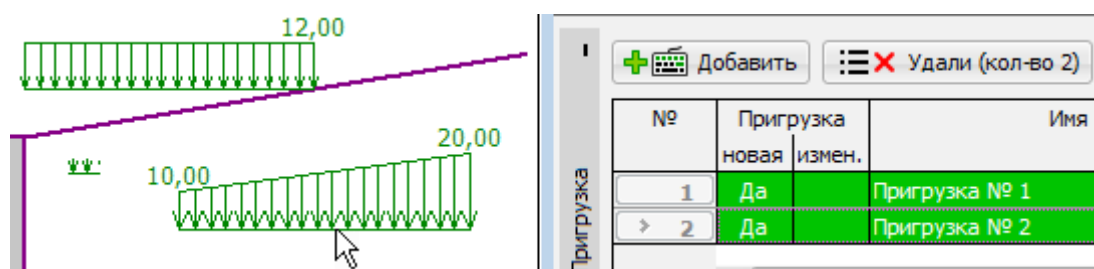
Пример использования

### Выбор



CTRL + левая, Удерживание клавиши **CTRL** и щелчок левой SHIFT + левая кнопкой мыши добавляет (убирает) в выделение какое-либо количество **активных объектов** или строк **таблицы**. В таблице удерживание клавиши

**SHIFT** и щелчок левой кнопкой мыши выделит все строки вверх/вниз от выделенной строки.



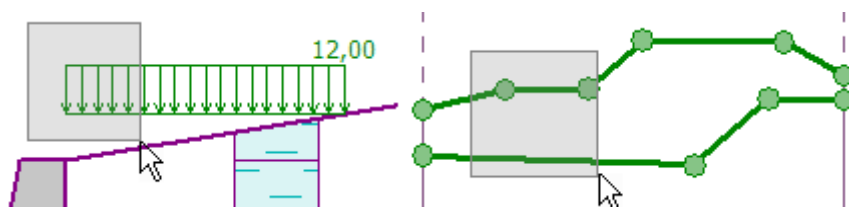
Пример использования

**Графический выбор**



левая

Удерживание левой кнопки мыши и перетаскивание на рабочем столе создаёт выделенную область. **Активные объекты** внутри области (в т.ч. частично выделенные) будут добавлены в выделение.



Пример использования

**Масштабирование**



средняя  
(колесо)

Движение колеса мыши увеличит (уменьшит) масштаб рисунка на рабочем столе при сохранении центра фрагмента.



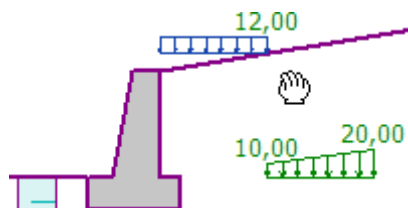
Пример использования

**Масштабирование**



средняя  
(колесо)

Двойной щелчок колесом изменит масштаб, **максимально его увеличивая** так, чтобы были видны все объекты в фрагменте.

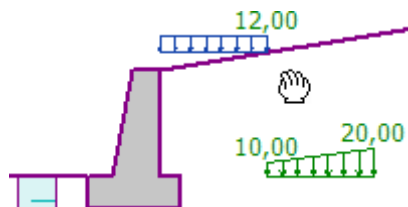


Пример использования

**Сдвиг**

средняя  
(колесо)

Переместит в любом направлении отображённый фрагмент перетаскиванием при нажатой средней кнопке (колесо) мыши.

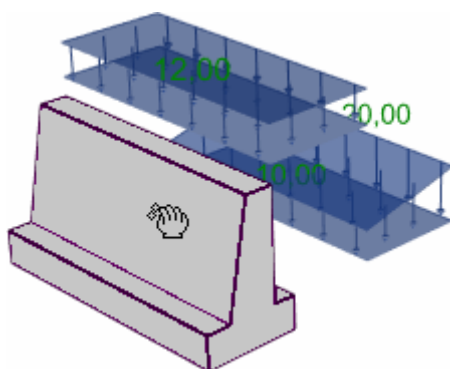


*Пример использования*

**Поворот**

средняя  
(колесо)

Удерживание клавиши **CTRL** и одновременное нажатие средней кнопки (колеса) мыши повернёт 3D сцену.

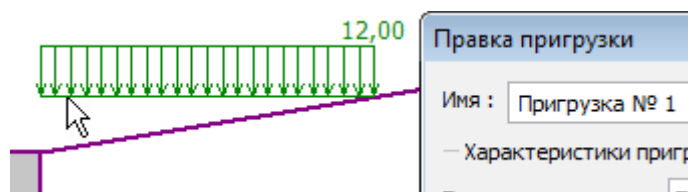


*Пример использования*

**Открывает диалог**

левая

Двойной щелчок левой кнопкой мыши по активному объекту или строке таблицы откроет соответствующее диалоговое окно.

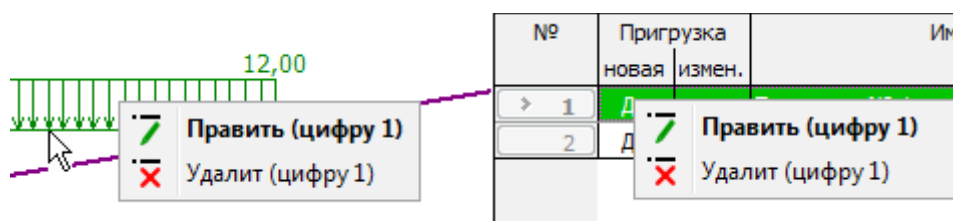


*Пример использования*

**Контекстное меню**

правая

Щелчок правой кнопкой мыши по активному объекту или строке таблицы откроет контекстное меню.



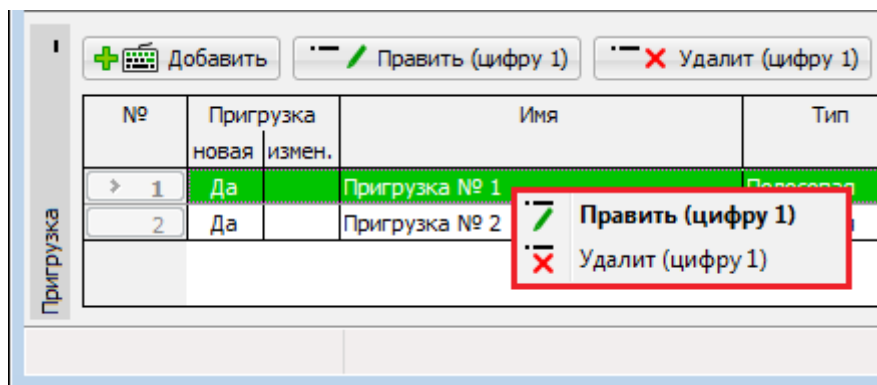
*Пример использования*

## Контекстное меню

В программах имплементировано контекстное меню **правой кнопки мыши**. Контекстное меню активируется щелчком правой кнопки мыши по **объекту** или строке **таблицы**.

### Контекстное меню при редактировании в таблицах

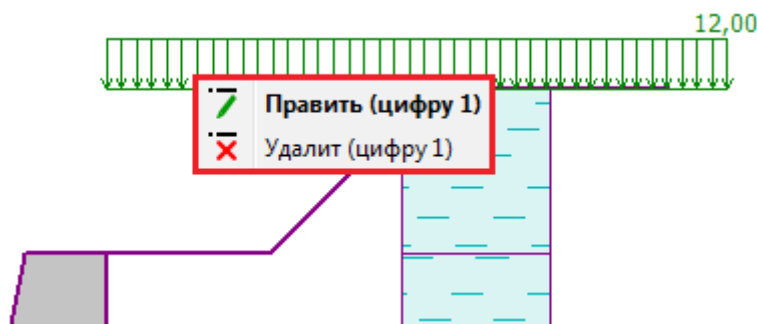
При выборе строки в **таблице** **правой кнопкой мыши** появляется контекстное меню. Число в скобках за названием команды - это номер редактируемой строки. Нужный пункт в контекстном меню выбираем левой или правой кнопкой мыши.



*Контекстное меню при редактировании в таблицах*

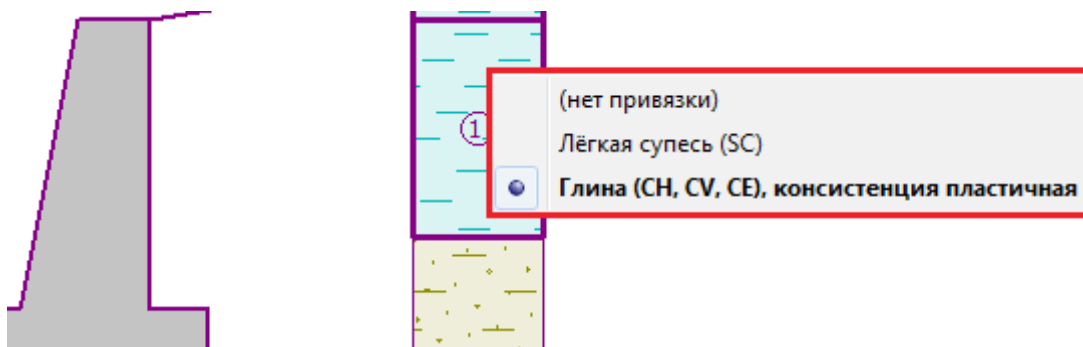
### Контекстное меню при редактировании объектов

При выборе **объекта** **правой кнопкой мыши** появляется контекстное меню. Число в скобках за названием команды - это номер редактируемого объекта (соответствует одновременно номеру строки в таблице). Нужный пункт в контекстном меню выбираем левой или правой кнопкой мыши.



*Контекстное меню при редактировании активных объектов*

Контекстное меню можно использовать, напр., при привязке грунтов.



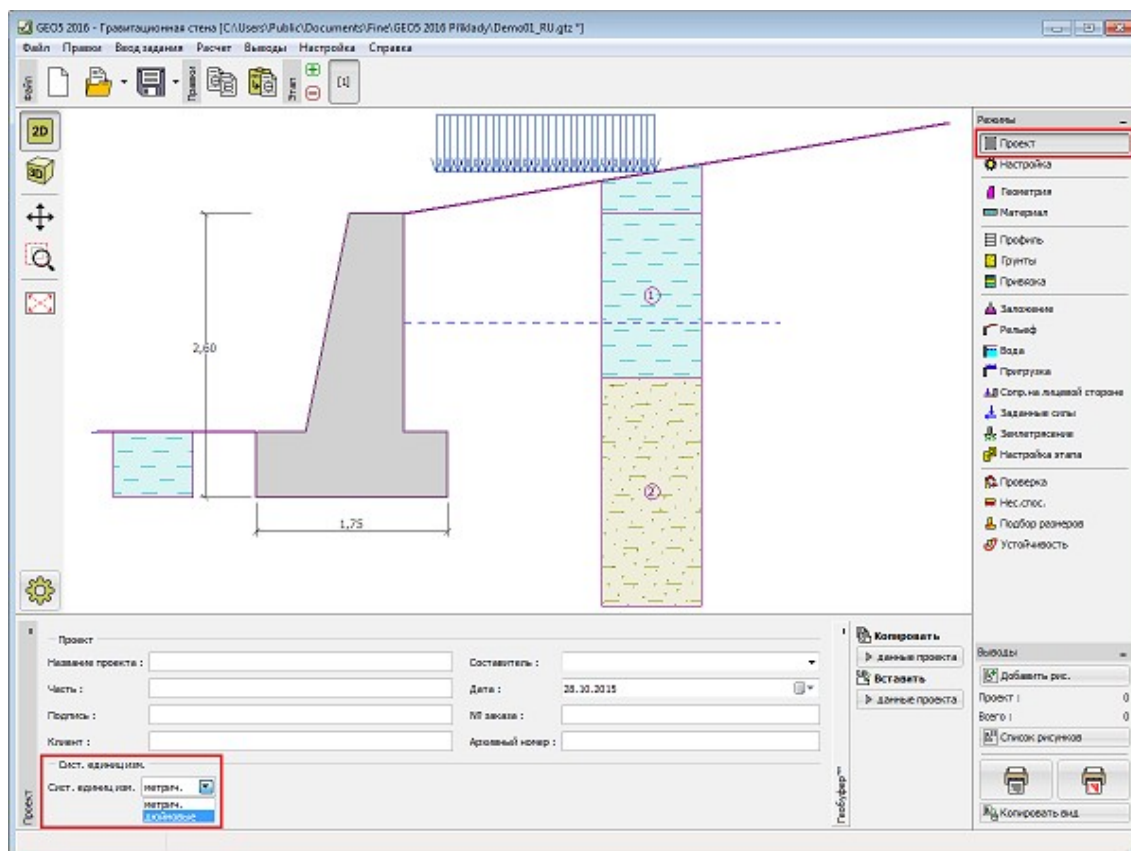


### Контекстное меню - привязка грунтов

У активных объектов можно альтернативно использовать функцию **активных размеров и объектов**.

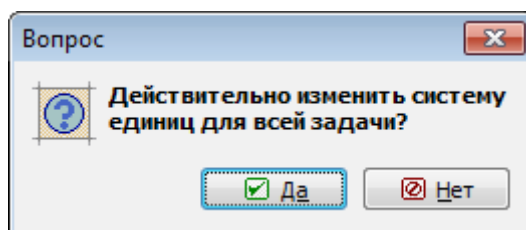
## Единицы измерения - метрические / дюймовые

Программа позволяет выбирать **метрические или дюймовые** единицы измерения в рамке «Проект».



### Изменение единиц измерения

В выпадающем списке выбираем тип единиц измерения. Программа сообщает об изменении в диалоговом окне и запрашивает подтверждение выбора.



### Диалоговое окно подтверждения изменения единиц

## Копия в буфер обмена

Программа позволяет пользоваться буфером обмена Windows двумя способами:

- Можно копировать текущий вид на рабочем столе. Рисунок можно вставить в любой редактор (MS Word, Рисование, Adobe Photoshop и др.) Копирование вида в буфер можно выполнять или в **управляющем меню** (пункты «**Выводы**», «**Копировать вид**»), или кнопкой на панели управления «**Выводы**». Настройка параметров выполняется в диалоговом окне «**Опции**», закладка «**Копия в БО**».
- В буфер можно копировать входные данные программы (параметры грунтов, профиль а граница контура, пригрузка, влияние воды, рельеф и др.). Из скопированных данных можно создавать новое задание в той же или другой программе GEO5. Копирование в буфер обмена можно выполнять или в управляющем меню (пункты «**Правки**», «**Копировать данные**», «**Вставить данные в новое задание**») или кнопкой на панели инструментов «**Правки**».

В программе можно использовать также специальный **Геобуфер** системы GEO5, которая позволяет передачу данных между режимами и этапами одной или нескольких программ.

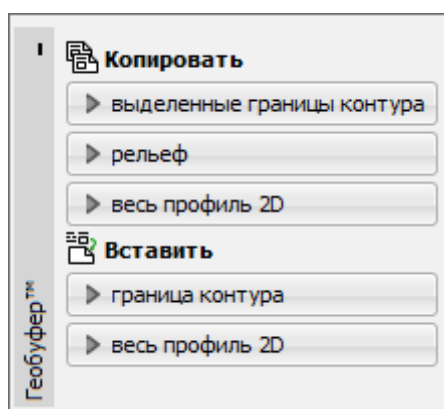
## Геобуфер

**Геобуфер** - это специальная буферная память программ системы GEO5, позволяющая обмен данными между режимами и этапами одной или нескольких программ.

Основные характеристики **Геобуфера**:

- в Геобуфере можно хранить одновременно разные данные; напр., если в Геобуфер были скопированы границы контура а после этого данные по грунтам, то предыдущая информация (границы контура) сохраняется..
- данные сохраняются и после выхода из программы, и после повторного старта компьютера до момента их замены таким же видом данных
- каждому пользователю компьютером присвоен свой Геобуфер
- при копировании данных из Геобуфера программа всегда показывает изменения, вызванные после вставки данных и предоставляет возможность откорректировать параметры вставки

**Геобуфер** управляется всегда той рамкой, данные которой обрабатываются. Пример элемента управления:



*Геобуфер*

**Геобуфер** имплементирован для следующих данных:

- **проект**
- **2D границы контура**, в т.ч. копия расчётного У.Г.В. и топология этапов в программе

МКЭ

- грунты и твёрдые тела
- 2D привязка
- полевые испытания

## Копирование, вставка данных проекта

**Геобуфер** позволяет передачу данных проекта.

При копировании в **Геобуфер** скопируются все заданные непустые данные.

Вставка данных происходит посредством следующего окна:

Пункт	Вставить	Значение
Название проекта	<input checked="" type="checkbox"/>	Terraces Hanspaulka
Часть	<input checked="" type="checkbox"/>	South-facing slope
Подпись	<input checked="" type="checkbox"/>	South-facing slope, part III.
Клиент	<input type="checkbox"/>	Belltrade LTd.
Составитель	<input checked="" type="checkbox"/>	James Baker
Дата	<input type="checkbox"/>	4.1.2013
№ заказа	<input checked="" type="checkbox"/>	845/2013
Сист. единиц изм.	<input checked="" type="checkbox"/>	метрич.

23,52; 109,61 [м]

*Вставка данных проекта из Геобуфера*

В этом окне можно уточнять некоторые из данных о проекте, которые будут вставлены (колонок «**Вставить**»). Сама вставка и следовательно изменение данных происходит после нажатия кнопки «**Вставить**».

## Копирование и вставка 2D границы контура

Геобуфер позволяет передачу 2D-границы контура между следующими режимами:

- границы контура
- насыпь и выемка
- вода
- несжимаемый подстилающий слой

Далее, Геобуфер позволяет копировать данные в программе МКЭ:

- в режиме «**Расчёт**» копировать вычисленные результаты уровня грунтовой воды, в частности при расчёте движения воды (течения)
- в режиме «**Активация**» границы контура отредактированное с учётом активности так, чтобы удовлетворять условиям для 2D профиля

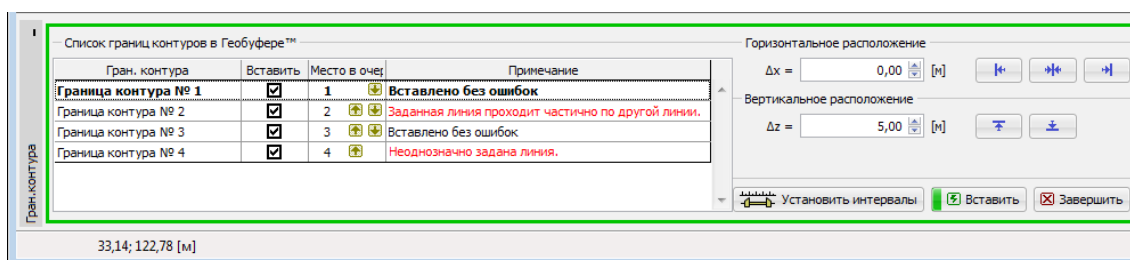
Копировать в Геобуфер можно следующее:

- актуально обозначенные границы контура

- выбранные границы контура
- рельеф текущего этапа
- 2D профиль в целом

### Вставка границ контура

При вставке более чем одной границы контура из Геобуфера отдельные границы контура пользователь задаёт последовательно. Управлять процессом можно в следующем окне:



#### Вставка 2D границ контура из Геобуфера

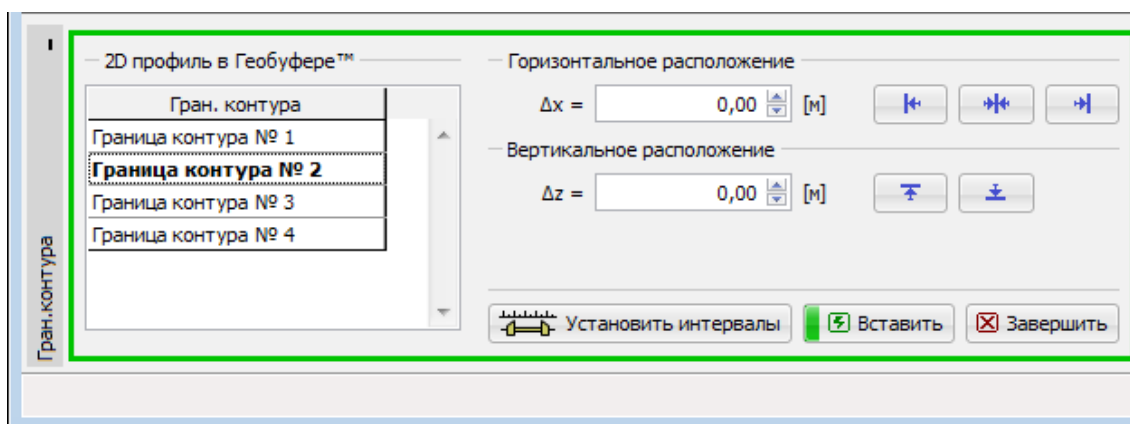
В данном окне в колонке «**Вставить**» можно уточнить которая из границ контура будет вставлена, в какой последовательности (менять кликом мыши на или клавишами **Ctrl+Shift+стрелка вверх или вниз**), или на какое (любое) место будет помещена. В режимах, в которых можно вставить только одну границу контура, колонка «**Вставить**» меняется (выбор одной опции), а колонка «**Место в очереди**» становится невидимой.

Программа предварительно просматривает изменения, вызванные вставкой, а в колонке «**Примечание**» показывает результат вставки отдельных границ контуров из Геобуфера. Собственно вставка и, последующее изменение данных происходит после нажатия кнопки «**Вставить**».

Одну и ту же границу контура можно вставлять многократно, располагать её по-разному и, таким образом, задавать, напр., наклонный слоистый подстилающий слой.

### Вставка 2D профиля

Этот режим позволяет добавить весь 2D профиль из Геобуфера в текущий 2D профиль. В данном случае выбирать границу контура для вставки нельзя. Менять можно только расположение. В ходе операции программа просматривает получаемый в результате 2D профиль. Собственно вставка и последующее изменение данных произойдёт после нажатия кнопки «**Вставить**».



#### Вставка 2D профиля из Геобуфера

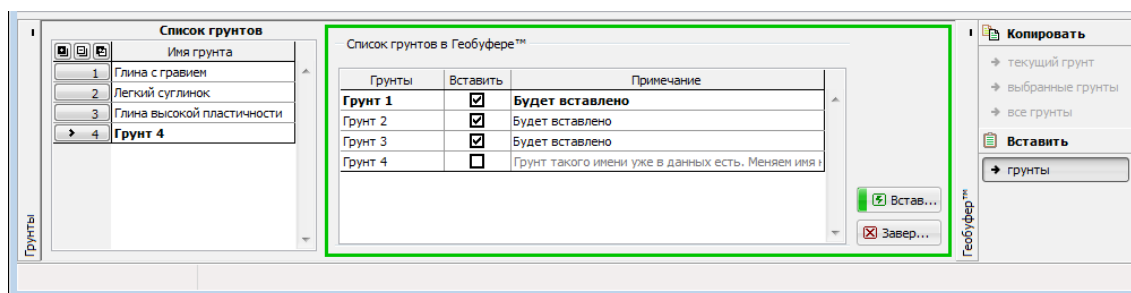
## Копирование и вставка грунтов и твёрдых тел

Геобуфер позволяет передачу грунтов и твёрдых тел.

В Геобуфере можно копировать:

- актуально обозначенный грунт (твёрдое тело)
- выбранные грунты (твёрдые тела)
- все грунты (твёрдые тела)

Вставка грунтов (твёрдых тел) из Геобуфера осуществляется в следующем окне:



*Вставка грунтов из Геобуфера*

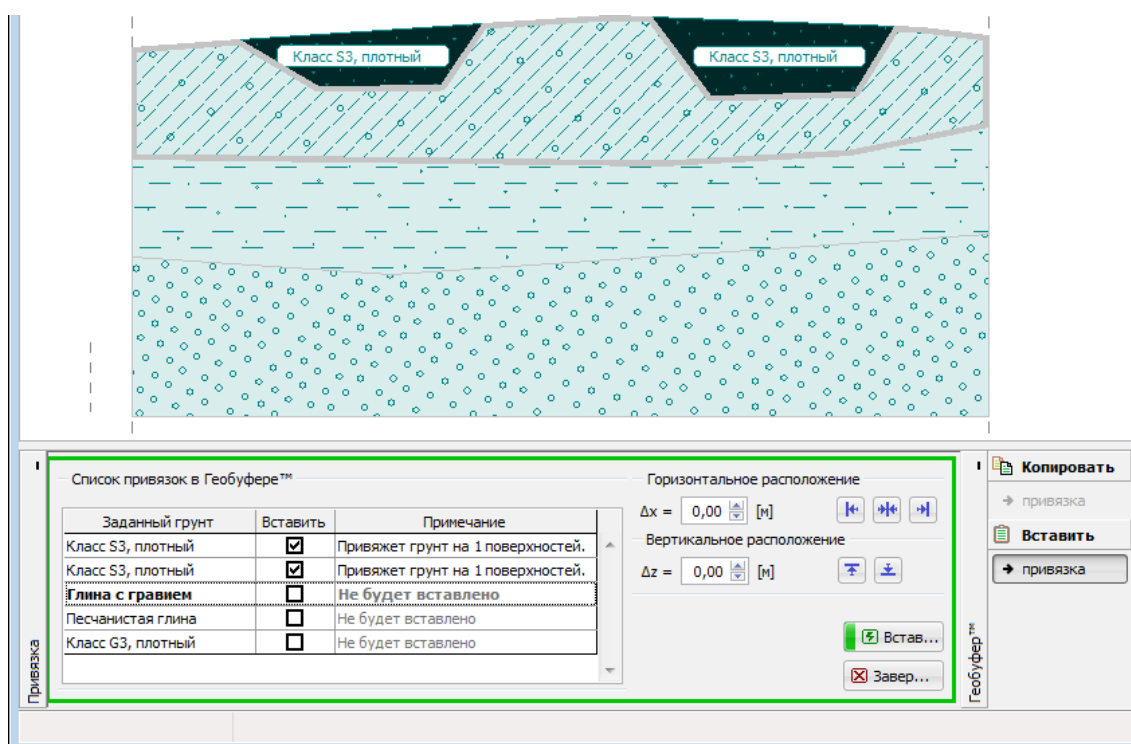
В окне можно уточнить которые из грунтов (твёрдых тел) будут вставлены (колонка «**Вставить**»). В случае, что имя вставляемого грунта (твёрдого тела) соответствует имени другого грунта (твёрдого тела) в данных, программа меняет имя на уникальное. Собственно вставка и изменение данных произойдёт после нажатия кнопки «**Вставить**».

## Копирование и вставка 2D привязки

Геобуфер позволяет передачу 2D привязки.

В Геобуфер копируются поверхности в виде полигонов вместе с присвоенными им грунтами.

Вставка 2D привязки происходит в следующем окне:



### Вставка привязки из Геобуфера

В окне можно уточнить, которые из 2D привязок грунтов будут вставлены (колонка «**Вставить**»). Их можно произвольно перемещать. Окно показывает вид выделенных поверхностей, к которым будет выполнена привязка. Также дана информация о присваиваемом грунте. Присваиваемая поверхность меняет в данных присвоение всех поверхностей, которые в ней полностью расположены.

В случае, что присваиваемый грунт не присутствует в данных в списке грунтов, его туда добавляют.

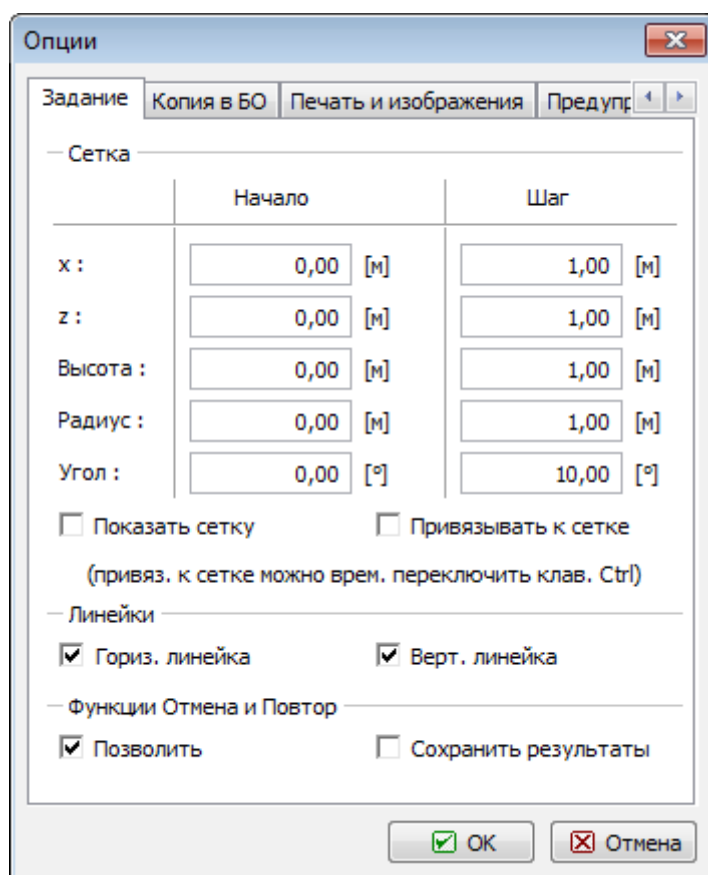
Собственно вставка и изменение данных произойдёт после нажатия кнопки «**Вставить**».

## Опции

В диалоговом окне «**Опции**» можно выполнить настройки некоторых специальных функций программы (**Задание**, **Копия в буфер**, **Печать и изображения** и др.).

Диалоговое окно открывается после выбора пункта меню «**Настройки**», «**Опции**».

Окно содержит закладки, (количество и содержимое которых в отдельных программах может быть разным), в которых задаём соответствующие настройки.



Диалоговое окно «Опции»

## Опции - Задание

В диалоговом окне «**Опции**», закладке «**Задание**» можно установить параметры «**Сетки**» и функции «**Назад**» и «**Повтор**».

Эта закладка включена **только в программы 2D** (МКЭ, Устойчивость откоса, Осадка, Балка и др.).

### Сетка (Grid)

- Настройки определяют начало и размер раstra сетки по направлению  $x$  и  $z$ .

### Показать сетку

- Включает / отключает изображение сетки на рабочем столе.

### Выравнивать в сетку

- Включает / отключает «зацепление» маски мыши, ввод задания на точки сетки (при перемещении мыши курсор прыгает по раstrу сетки - чтобы задать точку вне раstra, удерживаем клавишу «**CTRL**»).

### Горизонтальная линейка

- Включает / отключает изображение горизонтальной линейки со шкалой расстояний на рабочем столе.

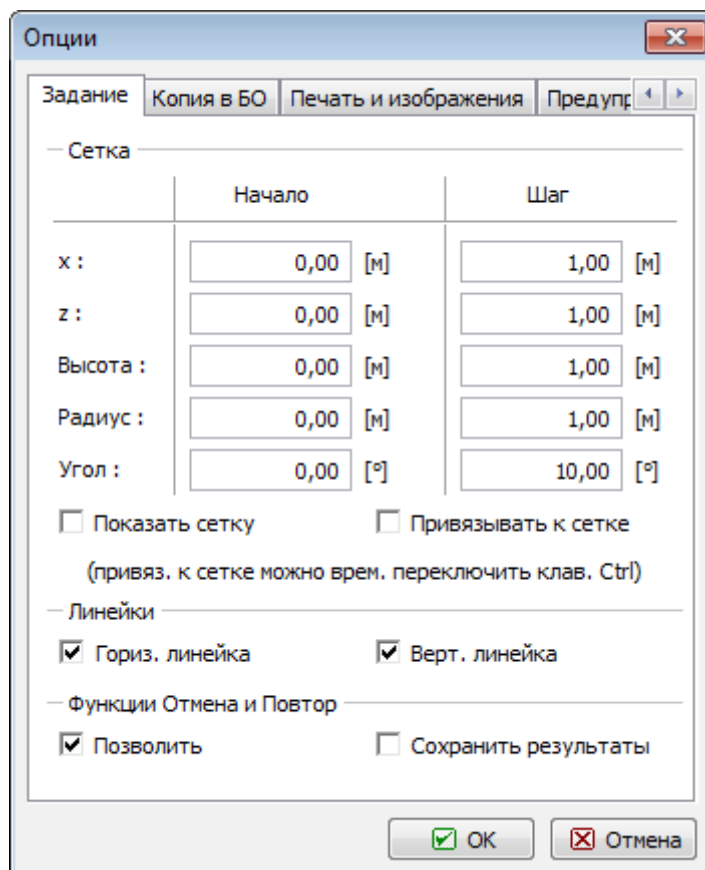
### Вертикальная линейка

- Включает / отключает изображение вертикальной линейки со шкалой расстояния на рабочем столе.

### Функция UNDO «Отмена -Повтор»

- Включает / отключает возможность применения этих функций в программе (на **горизонтальной панели инструментов «мутные»** кнопки).

В некоторых программах можно с помощью переключателя **«Сохранить результаты»** определить, сохраняются ли вместе с данными для обновления также и результаты расчёта, что занимает более длительное время в случае объёмных задач. Если снять флажок **«сохранить результат»**, то при использовании функции Повтор ввода придётся повторно выполнить расчёт.



Диалоговое окно «Опции» - закладка «Задание»

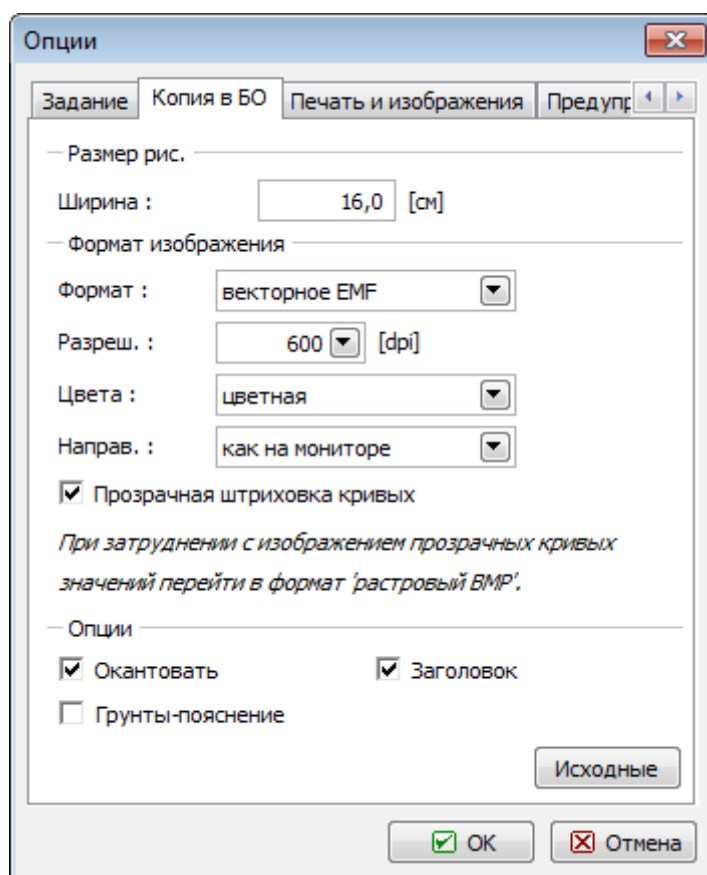
## Опции - Копия в буфер обмена

Закладка **«Копия в буфер обмена»** позволяет настроить параметры копирования:

- Размер рисунка** • Настройка задаёт размер рисунка. Задаём ширину рисунка, высоту автоматически вычисляет программа с учётом содержания рисунка.
- Формат рисунка** • Настройка задаёт Формат рисунка (\*.EMF, \*.WMF, \*.BMP), разрешение цвет и ориентацию. Рекомендуемая настройка показана на рисунке (формат: \*.EMF, разрешение : 600 dpi, цветной).
- Опции**
  - Настройка определяет рамку и заголовок рисунка. Если выбор отметить флажком, то в содержание рисунка войдут окантовка и заголовок.
  - С выбором **«Грунты-пояснение»** будет добавлена в рисунок легенда использованных грунтов.

Кнопка **«Исходные»** в окне восстанавливает исходные значения по умолчанию.





Диалоговое окно «Опции» - закладка «Копия в буфер обмена»

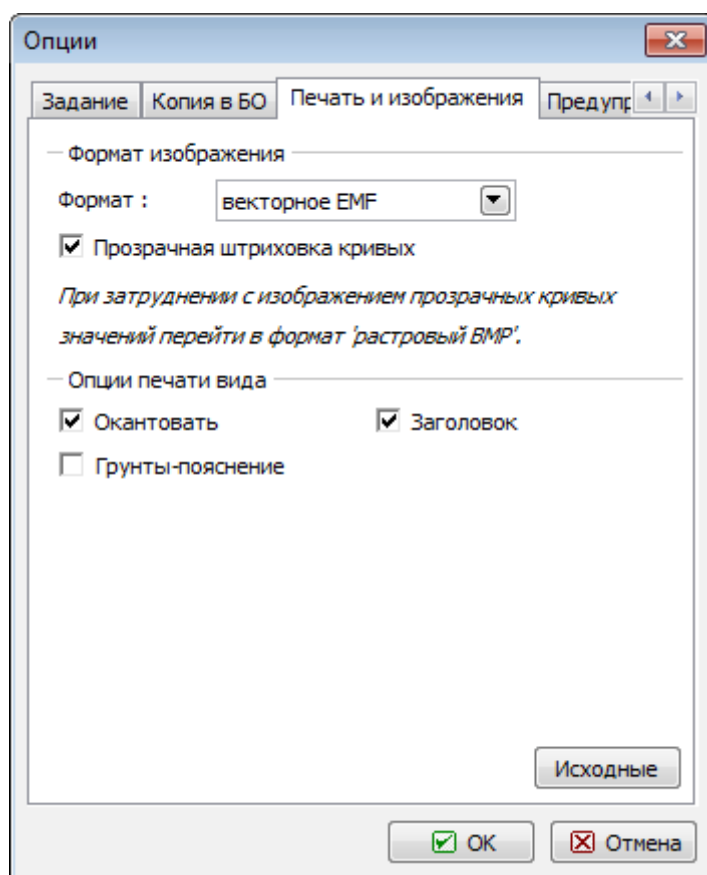
## Опции - Печать и изображения

Диалоговое окно открывается из управляющего меню (пункты «**Настройка**», «**Опции**»). В закладке «**Печать и изображения**» можно выполнить настройку параметров рисунка, который печатаем или экспортируем в диалоговом окне «**Печать и экспорт рисунка**» и «**Печать и экспорт документа**»:

**Формат рисунка**                      Настройка задаёт формат рисунка (\*.EMF, \*.WMF, \*.BMP).

**Опции для печати вида**                      Настройка задаёт окантовку (рамку) и заголовок изображения. При установке флажков-изображение будет содержать рамку и заголовок. Выбор «**Грунты-пояснение**» позволяет добавить в изображение легенду использованных грунтов. Этот пункт используют только для «**Печать и экспорт рисунка**».

Кнопка «**Исходные**» в окне восстанавливает исходные значения по умолчанию.



Диалоговое окно «Опции» - закладка «Печать и изображения»

## Общие операции

Глава содержит разделы справки, общие для нескольких программ GEO. В этом разделе справки дано описание **операций ввода данных** в программах GEO5:

- Ввод и правка грунтов
- Граница контура в среде 2D
- Ввод объектов и данных
- Привязка грунтов
- Коэффициенты расчёта
- Задание нескольких расчётов / проверка

Важным свойством всех программ GEO5 является возможность задавать **этапы проектирования**.

Некоторые программы GEO5 позволяют прямо **запускать другие программы GEO5** и автоматически передавать данные.

Основные функции для работы с **графическим выводом** в программах «МКЭ»,

«Осадка» и «Плита» описаны в следующих главах:

- Выбор и сохранение вида
- Настройка палитры

Следующие главы занимаются **Импортом данных**:

- Импорт - экспорт DXF
- Импорт табличных данных
- Импорт LandXML


Возможности **копирования данных между программами** описаны в следующих главах:

- Копия в буфер обмена
- Геобуфер

## Ввод и правка грунтов

В диалоговом окне «**Добавление новых грунтов**», вводим название и параметры грунта; как правило, эти данные получены в результате испытаний или георазведочных работ.

Все поля ввода в окне должны быть заполнены. Исключение составляет значение  $\gamma_{sat}$  (удельный вес насыщенного грунта) в части окна «**Подъёмная сила**». В пустое поле программа автоматически подставляет значение  $\gamma$  (удельный вес грунта).

Щелчком кнопкой справки «» вызываем информацию о теории расчётов, связанной с задаваемыми значениями.

Цвет и категорию узора грунта можно настроить в выпадающих списках в правой части диалогового окна.

Если характеристики грунтов, полученные в результате испытаний или от георазведочных работ отсутствуют, можно воспользоваться встроенной базой данных по грунтам, в которой находятся ориентировочные значения основных характеристик. Кнопкой «**Определи**» открываем диалоговое окно «**Классификация грунтов**» и ориентировочные значения грунта вводим в диалоговое окно. Кнопка «**Стереть**» позволяет удалять информацию о классификации грунта из каталога. Характеристики грунтов, которых нет в каталоге (на рисунке «**Угол трения конструкция-грунт**») необходимо задавать вручную в любом случае. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно тоже задавать вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретическом разделе справки (для решения грунтовых давлений, для расчётов на устойчивость, или для расчётов несущей способности фундамента на скальном основании).

Заданный грунт добавляем в список грунтов, нажав кнопку «**Добавить**».

**Добавление новых грунтов**

— Идентификация

Имя : Суглинок с гравием (MG), консистенция полутвёрдая

Суглинок с гравием (MG), консистенция полутвёрдая

— Базовые данные

Удельный вес :  $\gamma =$  19,00 [кН/м<sup>3</sup>] 19,0

Напряжённое состояние : эффективное

Угол внутреннего трения :  $\phi_{ef} =$  29,00 [°] 26 - 32

Удельное сцепление грунта :  $c_{ef} =$  8,00 [кПа] 4 - 12

Угол трения конструкция-грунт :  $\delta =$  [°]

— Статическое давление

Грунт : несвязный

— Подъёмная сила

Расчёт взвешив. усилия : стандартный

Уд. вес водонасыщ. грунта :  $\gamma_{sat} =$  [кН/м<sup>3</sup>]

Отображение

Цвет

Категория узоров

GEO

Узор

Суглинок с гравием

Классификация

Определить

Стереть

Добавить

Отмена

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов»

## Классификация грунтов

Ориентировочные параметры грунтов можно взять в каталоге грунтов в соответствии с ЧСН 73 1001 «Грунт основания под фундаментом мелкого заложения». В выпадающих списках выбираем грунт и консистенцию или плотность. Характеристики грунта в каталоге будут отображены в окне.

Кнопка «**Вручную**» открывает диалоговое окно «**Ручная классификация грунта**», которое позволяет рассортировать грунт, при условии, что нам известны его параметры по испытаниям (гранулометрический состав, содержание влаги, плотность...).

**Классификация грунтов**

— Классификация, консистенция, плотность —

Классификация грунт: MG - Суглинок с гравием

Консистенция: Консистенция мягкопластичная (трудно разминать пальцами)

— Стандарт. характер. грунтов —

**Суглинок с гравием (MG), консистенция полутвёрдая**

Параметры грунта	Условное обозначение	Ед. изм.	Значение
коэфф. Пуассона	$\nu$	[—]	0,35
Удельный вес	$\gamma$	[кН/м <sup>3</sup> ]	19,0
Модуль деформации	$E_{def}$	[МПа]	10 - 20
<b>Эффект. параметры:</b>			
Угол внутреннего трения	$\phi_{ef}$	[°]	26 - 32
Удельное сцепление грунта	$c_{ef}$	[кПа]	4 - 12
<b>Полные параметры:</b>			
Угол внутреннего трения	$\phi_u$	[°]	0
Связность грунта	$c_u$	[кПа]	70
<b>Расчётная прочность:</b>			
Ширина фундамента < 3,0 м	$R_d$	[кПа]	200
Коефф. структурной прочности	$m$	[—]	0,2
для $E_{def} < 4.0$ МПа, непереуплотнённая	$m$	[—]	0,1

Вручную OK OK + добавить Отмена

Диалоговое окно «Классификация грунтов»

После нажатия кнопки «ОК» в окне «Добавление новых грунтов» возле полей ввода отобразятся рекомендуемые значения (см. рис.). После нажатия «ОК + добавь» в соответствующих полях ввода отобразятся ещё и усреднённые значения параметров грунта. Кнопкой «Отмена» выходим из окна без передачи данных.

**Добавление новых грунтов**

— Идентификация —

Имя: Глина с гравием (CG), консистенция полутвёрдая

Глина с гравием (CG), консистенция полутвёрдая

— Базовые данные —

Удельный вес:  $\gamma =$  19,50 [кН/м<sup>3</sup>] 19,5

Напряжённое состояние: эффективное

Угол внутреннего трения:  $\phi_{ef} =$  27,00 [°] 24 - 30

Удельное сцепление грунта:  $c_{ef} =$  10,00 [кПа] 6 - 14

Угол трения конструкция-грунт:  $\delta =$  [°]

— Статическое давление —

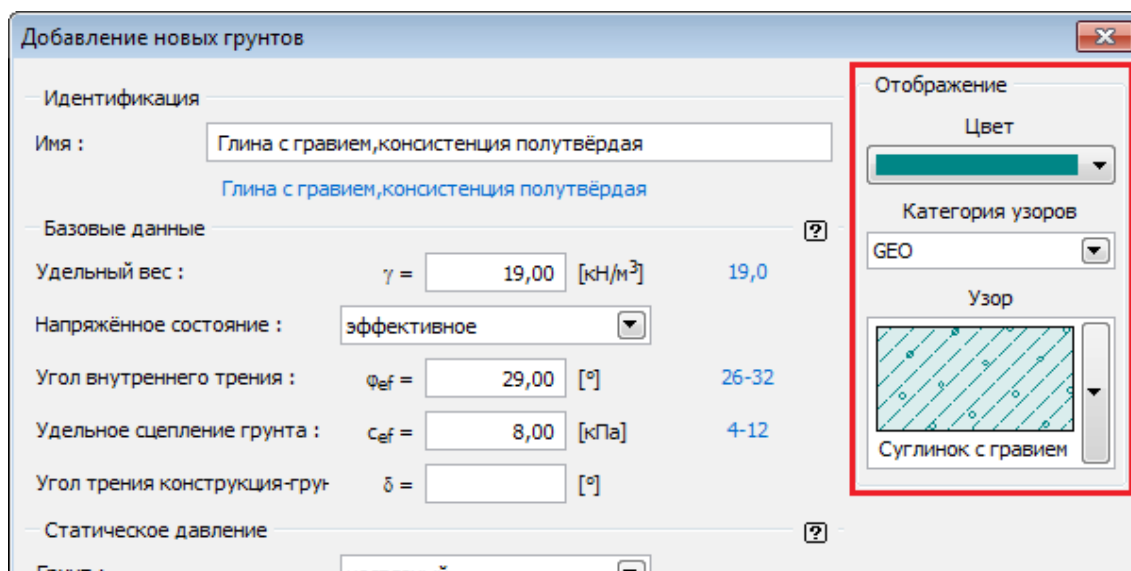
### Классификация грунтов - рекомендуемый диапазон значений

## Символы грунтов и пород

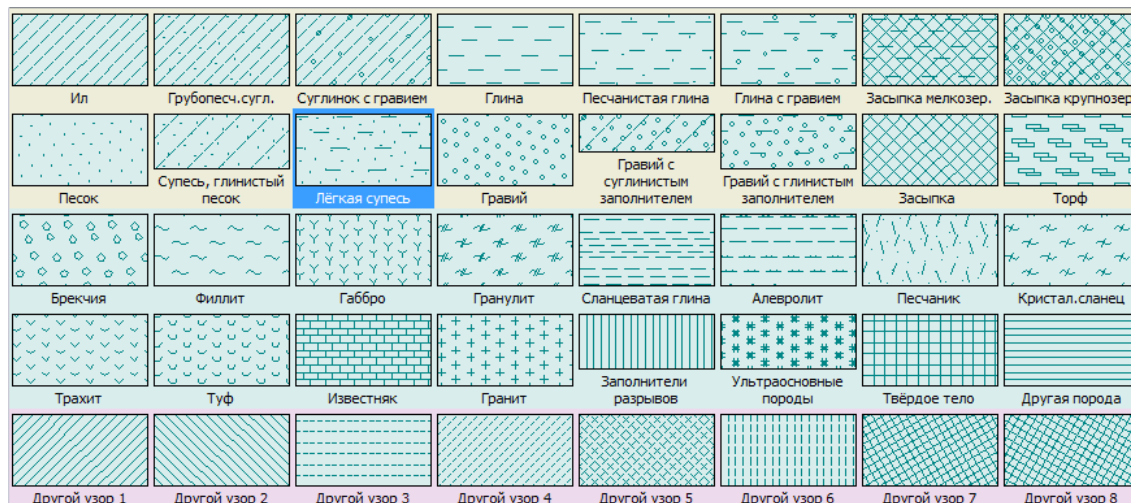
Для грунта заданного вручную или введенного из каталога, можно в выпадающем списке выбрать категорию узора (узоры программ GEO5, полный цвет, узоры gINT или узоры по китайскому стандарту YS 5204<sup>1</sup>), а также цвет в котором они отображаются в заданном профиле.

Цвет в выпадающем списке «Цвет» - это цвет отображения грунта (породы) на рабочем столе монитора, а также рисунков сохраняемых в «Список рисунков», или распечатанных по команде «Печать и экспорт рисунка» (для отображения рисунка в полном цвете необходимо установить в меню «Настройка рисования» «Полный цвет»).

Подбирать цвет узора стоит с учётом фона рабочего стола (или бумаги при распечатке), чтобы изображение получилось достаточно контрастным.

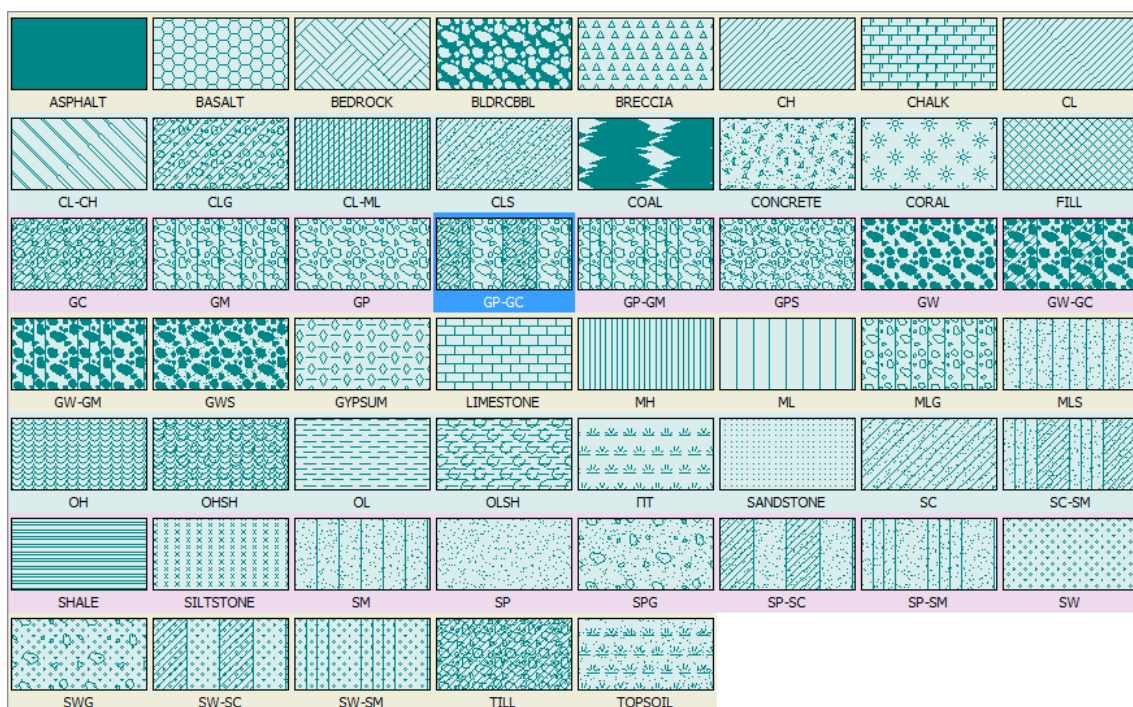


Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - выбор цвета и категории узора

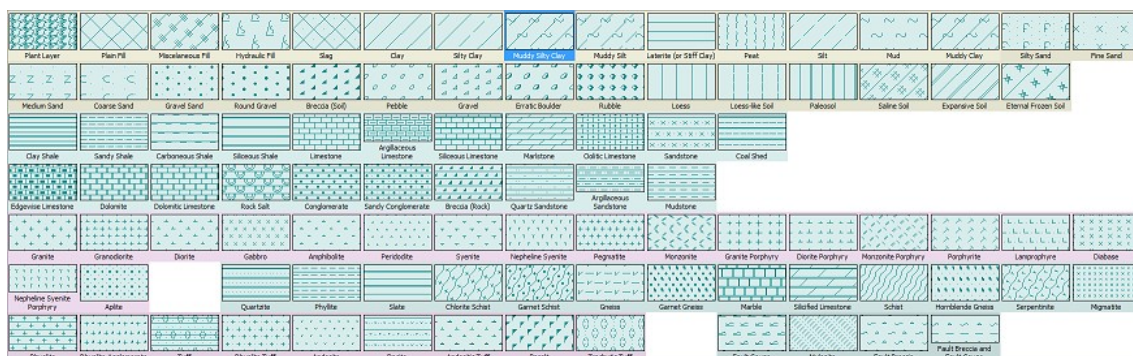


Узоры грунтов - GEO5





Узоры грунтов - gINT



Узоры грунтов - YS 5204 - 2000

Литература:

<sup>1</sup> - YS 5204-2000 - Specification for mapping symbol of geotechnical investigation report

## Ручная классификация грунта

В этом диалоговом окне можно задать характеристики грунта, по которым они будут рассортированы в каталоге грунтов. Кнопкой «**ОК**» возвращаемся в диалоговое окно «**Классификация грунтов**» с настройкой на отсортированный грунт.

**Ручная классиф.грунта**

— Гранулометр.состав

Мелкие частицы (0,0 .. 0,06 mm) : f = 50,0 [%]

Песчаные частицы (0,06 mm .. 2,0 mm) : s = 30,0 [%]

Гравийные частицы (2,0 mm .. 60,0 mm) : g = 20,0 [%]

**Сумма f + s + g должна равняться 100%**

— Влажность

Влажность пробы : w = 23,0 [%]

Влажность на пределе текучести : w<sub>L</sub> = 55,0 [%]

Влажность на пределе пластичности : w<sub>P</sub> = 20,0 [%]

**Должно выполняться w<sub>L</sub> > w<sub>P</sub>**

— Классиф.

**Песчанистая глина (CS), консистенция полутвёрдая**

Диалоговое окно «Ручная классификации грунта»

## Границы контура в среде 2D

В левой части **рамки** находится **таблица** со списком границ контуров. Над таблицей расположены две главные кнопки для ввода границы контура:

**Установить диапазоны** Откроет диалоговое окно «**Пространство модели**», в котором можно установить размеры рабочей области чертежа, т.е. левый и правый края.

**Добавить границу контура** Включает режим **добавления новой границы контура** - отдельные границы контура можно добавлять в произвольной последовательности, после ввода каждая граница контура автоматически включена в список.

Границы контуров в таблице располагаются сверху вниз, их **можно редактировать и стирать как угодно**.

№	Граница контура
1	Граница контура 1
2	Граница контура 2
3	Граница контура 3
4	Граница контура 4

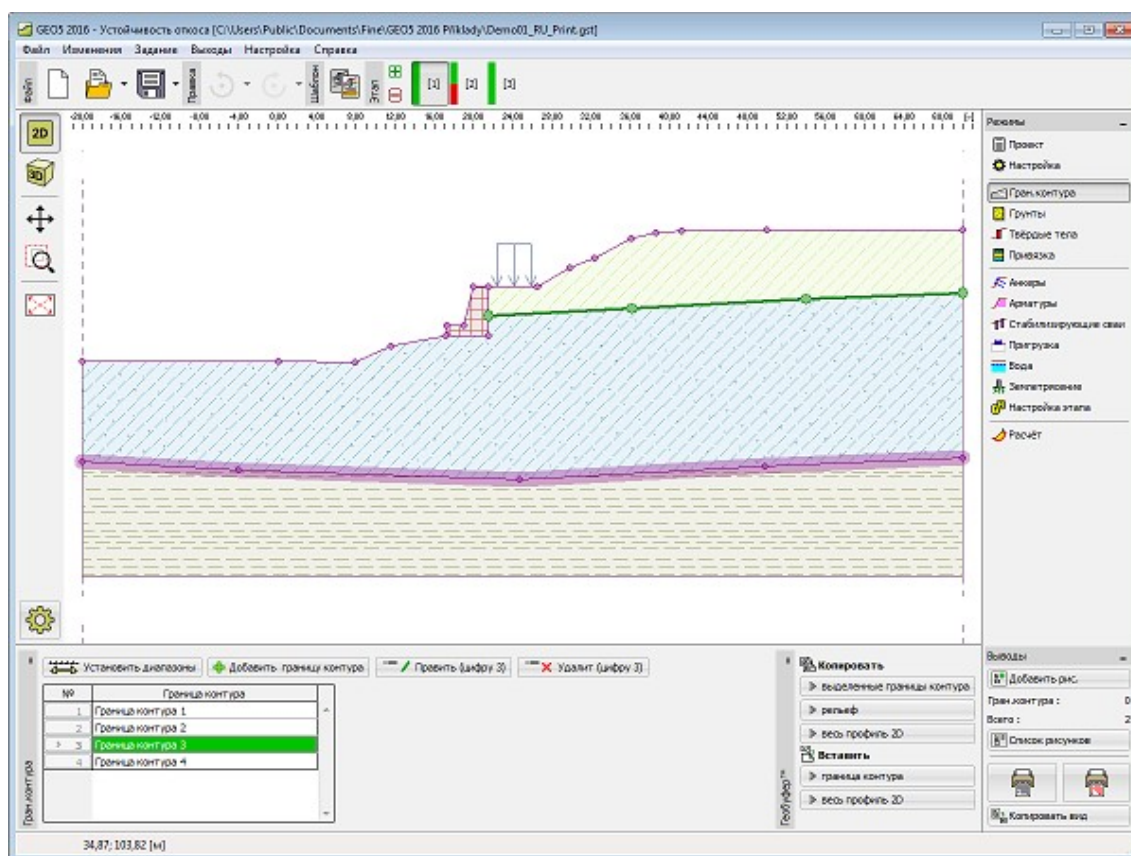
Таблица со списком границ контура

При любом изменении границы контура можно кнопкой «**ОТМЕНА** и **ПОВТОР**» на



горизонтальной панели инструментов вернуть шаг.

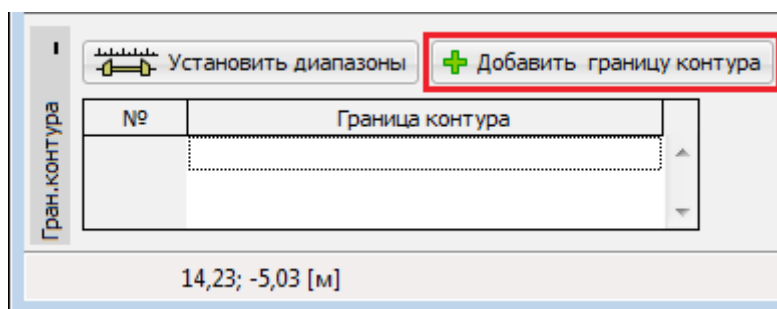
Границу контура можно копировать и вставлять с помощью **Геобуфера**.



Рамка «Граница контура»

## Добавление границы контура

Кнопка **«Добавить границу контура»** включает режим ввода точек новой границы контура. **Указатель мыши** принимает вид перекрестия, также меняется вид рамки.



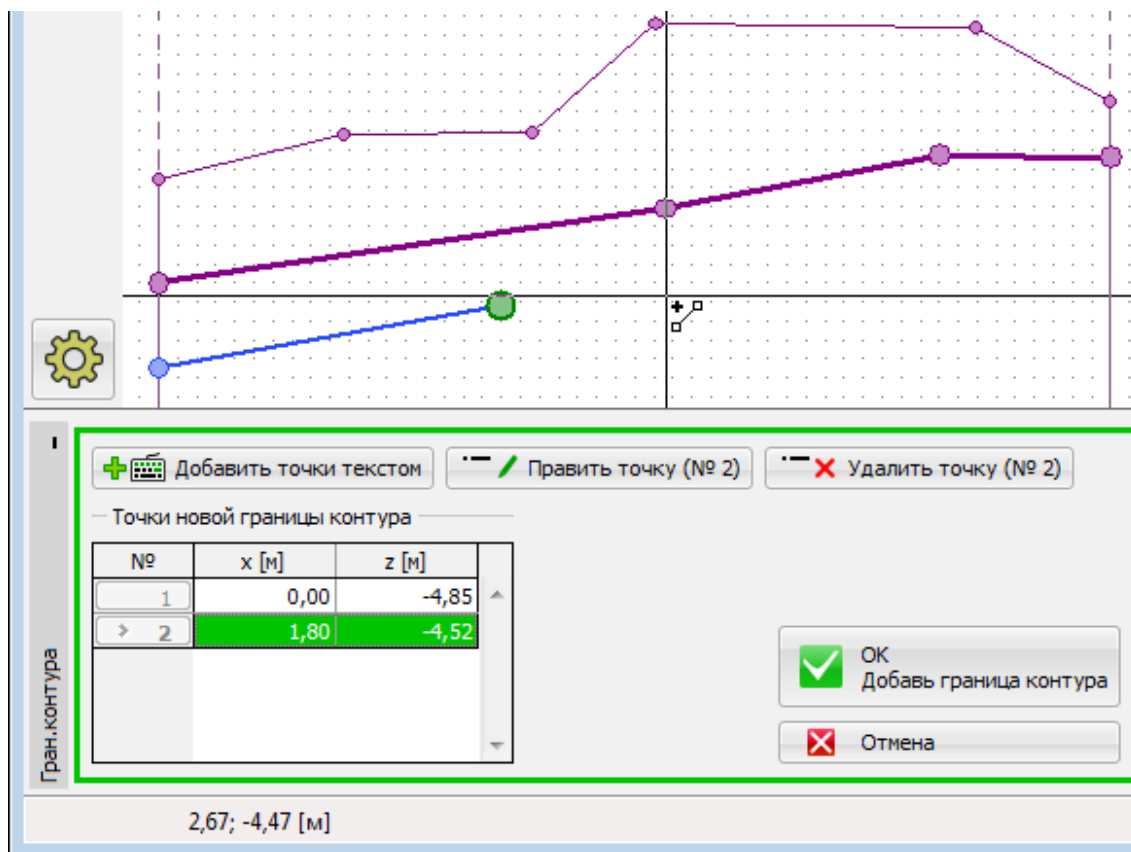
Рамка «Граница контура»

Щелчком левой кнопки мыши на рабочий стол можно ввести точки границы контура. Координаты ( $x, z$ ) каждой из заданной точки добавляются в **таблицу «Точки новой границы контура»**. Альтернативно можно добавлять точки в диалоговое окно (кнопка **«Добавить точки текстом»**). Заданная точка автоматически округляется до двух десятичных разрядов - ввод с помощью мыши или клавиши полностью равноценен.

В процессе ввода отдельные точки задаваемой границы контура можно **редактировать** или **стирать**.

Ввод заканчивается или кнопкой **«ОК Добавь границу контура»** (заданная граница контура добавляется в **список границ контура**), или кнопкой **«Отмена»** (без сохранения изменений).

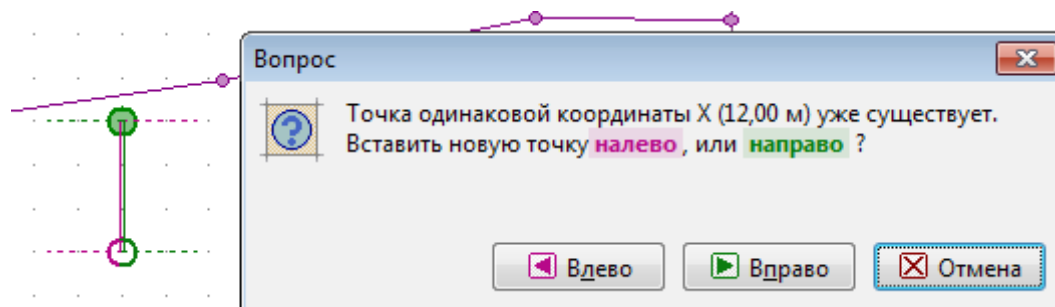
При вводе можно использовать функцию **сетки**.



*Режим ввода точек границы контура*

Для ввода точек можно воспользоваться шаблоном из **импорта DXF**.

Программа позволяет задавать и вертикальные границы контура - в таком случае программа запрашивает: вставить точку **налево** или **направо**. Кнопки для подтверждения отображены цветными - таким же цветом на рабочем столе отрисованы оба варианта ввода.



*Уточнение при вводе вертикальной границы контура*

Программа содержит **автокорректор задаваемых границ контуров**, который дополнительно

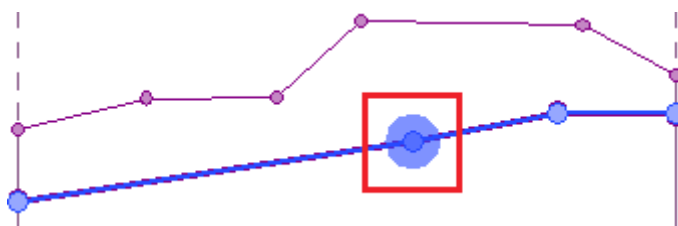
вычисляет конечные точки границы контура и заданные границы контура сохраняет в список границ контуров.

## Правка точек границы контура

При вводе или правке границы контура можно отдельные точки редактировать или стирать - графически или текстом в диалоговом окне.

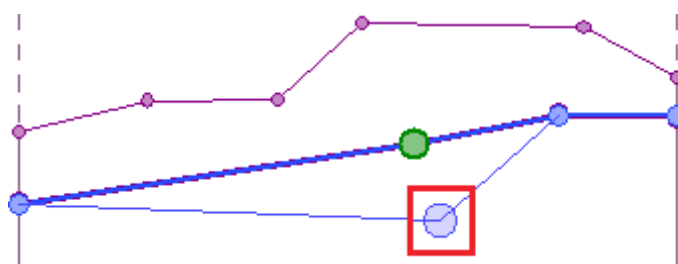
### Правка точки границы контура

Курсор мыши помещаем над точку, которую будем редактировать. Выделяется место вокруг точки.



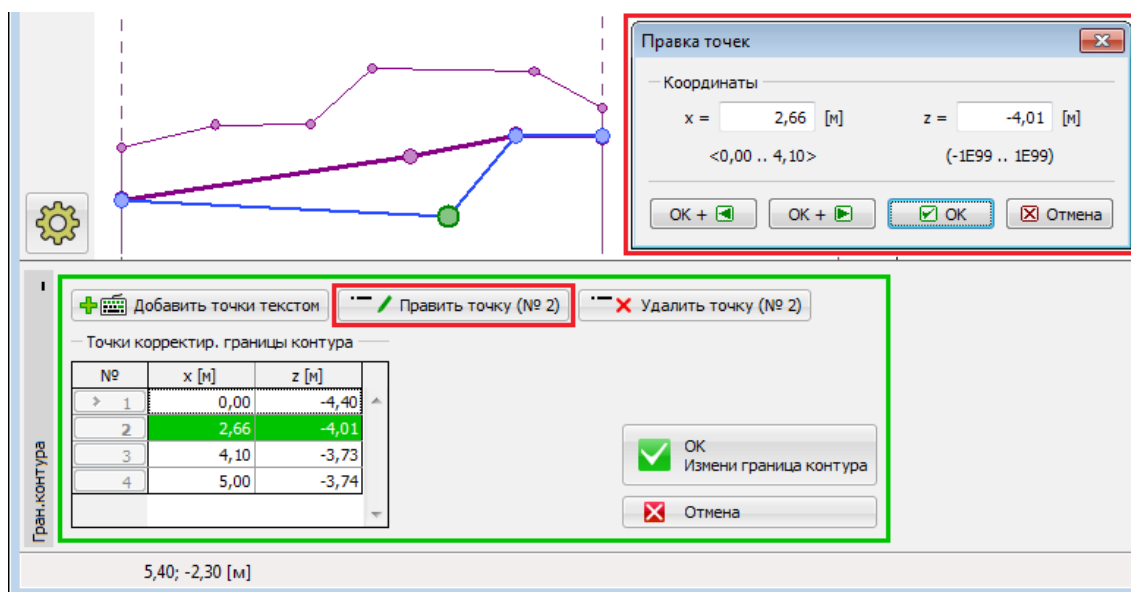
*Правка точки границы контура*

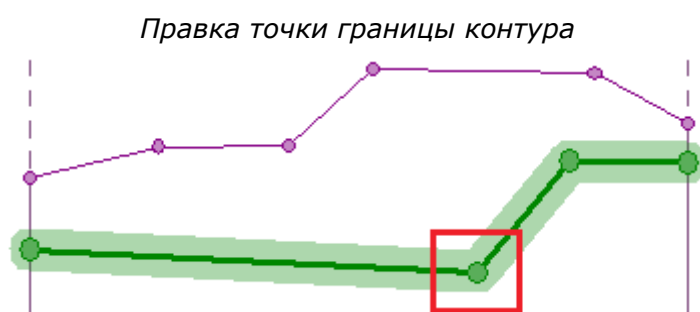
Удерживая левую кнопку и перетаскивая мышью, сдвигаем точку. Отпускаем левую кнопку - точка изменилась.



*Правка точки границы контура*

Альтернативно можно в таблице нажать кнопку «**Править точку**», в диалоговом окне изменить координаты и завершить редактирование кнопкой «**ОК**».

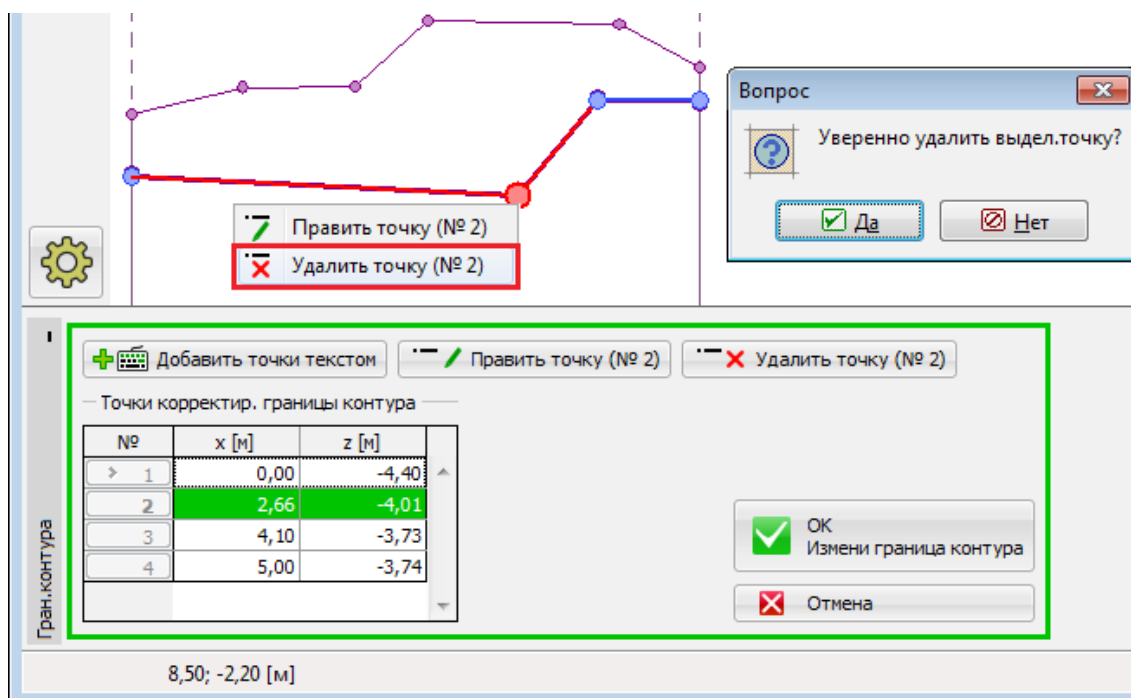




*Правка точки границы контура - результат изменения координат точки*

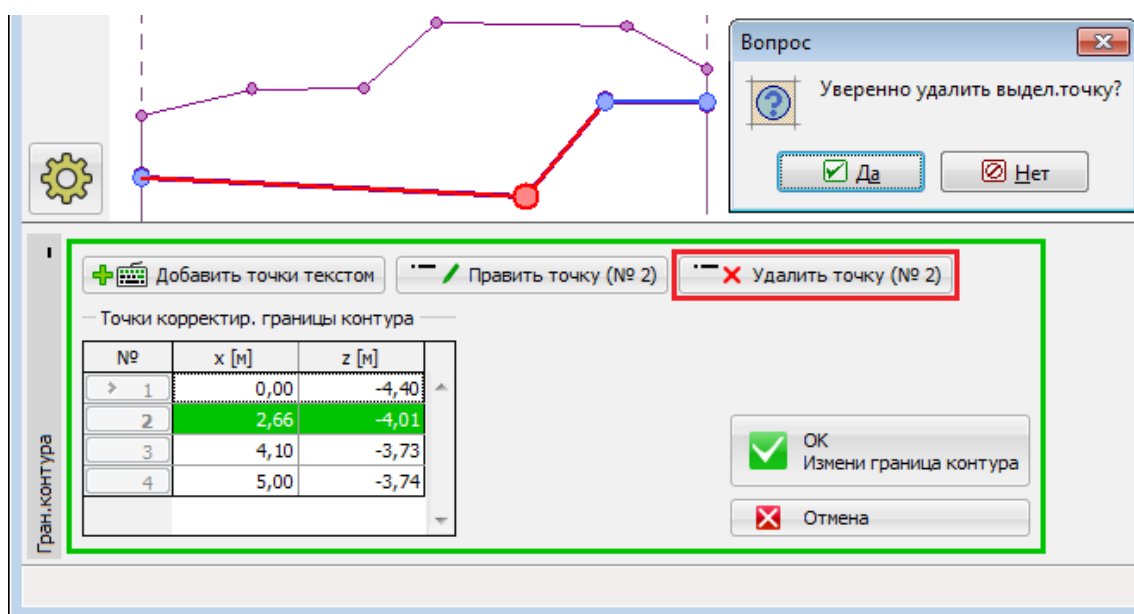
### Удаление точки границы контура

Курсор мыши помещаем над точку, которую будем удалять. Выделяется место вокруг точки. Щелчком правой кнопкой мыши вызываем **контекстное меню**. Выбираем пункт «**Удалить точку**». Программа выделяет красным цветом точку границы контура и линии, которые будут затронуты удалением точки. После подтверждения пользователем программа точку удаляет и отображает новую форму границы контура.



*Удаление точки границы контура - графическое*

Альтернативно можно в **таблице** выбрать точку и нажать кнопку «**Удалить точку**». Последующие операции идентичны вышеописанному процессу.




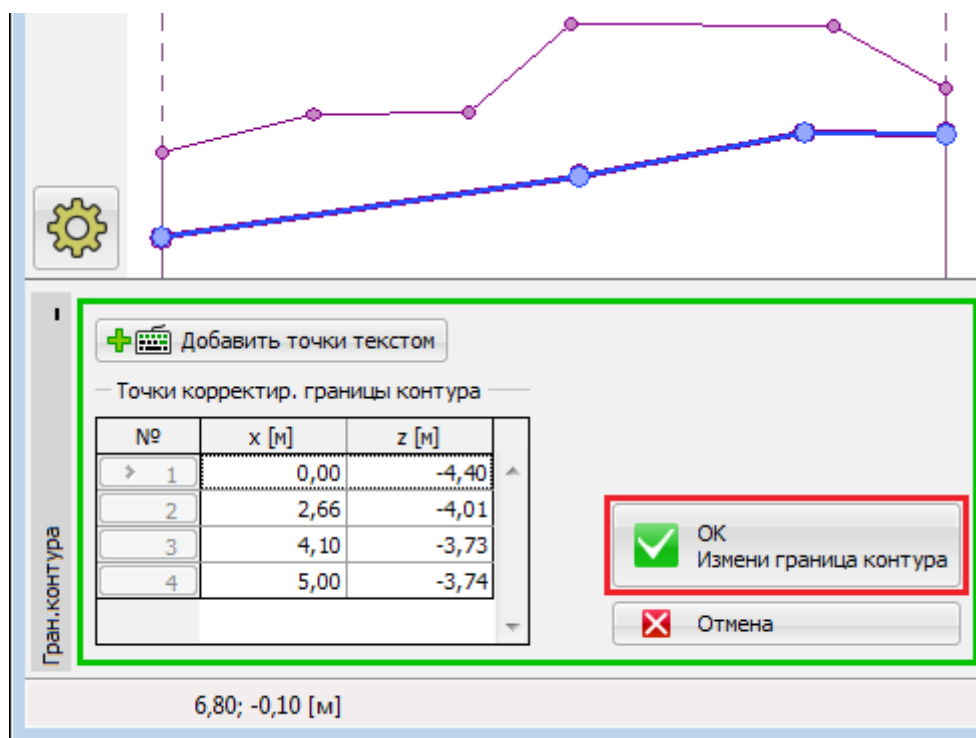
Удаление точки границы контура - текстом

## Правка и удаление границы контура



### Правка границы контура

В списке таблицы или на рабочем столе левой кнопкой выбираем границу контура.

Двойным щелчком левой кнопкой мыши на границу контура или кнопкой  **Править** включаем режим редактирования границы контура. Редактируемая граница контура отображена синим цветом и можно **менять её форму**.

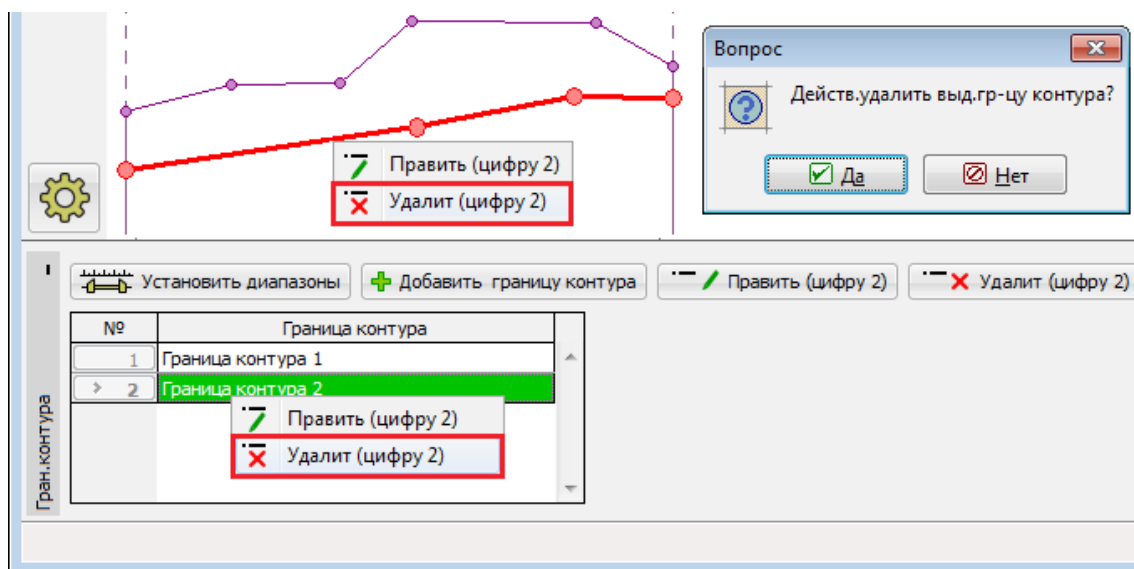


### Правка границы контура

Ввод завершаем нажатием кнопки  **ОК** **Измени граница контура** (с добавлением заданной границы контура в **список границ контура**), или кнопки  **Отмена** (без сохранения изменений).

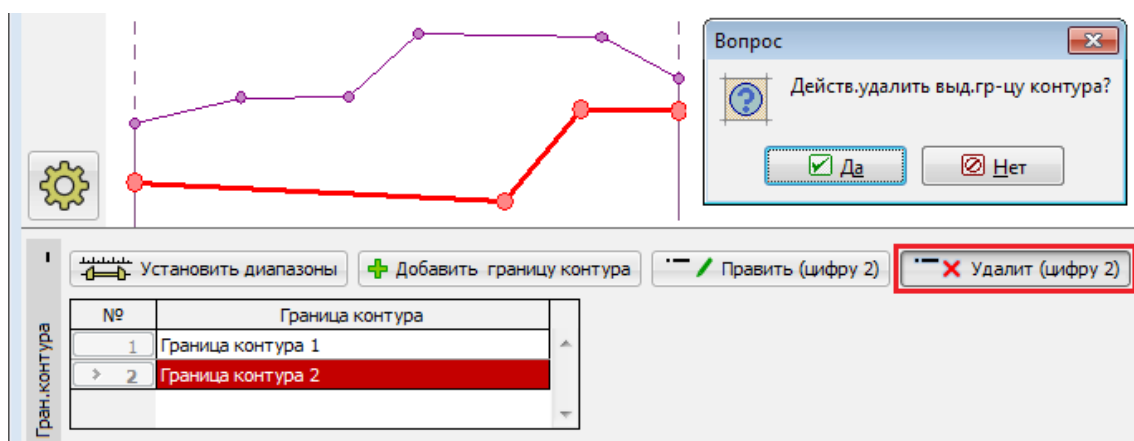
### Удаление границы контура

В списке таблицы или на рабочем столе выбираем границу контура. Щелчком правой кнопкой мыши на границу контура (строка в таблице) открываем **контекстное меню**. Выбираем пункт «**Удалить**», программа выделит строку красным цветом. После подтверждения пользователем граница контура удалена.



### Удаление границы контура

Альтернативно можно в таблице выбрать границу и нажать кнопку «**Удалить**». Последующие операции идентичны вышеописанному процессу.



### Удаление границы контура

После редактирования границы контура автоматически запускается **корректор задаваемой границы контура** (таким же образом, как при добавлении), который проверит форму и, если нужно, поправит конечные точки.

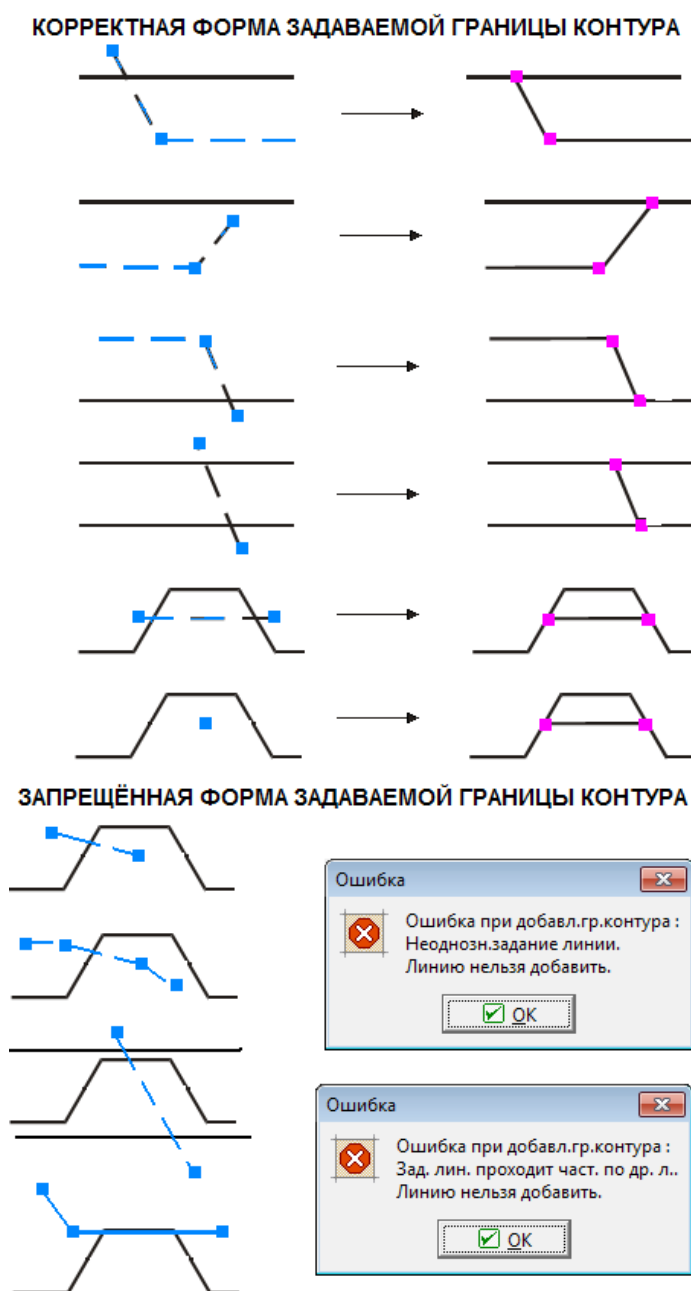
## Корректор заданной границы контура

После ввода или редактирования границы контура происходит её автоматическая корректировка, т.е. начало и конец границы контура должны прикасаться к лимитам или к другой границе контура. Автокорректор можно использовать для упрощённого ввода - напр., задать границу контура только одной точкой а корректор построит горизонтальную границу контура, которая включает данную точку.

Если конец границы контура соприкасается с другой границей контура, корректор создаст конечные точки текущей границы контура и вставит их также в ту границу контура, которая соприкасается с новой границей контура. Следовательно, начало и конец всех линий всех границ контура всегда на точке.

При некорректном задании (см. нижний рисунок) границу контура нельзя сохранить; её нужно или откорректировать, или кнопкой **«Отмена»** закончить ввод без сохранения.

Далее смотри примеры функции корректора границы контура (при корректном и некорректном заданиях):



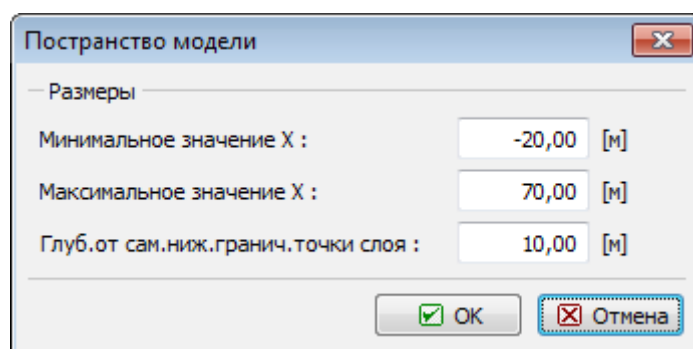
*Корректные и некорректные формы границы контура*

## Пространство модели

В диалоговом окне задают размеры пространства модели - левый и правый края. Глубина от нижней точки границы контура в большинстве программ является вспомогательной информацией, которая определяет глубину отрисовки профилей грунтов на рабочем столе - и никак не влияет на собственный расчёт. В программе МКЭ весьма важен правильный выбор размеров пространства модели - он может принципиально менять результаты.

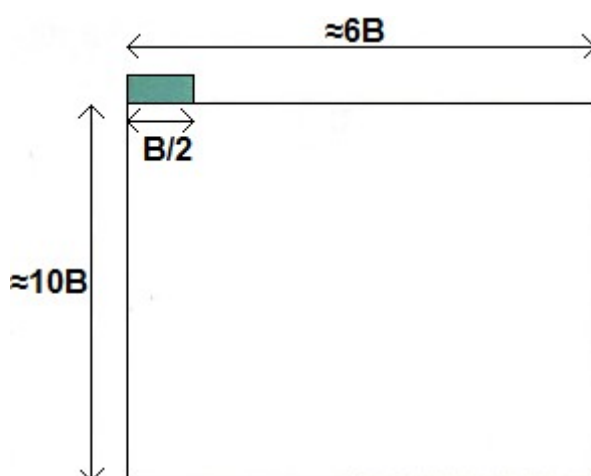
Диапазон пространства модели можно менять в любой момент - в случае увеличения масштабов все заданные границы контура автоматически удлиняются, в случае уменьшения - излишние точки границы контура обрезаются.





Диалоговое окно «Пространство модели»

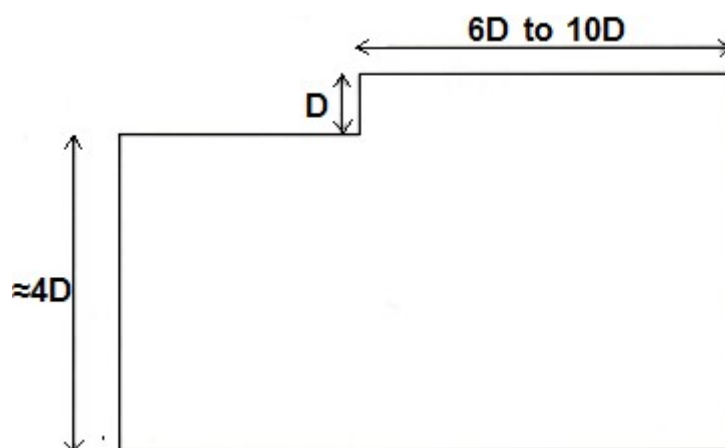
Рекомендованные размеры пространства модели для программы МКЭ очевидны по следующим рисункам.



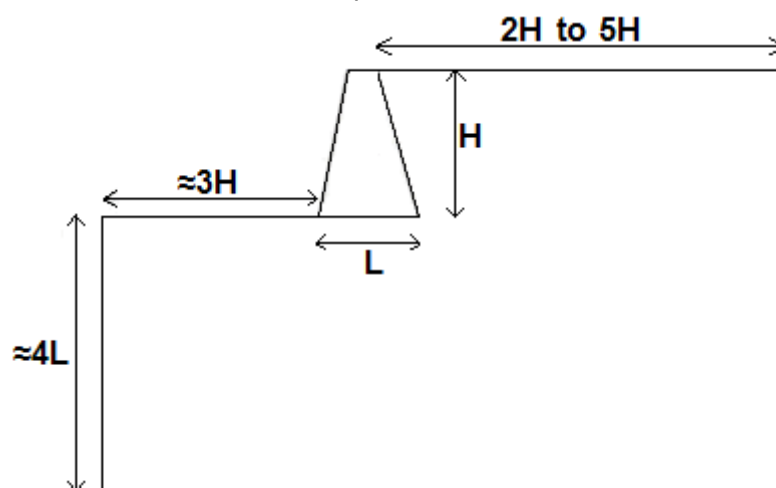
Рекомендованные границы модели - Фундаменты мелкого заложения



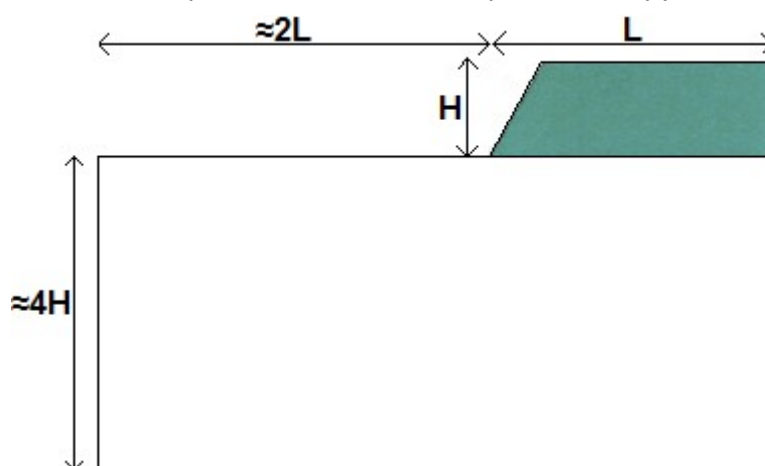
Рекомендованные границы модели - Фундаменты глубокого заложения



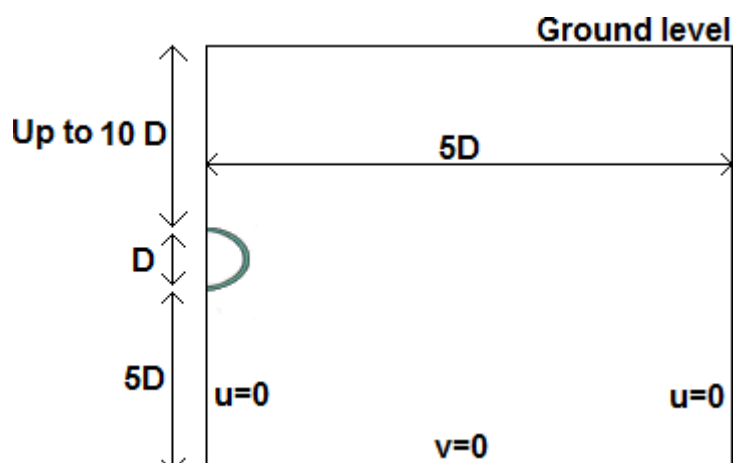
Рекомендованные границы модели - Выемки



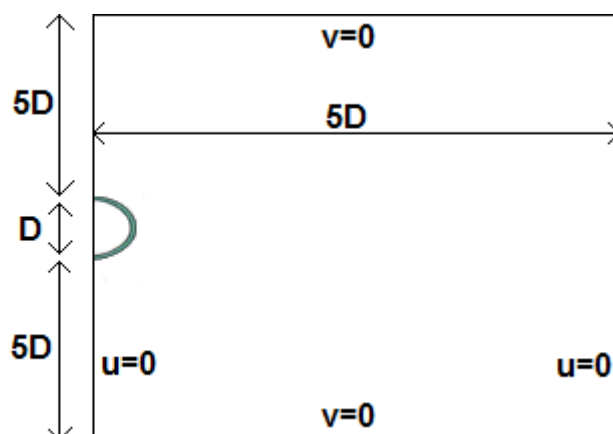
Рекомендованные границы модели - Опорные конструкции и стены



Рекомендованные границы модели - Насыпи и откосы



Рекомендованные границы модели - Тоннели мелкого заложения



Рекомендованные границы модели - Тоннели глубокого заложения

## Ввод объектов и данных

Ввод данных в программах GEO5 осуществляется разными способами. Данные задают в **рамках** и **диалоговых окнах**. Доступ к отдельным рамкам (режимам ввода) позволяет панель управления «**Режимы**». Помимо прямого ввода данных в рамку, данные (типа координаты точек, глубина профиля и т.п.), а также объекты (пригрузка, анкеры, распорки, геоарматура и т.п.) можно вводить с помощью кнопок «**Добавить**», «**Добавить текстом**» и «**Добавить графически**».

## Добавить

### Добавить (Добавить текстом)

Кнопка «**Добавить**» («**Добавить текстом**») открывает **диалоговое окно**, в которое вводят запрашиваемые данные (напр., параметры грунта, пригрузку, заданные силы и т.п.). После подтверждения данные сохранены и позиция добавлена в **таблицу**.



Вид кнопки

В случае, что режим (рамка) применяется впервые (пустая **таблица** без

позиций), или таблица содержит позиции, но ни одна не выбрана, программа открывает диалоговое окно куда нужно ввести все необходимые данные. Если перед применением режима выбрана позиция, которая уже находится в таблице, программа в диалоговом окне использует данные выбранной позиции. Данные можно далее корректировать и сохранить как очередную позицию в список **таблицы**.

На следующем рисунке показан простой пример. Режим задания применяется впервые, входные поля в диалоговом окне пустые (слева на рисунке). Вводятся параметры грунта, данные сохраняются и добавляется в таблицу. В **таблице** выбирают позицию «**Грунт №1**». В режиме «**Добавить текстом**» в диалоговом окне появляются параметры по умолчанию «**Грунта №1**» (правая часть рисунка). После необходимого редактирования параметров, можно данные сохранить в виде очередной позиции **таблицы**.

Добавление новых грунтов

Идентификация

Имя : Грунт № 1

Базовые данные

Удельный вес :  $\gamma =$  [кН/м<sup>3</sup>]

Напряжённое состояние : эффективное

Угол внутреннего трения :  $\phi_{ef} =$  [°]

Удельное сцепление грунта :  $c_{ef} =$  [кПа]

Угол трения конструкция-грунт :  $\delta =$  [°]

Добавление новых грунтов

Идентификация

Имя : Грунт № 2

Суглинок с гравием (MG), консистенция полутвёрдая

Базовые данные

Удельный вес :  $\gamma =$  19,00 [кН/м<sup>3</sup>]

Напряжённое состояние : эффективное

Угол внутреннего трения :  $\phi_{ef} =$  29,00 [°]

Удельное сцепление грунта :  $c_{ef} =$  8,00 [кПа]

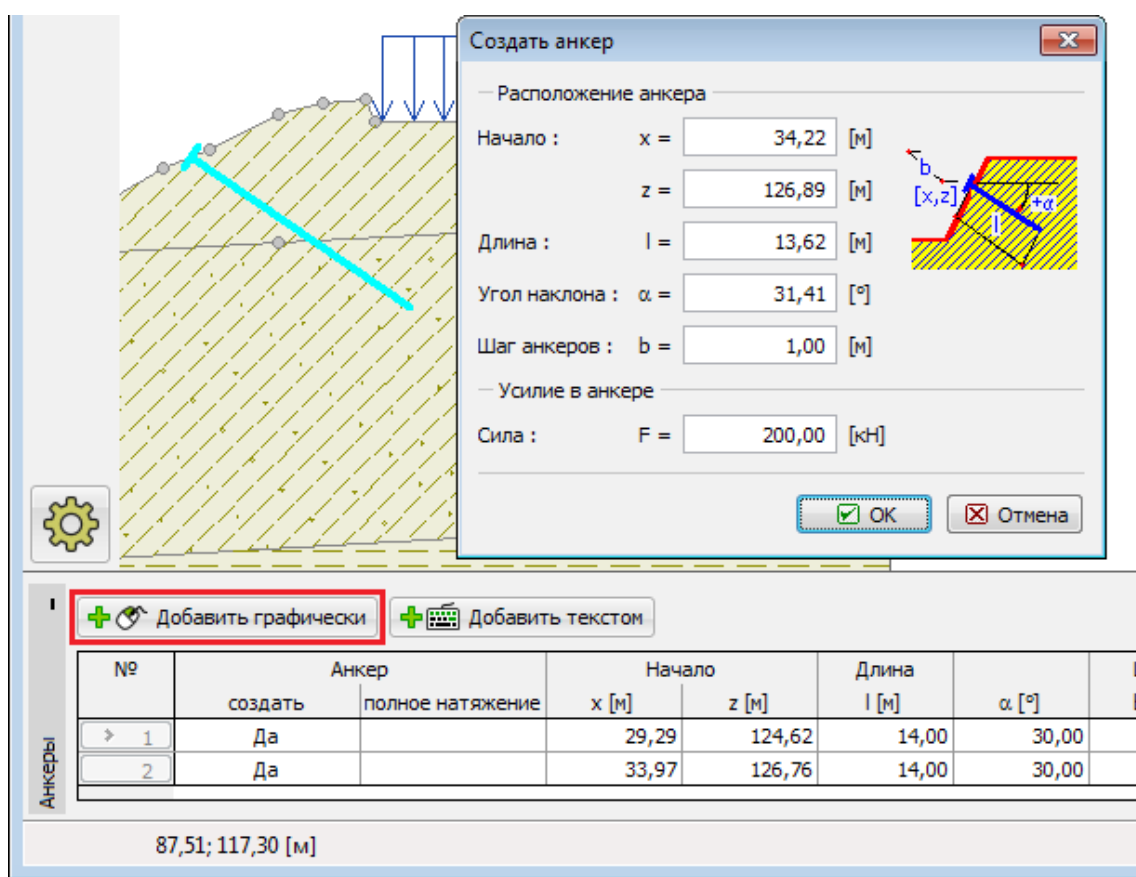
Угол трения конструкция-грунт :  $\delta =$  5,00 [°]

Режимы ввода данных - использование имеющихся позиций данных

## Добавить графически

### Добавить графически

Кнопка «**Добавить графически**» включает режим графического ввода. Показатель мыши принимает форму креста, и с помощью **левой кнопки мыши**, можно добавить требуемый объект. Напр., когда добавляем анкеры, то начальная и конечная точки вводятся щелчком по рабочему столу. После ввода второй точки программа открывает диалоговое окно и последующие действия аналогичны действиям, описанным в главе «**Добавить**».



Режим графического ввода данных

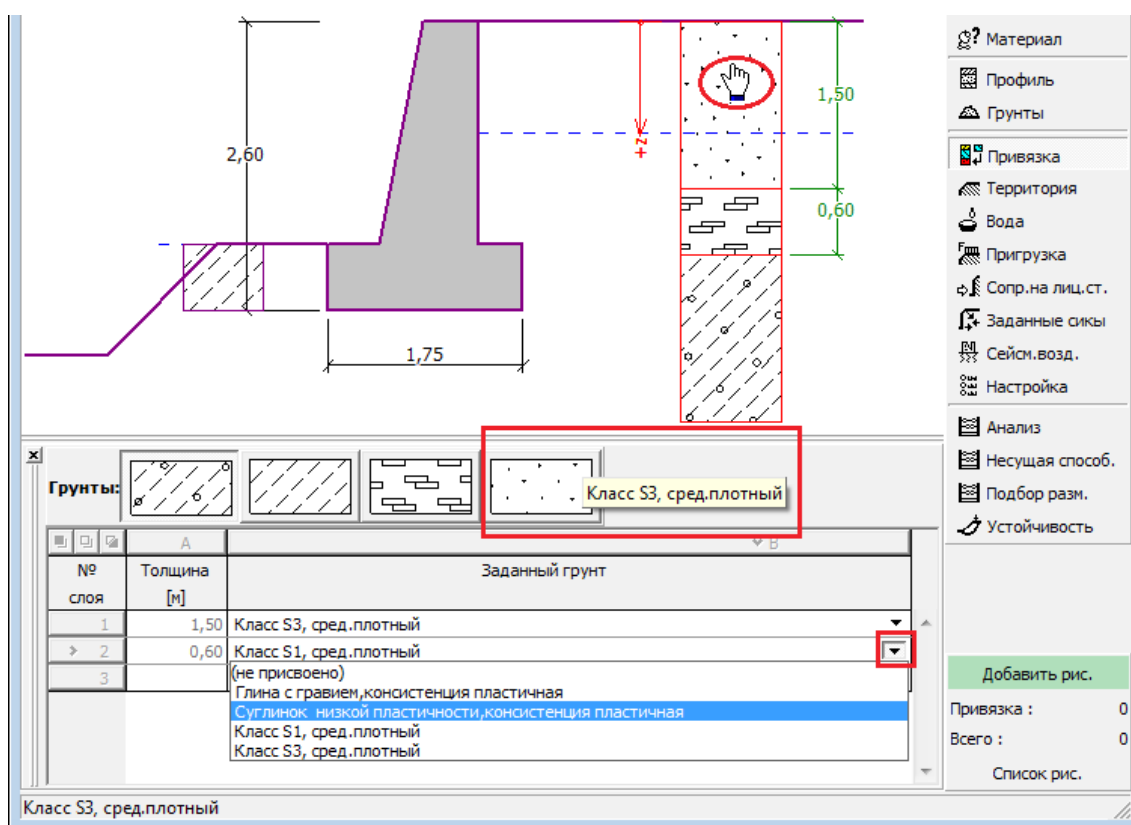
## Привязка грунтов

Привязку грунтов к слоям профиля можно выполнить несколькими способами.

Щелчком левой кнопки мыши на кнопку панели над таблицей выбираем грунт (при нахождении курсора мыши в строке над кнопкой грунта всплывает справка с названием грунта). Курсор мыши (*маска курсора* приобретает форму «**ручки**») помещаем в слой профиля и левой кнопкой мыши выполняем привязку.

Следующий способ: открываем выпадающий список слоя, в котором хотим привязать грунт и нужный грунт выбираем в меню. Изменения немедленно отображаются на рабочем столе.

Последний способ - использование *контекстного меню* мыши.



Рамка «Привязка»

## Коэффициенты расчёта

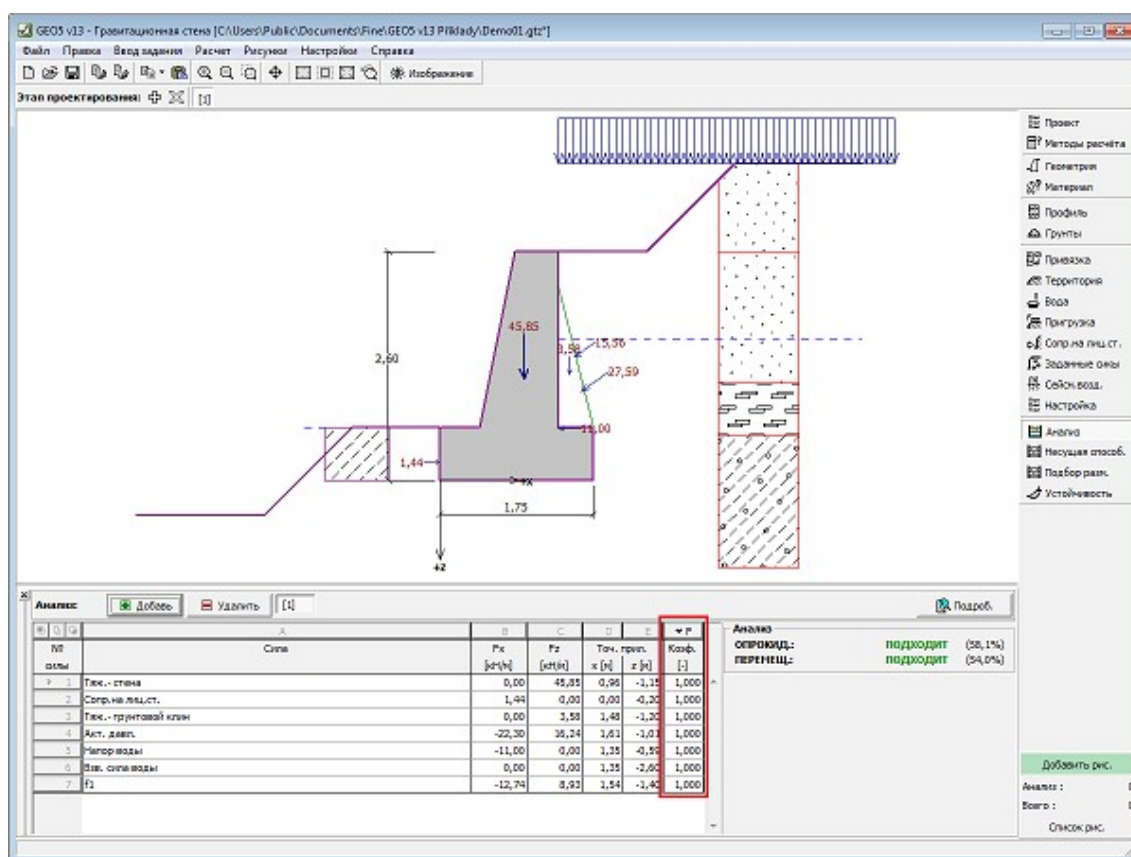
В рамки «**Расчёт**», «**Проверка**» (методика проверки «**Классический расчёт**»), в которых отображается список рассчитанных сил, можно задавать коэффициенты расчёта. Соответствующая сила умножается на расчётный коэффициент. После ввода коэффициента результаты сразу заново вычисляются и на рабочем столе отображаются умноженные на коэффициент силы.

Работа с коэффициентами расчёта удобна, напр., для:

- Тестирования конструкции, когда одну из сил можно увеличивать непосредственно в окне расчёта и проследить реакцию конструкции.
- Исключения некоторых сил из проверки, или при редукции этих сил.
- Задания расчётных комбинаций - напр., можно вводить в духе ЕС разные коэффициенты для главной переменной нагрузки и вторичных переменных нагрузок.

Для проверки стены тогда можно задать, напр., следующие комбинации:

	Расчёт 1	Расчёт 2	Расчёт 3
• Стена	1,0	1,0	1,0
• Активное давление	1,0	1,0	1,0
• Пригрузка 1	1,0	0,5	0,5
• Пригрузка 2	0,5	1,0	0,5
• Пригрузка 3	0,5	0,5	1,0



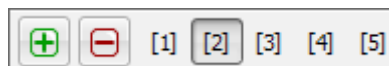
Рамка «Проверка» - применение коэффициентов расчёта

## Задание нескольких расчётов / проверка

В большинстве **рамок**, в которых отображаются результаты расчётов, можно задавать больше чем один расчёт. Несколько расчётов на одном этапе проектирования выполняется, напр., при:

- подборе размеров конструкции на разных её участках
- расчётах разных поверхностей скольжения
- анализе с помощью разных **коэффициентов расчёта**

Для работы с расчётами назначена панель в верхней части рамки.



Рамка «Расчёт» - панель инструментов «Несколько расчётов»



**Добавить**

- Добавляет на панель ещё один расчёт



**Удалить**

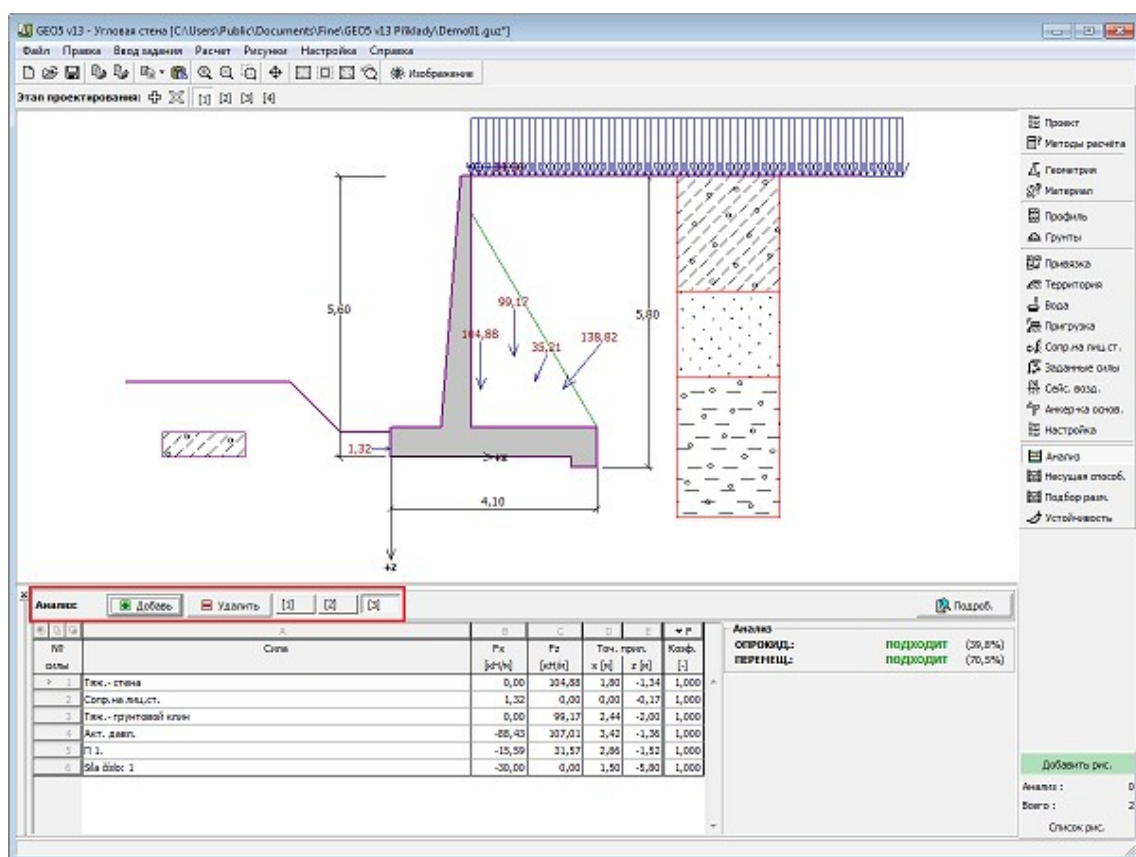
- Удаляет **текущий выделенный** расчёт



...

**Расчёт  
1,2,3 ...**

- Переключает между отдельными расчётами



Рамка «Расчёт»

## Связь программ

В отдельных случаях из одной программы можно запустить другую программу. Напр., из программы **«Угловая стена»** программу **«Устойчивость откоса»** для проверки внешней устойчивости конструкции, или программу **«Отдельные фундаменты»** для проверки несущей способности фундамента конструкции.

Запущенная программа загрузит данные конструкции, а дальше работает как самостоятельная программа - отличается только в способе завершения работы. Кнопкой **«Завершить и передать данные»** (справа под вертикальными панелями инструментов) программу закрываем: полученные в расчёте данные передаются в исходную программу. При выходе нажатием кнопки **«Завершить без передачи данных»** данные не передаются.

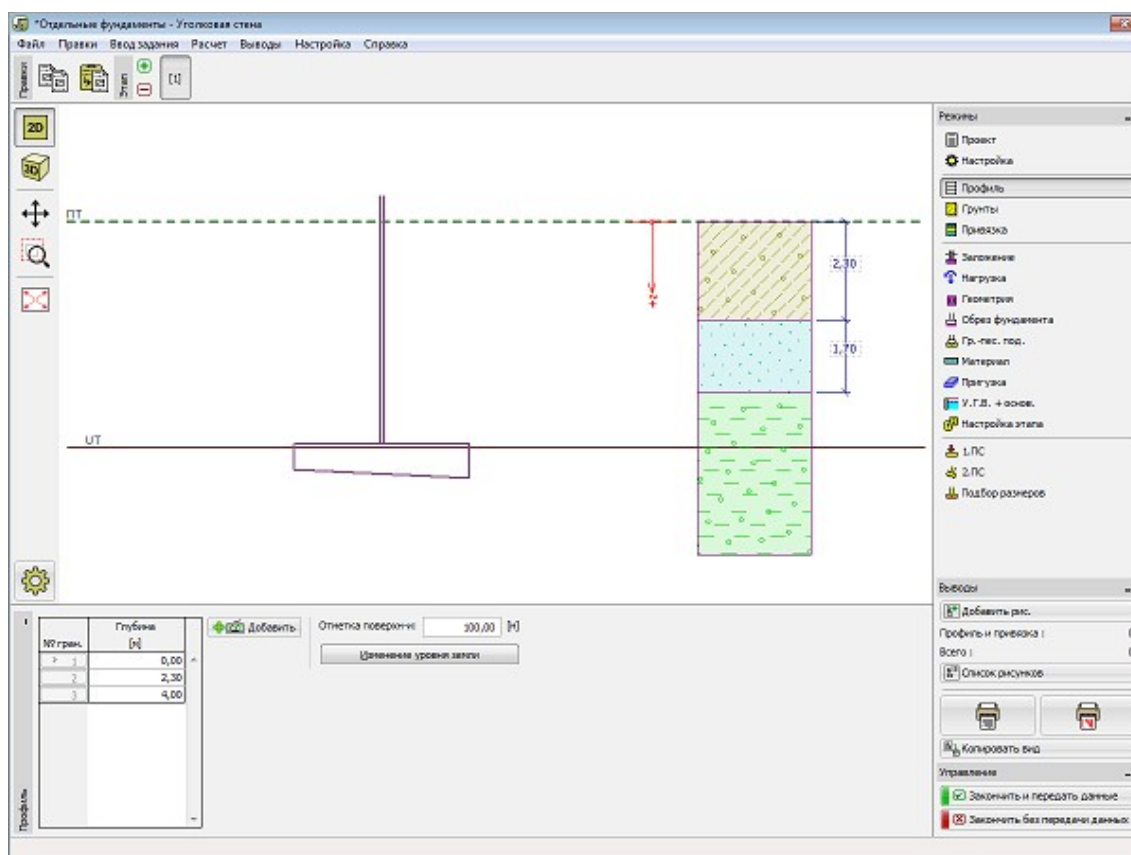
**При первом запуске программы** будут созданы данные конструкции и переданы размеры конструкции, геологические условия, нагрузка, пригрузка и пр. данные. В программу **необходимо ещё ввести дополнительные данные**, как, напр., метод расчёта, настройки расчёта, поверхности скольжения, этапы проектирования и др.

**При повторном запуске программы** (обязательно всегда после изменения данных в исходной программе) программа обновляет передаваемые данные, но **заданные данные работающей программы сохраняет**. Напр., при подключении в программу **«Отдельные фундаменты»** сохраняется без изменений заданная гравий-песчаная подушка вместе с заданным грунтом, но размеры отдельного фундамента, геометрия заложения и геологический профиль всегда обновляются.

В запущенной программе запрещено выполнять некоторые операции - напр., менять



основные настройки проекта, единицы измерения и пр. Сгенерированную задачу можно однако **«Сохранить как»** в новых данных и работать над ней полностью самостоятельно.



Запуск программы «Отдельные фундаменты» из программы «Угловая стена»

## Выбор и сохранение видов

Программы содержат ряд опций как отображать результаты, которые можно вызвать в рамке **«Настройка рисования : Расчёт»**. Часто приходится выполнять сложные и трудоёмкие настройки видов - напр., чтобы увидеть эпюру сил на балках в МКЭ, нужно отключить палитру, не рисовать деформированную конструкцию, сделать выбор величины, задать подходящее масштабирование конструкции и пр.

Для облегчения работы с видами в программах существует возможность с помощью панели **«Сохранённые виды»** **сохранить настройку вида** и простым способом **переключаться между сохранёнными видами**.

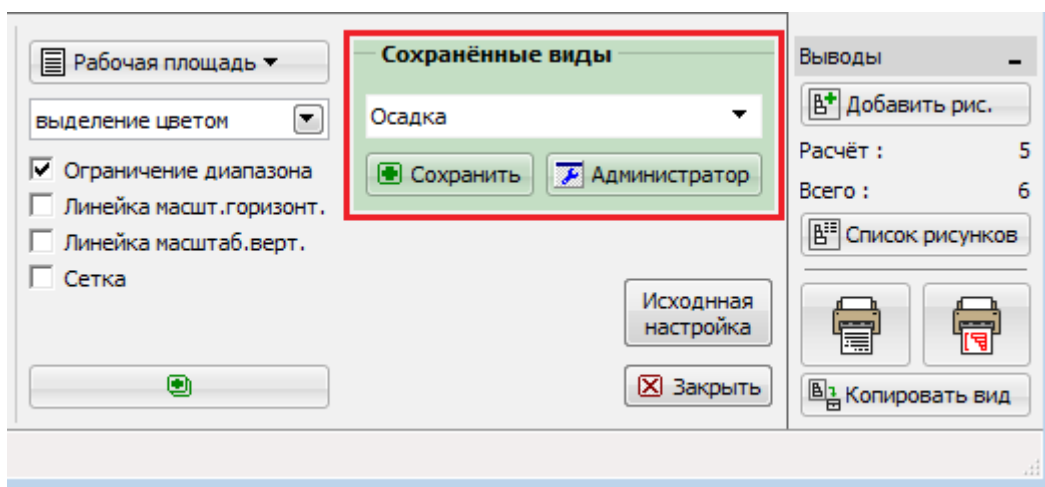
**В сохраняемый вид будут сохранены:**

- все настройки из диалогового окна **«Настройка рисования : Расчёт»**
- отрисованные величины
- палитра (шкала)
- zoom (масштабирование) рисунка

Вид сохраняется всегда для всех **этапов проектирования** - при невозможности на каком-нибудь этапе проектирования такую настройку выполнить (напр., на первом этапе проектирования нет определения ни осадки, ни мульды оседания) программа отрисует

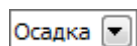
ближайшую возможную настройку и настроенный вид переключит в <нет вида>.

Элементы управления отображаются в режиме «Расчёт» в рамке «Настройка рисования».



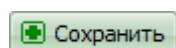
«Сохранённые виды» - элементы управления

Для работы с видами предназначены следующие элементы управления:



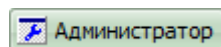
**Выбор вида**

- В выпадающем списке можно выбрать ранее заданный сохранённый вид.



**Сохранит текущий вид**

- Откроет диалоговое окно «**Новый вид**» для сохранения нового вида.



**Откроет диспетчер видов**

- Откроет диалоговое окно «**Диспетчер видов**» с списком видов.

## Настройка рисования : Расчёт

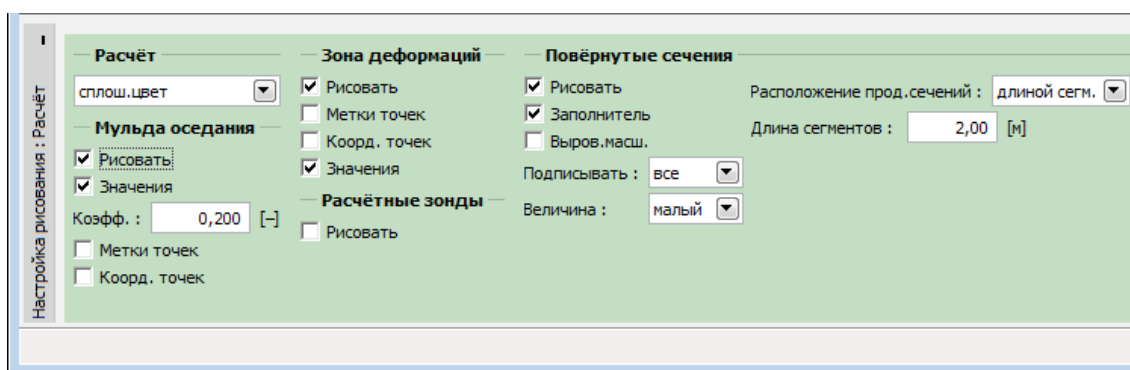
Рамка «**Настройка рисования : Расчёт**» предназначена для наглядного отображения результатов на мониторе и для печати. В рамке можно включить:

- параметры отрисовки **мульды оседания** и **зоны деформации**
- настройки двумерных отображений и отрисовки **палитры цвета**
- настройки и отрисовки **повёрнутых сечений**

В программах на основе **метода конечных элементов** можно также выбирать:

- параметры отрисовки **сетки** конечных элементов
- параметры отрисовки конструкции - **деформированной** / **недеформированной** (**Примечание:** у деформированной конструкции не отрисовываются эпюры внутренних сил на балках)
- **эпюры внутренних сил** на контактах и балочных элементах

Всю информацию заданную в этой рамке (вместе с настройкой текущего увеличения) можно сохранять с помощью панели «**Выбор и сохранение видов**».



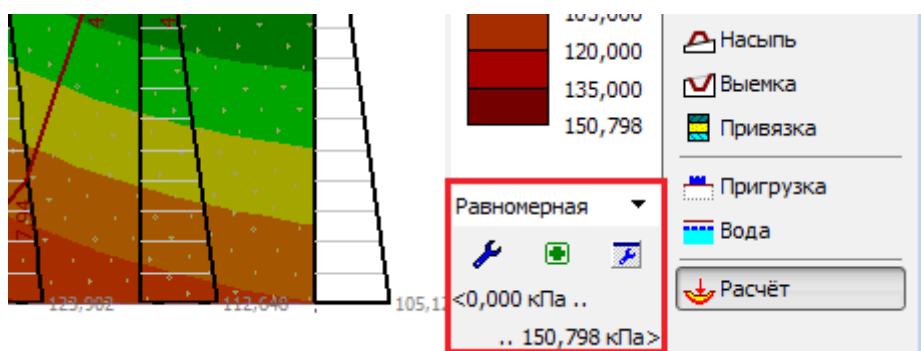
Рамка «Настройка рисования» - настройка отображения результатов

## Настройка палитры

Палитра цвета - важный инструмент для наглядного отображения результатов.

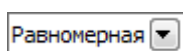
В программе предварительно настроена палитра двух типов - «**Равномерная**» и «**Через ноль**». Обе палитры имеют плавающие минимум и максимум значений и предварительную настройку цвета. Минимальное и максимальное значения палитры после изменения величины или этапа проектирования **автоматически обновляются**. В палитре «**Равномерная**» цвета равномерно распределены от минимума до максимума. Палитра «**через ноль**» отрисовывает цвет выше нуля тёплыми оттенками (желтая, красная), ниже нуля холодными оттенками (зелёная, синяя).

В программе можно определить **пользовательские палитры**, а именно, и с **фиксированными** минимум и максимум, и с **плавающим** минимумом и максимумом. Пользовательская палитра вводится в диалоговом окне «**Определение палитры цвета**». Определение палитры всегда относится к **текущей единице измерения** (напр., *кПа, м*) - при переключении величин всегда устанавливается текущая палитра для соответствующей единицы измерения.



Элементы управления панели инструментов «Палитра»

Для работы с палитрой назначены следующие кнопки:



### Выбор палитры

- в выпадающем списке можно выбрать ранее заданную сохранённую палитру.



### Определение палитры цвета

- откроет диалоговое окно «**Определение палитры цвета**», в котором можно дать определение пользовательской палитры.



### Сохранит текущую

- откроет диалоговое окно «**Новая палитра**»



**палитру**

для сохранения палитры.

**Откроет диспетчер палитр**

- Откроет окно со списком автоматических и пользовательских палитр.

## Определение палитры цветов

Диалоговое окно **«Определение палитры цветов»** предназначено для задания **пользовательской палитры**.

Кнопка-флажок **«Плавающие минимумы и максимумы»** определяет основной тип палитры - с флажком - минимумы и максимумы палитры будут всегда автоматически перерасчитаны при изменении величины или этапа проектирования. В таком случае редактировать можно:

- **число делений** палитры (минимальное - 4, максимальное - 100)
- **цвета** палитры
- **равномерная палитра / через значение**

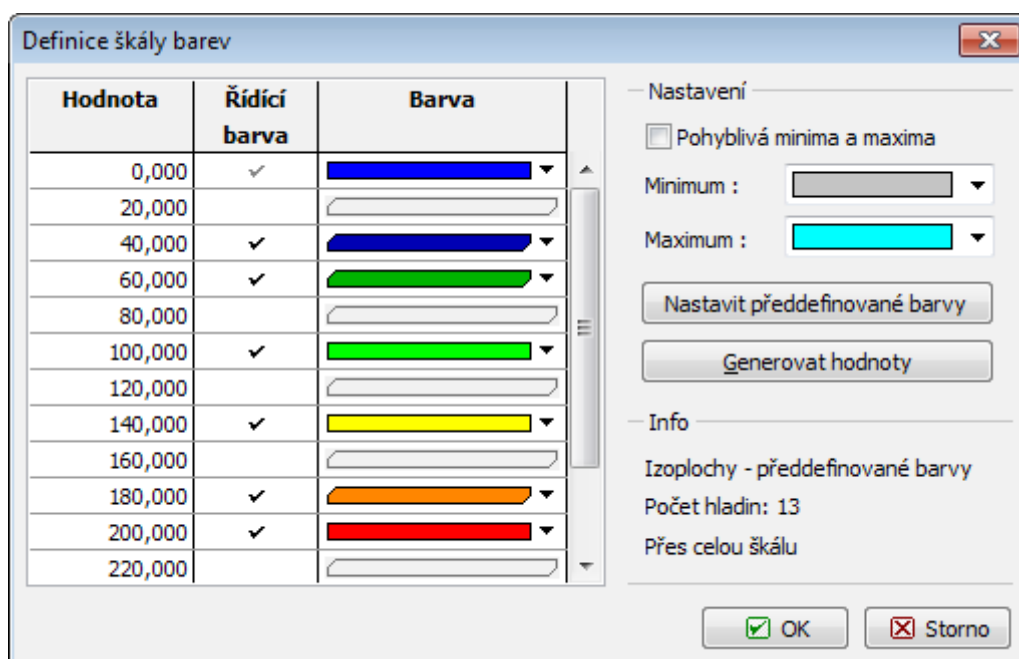
**Число делений палитры и тип палитры** задают в диалоговом окне **«Генерирование палитры»**, которое вызывают кнопкой **«Генерировать значения»**. **Значения и цвет** можно менять прямо в таблице в левой части диалогового окна. Значения палитры можно просто переписать в таблице. При флажке в поле столбца **«Применить цвет»**, можно для данного значения выбирать любой цвет из выпадающего списка. Цвета на промежуточных незачёркнутых строках автоматически смешиваются из цветов в зачёркнутых строках. К исходным значениям можно всегда вернуться, нажав кнопку **«Настроить цвета по умолчанию»**.

Важно, что программа позволяет определять палитры с **фиксированными минимумом и максимумом**. При установленном флажке на кнопке **«Плавающие минимумы и максимумы»** - имеем фиксированную палитру с заданными минимумом и максимумом. В отличие от плавающей палитры можно ещё задавать:

- **конечные значения палитры** (в диалоговом окне **«Генерирование палитры»**)
- **цвета для отображения значений вне палитры**

После изменения величины, или этапа проектирования **палитра не меняется**, остаются те же конечные значения. Значения, выходящие за пределы палитры (ниже минимума, выше максимума) отрисовываются цветами, которые задают в правой верхней части окна. **Минимальные и максимальные значения палитры** задают в диалоговом окне **«Генерирование палитры»**. Заданные минимальные и максимальные значения палитры **отнесены к одной единице измерения** - напр., если задать диапазон палитры 0-200 *кПа*, то такая палитра сохраняется для всех величин с единицей измерения *кПа* - при изменении отрисованной величины осадки будет отрисована текущая палитра относящаяся к единице осадки.

Для фиксированной и плавающей палитр можно выбирать будут ли цвета в палитре распределены **равномерно** или **через значения**. **«Равномерная»** палитра - это плавное распределение цветов от минимума до максимума палитры. Палитра **«через значение»** отрисовывает цвета над заданным значением тёплыми цветами (жёлтая, красная), под заданным значением холодными цветами (зелёный, синий).



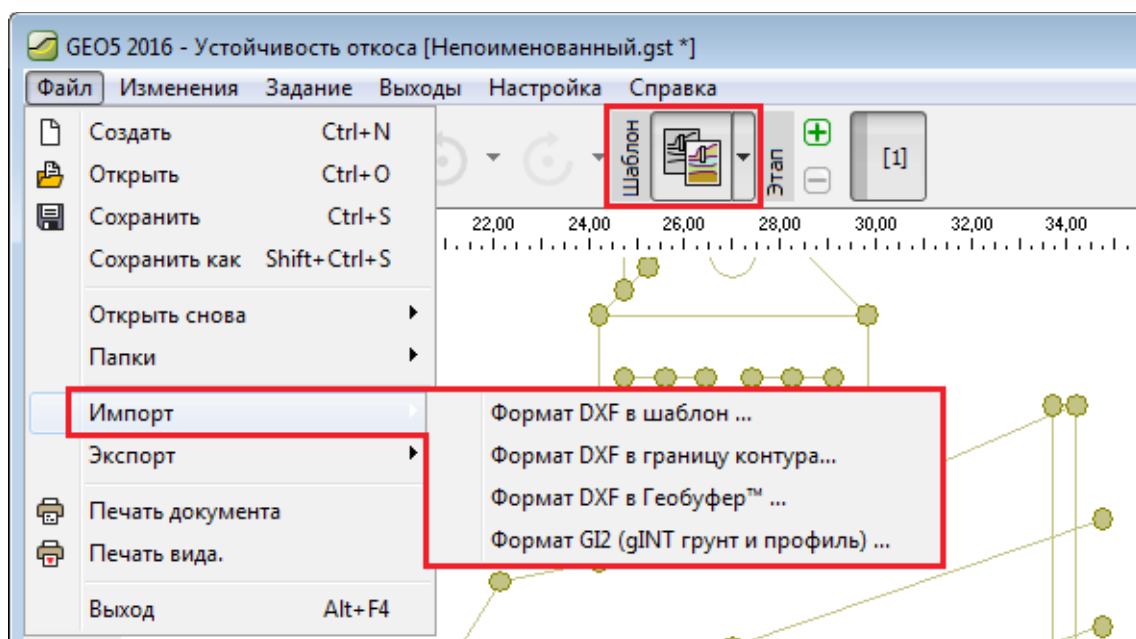
Диалоговое окно «Определение палитры цвета»

## Импорт - экспорт DXF

**Программы 2D** («Устойчивость откоса», «Осадка», «МКЭ», «Балка») позволяют импорт и экспорт данных в формате DXF.

**Программы 1D** («Угловая стена», «Габион», «Отдельные фундаменты», «Свая»...) позволяют только экспорт данных в формате \*.DXF.

Главное меню программы (пункт «**Файл**») содержит пункты «**Импорт**» - «**Формат DXF в шаблон**», «**Формат DXF в границу контура**», «**Формат DXF в Геобуфер**», «**Экспорт**» - «**Формат DXF**».



### Меню и панель инструментов «Экспорт-Импорт DXF»

Процесс импорта идёт поэтапно:

- Загрузка данных в шаблон
- Загрузка данных в границу контура
- Ввод данных с помощью шаблона
- Модификация шаблона при задании

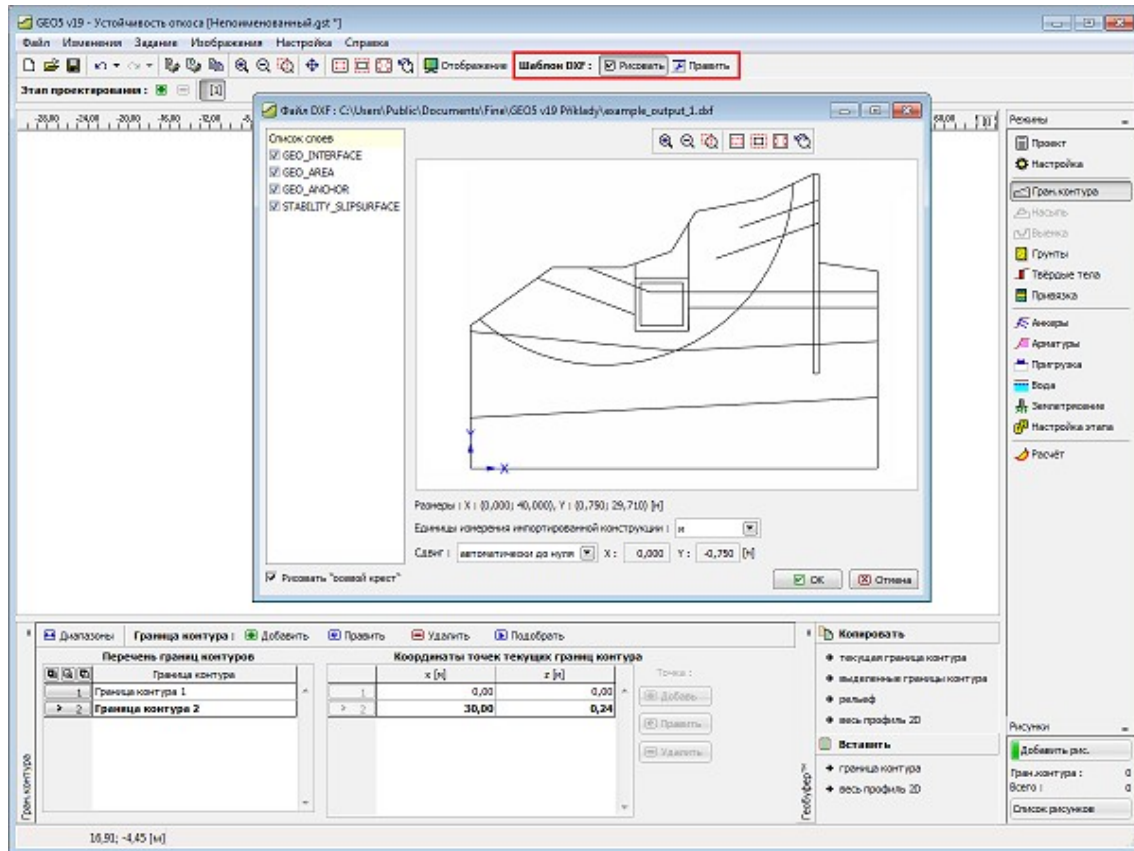
Данные заданные в программе можно всегда **экспортировать в формате DXF**.

## Загрузка данных в шаблон

В меню программы («Файл») выбираем пункт «Импорт», «Формат DXF в шаблон» и стандартным образом выделяем файл, назначенный на импорт. После загрузки данные отобразятся в диалоговом окне «Файл DXF». В нём выбираем отдельные слои, которые впоследствии будут загружены в шаблон. В программу данные всегда загружаются полностью, т.ч. выбор слоёв можно **когда-либо изменить**.

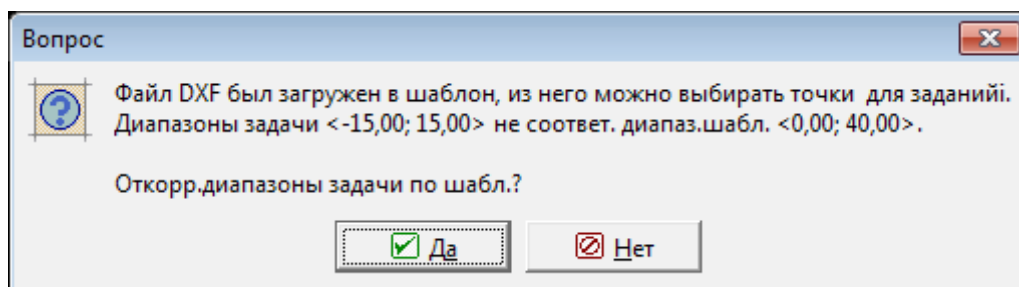
При импорте можно менять пр координаты пространства модели задачи в соответствии с импортированными данными - это особенно удобно при вводе новой задачи.

Импортированные данные не переводятся непосредственно в данные целевой программы, а загружаются в шаблон, с **помощью которого они позже переведены в данные программы**. После загрузки данных шаблон с данными отобразится на рабочем столе и открывает доступ к кнопкам для работы с шаблоном на горизонтальной панели управления.





### Загрузка данных в шаблон



### Изменение координат пространства модели

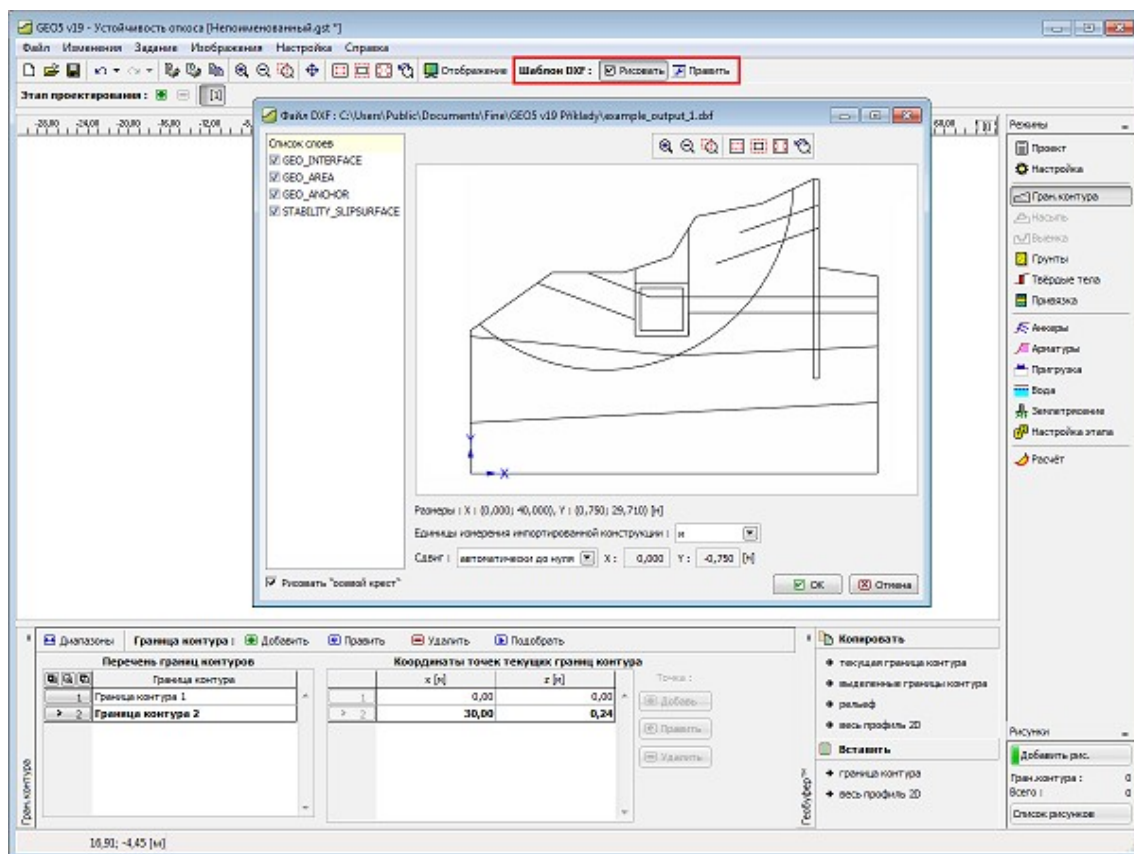
## Загрузка данных в границы контура

В меню программы («Файл») выбираем пункт «Импорт», «Формат DXF в границы контура» и стандартным образом выбираем файл на импорт.

Данные загружаются и отображаются в диалоговом окне «Импорт DXF», в котором можно выбирать отдельные слои и определять дальнейшие параметры. После импорта программа автоматически подгоняет координаты пространства модели задачи под загруженные данные.

После подтверждения кнопкой «ОК» создана новая задача и данные вводятся в границы контура.

Если не удаётся полностью загрузить выбранные слои конструкции, то программа позволяет использовать загруженный файл DXF в качестве шаблона.



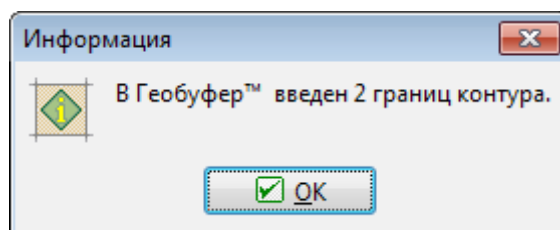
*Загрузка данных в границы контура*

## Загрузка данных в Геобуфер

В меню программы («**Файл**») выбираем пункт «**Импорт**», «**Формат DXF в Геобуфер**» и стандартным образом выбираем файл на импорт.

Данные загружены и отображены в диалоговом окне «**Импорт DXF**», в котором можно выбирать отдельные слои и определять разные параметры.

После подтверждения обрабатываются выбранные слои файла DXF в границы контура и вводятся в **Геобуфер**, из которого можно вставлять данные на разные места в программе.

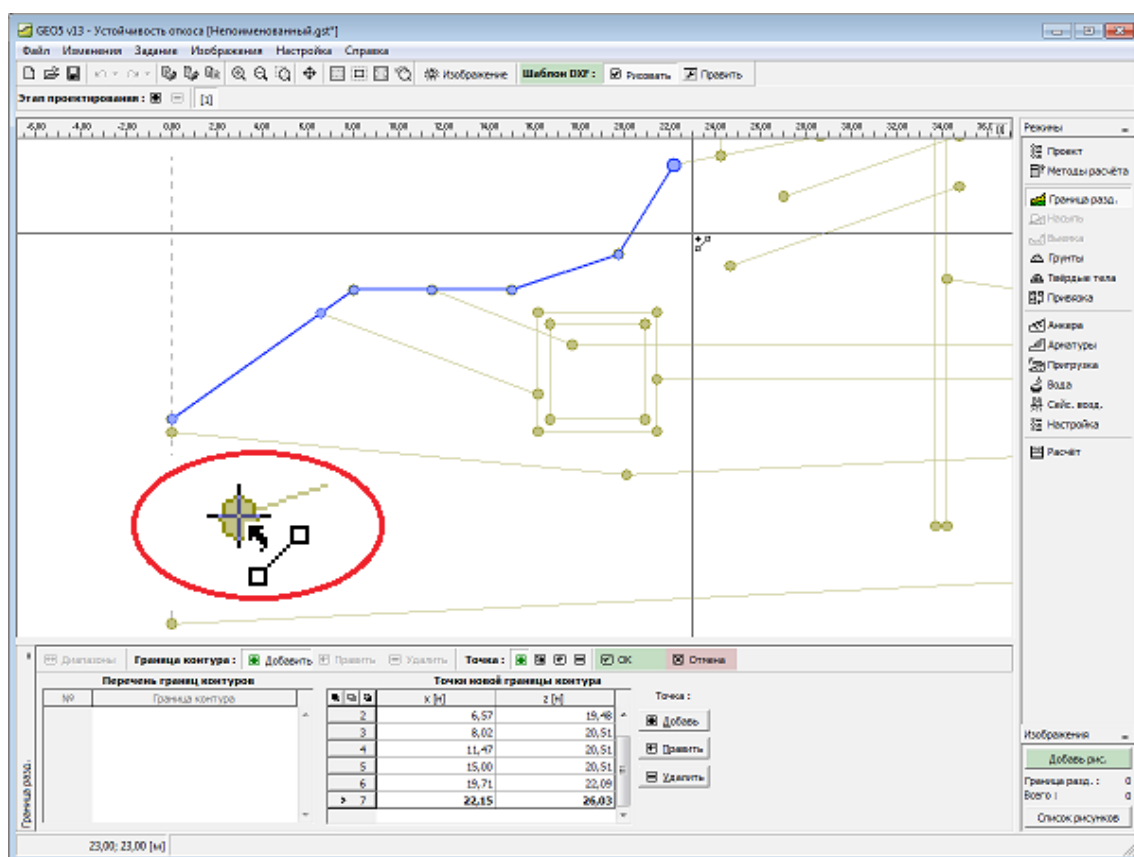


*Подтверждение о вставке границ контура из файла DXF в Геобуфер*

## Ввод данных с помощью шаблона

Ввод данных с применением шаблона практически не отличается от обычного способа ввода данных в программу. Отличие в основном заключается в том, что точку из шаблона можно задавать в вводимые данные. При этом курсор принимает форму креста осей - при подходе к точке шаблона, курсор меняется в небольшой крестик, а длинные оси исчезают. Если в этот момент задать точку (нажатием левой кнопки мыши), будет вставлена точка из шаблона (у заданной точки те же координаты как у точки шаблона). При этом целесообразно использовать инструменты масштабирования (зум), что сильно ускоряет ввод отдельных линий. После задания границы контура можно таким же образом вводить другие объекты. В процессе ввода можно в **любой момент редактировать шаблон**.

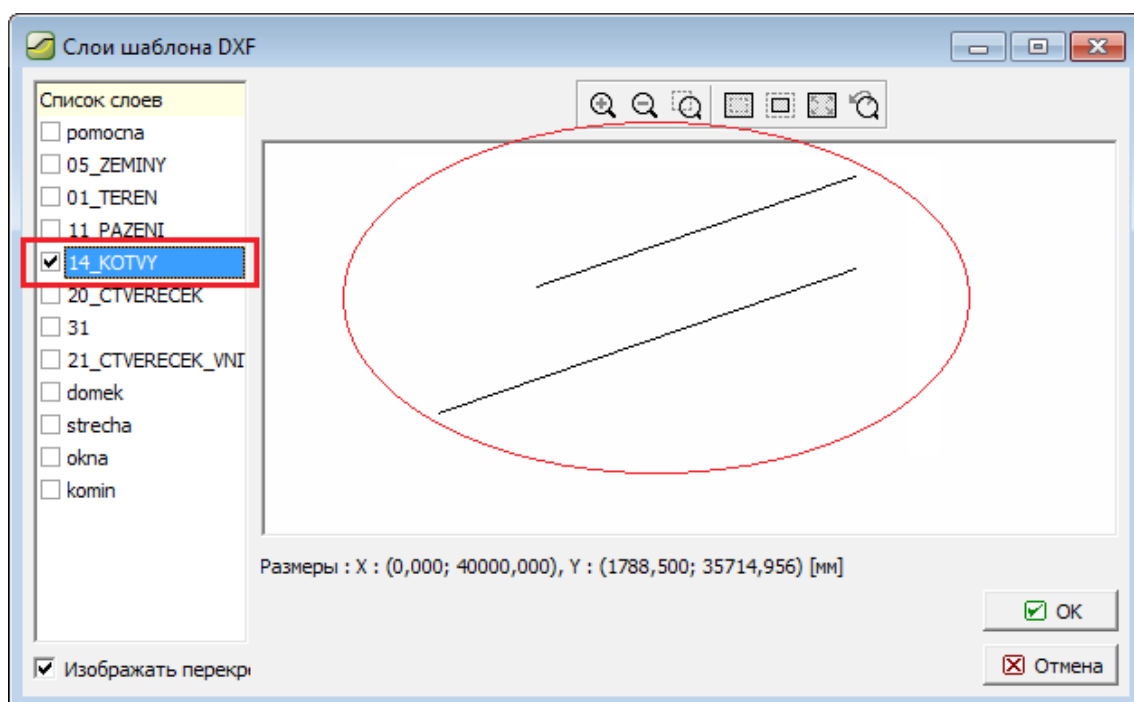




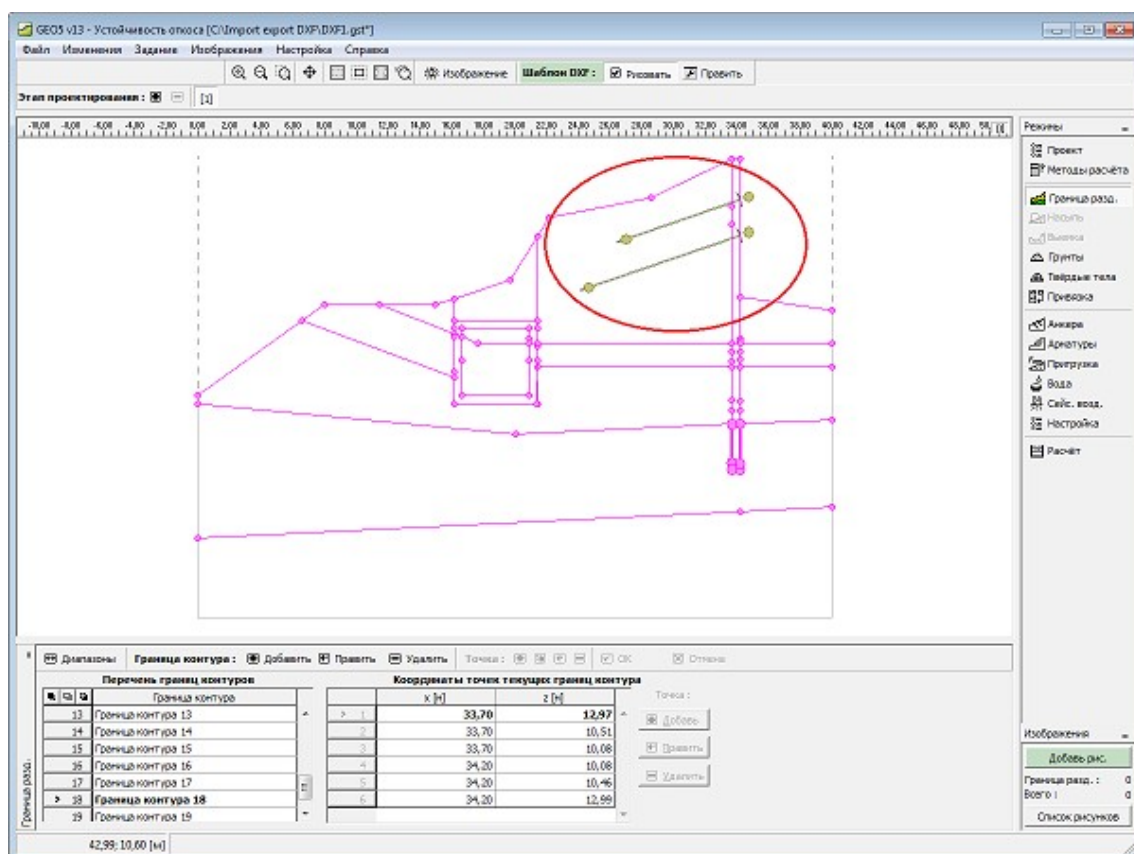
Ввод данных с помощью шаблона

## Редактирование шаблона в процессе ввода

В процессе ввода данных можно редактировать шаблон. После нажатия кнопки «**Правка**» на панели «**Шаблон DXF**» отображается диалоговое окно с отдельными слоями шаблона. Напр., задавая анкера, можно отключить все слои кроме анкеров - ввод задания на анкера становится простым и наглядным.



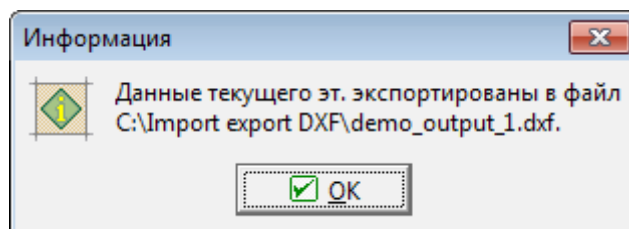
Включение / отключение слоёв в шаблоне



Изображение слоёв в шаблоне после правки

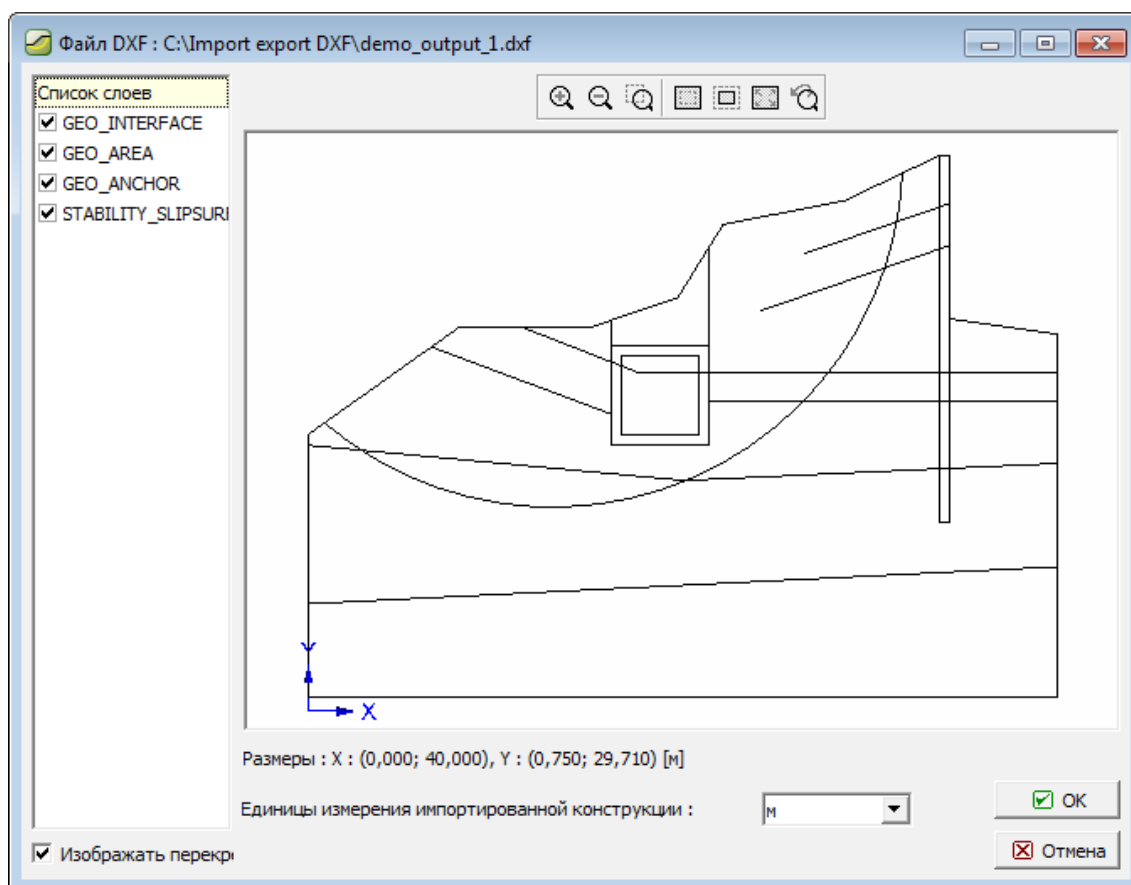
## Экспорт DXF

В меню программы («Файл») выбираем команду «Экспорт», «Формат DXF» и стандартным способом вводим имя файла назначенного на экспорт. Программа с помощью диалогового окна сообщает о выполнении экспорта.



*Сообщение о выполнении экспорта данных*

Вид, в котором были экспортированы данные можно проверить обратным импортом в программу GEO5.



*Проверка экспортированных данных*

## DXF Импорт

В диалоговом окне Импорт DXF выполняется уточнение параметров импорта DXF.

В верхней части отображён просмотр импортных данных.

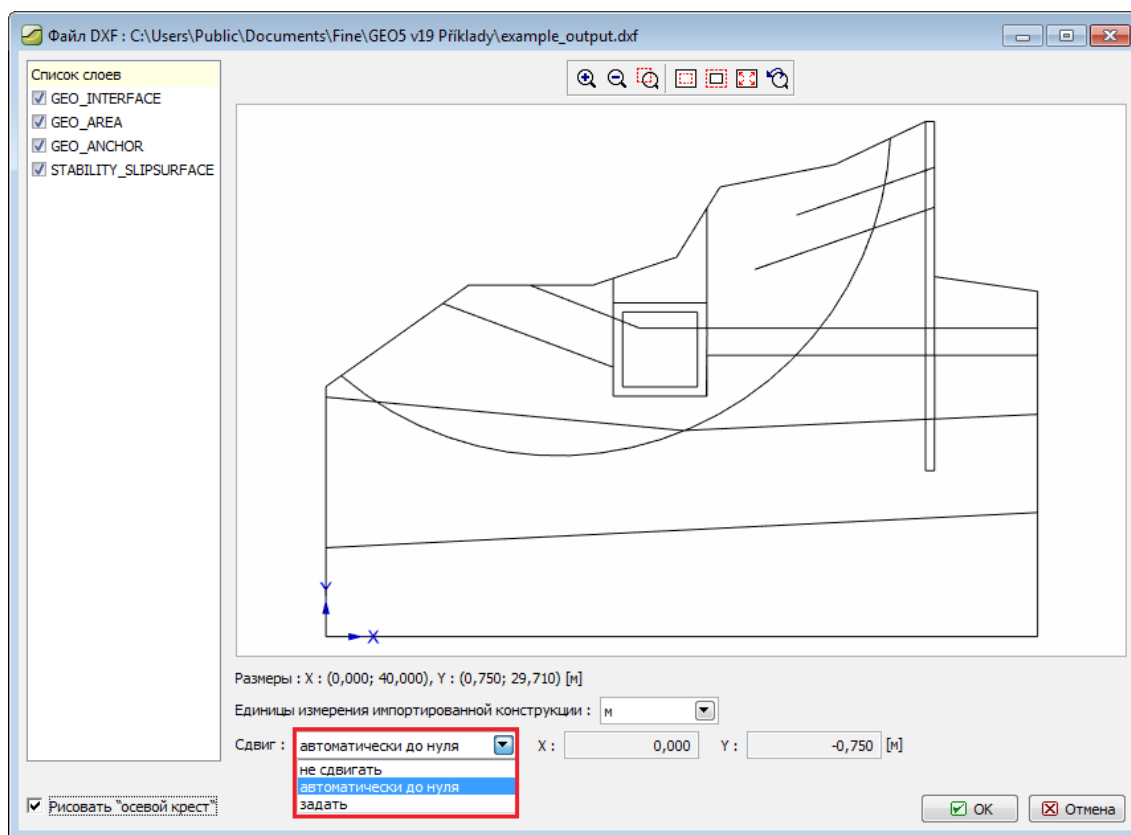
В левой части можно выбрать слои файла DXF на загрузку.

В нижней части можно определить единицу, которая была использована при создании файла DXF. Программа сама пытается определить единицу, но **всегда нужно проверить** корректное задание единиц.

Конструкцию можно перемещать. Программа предлагает следующие опции:

- **не сдвигать** - в том случае данные вводим в виде, в каком они заданы
- **автоматически до нуля** - в этом случае левый нижний угол конструкции сдвигается в начало системы координат.
- **задать** - в этом случае задаём ручное перемещение

Если программа не может ввести элементы дуга или окружность, то с помощью параметра можно задать способ деления на отрезки.



Диалоговое окно для редактирования DXF данных

## Import табличных данных

При помощи этого инструмента можно выполнять импорт табличных данных (т.е. данных расположенных в столбцы) в таблицы в программе, напр., нагрузка, координаты, и т.п. Инструмент умеет считывать следующие форматы:

- текстовый файл отделяемый **разделителями**, как напр., запятая, точка с запятой, табуляция, - чаще всего расширение CSV
- текстовый файл общего вида с **фиксированной шириной столбцов**, данные расположены в столбцы с помощью пробелов или табуляции, - чаще всего расширение TXT
- **таблицы** Microsoft Office Excel (Office Open XML) - расширение XLSX

- **таблицы** OpenOffice (OpenDocument) - расширение ODS

Импорт происходит в трёх шагах, которые отличаются друг от друга в зависимости от считываемого формата. В верхней части окна показана краткая справка. Программа старается предложить наиболее подходящие параметры перевода с учётом формата и содержимого файла. В случае, что пользователь поменял некоторые параметры, программа старается запомнить эти изменения для будущего использования в других файлах.

### Шаг 1: выбор файла, определение его типа и отображение содержимого

В данном шаге видны части (1) Входной файл и (2) Предварительный просмотр входного файла.

Импорт нагрузки

Справка

- в части (1) выберите файл, который хотите скачать
- определите кодировку файла и будут-ли столбцы разделены специальными символами или по кол-ву символов в столбцах
- в части (2) виден файл отредакт. по параметрам

(1) Входной файл

Файл : C:\Users\Public\Documents\Fine\GEO5 v19 Příklad\import02.txt [Открой файл]

Кодировка : 20127 ASCII, 7-bit

Способ разделения столбцов : ☐ Разделители (табуляция, точка с запятой, пробел, ...)

☒ Фиксированная ширина Кол-во знаков табуляции : 8

(2) Пред.просмотр входного файла

1	Name	N	Mx	My	Hx	Hy	Design
2	V1	9.90	0.00	1879.25	-0.05	0.08	Y
3	V2	0.00	-162.00	1879.25	728.95	0.08	N
4	V3	0.00	0.00	3499.25	1079.95	0.08	Y
5	V4	0.00	-97.20	3499.25	1517.35	0.08	Y
6	V5	0.00	-162.00	3013.25	1484.95	0.08	N

[Далше] [Отмена]

### Шаг 1

### Шаг 2: разделение входного файла на столбцы

В этом шаге видны части (2) Предварительный просмотр входного файла, (3) Параметры разделения входного файла на столбцы и (4) Входной файл разделённый на столбцы.

**Импорт нагрузки**

**Справка**

- в части (2) виден отредакт. входной файл
- в части (3) можно отредакт. параметры разделения файла на столбцы
- в части (4) виден файл разделенный на столбцы

**(2) Пред.просмотр входного файла**

	1	Name	N	Mx	My	Hx	Hy	Design
2	V1	9.90	0.00	1879.25	-0.05	0.08	Y	
3	V2	0.00	-162.00	1879.25	728.95	0.08	N	
4	V3	0.00	0.00	3499.25	1079.95	0.08	Y	
5	V4	0.00	-97.20	3499.25	1517.35	0.08	Y	
6	V5	0.00	-162.00	3013.25	1484.95	0.08	N	

**(3) Параметры разделения вход.файла на столбцы**

Читать от строки :  до строки :  ☒ Заголовок от строки :  до строки :

Столбцы в файле :

A	B	C	D	E	F	G
8	8	8	8	8	8	8

**(4) Входной файл разделённый на столбцы**

A (ABCDEFG)	B (123,45)	C (123,45)	D (123,45)	E (123,45)	F (123,45)	G (ABCDEFG)
Name	N	Mx	My	Hx	Hy	Design
V1	9,90	0,00	1879,25	-0,05	0,08	Y
V2	0,00	-162,00	1879,25	728,95	0,08	N
V3	0,00	0,00	3499,25	1079,95	0,08	Y
V4	0,00	-97,20	3499,25	1517,35	0,08	Y
V5	0,00	-162,00	3013,25	1484,95	0,08	N

Шаг 2

**Шаг 3: Привязка столбцов данным**

В этом шаге видны части (4) Входной файл разделённый на столбцы, (5) Привязка столбцов импортным данным и (6) Предварительный просмотр результата импорта.

**Импорт нагрузки**

**Справка**

- в части (4) виден файл разделенный на столбцы
- в части (5) откорр. привязку столбцов к данным, которые будут переданы, и задайте множитель и др. параметры
- в части (6) видны данные, к-ые будут переданы в программу

**(4) Входной файл разделённый на столбцы**

A (ABCDEFG) Name	B (123,45) N	C (123,45) Mx	D (123,45) My	E (123,45) Hx	F (123,45) Hy	G (ABCDEFG) Design
V1	9,90	0,00	1879,25	-0,05	0,08	Y
V2	0,00	-162,00	1879,25	728,95	0,08	N
V3	0,00	0,00	3499,25	1079,95	0,08	Y
V4	0,00	-97,20	3499,25	1517,35	0,08	Y
V5	0,00	-162,00	3013,25	1484,95	0,08	N

**(5) Привязка столбцов импортным данным**

Имя	Вертикальная сила N [кН]	Изгиб.момент M <sub>x</sub> [кНм] M <sub>y</sub> [кНм]		Горизонтальная сила H <sub>x</sub> [кН] H <sub>y</sub> [кН]		Проектное
A: Name	B: N	C: Mx	D: My	E: Hx	F: Hy	G: Design
	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	Привязка

**(6) Предв.просмотр результата импорта**

Имя	Вертикальная сила N [кН]	Изгиб.момент M <sub>x</sub> [кНм] M <sub>y</sub> [кНм]		Горизонтальная сила H <sub>x</sub> [кН] H <sub>y</sub> [кН]		Проектное
V1	9,90	0,00	1879,25	-0,05	0,08	Да
V2	0,00	-162,00	1879,25	728,95	0,08	Нет
V3	0,00	0,00	3499,25	1079,95	0,08	Да
V4	0,00	-97,20	3499,25	1517,35	0,08	Да
V5	0,00	-162,00	3013,25	1484,95	0,08	Нет

Назад OK Отмена

### Шаг 3

После нажатия кнопки «**ОК**» данные переданы в программу.

## (1) Входной файл

В этой части определяют входной файл и его основные параметры. Файл открывается стандартным способом кнопкой «**Открой файл**». Программа выполняет анализ входного файла и загружает данные в этой части.

При импорте **текстового файла**, определяются следующие параметры:

- Кодирование - можно изменить, в какой кодировке (язык) записан файл
- Способ разделения столбцов - определяется разделён-ли файл специальными символами ( уточняются **дальше**), или это столбцы фиксированной ширины
- Количество знаков табуляции - для дальнейшей обработки программа заменяет табуляторы пробелами, этим параметром можно воздействовать на

(1) Входной файл

Файл : C:\Users\Public\Documents\Fine\GEO5 v 19 Příklady\import02.txt Открой файл

Кодировка : 20127 ASCII, 7-bit

Способ разделения столбцов : ☐ Разделители (табуляция, точка с запятой, пробел, ...)

☒ Фиксированная ширина Кол-во знаков табуляции : 8

### Текстовый файл

В случае импорта **файла табличного процессора** (напр., Excel), здесь можно определить лист, который предназначен на импорт.

(1) Входной файл

Файл : C:\Users\Public\Documents\Fine\GEO5 v 19 Příklady\import02.ods Открой файл

Лист : Sheet1

### Файл табличного процессора

В обоих случаях можно проверять результат в части (2) **Предварительный просмотр входного файла**. Если всё верно, нажимаем кнопку «Далее».

## (2) Предварительный просмотр входного файла

При импорте **текстового файла с разделителями**, просмотр выделяет наиболее часто применяемые разделители.

(2) Пред.просмотр входного файла

```

1 Name»N»Mx»My»Hx»Hy»Design
2 V1»9.90»0.00»1879.25»-0.05»0.08»Y
3 V2»0.00»-162.00»1879.25»728.95»0.08»N
4 V3»0.00»0.00»3499.25»1079.95»0.08»Y
5 V4»0.00»-97.20»3499.25»1517.35»0.08»Y
6 V5»0.00»-162.00»3013.25»1484.95»0.08»N

```

### Текстовый файл с разделителями

При импорте **текстового файла фиксированной ширины**, просматриваемый текст будет иметь следующий вид:

(2) Пред.просмотр входного файла

1	Name	N	Mx	My	Hx	Hy	Design
2	V1	9.90	0.00	1879.25	-0.05	0.08	Y
3	V2	0.00	-162.00	1879.25	728.95	0.08	N
4	V3	0.00	0.00	3499.25	1079.95	0.08	Y
5	V4	0.00	-97.20	3499.25	1517.35	0.08	Y
6	V5	0.00	-162.00	3013.25	1484.95	0.08	N

### Текстовый файл фиксированной ширины

При импорте **файла табличного процессора**, в окне просмотра будут показаны адреса ячеек.

(2) Пред.просмотр входного файла

	A	B	C	D	E	F	G
1	Name	N	Mx	My	Hx	Hy	Design
2	V1	9.90	0.00	1879.25	-0.05	0.08	Y
3	V2	0.00	-162.00	1879.25	728.95	0.08	N
4	V3	0.00	0.00	3499.25	1079.95	0.08	Y
5	V4	0.00	-97.20	3499.25	1517.35	0.08	Y
6	V5	0.00	-162.00	3013.25	1484.95	0.08	N



### Файл табличного процессора

## (3) Параметры разделения входного файла на столбцы

Программа выполняет анализ входного файла и вводит в эту часть полученные параметры.

При импорте **текстового файла с разделителями**, уточняются следующие параметры:

(3) Параметры разделения вход.файла на столбцы

Читать от строки : 2 до строки : 6 ☒ Заголовок от строки : 1 до строки : 1 ☒ Анализировать разделители

Разделители столбцов : ☒ Табулятор (») ☐ Точка с запятой (;) ☐ Запятая (,) ☐ Пробел (·) ☐ Другие

☐ Последовательность разделителей как один

Разделители текста : Разделитель комментария :

### Текстовый файл с разделителями

- определяется первая и последняя строка на считывание, содержит ли строка заголовок, а также первая и последняя строка заголовка
- определяются разделители столбцов отметкой флажков отдельных типов, или включают «Другие» и добавляют новые в поле ввода
- флажок «**Последовательность разделителей как один**» определяет как программа будет работать с разделителями непосредственно следующими один за другим (даже с разделителями разных типов)
- разделители текста определяют, ограничены ли текстовые столбцы слева и справа каким-нибудь знаком
- разделитель комментария определяет знак, после которого до конца строки содержимое файла пренебрегается

Кнопка «**Анализируй разделители**» позволяет после изменения диапазона импорта снова анализировать параметры.

При импорте **текстового файла фиксированной ширины**, здесь определяется количество и ширина отдельных столбцов.

(3) Параметры разделения вход.файла на столбцы

Читать от строки : 2 до строки : 6 ☒ Заголовок от строки : 1 до строки : 1 ☒ Анализировать столбцы

Столбцы в файле : ☒ Добавить ☐ Удали

A	B	C	D	E	F	G
8	8	8	8	8	8	8

### Текстовый файл фиксированной ширины

- определяются первая и последняя строка на считывание, содержит ли любая строка заголовок, а также первая и последняя строка заголовка
- кнопкой «**Добавить**» добавляется столбец в конец списка, кнопкой «**Удали**» удаляется последний столбец
- в таблице «**Столбцы в файле**» задаётся ширина отдельных столбцов

Кнопка «**Анализируй столбцы**» позволяет после изменения диапазона импорта снова анализировать параметры.

При импорте **файла табличного процессора** определяется только первая и последняя

строка на считывание, содержит ли какая-нибудь строка заголовков, а также первая и последняя строка заголовка.

(3) Параметры разделения вход.файла на столбцы

Читать от строки :  до строки :  ☒ Заголовок от строки :  до строки :

#### Файл табличного процессора

Во всех случаях можно проверять результат в части (4) **Входной файл разделённый на столбцы**. Если всё верно, нажимаем кнопку «Дальше».

## (4) Входной файл разделённый на столбцы

В этой части показан входной файл в таблице разделённый по параметрам. Первая строка заголовка содержит буквы от A и далее, вторая строка указывает тип данных в столбце, в третьей может находится заголовок из импортного файла. Данные могут быть типа:

- (ABCDEFGH) текст в общем
- (123,45) число с десятичной запятой
- (123) число без десятичной запятой

(4) Входной файл разделённый на столбцы

A (ABCDEFGH) Name	B (123,45) N	C (123,45) Mx	D (123,45) My	E (123,45) Hx	F (123,45) Hy	G (ABCDEFGH) Design
V1	9,90	0,00	1879,25	-0,05	0,08	Y
V2	0,00	-162,00	1879,25	728,95	0,08	N
V3	0,00	0,00	3499,25	1079,95	0,08	Y
V4	0,00	-97,20	3499,25	1517,35	0,08	Y
V5	0,00	-162,00	3013,25	1484,95	0,08	N

#### Обработанный входной файл

## (5) Привязка столбцов импортным данным

Программа подготовит первую привязку столбцов. Затем привязку можно менять вручную. Система запоминает пользовательские изменения для приоритетного использования в аналогичных случаях.

Изменения привязок выполняются в следующей таблице:

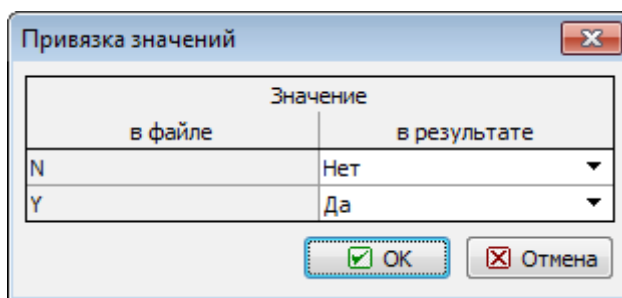
(5) Привязка столбцов импортным данным

Имя	Вертикальная сила N [кН]	Изгиб. момент M <sub>x</sub> [кНм] M <sub>y</sub> [кНм]		Горизонтальная сила H <sub>x</sub> [кН] H <sub>y</sub> [кН]		Проектное
A: Name	B: N	C: Mx	D: My	E: Hx	F: Hy	G: Design
	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	Привязка

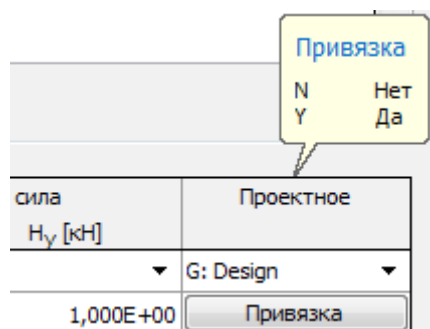
#### Привязка столбцов

- Заголовок таблицы содержит столбцы, которые требует режим программы, в которую выполняется импорт.
- На первой строке таблицы выбирают из выпадающего списка столбец импортного файла, который будет передан в соответствующий столбец данных. Столбцы можно использовать повторно, но привязывать можно только данные совместимого типа, т.е. нельзя использовать текстовый столбец для чисел.
- На второй строке можно для чисел определить множитель, кнопкой «Привязка» можно в окне определить как будет программа работать со значениями типа **Да/Нет** и им подобными. Текущая привязка и прочая информация отображены во

всплывающей подсказке соответствующего столбца.



Привязка значений



Всплывающая подсказка в диалоговом окне

Во всех случаях можно проверять результаты в части **(6) Предварительный просмотр результата импорта**. В случае появления проблем, сообщение об ошибке будет отображено непосредственно в окне.

Если всё верно, импорт заканчиваем кнопкой «**OK**».

## (6) Предварительный просмотр результата импорта

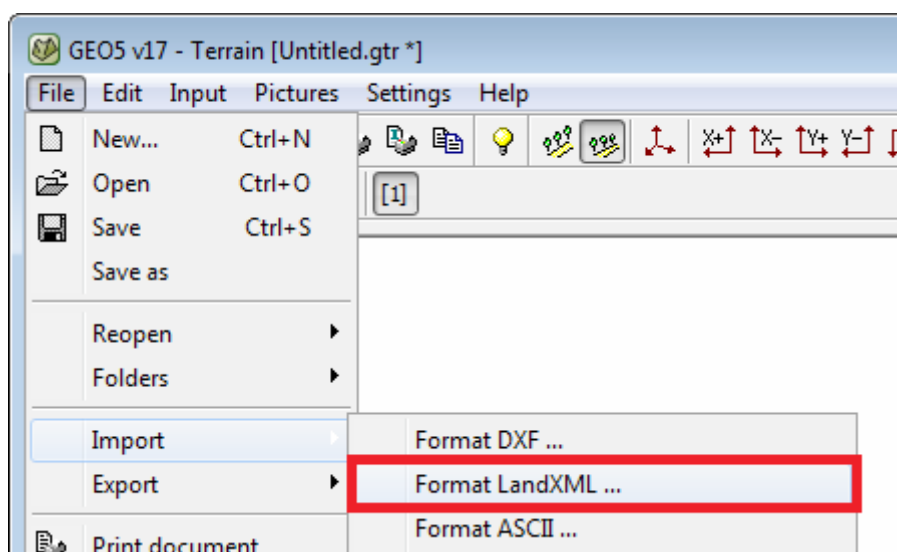
В этой части отображены данные, которые будут переданы в программу.

(6) Предв.просмотр результата импорта							
Имя	Вертикальная сила N [кН]	Изгиб.момент		Горизонтальная сила		Проектное	
		M <sub>x</sub> [кНм]	M <sub>y</sub> [кНм]	H <sub>x</sub> [кН]	H <sub>y</sub> [кН]		
V1	9,90	0,00	1879,25	-0,05	0,08	Да	
V2	0,00	-162,00	1879,25	728,95	0,08	Нет	
V3	0,00	0,00	3499,25	1079,95	0,08	Да	
V4	0,00	-97,20	3499,25	1517,35	0,08	Да	
V5	0,00	-162,00	3013,25	1484,95	0,08	Нет	

Результат импорта

## Импорт LandXML

Programs «**Terrain**» allow for importing data in LandXML format. Choose the «**Import**», «**Format LandXML**» item in the program menu («**File**») and then select in a standard way the file to be imported.



### *Import LandXML*

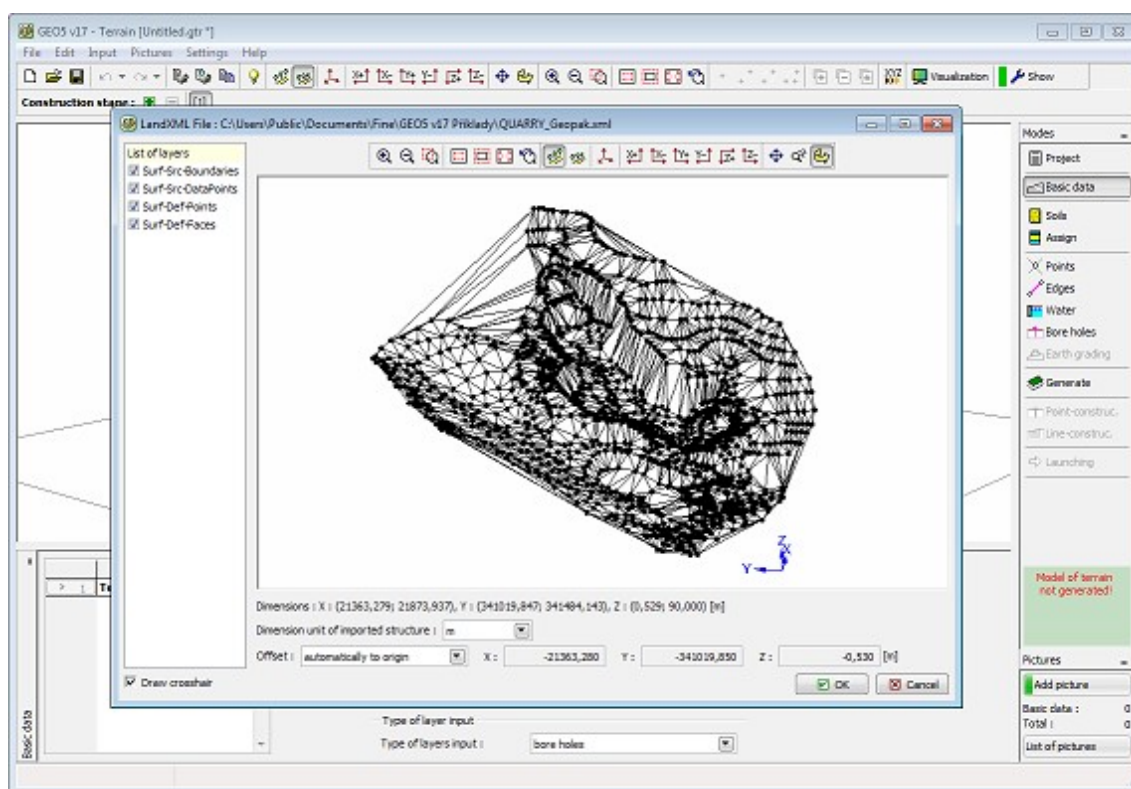
The loaded data are displayed in the dialog window, which allows for selecting individual layers to be loaded as points and interfaces. The same dialogue window allows also for modifying the unit used when creating the LandXML file. The structure can also be moved. The program offers the following options:

- **do not move** - this option reads data in the same way as they were inputted
- **automatically from zero** - this option moves the structure left bottom corner to the coordinate system origin
- **input** - this option allows for defining the shift manually

Up on import the program automatically adjusts the world margins based on the loaded data.

Supported LandXML elements: Units, Alignments, CgPoints, Parcels, PlanFeatures, Roadways, Surfaces, Survey.

Not supported LandXML elements: GradeModel, Spiral curves except clothoids.



Reading data

## Преимственность - этапы проектирования

С помощью **этапов проектирования** последовательно строится модель возведения сооружения (**необходимо для программ - Ограждения котлованов-анализ, Осадка, МКЭ**).

В новый этап проектирования, или при редактировании предыдущего этапа проектирования свойства конструкции **автоматически передаются** между **этапами проектирования** (наследственность свойств).

Существуют два типа:

**Преимственность заданная** - (анкеры, опоры, пригрузка ...) - объекты запоминают этап своего создания. На последующий новый этап объекты автоматически переносятся из предыдущего этапа. Объекты можно редактировать только на том этапе, на котором были созданы. На последующих этапах их можно только удалять или менять некоторые их свойства (дополнительная натяжка анкера, изменение величины пригрузки, перемещение опоры...).

**Преимственность автоматическая** - (привязка грунта, рельеф территории, влияние воды, настройка расчёта ...) - в последующий этап переносятся свойства из предыдущего этапа. При изменении свойств на текущем этапе программа работает следующим образом:

- В случае, что на последующем этапе свойство такое же каким было изначально на текущем этапе, оно также будет меняться в новое - изменение происходит и на всех дальнейших этапах.
- В случае, что на последующем этапе свойство отличается от изначального на текущем этапе (т.е., свойство на последующем этапе уже менялось), то на последующих

этапах изменения не произойдёт.



*Изменения на этапах проектирования - автоматическая преемственность*

## Стандарты и методы расчёта программ

Для программ GEO5, можно centrally настраивать параметры **стандартов и методов расчётов**.

Во всех программах GEO5 эти параметры вводят в **рамку «Настройка»**, в которой можно:

- выбирать параметры расчёта в **Перечне настроек**
- сохранять и администрировать настройки в **Администраторе настроек**
- создавать и редактировать новые **пользовательские настройки**

Наиболее важен выбор **методики проверки** со следующими возможностями:

- расчёт по коэффициенту запаса
- расчёт по предельным состояниям
- расчёт по EN 1997
- расчёт по LRFD
- расчёт по китайским стандартам

Для отдельных **этапов проектирования** можно всегда определять **Проектные ситуации**.

## Администратор настройки

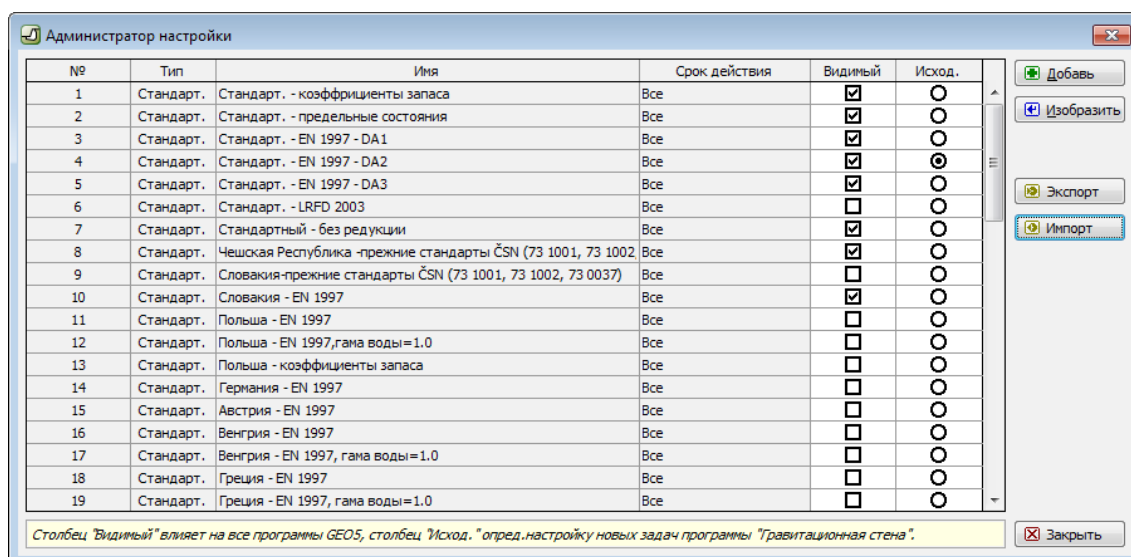
Администратор настройки - это основной инструмент для работы с «**Настройками**». Он позволяет, в частности:

- **определять видимость Настройки** в «**Перечне Настроек расчёта**» (ставим флажок в колонке «**Видимый**»)
- **выбрать Настройку**, в которой будет выполняться работа в новых задачах текущей программы (колонка «**Исход**»)
- **просматривать базовую Настройку** в текущем выборе (нажать кнопку «**Изобразить**»)
- **добавить пользовательскую Настройку** (нажатием кнопки «**Добавь**» открывается окно «**Новая настройка**» с копией текущей выбранной Настройки)

- **редактировать заданную пользовательскую Настройку** (нажатием кнопки «Править»)
- **удалять пользовательские Настройки** (нажатием кнопки «Удалить»)

Администратор настройки позволяет выполнять **экспорт и импорт** Настроек, которые хранятся на диске.

Видимость и исходную настройку переключаем с помощью мыши, или нажимаем клавишу пробела (видимость) или Shift и пробел (исходная настройка).

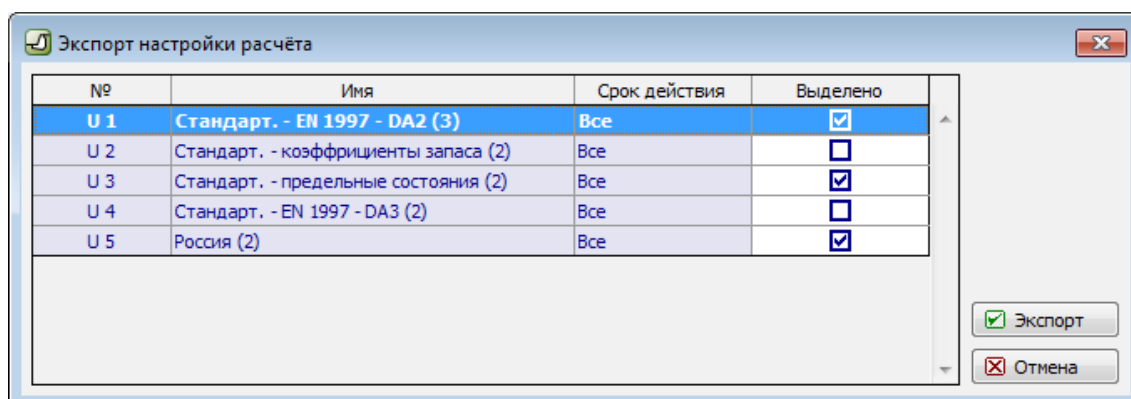


Диалоговое окно «Администратор настройки»

## Экспорт/импорт настройки

Выбранные в «Администраторе настройки» пользовательские настройки можно сохранять в файл («Экспорт») в форматах \*.g5c и \*.xlm, а потом загрузить («Импорт») на другом компьютере, на котором установлены программы GEO5. Это позволяет распределить настройку расчёта между несколькими пользователями, напр., в фирмах, владеющих несколькими лицензиями, размещёнными в нескольких филиалах фирмы.

Важна также функция hotline в случае необходимости. Пользователь при помощи этих форматов может переслать свою настройку, что позволяет более удобную коммуникацию при решении появившихся проблем.



Экспорт/Импорт) выбранных «Настроек» параметров расчёта.



## Перечень настроек расчёта

В диалоговом окне «Перечень настроек расчёта» выбирают текущую «Настройку», по которой будет выполняться расчёт и проверка обрабатываемой задачи.

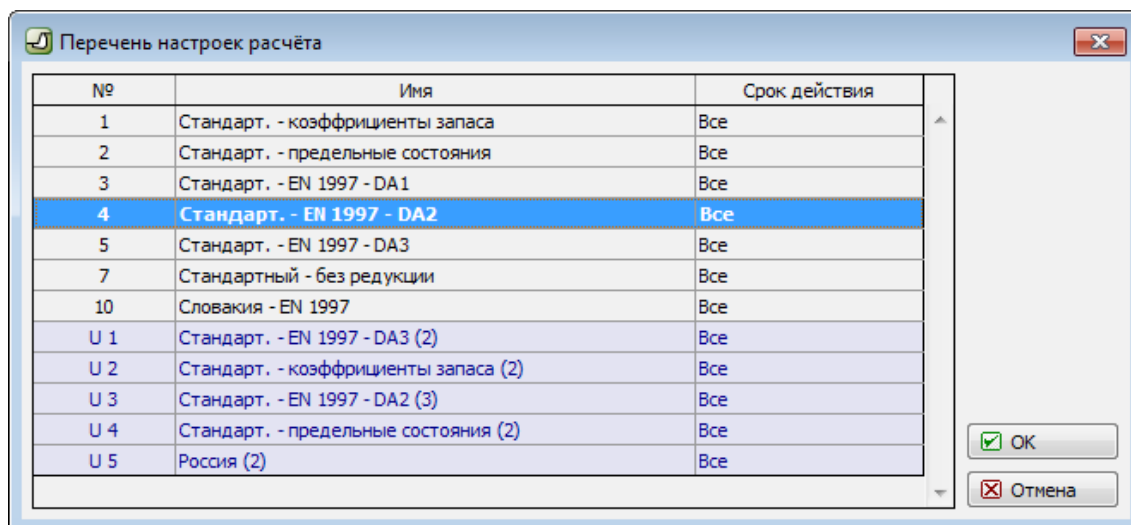
В перечне даны два типа настроек:

- **Базовая** - входит в состав поставки программы, не доступна для редактирования и удаления,
- **Пользовательская** - создаёт пользователь сам.

В общем перечень действует для всех программ GEO5, за исключением нескольких Настроек, которые можно применить только в конкретной программе.

Для удобства, в диалоговом окне «Перечень настроек расчёта» видимыми являются только те Настройки, которые отмечены в «Администраторе настройки» как видимые. При первом пуске программы видимость Настроек соответствует правилам страны назначения; в дальнейшем программа запоминает изменения заданные пользователем.

У большинства стран для эффективной работы с программами GEO5 хватит создать одну или несколько «Настроек» - а в дальнейшем, **при решении конкретных задач, лишь выбирать соответствующую Настройку**. Отпадает необходимость задавать методы расчёта, значения коэффициентов, методику проверки, что делает выполнение программы проще и нагляднее.



Диалоговое окно «Перечень настроек расчёта»

## Настройка расчёта

Настройкой называем файл данных, который в принципе определяет расчёты в программе. Прежде всего это:

- методы и теории расчёта
- методика проверки или способ доказательства безопасности (коэффициент запаса, предельные состояния, EN 1997, LRFD, китайские стандарты)
- собственно значения коэффициентов редукции и степеней безопасности для отдельных проектных ситуаций.

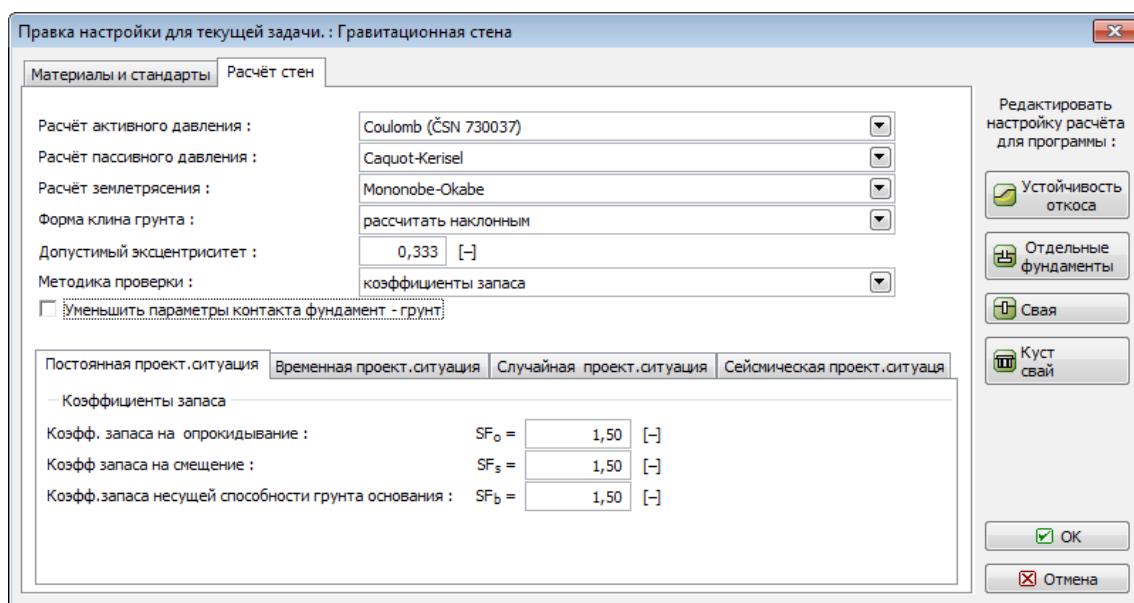
Настройка в большинстве случаев одинакова для большого множества задач - по этой



причине программа позволяет создать «Перечень настроек». Отдельные настройки можно редактировать, экспортировать и импортировать в «Администраторе настроек».

Настройка может относиться ко **всем программам GEO5**, или только к **одной выбранной программе**.

- Материалы и стандарты
- Расчёт стен
- Расчёт давлений
- Расчёты на устойчивость
- Осадка
- Отдельные фундаменты
- Анкеры
- Сваи
- Сваи СРТ
- Микросваи
- Куст свай



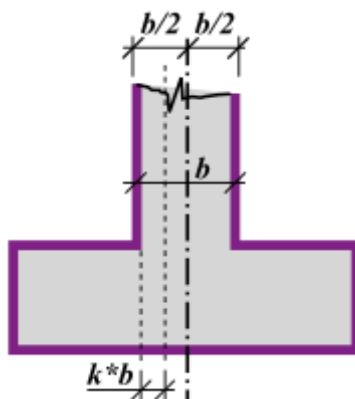
Диалоговое окно «Правка настройки для текущей задачи»

## Материалы и стандарты

В закладку вводят материалы и стандарты расчёта для:

- Бетонных конструкций
- Бетонных конструкций устоев мостов
- Коэффициенты EC2 задают при расчёте Бетонных конструкций по EN 1992-1-1. Можно использовать стандартные или пользовательские значения.
- Коэффициент расположения сечения - этот коэффициент определяет расположение критического сечения при расчёте изгибающего момента в фундаменте

стены. Стандартное значение для бетонной, или железобетонной колонны  $k = 0$ , либо критическое сечение находится на лицевой стороне колонны. Для кладочных конструкций рекомендуется величина коэффициента - 0,25.



Расположение критического сечения для расчёта изгибающего момента в фундаменте стены

- Параметр короткого уступа  $k$**  - этот параметр определяет, будет ли рассматриваться несущая арматура переднего уступа стены, или не будет. При длине уступа  $x \leq k*t$  арматура не рассматривается. При выборе «**в соответствии со стандартом**» параметр короткого уступа  $k$  автоматически вычисляется в соответствии с выбором стандарта для **подбора размеров железобетонных конструкций**. При выборе «**задать параметр**» значение параметра  $k$  задаёт пользователь. Параметр короткого уступа  $k$  задают при **расчёте стен** и **расчёте отдельных фундаментов**.

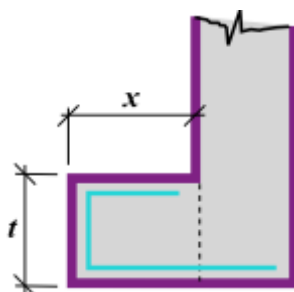
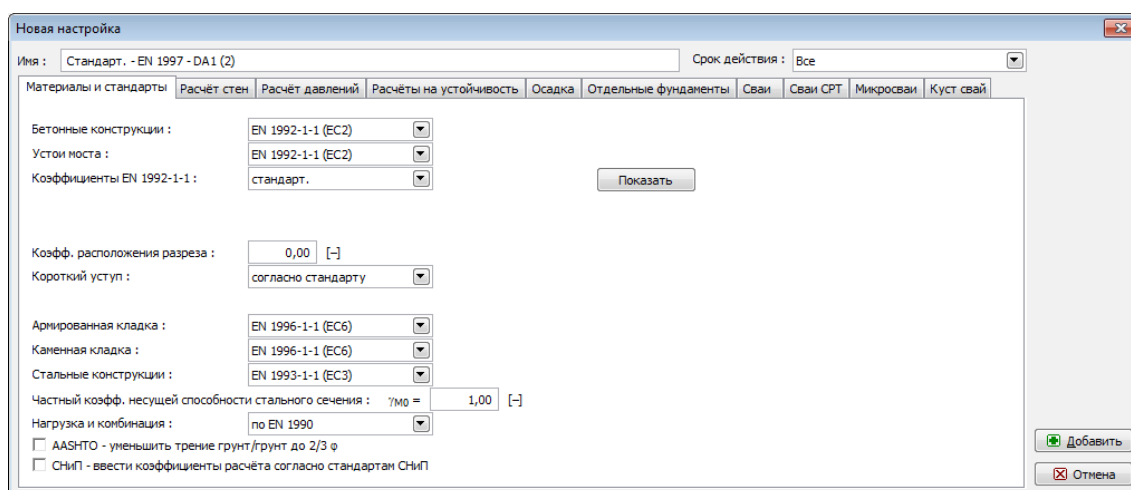


Схема для определения параметра короткого уступа

- Каменных конструкций (только в программе «**Армированная стена**»)
- Стальных конструкций** (задают только в программе «**Плита**», «**Ограждения котлованов-анализ**» и «**Стабилизирующая свая**»)
- Нагрузки и комбинации (только в программах «**Плита**» и «**Балка**»)
- AASHTO - позволяет редукцию трения грунт/грунт **в расчётах стены** до значения:

$$\delta = \frac{2}{3} \varphi$$

- СНиП - позволяет задавать расчётные коэффициенты в соответствии с российскими стандартами СНиП



Диалоговое окно «Новая настройка» - закладка «Материалы и стандарты»

## Расчёт стен

В закладку задают параметры для расчётов стены:

- Расчёт **активного давления** (Caquot, Coulomb (ЧЧН 730037), Müller-Breslau (DIN 4085), Mazindrani (Rankine), Absi).
- Расчёт **пассивного давления** (Caquot-Kerisel (ЧЧН 730037), Coulomb, Müller-Breslau, Sokolovski (DIN 4085), Mazindrani (Rankin), Absi).
- Расчёт **землетрясения** (Mononobe-Okabe, Arango, JTJ 004-89, JTS 146-2012, SL 203-97).
- Форма **клина грунта** (рассчитать косым, принимать всегда вертикальным).
- Уступ фундамента** (уступ принимать как наклонную подошву фундамента; уступ принимать как сопротивление на лицевой стороне конструкции).
- Допустимый эксцентриситет** - для проверки **контактного напряжения в подошве фундамента** задают максимальный допускаемый эксцентриситет в пределах 0,1 - 0,4.
- Внутренняя устойчивость** - этот способ расчёта использует только программа «**Армированные насыпи**». Поверхность скольжения имеет **разную форму** (прямую, ломаную) в соответствии с выбранным стандартом расчёта.
- Hinge Height Concept - это способ расчёта стен заводского изготовления по AASHTO, в котором выполняется редукция благоприятно действующей силы тяжести части конструкции. Применяется только в программе «**Redi Rock Wall**». В этой программе можно задавать также «**Коэффициент редукции первый блок-фундамент**».
- При методике проверки по предельным состояниям и коэффициенту запаса можно произвести редукцию параметров контакта фундамент - грунт. Коэффициент редукции контакта фундамента с грунтом  $\mu$  выражает меру сопротивления стены относительно среза, или перемещения при контакте с грунтом.
- При проверке по предельным состояниям программа позволяет редукцию тангенса угла внутреннего трения  $\varphi$  при помощи коэффициента  $\gamma_{m\varphi}$ .
- Методика проверки** (коэффициент запаса, предельные состояния, Расчёт по EN 1997, Расчёт по LRFD, расчёт по китайским стандартам).
- Проектные ситуации** задают для всех методик проверки.

Новая настройка

Имя : Стандарт - EN 1997 - DA1 (2) Срок действия : Все

Материалы и стандарты | **Расчёт стен** | Расчёт давлений | Расчёты на устойчивость | Осадка | Отдельные фундаменты | Сваи | Сваи CPT | Микросваи | Куст свай

Расчёт активного давления : Coulomb (ČSN 730037)

Расчёт пассивного давления : Caquot-Kerisel

Расчёт землетрясения : Mononobe-Okabe

Форма клина грунта : рассчитать наклонный

Уступ фундамента : уступ принимать как наклонный обрез фундамента

Допустимый эксцентриситет : 0,333 [-]

Внутренняя устойчивость : Стандарт - ровная поверхность скольжения

☐ Hinge Height Concept

Кэфф.редукции первый блок - фундамент : 1,00 [-]

Методика проверки : коэффициенты запаса

☒ Уменьшить параметры контакта фундамент - грунт

Постоянная проект. ситуация | Временная проект. ситуация | Случайная проект. ситуация | Сейсмическая проект. ситуация

Кэффициенты запаса

Кэфф. запаса на опрокидывание :  $SF_o = 1,50$  [-]

Кэфф. запаса на сдвиг :  $SF_s = 1,50$  [-]

Кэфф. запаса несущей способности грунта основания :  $SF_b = 1,50$  [-]

Кэфф. запаса нагружения сетки :  $SF_n = 1,50$  [-]

Кэфф. запаса на сдвиг по геотекстуре :  $SF_{st} = 1,50$  [-]

Кэфф. запаса на разрыв геотекстуры :  $SF_{st} = 1,50$  [-]

Кэфф. запаса на выдергивание геотекстуры :  $SF_{po} = 1,50$  [-]

Кэфф. запаса на разрушение сочленения :  $SF_{con} = 1,50$  [-]

Кэффици-ты редукции

Кэфф.редукции трения между блоками :  $\gamma_f = 1,50$  [-]

**Кэфф.редукции контакта фундамент - грунт :  $\mu = 1,00$  [-]**

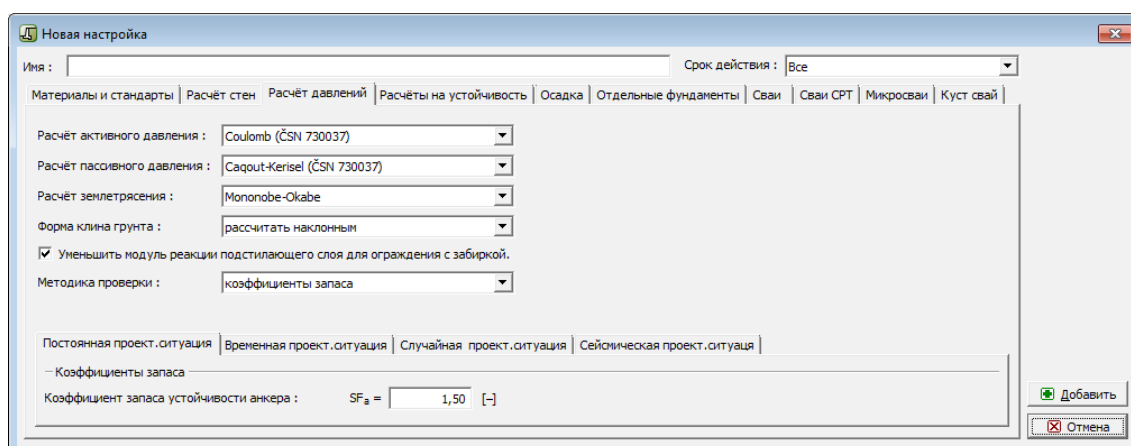
Добавить Отмена

Диалоговое окно «Новая настройка» - закладка «Расчёт стен»

## Расчёт давлений

В закладку задают параметры для расчёта давлений грунта:

- Расчёт активного давления (Caquot, Coulomb (ЧН 730037), Müller-Breslau (DIN 4085), Mazindrani (Rankine), Absi).
- Расчёт пассивного давления (Caquot-Kerisel (ЧН 730037), Coulomb, Müller-Breslau, Sokolovski (DIN 4085), Mazindrani (Rankin), Absi).
- Метод расчёта (зависимые давления, JGJ 120-2012)
- Расчёт землетрясения (Mononobe-Okabe, Arango, JTJ 004-89, JTS 146-2012, SL 203-97).
- Модуль реакции подстилающего слоя (стандартный, ввести, прессиометр PMT, дилатометр DMT, CUR 166, китайские стандарты). Стандартная настройка содержит рекомендованные международные методы расчёта модуля реакции подстилающего слоя (в рамках «Модуль  $K_h$ » для программы «Ограждение котлованов-анализ») - другие методы, которые здесь приведены, применяются только в конкретных странах.
- Форма клина грунта (рассчитывать косым, принимать всегда вертикальным).
- Уменьшить модуль реакции основания для ограждения с забиркой - функция применяется только в программах «Ограждение котлованов - анализ» и «Стабилизирующая свая», когда при расчёте ограждения с забиркой программа автоматически выполняет редукцию значения модуля реакции основания.
- Методика проверки (коэффициент запаса, предельные состояния, расчёт по EN 1997, расчёт по LRFD).
- Проектные ситуации задаются для всех методик проверки.

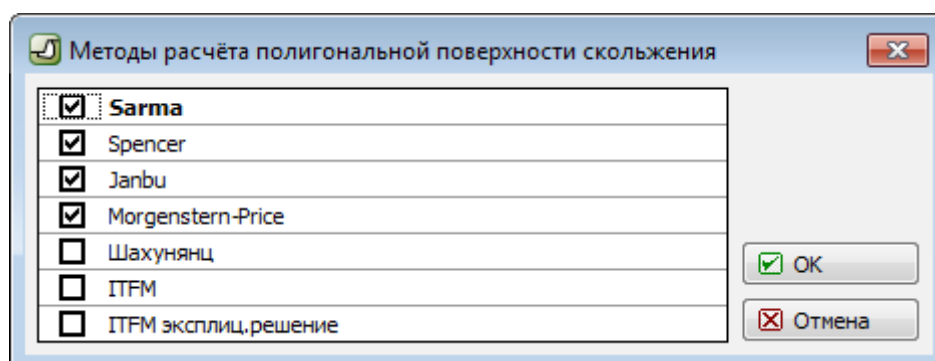


Диалоговое окно «Новая настройка» - закладка «Расчёт давлений»

## Расчёты на устойчивость

В закладку задают параметры для **расчётов на устойчивость**:

- Расчёт землетрясения (**Standard, JTJ 004-89, SL 203-97**).
- **Методика проверки** ( **коэффициент запаса, предельные состояния, Расчёт podle EN 1997, расчёт по LRFD, расчёт по китайским стандартам**).
- **Проектные ситуации** задаются для всех методик проверки.
- Кнопки **«Методы расчёта для полигональной поверхности скольжения»** и **«Методы расчёта для круглоцилиндрической поверхности скольжения»** открывает диалоговые окна в которых можно выбирать методы, в соответствии с которыми будет выполнен расчёт. Программа позволяет вычислять для выбранной поверхности скольжения (**полигональная, круглоцилиндрическая**) по всем методам, однако некоторые редкие методы знакомы только в авторской стране, не интересны для пользователей и их можно выключить.



Диалоговое окно «Методы расчёта полигональной поверхности скольжения» - выбор методов расчёта

Имя : Стандарт. - EN 1997 - DA1 (2) | Срок действия : Все

Материалы и стандарты | Расчёт стен | Расчёт давлений | **Расчёты на устойчивость** | Осадка | Отдельные фундаменты | Сваи | Сваи CPT | Микросваи | Куст свай

Расчёт землетрясения : Стандарт | тоды расчёта полигональной поверхности скольжения

Методика проверки : расчёт по EN1997 | и расчёта круглоцилиндрической поверхности скольжения

Проектный подход : 3 - редукция нагрузок GEO, STR и материала

Постоянная проект. ситуация | Временная проект. ситуация | Случайная проект. ситуация | Сейсмическая проект. ситуация

— Коэфф-ты редукции нагрузки (F)

	Критическое ПС STR		Критическое ПС GEO	
	Неблагопр.	Благопр.	Неблагопр.	Благопр.
Постоянная нагрузка :	$\gamma_G = 1,35$ [-]	$1,00$ [-]	$1,00$ [-]	$1,00$ [-]
Переменная нагрузка :	$\gamma_Q = 1,50$ [-]	$0,00$ [-]	$1,30$ [-]	$0,00$ [-]
Нагрузка от воды :	$\gamma_w =$		$1,00$ [-]	

— Коэфф-ты редукции материала (M)

Коэфф редукции угла внутр. трения :  $\gamma_\phi = 1,25$  [-]

Коэфф.редукции эффект.связности :  $\gamma_c = 1,25$  [-]

Коэфф.редукции необезв. прочности на сдвиг :  $\gamma_{cu} = 1,40$  [-]

Добавить | Отмена

Диалоговое окно «Новая настройка» - закладка «Расчёты на устойчивость»

## Осадка

В закладку задают параметры для расчёта осадки.

Метод расчёта:

- CSN 73 1001 (Расчёт с помощью эдометрического модуля)
- Расчёт с помощью коэффициента сжимаемости
- Расчёт с помощью индекса сжимаемости
- NEN (Buismann, Ladd)
- Soft soil model
- Теория Janbu
- Расчёт при помощи дилатометра

Ограничение зоны деформации:

- С помощью структурной прочности
- Процентом  $\sigma_{or}$  (Коэффициент ограничения зоны деформации задаётся в [%])

Имя : | Срок действия : Все

Материалы и стандарты | Расчёт стен | Расчёт давлений | Расчёты на устойчивость | **Осадка** | Отдельные фундаменты | Сваи | Сваи CPT | Микросваи | Куст свай

Метод расчёта : CSN 73 1001 (Расчёт с помощью эдометрического модуля)

Ограничение зоны деформации : с помощью структурной прочности

Добавить | Отмена

Диалоговое окно «Новая настройка» - закладка «Осадка»

## Отдельные фундаменты

В закладку задают параметры для расчёта несущей способности фундамента:

**Расчёт для обезвоженных условий:**

- стандартный способ
- CSN 73 1001
- PN-81B-03020
- IS:6403-1981
- EC 7-1 (EN 1997-1:2003)
- NCMA
- GB 50007-2002
- SNiP 2.02.01-83
- DS/EN 1997-1 DK NA:2013

**Расчёт для необезвоженных условий:**

- стандартный способ
- ČSN 73 1001
- IS:6403-1981
- EC 7-1 (EN 1997-1:2003)
- DS/EN 1997-1 DK NA:2013

**Расчёт фундамента на скальном основании:**

- стандартный способ
- CSN 73 1001
- EC 7-1 (EN 1997-1:2003)

**Проверка растягиваемого отд. фундамента:**

- стандартный способ
- конусный метод
- DL/T 5219-2005

**Допустимый эксцентриситет** - для проверки эксцентриситета фундамента задают максимально допустимый эксцентриситет в пределах 0,1 - 0,4.

Методика проверки (коэффициент запаса, предельные состояния, расчёт по EN 1997, расчёт по LRFD, расчёт по китайским стандартам).

Проектные ситуации задают для всех методик проверки.

Новая настройка

Имя: Стандарт. - EN 1997 - DA1 (2) Срок действия: Все

Материалы и стандарты | Расчёт стен | Расчёт давлений | Расчёты на устойчивость | Осадка | **Отдельные фундаменты** | Сваи | Сваи CPT | Микросваи | Куст свай

Расчёт для обезвоженных условий: ЕС 7-1 (EN 1997-1:2003)

Расчёт для необезвоженных условий: ЕС 7-1 (EN 1997-1:2003)

Расчёт отд. ф-та на скальном основании: ЕС 7-1 (EN 1997-1:2003)

Проверка отд. ф-та, работающего на растяжение: стандартный способ

Допустимый эксцентриситет: 0,333 [-]

Методика проверки: расчёт по EN1997

Проектный подход: 1 - редукция нагрузки и материала

Постоянная проект. ситуация | Временная проект. ситуация | Случайная проект. ситуация | Сейсмическая проект. ситуация

Коэффициенты редукции нагрузки (F)

	Комбинация 1		Комбинация 2	
	Неблагопр.	Благопр.	Неблагопр.	Благопр.
Постоянная нагрузка: $\gamma_G =$	1,35 [-]	1,00 [-]	1,00 [-]	1,00 [-]

Коэффициенты редукции материала (M)

	Комбинация 1		Комбинация 2	
	Неблагопр.	Благопр.	Неблагопр.	Благопр.
Коефф. редукции угла внутр. трения: $\gamma_\phi =$	1,00 [-]		1,25 [-]	
Коефф. редукции эффект. связности: $\gamma_c =$	1,00 [-]		1,25 [-]	
Коефф. редукции необезв. прочности на сдвиг: $\gamma_{cu} =$	1,00 [-]		1,40 [-]	
Коефф. редукции прочности грунта: $\gamma_\gamma =$	1,00 [-]		1,40 [-]	

Добавить Отмена

Диалоговое окно «Новая настройка» - закладка «Отдельные фундаменты»

## Анкеры

В закладку задают параметры для расчёта **несущей способности анкеров**:

**Методика проверки** (коэффициент запаса, предельные состояния).

Заданные коэффициенты запаса т.е. коэффициенты редукции несущей способности меняют в сторону убывания расчётные несущие способности анкеров.

Новая настройка

Имя: Стандарт. - EN 1997 - DA2 (2) Срок действия: Все

Материалы и стандарты | Расчёт стен | Расчёт давлений | Расчёты на устойчивость | Осадка | **Анкеры** | Отдельные фундаменты | Сваи | Сваи CPT | Микросваи

Методика проверки: коэффициенты запаса

Коэффициенты запаса

Коэффициент запаса на разрыв:  $SF_t =$  1,50 [-]

Коэффициент запаса на выдёргивание из грунта:  $SF_e =$  1,50 [-]

Коэффициент запаса на выдёргивание из заливки:  $SF_c =$  1,50 [-]

Добавить Отмена

Диалоговое окно «Новая настройка» - закладка «Анкеры»

## Сваи

В закладку задают параметры для **расчёта свай**:

**Расчёт для обезвоженных условий:**

- CSN 73 1002
- Эффективное напряжение
- NAVFAC DM 7.2

**Расчёт для необезвоженных условий:**

- Tomlinson
- NAVFAC DM 7.2



**Кривая нагрузки:**

- нелинейная (Masopust)
- линейная (Poulos)

**Горизонтальная несущая способность:**

- Упругое полупространство
- Метод Бромса

Методика проверки ( коэффициент запаса, предельные состояния, расчёт по EN 1997).

Проектные ситуации задают для всех методик проверки.

Новая настройка

Имя : Стандарт. - EN 1997 - DA1 (2) Срок действия : Все

Материалы и стандарты | Расчёт стен | Расчёт давлений | Расчёты на устойчивость | Осадка | Отдельные фундаменты | Сваи | Сваи CPT | Микросваи | Куст свай

Расчёт для обезвоженных условий : NAVFAC DM 7.2

Расчёт для необезвоженных условий : Tomlinson

Кривая нагрузки : линейный (Poulos)

Горизонтальная несущая способ. : упругое полупространство

Методика проверки : расчёт по EN1997

Проектный подход : 2 - редукция нагрузки и сопротивления

Постоянная проект. ситуация | Временная проект. ситуация | Случайная проект. ситуация | Сейсмическая проект. ситуация

Кэфф-ты редукции нагрузки (F)

Постоянная нагрузка : Неблагопр. Благопр.

$\gamma_G =$  1,35 [-] 1,00 [-]

Кэфф-ты редукции сопротивления (R)

Буровые сваи | Забивные сваи | CFA сваи

Кэфф.редукции сопротивления по боковой поверх.свай :  $\gamma_s =$  1,10 [-]

Кэфф.редукции сопротивления на пяте :  $\gamma_b =$  1,10 [-]

Кэфф.редукции нес.сл. свай растяжения :  $\gamma_{sc} =$  1,15 [-]

Добавить Отмена

Диалоговое окно «Новая настройка» - закладка «Сваи»

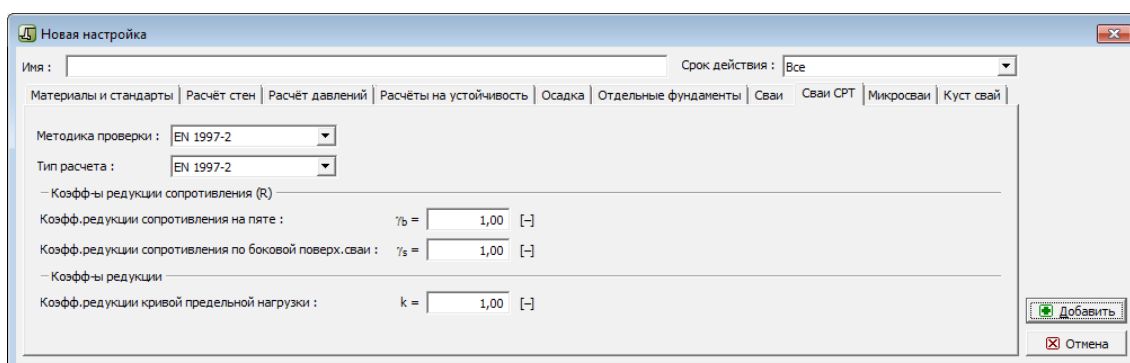
**Сваи CPT**

В закладку задают параметры для расчёта свай CPT:

**Методика проверки** (коэффициент запаса, предельные состояния, NEN 6743, EN 1997-2).

**Тип расчёта:**

- EN 1997-2
- NEN 6743
- LCPC (Bustamante)
- Schmertmann



Диалоговое окно «Новая настройка» - закладка «Сваи CPT»

## Микросваи

В закладку задают параметры для расчёта **микросвай**:

### Расчёт несущей способности тела:

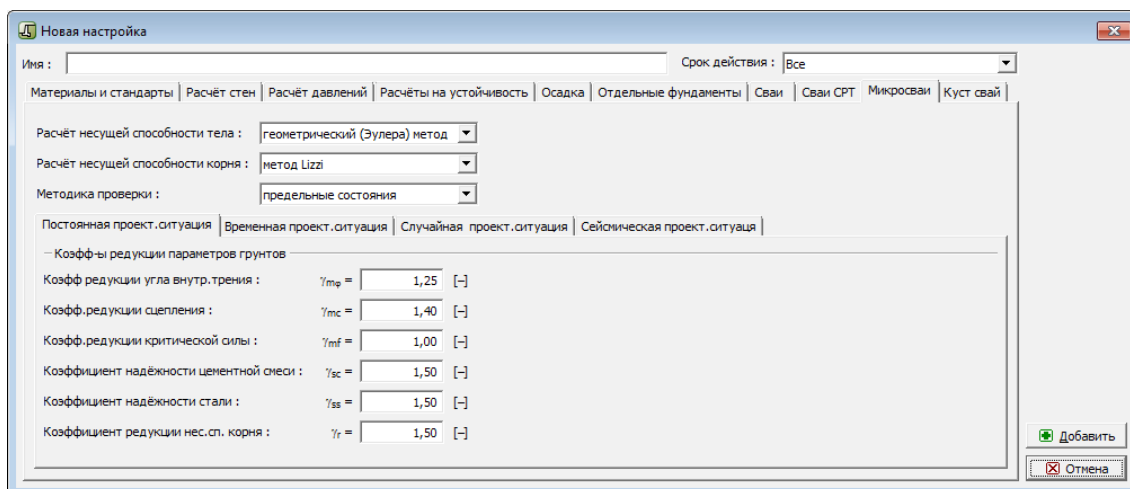
- **геометрический (Эйлера) метод**
- **метод Salase**
- **метод Véase-Soucheho**

### Расчёт несущей способности корня:

- **метод Lizzih**
- **метод Littlejohna**
- **метод Bowlese**
- **метод Zwecka**
- **метод Véase**
- **корень в пород**
- **Bustamante (SPT, Прессиометр PMT)**

Методика проверки (**коэффициент запаса, предельные состояния**).

Проектные ситуации задаются для всех методик проверки.

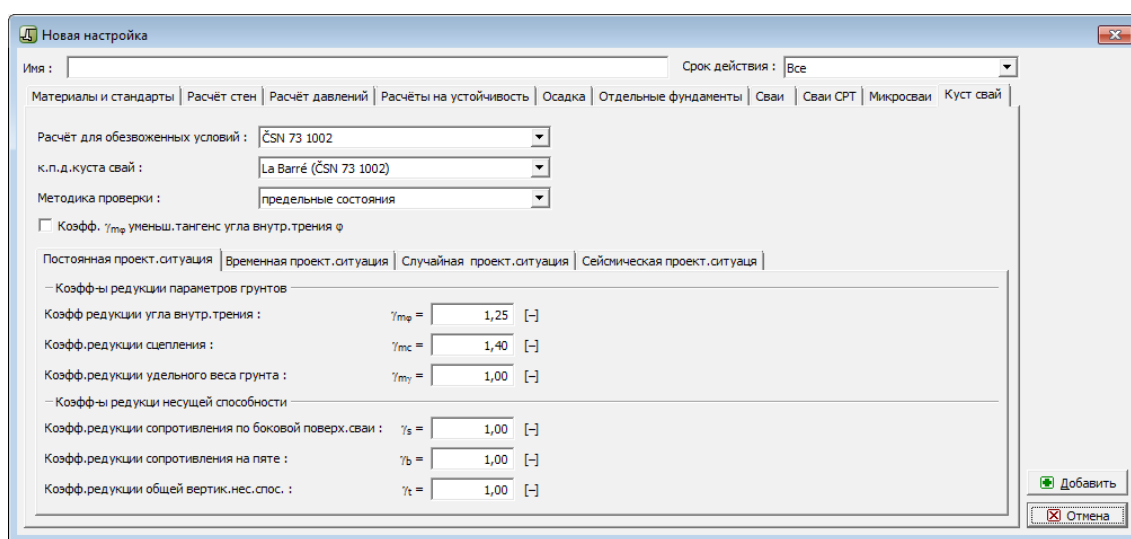


Диалоговое окно «Новая настройка» - закладка «Микросваи»

## Куст свай

В закладке задают параметры для расчёта Куста свай:

- **Расчёт для обезвоженных условий:** (ЧСН 73 1002, Эффективное напряжение, NAVFAC DM 7.2)
- **Эффективность куста свай** - (UFC 3-220-01A, La Barré - ČSN 73 1002, Seiler-Keeney, задать эффективность)
- **Методика проверки** (коэффициент запаса, предельные состояния, Расчёт по EN 1997).
- **Проектные ситуации** задаются для всех методик проверки.



Диалоговое окно «Новая настройка» - закладка «Куст свай»

## Добавление новой настройки

Программа содержит достаточно много **базовых Настроек** для конкретных стран и способов расчёта. Несмотря на это, весьма правдоподобно, что эти Настройки большинству пользователей придётся редактировать, а также создавать свои, **пользовательские Настройки**.

Настройка может распространяться на все программы GEO, или только на текущую программу (переключение в правом верхнем углу окна).

Нажатие кнопки **«Добавить в администратор»** открывает диалоговое окно, в котором отображена текущая **Настройка программы**:

- Если текущая настройка **«Задана для текущей задачи»**, откроется окно в режиме для запущенной программы,
- Если текущая настройка выбрана из **Перечня настроек**, открывается копия этой Настройки с таким же действием.

После отредактирования данных и поименования **новой Настройки** эту Настройку сохраняют в **«Администратор настроек»** кнопкой **«Добавь»**. Выбирать эту настройку можно в **«Перечне Настройки расчёта»**.

Пользовательские Настройки целесообразно создавать, напр.:

**1) по странам и стандартам**

- настройка для Boguto
- настройка для Borito
- настройка для Borito, конструкция моста

**2) по инвесторам**

- настройка для автомагистралей
- настройка для железных дорог
- настройка для гражданского строительства

**3) по методам расчёта**

- расчёт по Mazindrani
- расчёт по Coulomb

**4) индивидуальная**

- my way
- Peter's way

Цель - создать «Перечень Настроек расчёта» таким образом, чтобы пользователю отпала необходимость задавать способы расчёта и коэффициенты. Созданные настройки можно «Экспортировать» и пересылать дальше внутри фирмы или сторонним пользователям. В случае, что Настройки имеют более широкое применение фирма FINE осуществит их имплементацию в Настройки по умолчанию, доступ к которым открыт всем пользователям GEO5.

## Методика проверки

Программа позволяет проверять конструкцию по четырём методикам:

- расчёт по коэффициенту запаса
- расчёт по предельным состояниям
- расчёт по EN 1997
- расчёт по LRFD
- расчёт по китайским стандартам

Собственно расчёты (напр., определение давлений, определение несущей способности грунта основания) для всех трёх методик одинаковые - различие между ними сводится только к способу ввода расчётных коэффициентов, комбинаций и способом доказательства безопасности конструкции.

Правка настройки для текущей задачи : Отдельные фундаменты

Материалы и стандарты | Осадка | **Отдельные фундаменты**

Расчёт для обезвоженных условий : EC 7-1 (EN 1997-1:2003)

Расчёт для необезвоженных условий : EC 7-1 (EN 1997-1:2003)

Расчёт отд.ф-та на скальном основании : EC 7-1 (EN 1997-1:2003)

Проверка растягиваемого отд. ф-та : стандартный способ

Допустимый эксцентриситет : 0,333 [-]

**Методика проверки : расчёт по EN 1997**

Проектный подход : 2 - редукция нагрузки и сопротивления

Постоянная проект. ситуация | Временная проект. ситуация | Случайная проект. ситуация | Сейсмическая проект. ситуация

— Коэф-ты редукции нагрузки (F) —

Постоянная нагрузка :  $\gamma_G =$  Неблагопр. 1,35 [-] Благопр. 1,00 [-]

— Коэф-ты редукции сопротивления (R) —

Коэф.редукции верт.нес.способности :  $\gamma_{Rvs} =$  1,40 [-]

Коэф.редукции гориз.нес.способности :  $\gamma_{Rhs} =$  1,10 [-]

Коэф.редукции нес.способ.растяг.отд.фунд-та :  $\gamma_{Rts} =$  1,15 [-]

OK Отмена

Выбор методики проверки

## Расчёт по коэффициенту запаса

Методика проверки безопасности конструкции по **«Коэффициенту запаса»** исторически самая первая и самая распространённая до наших дней. Основное её преимущество - простота и наглядность.

Безопасность в общем случае доказывают при помощи коэффициента запаса:

$$FS = \frac{X_{pas}}{X_{act}} > FS_{req}$$

где:

- $FS$  - расчётный коэффициент запаса
- $X_{pas}$  - в общем случае величина, препятствующая разрушению (удерживающая сила, прочность, несущая способность)
- $X_{act}$  - в общем случае разрушающая величина (сдвигающая сила, напряжение)
- $FS_{req}$  - требуемый коэффициент запаса

В расчётах по **«Коэффициенту запаса»** расчётными коэффициентами не уменьшаются ни нагрузка, ни параметры грунта.

Более подробное описание отдельных программ и типов конструкций находится в следующих главах (Стены и опорные конструкции, Устойчивость откоса, Отдельные фундаменты, Сваи, Скальный откос, Микросвая, Свая СРТ, Куст свай).

## Расчёт по предельным состояниям

Методика проверки безопасности конструкции по **«Предельным состояниям»** подтверждает безопасность путём сопоставлением удерживающей величины (сила

удерживающая, прочность, несущая способность) и разрушающей величины (сдвигающая сила, напряжение).

$$X_{pas} > X_{act}$$

где:  $X_{pas}$  - В общем случае величина препятствующая разрушению (удерживающая сила, прочность, несущая способность)  
 $X_{pas}$  - В общем случае величина разрушающая (сдвигающая сила, напряжение)

$X_{act}$  в общем случае определяется по расчётным параметрам грунта и нагрузки:

- Уменьшение параметров грунта соответствующими коэффициентами
- Увеличение нагрузки, или её воздействия соответствующими коэффициентами

$X_{pas}$  определяется по следующим предпосылкам:

- Редукция параметров грунта соответствующими коэффициентами
- Рассчитанное сопротивление конструкции уменьшено соответствующим коэффициентом

В общем можно сказать, что проверка по «**Предельным состояниям**» является более современной и точной, чем «**Коэффициент запаса**», но уступает ей в отношении наглядности.

В современных стандартах по проверке безопасности (EN 1997, LRFD) в основу положен концепт предельных состояний, но помимо этого, в них внедряют разную величину частных коэффициентов для нагрузок с благоприятным и неблагоприятным воздействиями.

Более подробное описание отдельных программ и типов конструкций находится в следующих главах (Стены и опорные конструкции, Устойчивость откоса, Отдельные фундаменты, Сваи, Скальный откос, Микросвая, Свая СРТ, Куст свай).

## Расчёт по EN 1997

При проектировании по EN 1997-1 в принципе поступают по теории предельных состояний.

В зависимости от выбора «Проектного подхода» в расчёт вводятся частные коэффициенты расчёта, которые корректируют типичные значения нагрузки, материала и сопротивления.

Частные коэффициенты едины для всех расчётов в данной программе, но на отдельных этапах можно выбирать «Проектную ситуацию».

В зависимости от подхода к расчёту программы относим к нескольким категориям:

- Расчёт стен, опорных конструкций (стены, устой, нагельное крепление откоса)
- Расчёт ограждающих конструкций (ограждение котлованов проект, ограждение котлованов анализ, давление грунта)
- Расчёт оснований (отдельные фундаменты, сваи)
- Расчёт устойчивости откоса

Программы GEO5 поддерживают национальные приложения следующих стран:

Финляндия, Франция, Польша, Германия, Словакия, Австрия, Сингапур, Дания, Бельгия, Нидерланды, Соединенное Королевство, Греция, Венгрия, Болгария, Словения, Италия, Португалия.

Соответствующее национальное приложение выбирают в «Списке настроек».

## Частные коэффициенты

В диалоговом окне «Новая настройка» для расчёта по EN 1997 задают частные коэффициенты расчёта.

В выпадающем списке «**Проектный подход**» выбирают один из трёх «Проектных подходов». В соответствии с выбором в нижней части диалогового окна изображаются **частные коэффициенты нагрузки, материала, сопротивления** и **комбинация коэффициентов** для переменных нагрузок.

В отделе частных коэффициентов редукции нагрузки задают также частный поправочный коэффициент **нагрузки от воды**.

В «Администраторе настроек» и «Перечень настроек расчёта» находится большое множество установок по умолчанию по отдельным **странам Евросоюза - настройка EN 1997** по **национальным приложениям** (НП). В большинстве стран определён один Проектный подход в зависимости от NADu и программы (типа решаемой геотехнической задачи) - только для нескольких стран настроек по умолчанию больше.

Программа позволяет задавать каждый набор частных коэффициентов по четыре раза - для отдельных **проектных ситуаций**. Программа забирает в расчёт коэффициенты в соответствии с выбранной проектной ситуацией в рамке «**Настройка этапа**».

Диалоговое окно «Новая настройка» - ввод частных коэффициентов при расчёте по EN 1997

## Проектные подходы

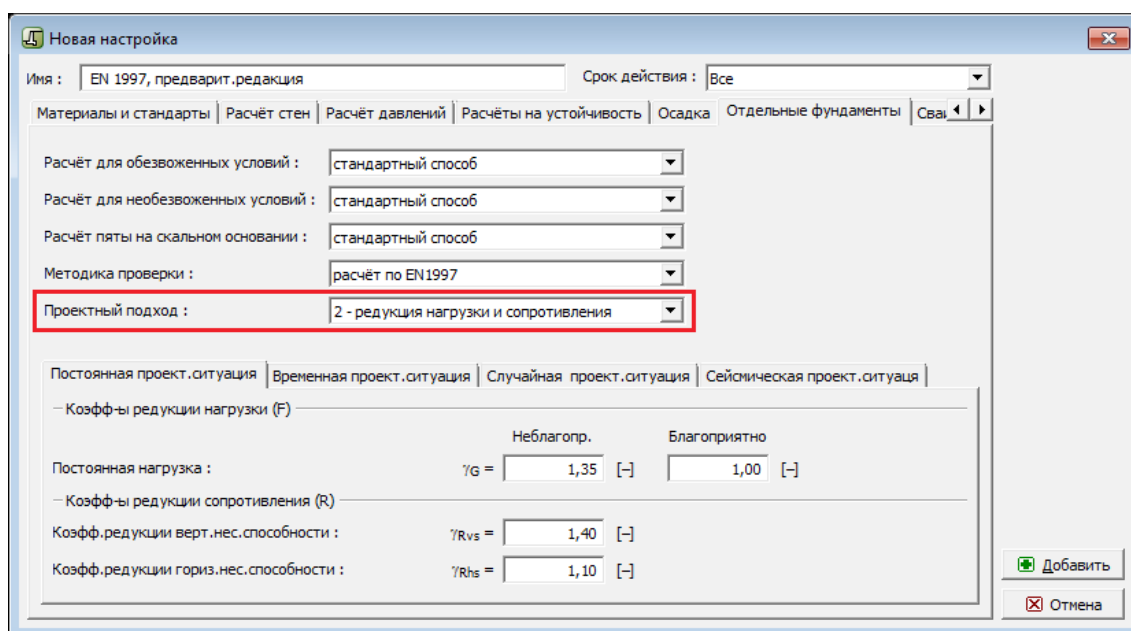
EN 1997-1 вводит в расчёт три **проектных подхода**, отличающихся между собой применением частных коэффициентов.

Частные коэффициенты по EN 1997-1 в общих случаях применяются к нагрузкам или воздействиям нагрузок, к свойствам грунта основания  $M$ , или сопротивлениям  $R$  или к обоим. Значения частных коэффициентов отличаются между собой не только по

**проектному подходу**, который использован, но также по типам решаемой геотехнической задачи (опорные конструкции, сваи и т.п.). Значения частных коэффициентов в общем определены Еврокодом в **Приложении А**, национальный выбор значений частных коэффициентов приводит **НР**. Программа в соответствии с выбором проектного подхода или выбором ещё других параметров в **настройке** расчёта автоматически отображает нужные коэффициенты.

Учитывая факт, что отдельные **Проектные подходы** внедряют в расчёт частные коэффициенты разным способом (напр., для нагрузки конструкции и равнодействующее сопротивление конструкции, или для нагрузки и параметров грунта) вполне логично, что между результатами полученными в отдельных проектных подходах могут существовать значительные различия. Если в **Национальном приложении** для геотехнической задачи нет рекомендации по выбору **Проектного подхода**, то **Проектный подход** должен выбрать проектировщик (следовательно и проверку на соответствие полученных результатов решаемой ситуации) по своему усмотрению.

- **Проектный подход 1** - Проверка выполняется по двум наборам коэффициентов (**Комбинация 1** и **Комбинация 2**), которые использованы в двух самостоятельных расчётах. Коэффициенты применяются к **нагрузке и характеристикам материалов**.
- **Проектный подход 2** - Использует частные коэффициенты к **нагрузке и сопротивлению** материала (несущая способность).
- **Проектный подход 3** - Проектный подход 3 применяет частные коэффициенты к **нагрузке** и одновременно к **материалу** (характеристики грунта)



Диалоговое окно «Новая настройка» расчёт по EN 1997 - Выбор проектного подхода

## Проектный подход 1

Проверка выполняется по двум наборам коэффициентов (**Комбинация 1** и **Комбинация 2**) которые использованы в двух самостоятельных расчётах. У комбинации 1 частные коэффициенты применяются **только к нагрузке**, остальные коэффициенты равны 1,0. У **комбинации 2** частные коэффициенты применяются к **характеристикам материала (параметры грунта) и переменным нагрузкам**, остальные коэффициенты равны 1,0.



У программ для **расчёта стен** и **расчётов на устойчивость** расчёт выполняется для **обеих комбинаций автоматически** и в результатах показаны **наименее благоприятные результаты**. В протоколе на выходе даны подробные описания расчётов обеих комбинаций.

В программах «**Ограждение котлованов анализ**» нет вышеуказанных возможностей. В «**Настройке**» необходимо выбрать комбинацию, для которой будет расчёт выполнен.

В программах «**Отдельный фундамент**» и «**Сваи**» нужно задать полезную нагрузку также для расчёта несущей способности. С проектной нагрузкой считают комбинацию 1, а с полезной нагрузкой комбинацию 2.

Методика проверки : расчёт по EN1997

Проектный подход : 1 - редукция нагрузки и материала

Постоянная проект.ситуация | Временная проект.ситуация | Случайная проект.ситуация | Сейсмическая проект.ситуация

— Коэфф-ты редукции нагрузки (F) —

	Комбинация 1		Комбинация 2	
	Неблагопр.	Благоприятно	Неблагопр.	Благоприятно
Постоянная нагрузка :	$\gamma_G = 1,35$ [-]	$1,00$ [-]	$1,00$ [-]	$1,00$ [-]

— Коэфф-ты редукции материала (M) —

	Комбинация 1	Комбинация 2
Коэфф редукции угла внутр.трения :	$\gamma_\phi = 1,00$ [-]	$1,25$ [-]
Коэфф.редукции эффект.связности :	$\gamma_c = 1,00$ [-]	$1,25$ [-]
Коэфф.редукции неовдн. прочности на сдвиг :	$\gamma_{cu} = 1,00$ [-]	$1,40$ [-]
Коэфф.редукции прочности грунта :	$\gamma_v = 1,00$ [-]	$1,40$ [-]

Задание частных коэффициентов для проектного подхода 1

## Проектный подход 2

Проектный подход 2 применяет частные коэффициенты к **нагрузке** и **сопротивлению** материала (несущая способность).

Методика проверки : расчёт по EN1997

Проектный подход : 2 - редукция нагрузки и сопротивления

Постоянная проект.ситуация | Временная проект.ситуация | Случайная проект.ситуация | Сейсмическая проект.ситуация

— Коэфф-ты редукции нагрузки (F) —

	Неблагопр.	Благоприятно
Постоянная нагрузка :	$\gamma_G = 1,35$ [-]	$1,00$ [-]

— Коэфф-ты редукции сопротивления (R) —

Коэфф.редукции верт.нес.способности :	$\gamma_{Rvs} = 1,40$ [-]
Коэфф.редукции horiz.нес.способности :	$\gamma_{Rhs} = 1,10$ [-]

Задание частных коэффициентов для проектного подхода 2

## Проектный подход 3

Проектный подход 3 применяет частные коэффициенты к **нагрузке** и одновременно к **материалу** (характеристики грунтов).

В отличие от остальных этот проектный подход различает **геотехническую нагрузку - Состояние GEO** (нагрузка от грунта, напр., давления грунта, давления от пригрузки - напр., давления грунта, давление от пригрузки, воздействие воды) и **нагрузку на конструкции - Состояние STR** (программа принимает во внимание собственную тяжесть конструкции, заданные силы, приложенные к конструкции, анкеры, геоармирование, вылеты сеток). К каждому типу нагрузки применяется другой набор частных коэффициентов, установка которых выполняется в окне «**Частные коэффициенты**». Для геотехнических нагрузок большинство частных коэффициентов нагрузки меньше чем для нагрузки конструкций.

Методика проверки : расчёт по EN1997

Проектный подход : 3 - редукция нагрузок GEO, STR и материала

Постоянная проект. ситуация | Временная проект. ситуация | Случайная проект. ситуация | Сейсмическая проект. ситуация

— Коэфф-ы редукции нагрузки (F) —

	Критическое ПС STR		Критическое ПС GEO	
	Неблагопр.	Благоприятно	Неблагопр.	Благоприятно
Постоянная нагрузка :	$\gamma_G = 1,35$ [-]	$1,00$ [-]	$1,00$ [-]	$1,00$ [-]

— Коэфф-ы редукции материала (M) —

Коэфф редукции угла внутр. трения :  $\gamma_\phi = 1,25$  [-]

Коэфф. редукции эффект. связности :  $\gamma_c = 1,25$  [-]

Коэфф. редукции  $\rho_{\text{redv.}}$  прочности на сдвиг :  $\gamma_{cu} = 1,40$  [-]

Коэфф. редукции прочности грунта :  $\gamma_v = 1,40$  [-]

*Задание частных коэффициентов для проектного подхода 3*

## Национальное приложение (НП)

**Национальное приложение (НП)** приводит подробную информацию о том как внедрять Еврокод на национальном уровне (в отдельных странах-членах ЕС) как правило был издан вместе с ENV данной страны.

В НП следовательно приведён национальный выбор значений **частных коэффициентов** и регламентировано использование **проектных подходов** для отдельных геотехнических задач. Ввиду того, что содержание НП в некоторых странах-членах остаётся открытым, программы не включают в себя национальные приложения для всех стран-членов.

Отдельные национальные приложения можно выбирать в настройках по умолчанию в **администраторе настроек** и **перечне настроек**.

Новые **настройки** пользователь может **задавать просто** из уже имеющихся настроек и этим определять свои **собственные Национальные приложения**.

## Частный коэффициент нагрузки от воды

Частный коэффициент действия воды корректирует величину силы от воздействия воды или величину порового напряжения.

Методика проверки : расчёт по EN1997

Проектный подход : 1 - редукция нагрузки и материала

Постоянная проект.ситуация | Временная проект.ситуация | Случайная проект.ситуация | Сейсмическая проект.ситуация

— Коэфф-ы редукции нагрузки (F)

	Комбинация 1		Комбинация 2	
	Неблагопр.	Благоприятно	Неблагопр.	Благоприятно
Постоянная нагрузка :	$\gamma_G = 1,35$ [-]	1,00 [-]	1,00 [-]	1,00 [-]
Переменная нагрузка :	$\gamma_Q = 1,50$ [-]	0,00 [-]	1,30 [-]	0,00 [-]
Нагрузка от воды :	$\gamma_w = 1,35$ [-]		1,00 [-]	

— Коэфф-ы редукции материала (M)

	Комбинация 1	Комбинация 2
Коэфф редукции угла внутр.трения :	$\gamma_\alpha = 1,00$ [-]	1,25 [-]

### Частные коэффициенты нагрузки от воды

Частный коэффициент воды может быть задан, т.к. EN 1997 позволяет применять несколько подходов к расчётам действия воды. В их числе два основных подхода, в частности:

- **Вариант 1** - Коэффициент действия воды задан  $1,3$  или  $1,35$  (в некоторых НП). В таком случае задают истинный уровень грунтовой воды и её воздействие умножается на заданный частный коэффициент.
- **Вариант 2** - Коэффициент воды задан как  $1,0$ , т.е. действие воды в расчёте никак не корректируется. В этом случае необходимо задать максимально возможный уровень грунтовой воды.



### Частный коэффициент нагрузки от воды

Выбор варианта проверки полностью в компетенции пользователя.

В случае, что пользователь использует обе возможности, рекомендуем установить две настройки в [Администратор настроек](#), которые отличаются друг от друга именно величиной частного коэффициента  $\gamma_w$ .

Перечень настроек расчёта

№	Имя	Срок действия
9	EN 1997, предварит.редакция	Все
10	EN 1997,предварит.редакция,гама воды=1.0	Все

OK

Отмена

Список Настроек расчёта - преднастройки для обоих вариантов частных коэффициентов нагрузки от воды

## Расчёт стен (опорных конструкций)

Расчёт по EN 1997 внедряет несколько типов частных коэффициентов в соответствии с выбором Проектного подхода (НП).

Проектирование по EN 1997-1 в принципе проходит по теории предельных состояний.

### Редукция нагрузки (NP1, NP2, NP3):

Все проектные подходы предусматривают частные коэффициенты редукции нагрузки, на которые перемножают все силы, входящие в расчёт. При самой проверке конкретных случаев разрушения программа определяет какое воздействие оказывает **сила или давление - благоприятное или неблагоприятное** и перемножает её на соответствующий частный коэффициент. Информация о применённых частных коэффициентах отображена в протоколе расчёта.

Выч.силы, дейст. на конструкцию

Имя	Fгориз [кН/м]	Точ. прил. Z [м]	Fвертик [кН/м]	Точ. прил. X [м]	Кэфф. опрок.	Кэфф. смещ.	Кэфф. напряжение
Тяж.- стена	0,00	-1,34	104,88	1,80	1,000	1,000	1,350
Соппротивление на лиц.ст.	-1,22	-0,17	0,00	0,00	1,000	1,000	1,000
Тяж.- грунтовой клин	0,00	-2,00	99,17	2,44	1,000	1,000	1,350
Акт. давл.	84,30	-1,65	118,67	3,26	1,000	1,350	1,350
Сила № 1	30,00	-5,80	0,00	1,50	1,350	1,350	1,350

Протокол расчёта

В рамку Расчёт можно задавать «Вторичную переменную нагрузку» - соответствующие частные коэффициенты далее перемножаются на комбинационные коэффициенты нагрузки.

При расчёте опорных конструкций важен параметр нагрузка от воды и следовательно также определение соответствующего частного коэффициента для воды.

### Редукция материала (NP1, NP3):

Параметры грунтов автоматически уменьшаются соответствующими частными коэффициентами.

### Редукция сопротивления (NP2):

Редукция касается соответствующих значений удерживающих сил, моментов и несущих способностей.

При расчёте по Проектному подходу №1 все проверки выполняются для обеих комбинаций нагрузки по два раза. На мониторе отображается самое частое применение для соответствующего предельного состояния.

## Расчёт ограждающих конструкций

Расчёт по EN 1997 внедряет несколько типов частных коэффициентов в соответствии с выбором Проектного подхода (НП).

Проектирование по EN 1997-1 в принципе выполняется по теории предельных состояний..

### Редукция нагрузки (NP1, NP2, NP3):

Программы, которые производят расчёт над полным (общим) давлением грунта

(**Давление грунта, Ограждение котлованов проект, Ограждение котлованов анализ**) перемножают на частные коэффициенты отдельные составляющие давления, действующие на конструкцию.

Основной предпосылкой расчёта является , **действие активного давления как неблагоприятной** нагрузки а **пассивное давление** как **благоприятной**. Отдельные эпюры давления следовательно перемножаются на соответствующие частные коэффициенты нагрузки.

#### **Редукция материала (NP1, NP3):**

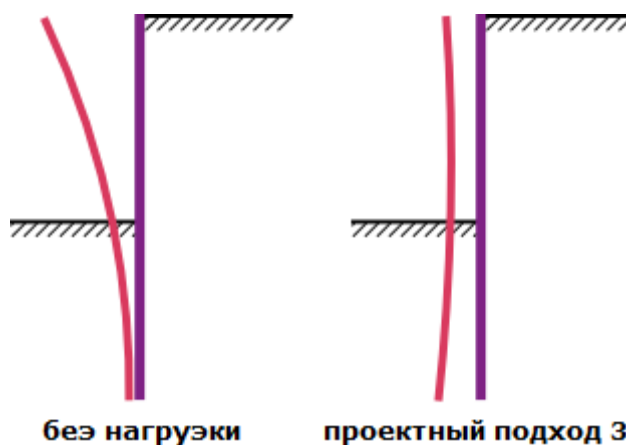
Параметры грунта автоматически уменьшаются соответствующими частными коэффициентами.

#### **Редукция сопротивления (NP2):**

Частный коэффициент сопротивления уменьшает величину пассивного давления перед конструкцией.

**Упрощенно** можно заявить, что NP1 - Комбинация 2, NP2 и NP3 **увеличивают величину активного давления и уменьшают величину пассивного давления**, между тем, как NP1 - комбинация 1 **только увеличивает величину активного давления**.

В **некоторых случаях** такой порядок расчёта может привести к **изменению поведения конструкции** и к **заблуждающим результатам**. Следовательно, к редукции входных параметров необходимо подходить с большой осторожностью.



*Поведение ограждающей конструкции после разгрузки*

## **Расчёт оснований (отдельные фундаменты, сваи)**

Расчёт по EN 1997 внедряет несколько типов **частных коэффициентов** в соответствии с выбором **Проектного подхода** (НП).

Проектирование по EN 1997-1 в принципе выполняется по теории **предельных состояний**.

#### **Редукция нагрузки (NP1, NP2, NP3):**

Нагрузку фундаментов получают в результате расчёта верхней части строения.

- Определяют сочетания нагрузок в соответствии с правилами в EN 1990:2002
- Расчитывают комбинации сочетаний нагрузок в соответствии с EN 1991

Результаты вычисленных комбинаций вводят как исходные данные в программы «**Отдельные фундаменты**» и «**Сваи**».

**Нагрузку задают проектную** (расчёт несущей способности, подбор размеров фундамента) или **полезную** (расчёт осадки). В **проектном подходе 1** расчёт несущей способности выполняют для заданных проектных нагрузок (**комбинация 1**), а также для заданных полезных нагрузок (**комбинация 2**).

В программе перемножают на частные коэффициенты нагрузки только **собственную силу тяжести конструкции** или силу тяжести **грунта под фундаментом**. Задаваемая **проектная нагрузка** должна соответствовать требованиям **EN 1990 и EN 1991** - отдельные составляющие нагрузки должны быть **перемножены** на соответствующие частные коэффициенты - **программа заданную нагрузку дальше не меняет**.

#### **Редукция материала (NP1, NP3):**

Параметры грунтов автоматически уменьшаются соответствующими частными коэффициентами.

#### **Редукция сопротивления (NP2), $\gamma$ свай (NP1, NP2, NP3):**

В программе «Свая» частные коэффициенты сопротивления зависят от типа свай (**буровая, забивная, CFA**). В окне задают все частные коэффициенты. В расчёт включаются частные коэффициенты по типу свай, выбранной в рамке «**Геометрия**». При проверке **свай на растяжение** всегда учитывают собственную тяжесть свай. При проверке сжимаемой свай можно пренебречь собственной тяжестью свай в зависимости от задания в рамке «**Нагрузка**». Сама проверка выполняется по теории предельных состояний.

В программе «**Отдельные фундаменты**» уменьшается вертикальная и горизонтальная несущая способность фундамента.

## **Расчёт устойчивости откоса**

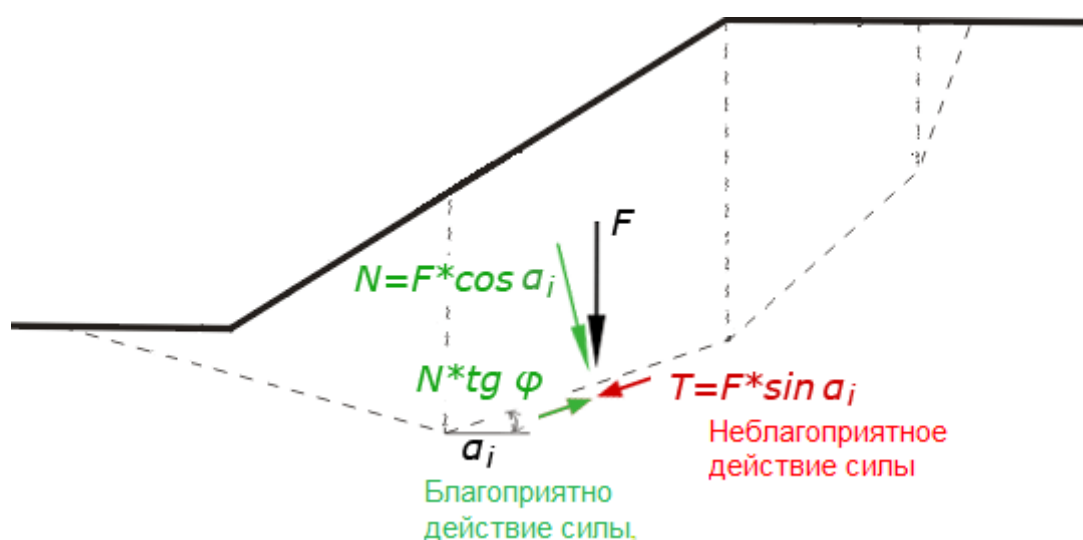
Расчёт по EN 1997 внедряет несколько типов **частных коэффициентов** в соответствии с выбором **Проектного подхода** (НП).

Проектирование по EN 1997-1 в принципе выполняется по теории **предельных состояний**.

#### **Редукция нагрузки (NP1, NP2, NP3):**

Усилия в полоске в расчёте уменьшаются с использованием частных коэффициентов. В зависимости от наклона поверхности скольжения программа определяет благоприятное или неблагоприятное воздействие **силы тяжести** данного блока. В случае, что благоприятное действие силы превосходит неблагоприятное, применяют благоприятный коэффициент. Тяжесть блока  $W$  перемножают на частный коэффициент для постоянной нагрузки.

**Влияние воды** уменьшается **частным коэффициентом**, на который перемножают равнодействующее **поровое давление** и силы от свободной воды над местностью.



#### Определение благоприятного или неблагоприятного действия нагрузки

Сперва производится анализ действия заданных пригрузок, благоприятное/неблагоприятное) и **вся пригрузка** перемножается на соответствующий частный коэффициент.

#### Редукция материала (NP1, NP3):

Параметры грунтов автоматически уменьшаются соответствующими частными коэффициентами.

#### Редукция сопротивления (NP2):

Уменьшается сопротивление на поверхности скольжения.

**ВНИМАНИЕ** При расчёте по полным параметрам даёт DA2 и DA1 (комб. 1) **!!!** **нереальные результаты** в результате разной редукции собственной тяжести массива (благоприятной, неблагоприятной). В случае использования таких методов **рекомендуем вручную изменить частные коэффициенты** (т.е. увеличить коэффициент редукции сопротивления на поверхности скольжения и уменьшить коэффициент редукции нагрузки).

## Комбинации нагрузок

Действия одновременно действующих нагрузок включаются в анализ посредством комбинаций нагрузок, определенных в **Основах структурного расчета EN 1990**. Большинство нагрузок считаются постоянными. Нагрузки и введенные силы могут быть определены как переменные нагрузки. Программа автоматически определяет значения отдельных частных коэффициентов в зависимости от благоприятного или неблагоприятного воздействия данной нагрузки.

По умолчанию переменные нагрузки считаются **первостепенными**. Тем не менее, в закладках «Проверка» и «Подбор размеров» можно определить переменные нагрузки как **вторичные** - такие нагрузки будут умножаться на соответствующий коэффициент, уменьшающий их значение. Если все нагрузки считаются в базовой комбинации вторичными, программа выдает предупреждение и проверка не принимается. В закладке «Настройка этапа» можно определить 4 типа комбинаций:

#### Постоянная и временная расчетная ситуация:



$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{G,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

- где:
- $G_{k,j}$  - собственное значение  $j$ -ой постоянной нагрузки
  - $\gamma_{G,j}$  - частный коэффициент  $j$ -ой постоянной нагрузки
  - $Q_{k,i}$  - собственное значение вторичной  $i$ -ой временной нагрузки
  - $Q_{k,1}$  - собственное значение первичной временной нагрузки
  - $\gamma_{Q,i}$  - частный коэффициент  $i$ -ой временной нагрузки
  - $\psi_0$  - коэффициент псевдо-постоянного значения временной нагрузки

#### Случайная расчетная ситуация:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + \psi_{1,i} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

- где:
- $G_{k,j}$  - собственное значение  $j$ -ой постоянной нагрузки
  - $Q_{k,1}$  - собственное значение первичной временной нагрузки
  - $\psi_{1,i}$  - коэффициент частого значения переменной нагрузки
  - $\psi_{2,i}$  - коэффициент комбинационного значения переменной нагрузки
  - $A_d$  - расчетное значение предельной нагрузки

#### Сейсмическая расчетная ситуация:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

- где:
- $G_{k,j}$  - собственное значение  $j$ -ой постоянной нагрузки
  - $Q_{k,i}$  - собственное значение вторичной  $j$ -ой временной нагрузки
  - $\psi_{2,i}$  - коэффициент псевдо-постоянного значения временной нагрузки
  - $A_{Ed}$  - расчетное значение сейсмической нагрузки

**Частные коэффициенты нагрузки и коэффициенты комбинации** вводятся в диалоговом окне «Частные коэффициенты»

	A	B	C	D	E	G
№ силы	Сила	F <sub>x</sub> [кН/м]	F <sub>z</sub> [кН/м]	Точ. прил. x [м]	Точ. прил. z [м]	Побоч. нагрузка
1	Тяж. - стена	0,00	104,88	1,80	-1,34	
2	Соппротивление на лицевой стороне	1,22	0,00	0,00	-0,17	
3	Тяж. - грунтовой клин	0,00	99,17	2,44	-2,00	
4	Акт. давл.	-84,30	118,67	3,26	-1,65	
5	Сила číslo: 1	-30,00	0,00	1,50	-5,80	✓

Задание вторичных нагрузок



## Расчёт по LRFD ( КНиУ)

Проверку конструкций по LRFD (**Load Resistance Design Factor**) выполняют по **предельным состояниям**.

Вводят два типа коэффициентов:

- Коэффициенты редукции нагрузки (минимальный и максимальный), в расчёт вводят наиболее неблагоприятное значение (**Load factors**).
- Коэффициенты редукции сопротивления конструкции (**Resistance factors**).

**LRFD** внедрена в программах:

- **Расчётов стен и опорных конструкций**
- **Расчёта фундаментов мелкого заложения**
- **Расчёта устойчивости откоса**

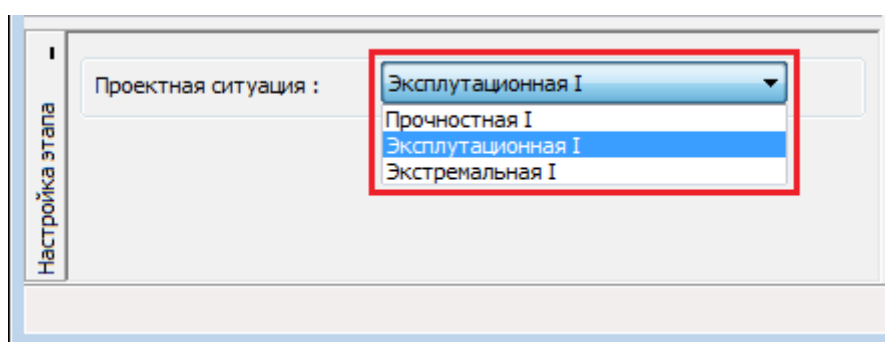
**LRFD** внедряет новые типы **проектных ситуаций** (Прочностная I, Эксплуатационная I, Экстремальная I).

## LRFD - Проектные ситуации

**LRFD** вводит в расчёт **опорных конструкций (стен), фундаментов мелкого заложения и устойчивости откоса** следующие проектные ситуации:

- **Прочностная I**: основная проектная ситуация с редукцией сопротивления конструкции и величины нагрузки.
- **Эксплуатационная I**: проектная ситуация, которая в большинстве случаев частные коэффициенты (**нагрузка, редукция сопротивления**) принимает равными 1,0.
- **Экстремальная I**: проектная ситуация, которая в большинстве случаев частные коэффициенты **редукции сопротивления** принимает равными 1,0.

Тип проектной ситуации выбирают в рамке «**Настройка этапа**». Значения частных коэффициентов (**нагрузка, редукция сопротивления**) можно изменять в рамке «**Настройка**».



*LRFD - Выбор проектной ситуации*

Правка настройки для текущей задачи. : Отдельные фундаменты

Материалы и стандарты | Осадка | **Отдельные фундаменты**

Расчёт для обезвоженных условий : стандартный способ

Расчёт для необезвоженных условий : стандартный способ

Расчёт отд.ф-та на скальном основании : стандартный способ

Проверка отд. ф-та, работающего на растяжение : стандартный способ

Допустимый эксцентриситет : 0,333 [-]

Методика проверки : расчёт по LRFD 2012

Прочностная I | **Эксплуатационная I** | Экстремальная I

— Коэффициенты нагрузки

	Минимальная	Максимальная
Постоянная нагрузка - конструкция : DC =	0,90 [-]	1,25 [-]
Постоянная нагрузка - клин грунта : EV =	0,90 [-]	1,30 [-]

— Коэфф-ты редукции сопротивления

Коэфф.редукции верт.нес.способ. :	$\phi_b =$ 0,45 [-]
Коэфф.редукции гориз.нес.способ. :	$\phi_t =$ 0,80 [-]
Коэфф.редукции пассив.давления :	$\phi_{ep} =$ 0,50 [-]
Коэфф.редукции нес.способ.растяг.отд.фунд-та :	$\phi_{up} =$ 0,80 [-]

OK

Отмена

Расчёт по LRFD - задание частных коэффициентов

## LRFD - Расчёт стен (опорные конструкции)

Расчёт по LRFD внедряет два типа расчётных коэффициентов - коэффициенты величины нагрузки (**Load factors**) и коэффициенты редукции сопротивления грунта (**Resistance factors**).

Коэффициенты вводятся в расчёт в соответствии с выбранной проектной ситуацией.

При проверке отдельных случаев разрушений программа определяет, действует-ли **сила (давление) благоприятно или неблагоприятно** и перемножает её на соответствующий расчётный коэффициент.

Общее сопротивление конструкции разрушению при конечной проверке перемножается на соответствующий коэффициент сопротивления.

Правка настройки для текущей задачи : Гравитационная стена

Материалы и стандарты    Расчёт стен

Расчёт активного давления : Coulomb (ČSN 730037)

Расчёт пассивного давления : Caquot-Kerisel

Расчёт землетрясения : Mononobe-Okabe

Форма клина грунта : рассчитать наклонным

Допустимый эксцентриситет : 0,333 [-]

Методика проверки : расчёт по LRFD 2012

Прочностная I    Эксплуатационная I    Экстремальная I

Коэффициенты нагрузки

	Минимальная	Максимальная
Постоянная нагрузка - конструкция :	DC = 0,90 [-]	1,25 [-]
Постоянная нагрузка - нагрузка поверхности :	DW = 0,65 [-]	1,50 [-]
Постоянная нагрузка - активное давление грунта :	EH <sub>A</sub> = 0,90 [-]	1,50 [-]
Постоянная нагрузка - натур. дав. грунта :	EH <sub>R</sub> = 0,90 [-]	1,35 [-]
Постоянная нагрузка - пригрузка :	ES = 0,75 [-]	1,50 [-]
Постоянная нагрузка - клин грунта :	EV = 1,00 [-]	1,35 [-]
Переменная нагрузка - пригрузка :	LL = 0,00 [-]	1,75 [-]
Переменная нагрузка - вода :	WA = 1,00 [-]	1,00 [-]

Коэфф-ты редукции сопротивления

Коэфф. редукции сопротивления на опрокидывание :  $\phi_o$  = 0,90 [-]

Коэфф. редукции сопротивления на перемещение :  $\phi_t$  = 0,80 [-]

Коэфф. редукции сопротивления грунта основания :  $\phi_b$  = 0,55 [-]

Коэфф. редукции пассив. сопротивления :  $\phi_{VE}$  = 0,75 [-]

Редактировать настройку расчёта для программы :

Устойчивость откоса

Отдельные фундаменты

Свая

Куст свай

OK

Отмена

### Расчёт по LRFD - задание частных коэффициентов для расчёта стен

У опорных конструкций (стен) сведения об использованных расчётных факторах отображены в протоколе расчёта.

#### Выч.силы, дейст. на конструкцию

Имя	F <sub>hor</sub> [кН/м]	Точ. прил. z [м]	F <sub>vert</sub> [кН/м]	Точ. прил. x [м]	Коэфф. опрок.	Коэфф. смещ.	Коэфф. напряжение
Тяж.- стена	0,00	-1,15	45,85	0,96	0,900	0,900	1,250
Сопр.на лицевой стороне	-0,81	-0,20	0,00	0,00	0,900	0,900	0,900
Тяж.- грунтовой клин	0,00	-0,90	1,82	1,48	1,000	1,000	1,350
Акт. давл.	15,57	-0,96	11,78	1,57	1,500	1,500	1,500
Напор воды	11,00	-0,59	0,00	1,35	1,000	1,000	1,000
Подъёмная сила воды	0,00	-2,60	0,00	1,35	1,000	1,000	1,000

#### Протокол расчёта

## LRFD - Расчёт отдельного фундамента

Расчёт по LRFD внедряет два типа расчётных коэффициентов - коэффициенты величины нагрузки (**Load factors**) и коэффициенты редукции сопротивления грунта (**Resistance factors**).

Коэффициенты вводятся в расчёт в соответствии с выбранной проектной ситуацией.

На частные коэффициенты нагрузки перемножаются только **сила тяжести отдельного фундамента** и **сила тяжести грунта над отдельным фундаментом (кровля)**.

Отдельные составляющие нагрузки должны быть **перемножены** на соответствующие частные коэффициенты - заданную нагрузку программа дальше не меняет.

Общее сопротивление конструкции разрушению при конечной проверке премножается на соответствующий коэффициент сопротивления.

*Расчёт по LRFD - задание частных коэффициентов для фундаментов*

## LRFD - Расчёт устойчивости откоса

**Расчёт по LRFD** внедряет два типа расчётных коэффициентов - коэффициенты величины нагрузки (Load factors) и коэффициенты редукции сопротивления грунта (Resistance factors).

Коэффициенты вводятся в расчёт в соответствии с выбранной **проектной ситуацией**.

У заданных пригрузок программа определяет их воздействие - благоприятное или неблагоприятное и **значение пригрузки** перемножает на соответствующий частный коэффициент нагрузки ((**ES**, или **LL**)).

### Редукция сопротивления (Resistance factors):

Общее сопротивление на поверхности скольжения подвергается редукции частным коэффициентом  $\phi_{SS}$ . Для доказательства безопасности должно быть на поверхности скольжения удовлетворено следующее условие равновесия:

$$\phi_{SS} F_{pas} \geq F_{act}$$

где:  $\phi_{SS}$  - коэффициент редукции устойчивости

$F_{pas}$  - удерживающие (пассивные) силы на поверхности скольжения

$F_{act}$  - сдвигающие (активные) силы на поверхности скольжения

*Расчёт по LRFD - задание частных коэффициентов для расчётов на устойчивость*

## Analysis according to the chinese standards

GEO5 programs allow to perform various analyses based on the methodologies provided by Chinese standards.

**Geotechnical analyses** are verified using the **safety factor**. Neither calculated forces or soil parameters are reduced by any coefficient.

**Dimensioning of steel-reinforced concrete and masonry structures** follows the GB 50153-2008 or JTS D30-2004 standards. In this case, each force entering a combinations is pre-multiplied by the corresponding coefficient.

Another coefficient influencing the dimensioning is the **Coefficient of structure importance** (GB 50153-2008, 8.2.2-1) to be specified in the «**Settings**» frame when performing the structure verification according to GB 50010-2010.

**Earthquake analysis** and seismic combination analysis according to GB 50010-2010 further exploit **Seismic coefficients of strength** (GB 50011-2010), which increase the calculated bearing capacity of a cross-section. These coefficients are specified in the "**Settings**" frame in the "**Materials and standards**" tab.

Analysis of **sheeting structures** follows to **JGJ 120-2012** standard (Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations). This is eg. a **determination of modulus of subsoil reaction**.

## Проектные ситуации

Программа вводит четыре проектные ситуации, которые могут отличаться друг от друга коэффициентами расчёта. Это:

- **Постоянная проектная ситуация** - наиболее частое состояние и проверка, при которой представляем доказательства о безопасности конструкции в течение всего срока её жизни.
- **Временная проектная ситуация** - можно применять для временных конструкций, или этапов строительства. Требования к безопасности обычно не такие жёсткие как

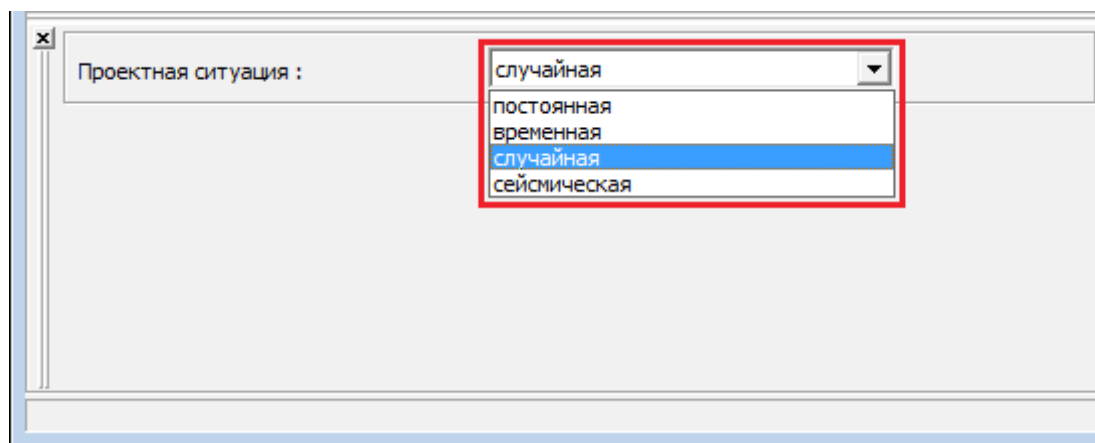
для постоянных проектных ситуаций.

- **Случайная проектная ситуация** - применяется при случайных (чрезвычайных) нагрузках, как, наводнение, авария, пожар и т.п. Значения коэффициентов редукции чаще всего равны единице.
- **Сейсмическая проектная ситуация** - применяется для сейсмических расчётов. По идее её можно сравнить со случайной проектной ситуацией, но для землетрясений чаще всего требуется повышенная безопасность, в некоторых странах даже такая как для постоянной проектной ситуации.

LRFD вводит новые типы **проектных ситуаций** (**Прочностная I, Эксплуатационная I, Экстремальная I**).

Коэффициенты безопасности и коэффициенты редукции задаются в **настройке**.

Выбор проектной ситуации для этапа проектирования конструкции выбирают в рамке «**Настройка этапа**».



*Выбор проектной ситуации*

## Отдельные программы

В главе приводится описание отдельных режимов ввода данных в программу.

- Давление грунта
- Угловая стена
- Гравитационная стена
- Сборная стена
- Армированная стена
- Габион
- Устой
- Нагельное крепление
- Стена RediRock
- Ограждения котлованов - проект
- Ограждения котлованов - анализ
- Стабилизирующая свая

- Шахта
- Устойчивость откоса
- Скальный откос
- Армированные насыпи
- Отдельные фундаменты
- Отдельные фундаменты СРТ
- Сваи
- Свая СРТ
- Куст свай
- Микросвая
- Плита
- Балка
- Осадка
- Выработка
- Рельеф
- Стратиграфия
- МКЭ (и модули Консолидация, Движение потока, Тоннели)

## Программа Давление грунта

Программа рассчитывает основные виды давления грунта (активное, пассивное, статическое) на конструкцию.

**Справка для программы «Давление грунта» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:
 

Проект	Настройка	Геометрия	Профиль	Грунты	Привязка
Рельеф	Вода	Пригрузка	Землетрясение	Настройка этапа	Расчёт
- Стандарты и методы расчёта
- Теория расчётов в программе «Давление грунта»:
 

Напряжение в массиве грунта	Давление грунта
-----------------------------	-----------------
- Справка относительно результатов на выходе

- Информация общего характера о работе в **пользовательской среде** программ GEO5
- **Общие операции** для всех программ

## Проект

В **рамку «Проект»** задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой **текстовой и графической информации**.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (**метрическую / дюймовую**). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «**Геобуфера**».

Рамка «Проект»

## Настройка

В **рамку «Настройка»** предназначена для ввода основных «**Настроек**» программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой «**Выбрать настройки**» выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из «**Перечня настроек**».

Кнопка «**Администратор настройки**» открывает диалоговое окно «**Администратор настройки**», в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

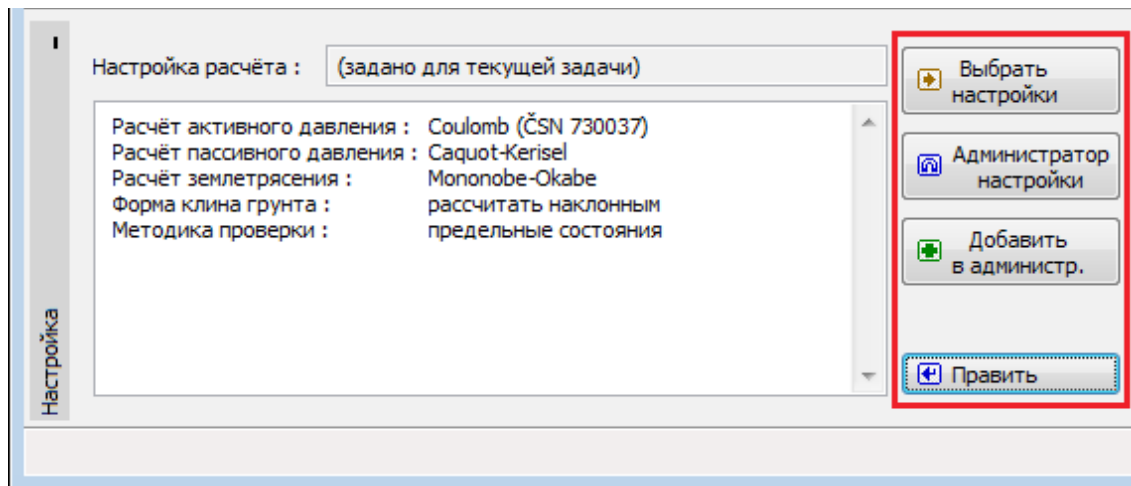
Кнопка «**Добавить в администратор**» позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка «**Править**» позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в «**Задано для текущей задачи**». После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку «**Добавить в администратор**» и добавляем настройку в «**Администратор настройки**».



Настройка «**Задано для текущей задачи**» обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладках «**Материалы и стандарты**», «**Расчёт давлений**».



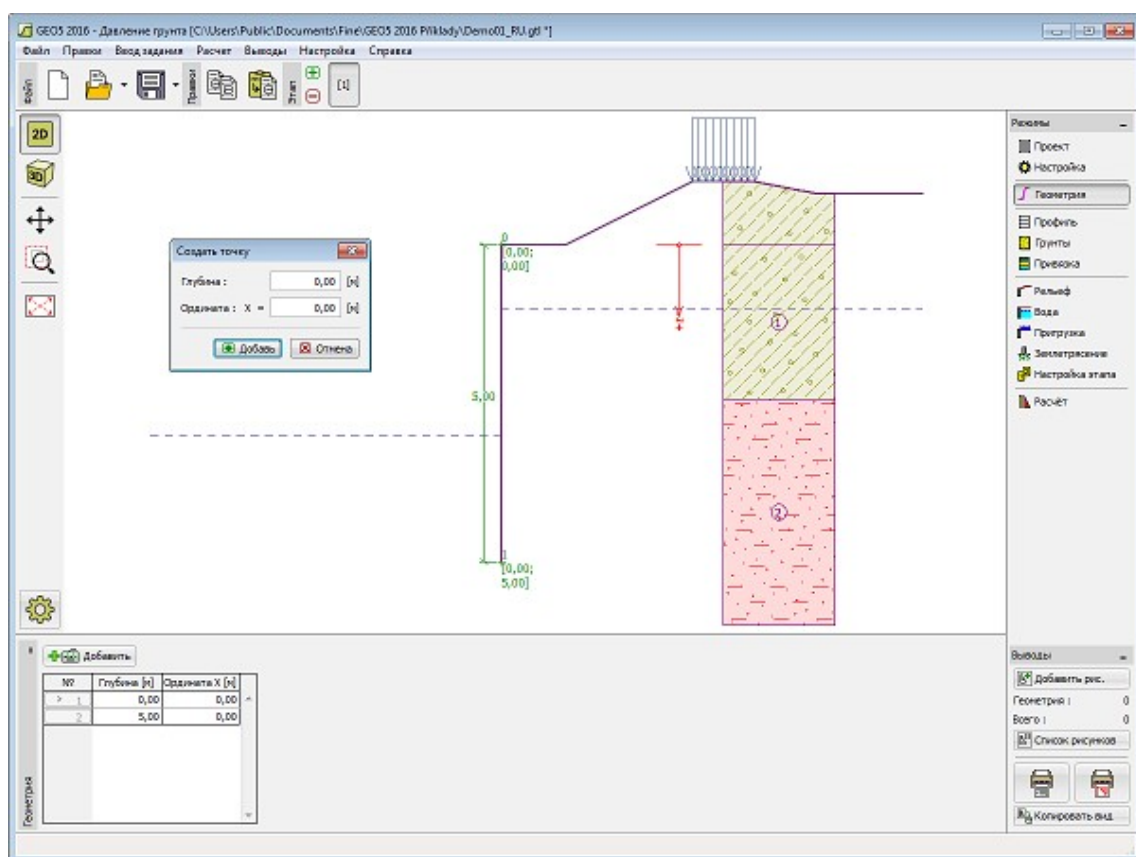
Рамка «Настройка»

## Геометрия

В **рамке «Геометрия»** находится **таблица** со списком заданных точек конструкции. **Добавление** точек выполняется в **диалоговом окне «Создать точку»**.

Заданные точки можно редактировать также на рабочем столе при помощи **активных объектов** - двойной щелчок на точке открывает диалоговое окно соответствующей точки.

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.



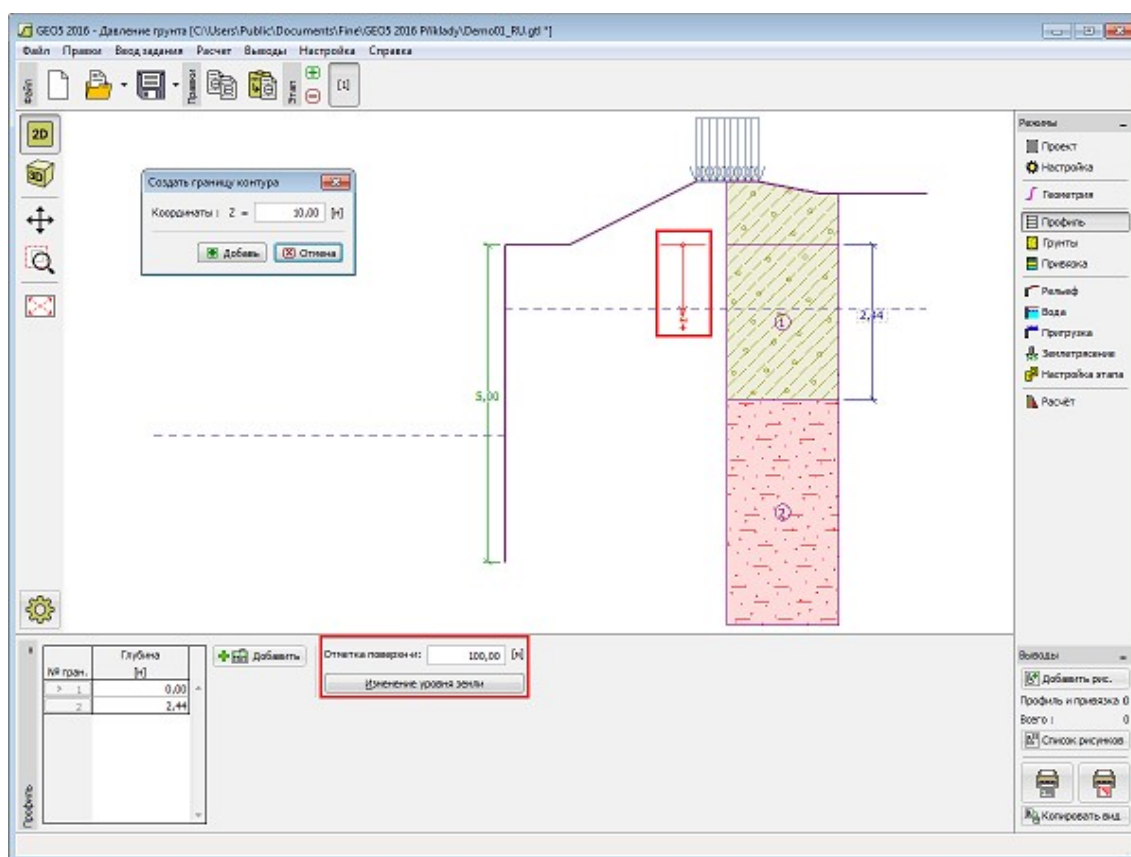
Рамка «Геометрия»

## Профиль

В рамке «**Профиль**» есть таблица со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи **активных отметок** (размерных чисел).

**Добавление** границы выполняется в **диалоговом окне «Создать границу контура»**. Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне «**Изменение уровня земли**» и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы «**Рельеф**».



Рамка «Профиль»

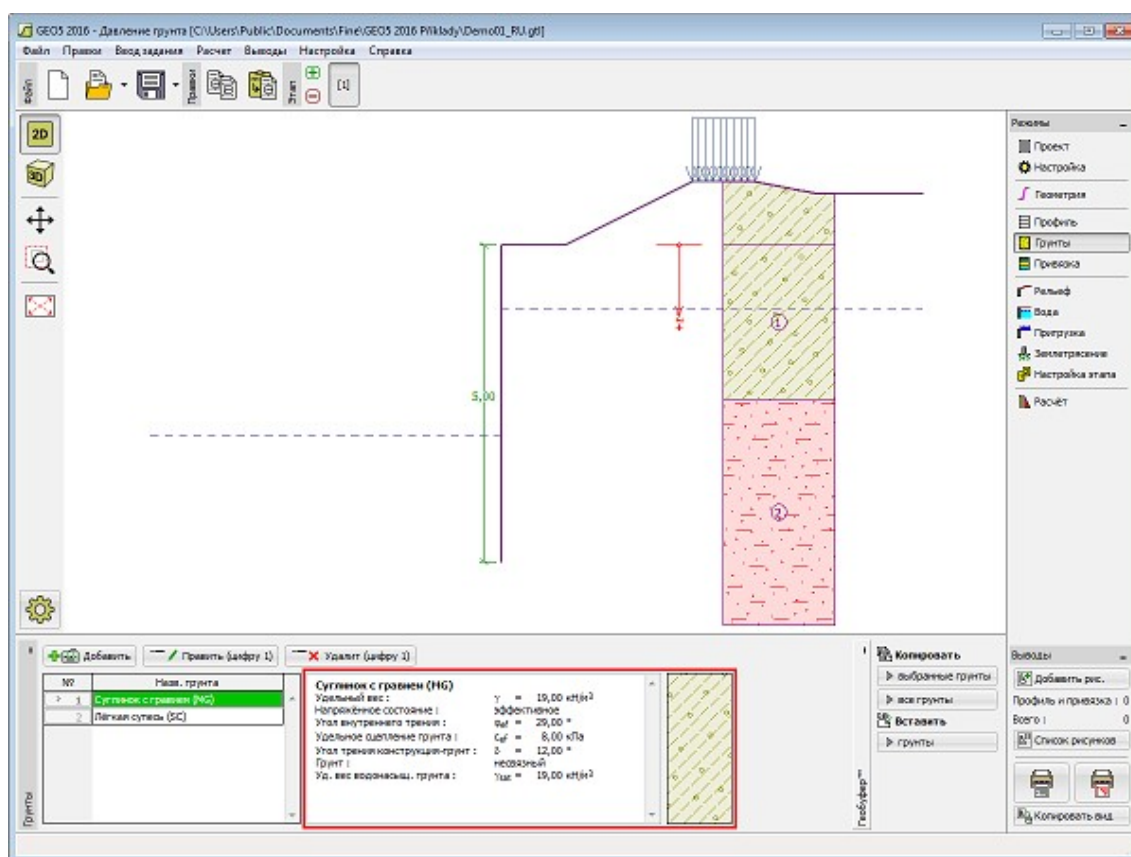
## Грунты

В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. В случае, что в таблице выбрано несколько грунтов, данные об отдельных грунтах расположены в последовательном порядке.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Базовые данные», «Статическое давление грунта» и «Подъёмная сила».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать **базу данных грунтов** по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Угол внутреннего трения грунта и коэффициент сцепления задают **эффективным или полным** в зависимости от установки в выпадающем списке «**Напряжённость**». Выполнять расчёт в **эффективном или полном** напряжённом состоянии зависит прежде всего от типа грунта, характера нагрузки, долговечности конструкции и водного режима.

Для **эффективного напряжённого состояния** задают **угол трения между грунтом и конструкцией**, который зависит от материала конструкции и типа грунта. Ориентировочные значения угла трения между конструкцией и грунтом приводит **таблица рекомендуемых значений**.

Для **полного (тотального) напряжённого состояния** ещё задают **сцепление грунта со стеной строительной конструкции**  $a$ .

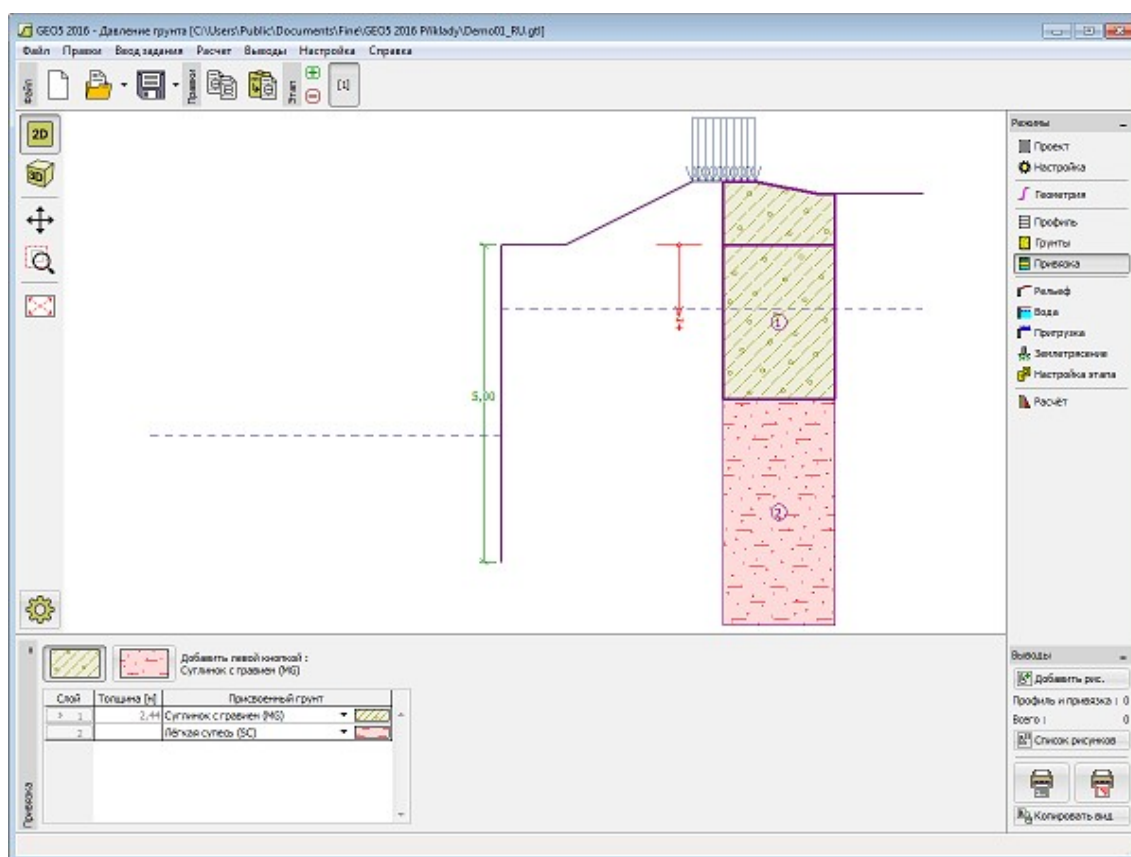
Соответствующая теория подробно описана в разделе «**Давление грунта**».

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В **рамке «Привязка»** есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).



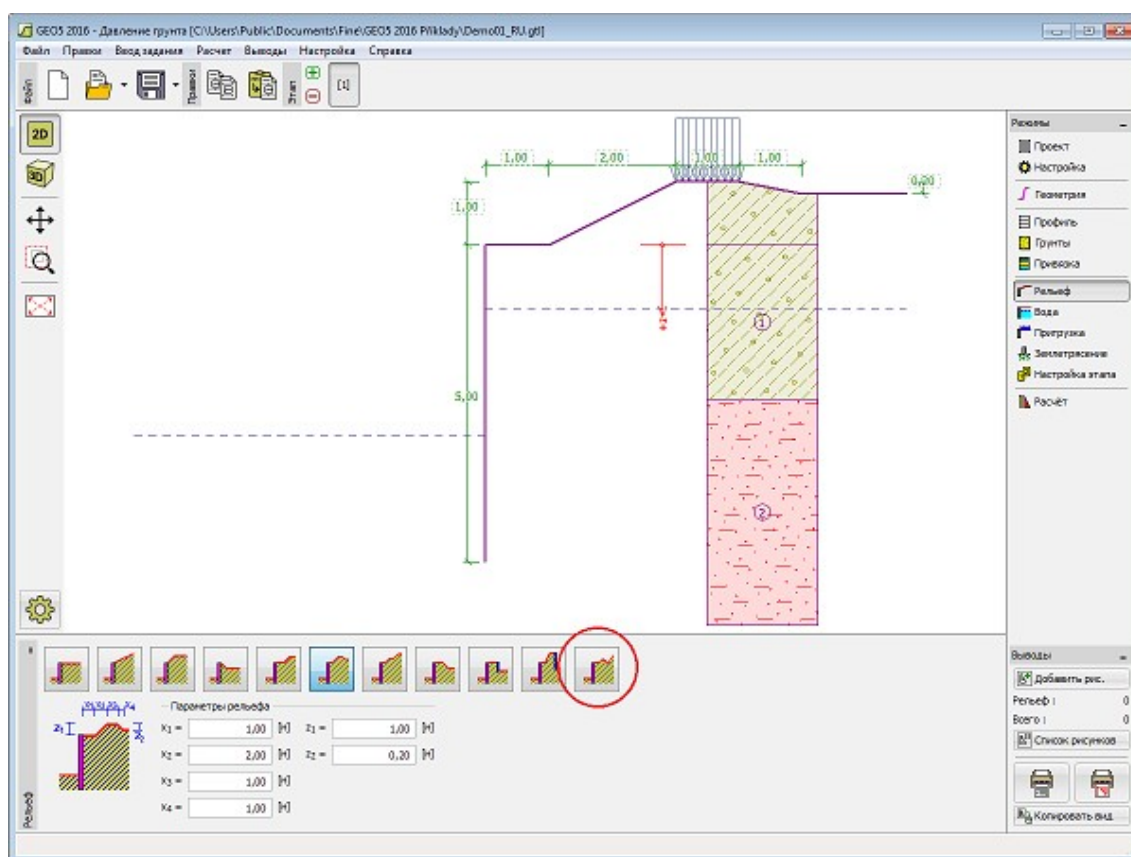
Рамка «Привязка»

## Рельеф

В **рамке «Рельеф»** нажатием кнопки выбираем форму рельефа. Выбранная форма с графической подсказкой («**Схема параметров**») заданных значений отображается в левой части рамки. Редактировать форму рельефа можно - или в рамке (вводим значения в поля ввода), или на рабочем столе (при помощи **активных отметок**).

Последний пункт выбора в меню - это общая форма рельефа: в рамке имеется таблица со списком пунктов (точек) на местности. Первый пункт рельефа с координатой [0,0] лежит на верхней точке конструкции.

Расчёт давлений грунта в случае наклонного участка местности описан в теоретической части подсказки «**Распределение давления грунта при пересечённой местности**».



Рамка «Рельеф»

## Вода

В **рамке «Вода»** нажатием кнопки выбираем тип воды. Выбранный тип с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Параметры воды ( $h_1$ ,  $h_2$ ...) можно редактировать или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок** (размерных чисел).

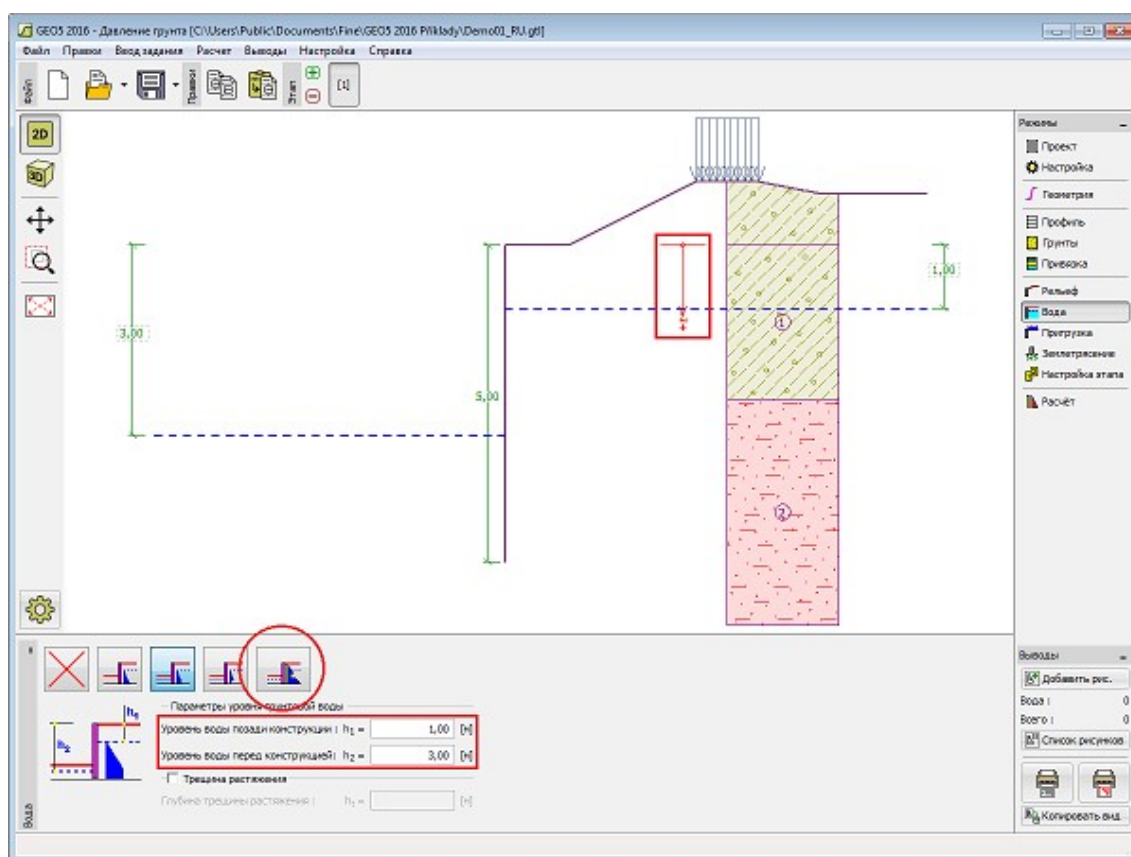
Последний выбор - это ручной ввод порового давления перед и за конструкцией. В рамке появляются две закладки «**Перед конструкцией**» и «**За конструкцией**» с **таблицами**. В таблицы вводят значения порового давления перед или за конструкцией на глубине « $z$ » (см. ось  $z$ ).

Высоту уровня воды можно задавать также **над конструкцией** или над грунтовым профилем - в таком случае значению глубины воды присваивается отрицательный знак.

Расчёт давлений грунта с воздействием воды описан в теоретической части подсказки «**Воздействие воды**».

Программа позволяет задавать глубину **трещин растяжения** заполненных водой.





Рамка «Вода»

## Пригрузка

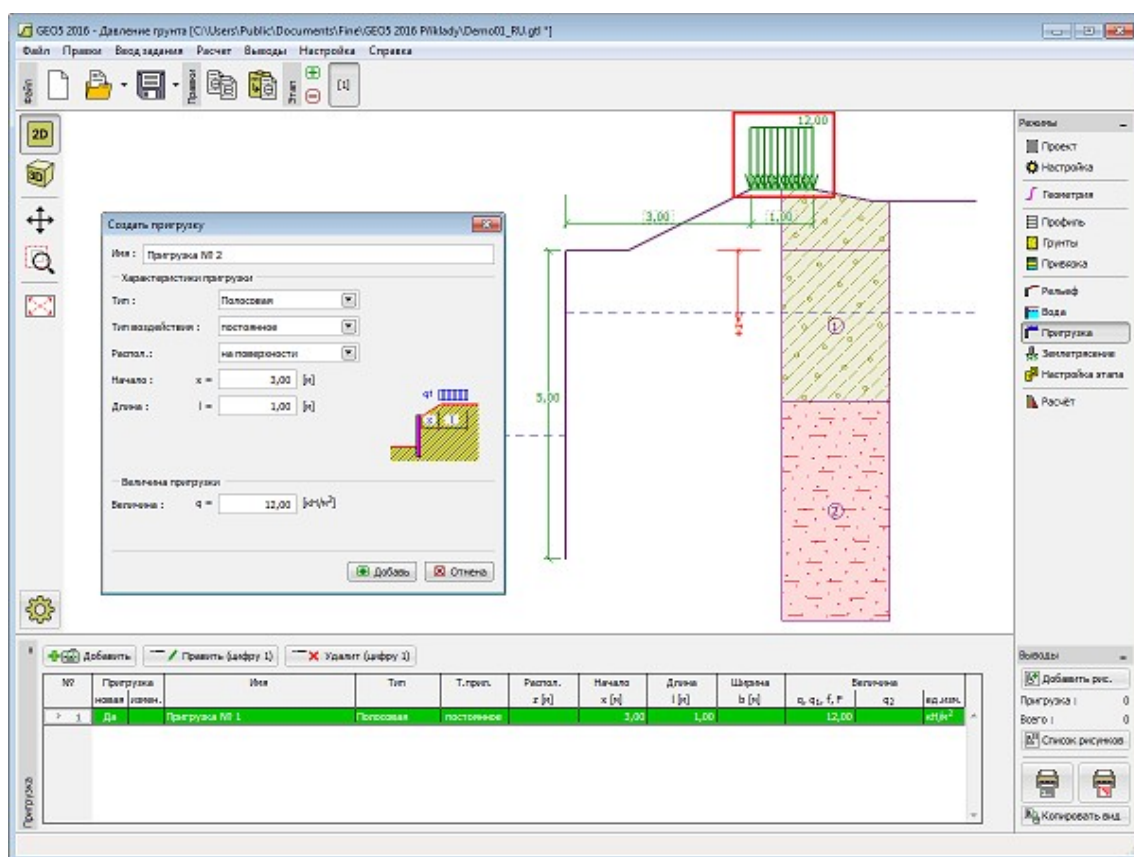
В рамке «**Пригрузка**» есть таблица со списком заданных пригрузок. Добавление пригрузки выполняется в диалоговом окне «**Создать пригрузку**». Редактировать заданную пригрузку можно также на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

Вместе с вводом пригрузки на глубине нужно задать координату  $z$  от верхней точки конструкции, с положительным знаком в глубину. В случае, что пригрузка задана вне пределов местности, программа перед выполнением расчёта даст сообщение об ошибке.

Пригрузку можно задавать **постоянной, переменной** или **случайной**. В зависимости от типа воздействия пригрузки результирующее воздействие умножается на соответствующий расчётный коэффициент. Случайная пригрузка с положительным воздействием в расчёт не принимается.

Расчёт давлений грунта от пригрузки описан в теоретической части справки «**Воздействие пригрузки**».





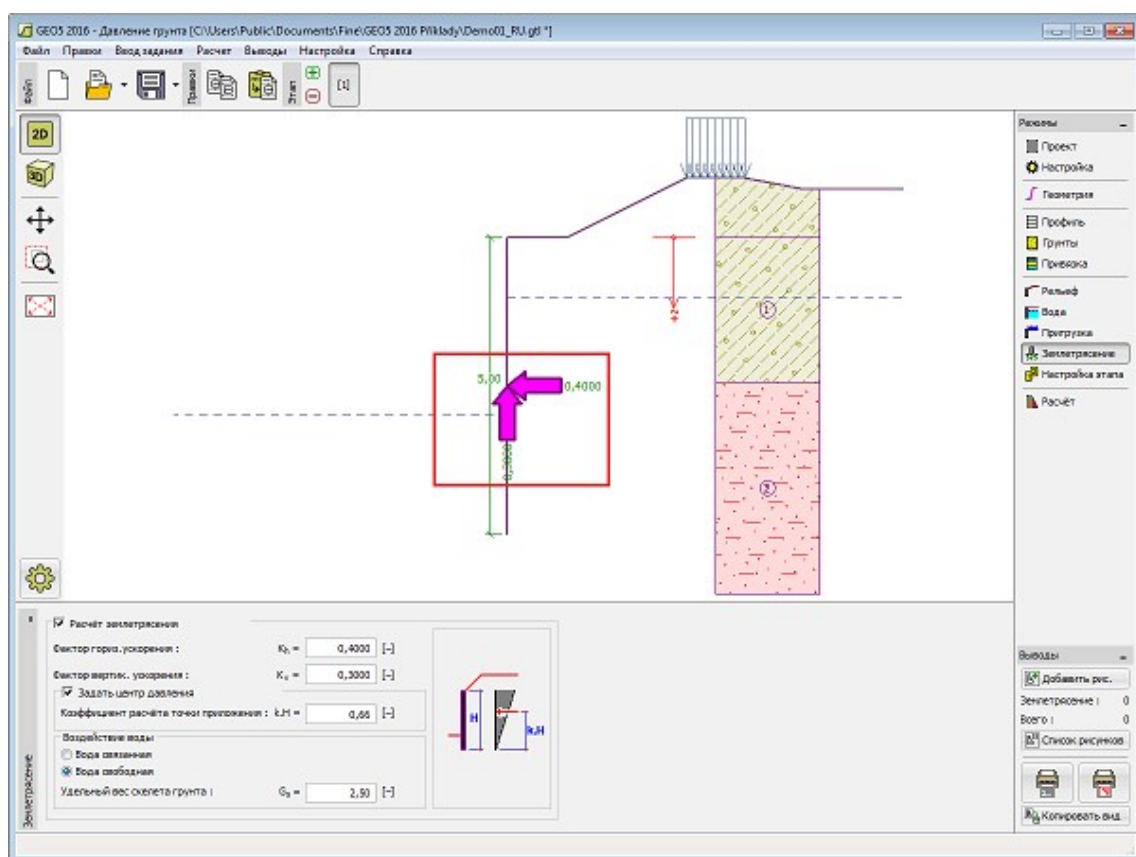
Рамка «Пригрузка»

## Землетрясение

В **рамку «Землетрясение»** задают параметры сеймики. Направления заданных сейсмических воздействий отображены на рабочем столе.

В случае отсутствия коэффициентов  $k_h$  и  $k_v$  полученных в результате измерений, проводят дополнительный расчёт способом указанным в **EN 1998-5**.

Расчёт давлений грунта с воздействием землетрясения описан в теоретической части подсказки **«Воздействие землетрясения»**.



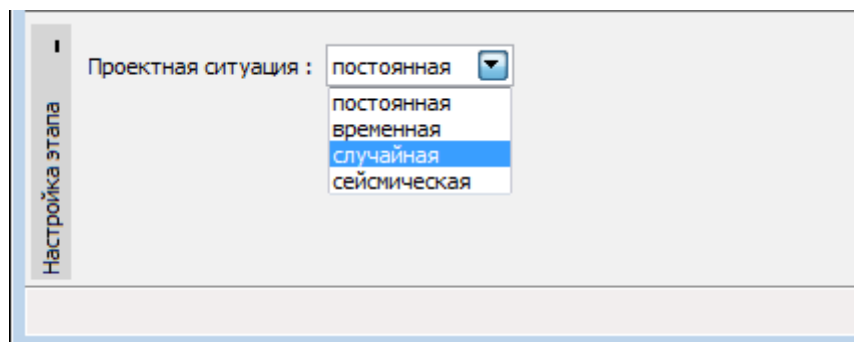
Рамка «Землетрясение»

## Настройка этапа

В **рамку «Настройка этапа»** задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования.

Внешний вид рамки зависит от выбора **методики проверки**.



Рамка «Настройка этапа»

## Расчёт

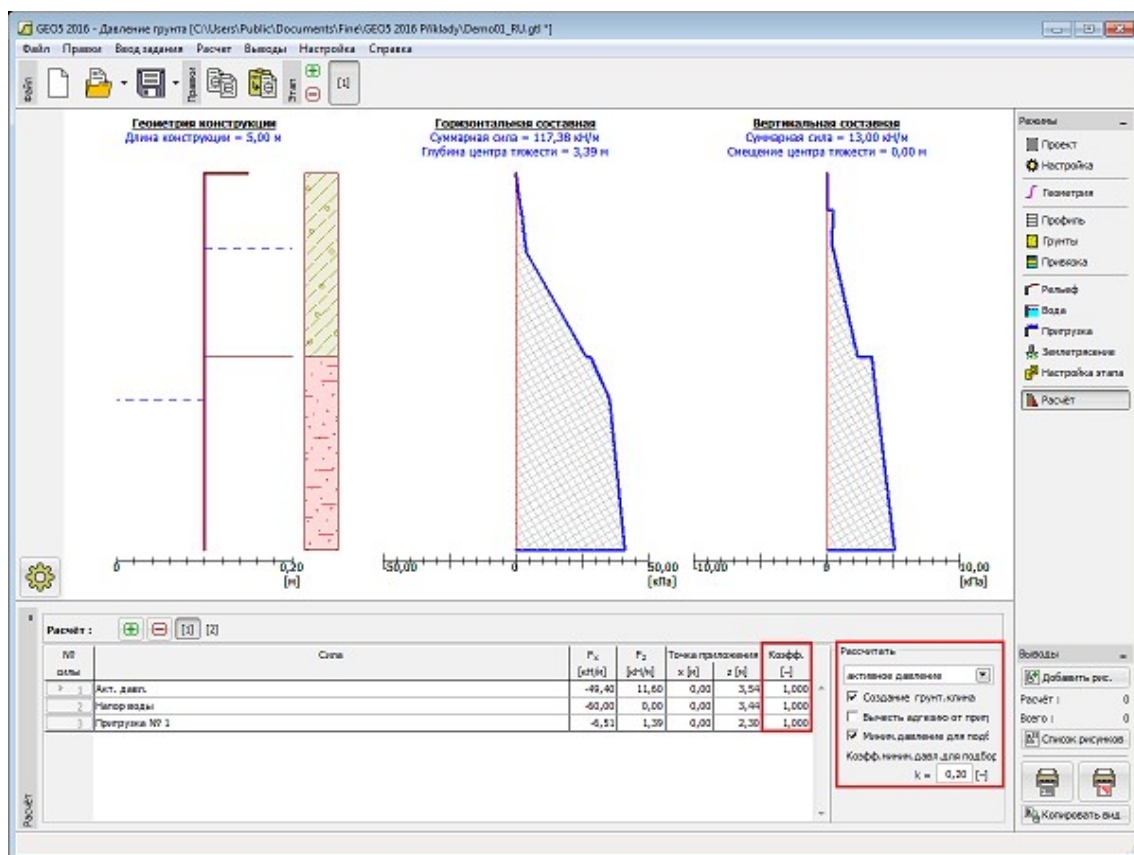
В рамке «Расчёт» отображены результаты расчёта. По одной задаче можно выполнить несколько расчётов.

Вид рамки меняется в зависимости от выбора методики проверки:

- Расчёт по коэффициенту безопасности или предельным состояниям - в таблице в последней колонке указывают расчётные коэффициенты, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.
- Расчёт по EN 1997 - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «Комбинация нагрузок». При расчёте по проектному подходу 1 в рамку нужно задать номер комбинации.
- Расчёт по LRFD - в таком случае последняя колонка не отображена.

Далее, в рамке выбирают тип рассчитываемого давления грунта (активное давление, статическое давление, пассивное давление). При расчёте активного давления грунта можно проставить галочки в окошках «Создание грунтового клина» и «Минимальное давление для подбора размеров».

Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».



Рамка «Расчёт»

## Программа Угловая стена

Программа предназначена для проектирования и анализа железобетонных угловых стен.

**Справка для программы «Угловая стена» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Геометрия	Материал	Профиль	Грунты	Привязка
Заложение	Засыпка	Рельеф	Вода	Пригрузка	Сопротивле ние на лицевой стороне	Заданные силы
Землетрясе ние	Анкеровка фундамента	Настройка этапа	Проверка	Несущая способность	Подбор размеров	Устойчивост ь

- Стандарты и методы расчёта

- Теория расчётов в программе «Угловая стена»:

Напряжение в массиве грунта	Давление грунта	Анализ опор	Анализ устойчивости основания	Измерение бетонных конструкций
--------------------------------	-----------------	-------------	-------------------------------------	--------------------------------------

- Справка относительно результатов на выходе
- Информация общего характера о работе в пользовательской среде программ GEO5
- Общие операции для всех программ

## Проект

В рамку «Проект» задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой текстовой и графической информации.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (метрическую / дюймовую). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «Геобуфера».

Проект

Название проекта :  Составитель :

Часть :  Дата : 8. 1.2015

Подпись :  № заказа :

Клиент :  Архивный номер :

Сист. единиц изм. : метрич.

Копировать

→ данные проекта

Вставить

→ данные проекта

Geobuffer™

Рамка «Проект»

## Настройка

В **рамку «Настройка»** предназначена для ввода основных **«Настроек»** программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой **«Выбрать настройки»** выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из **«Перечня настроек»**.

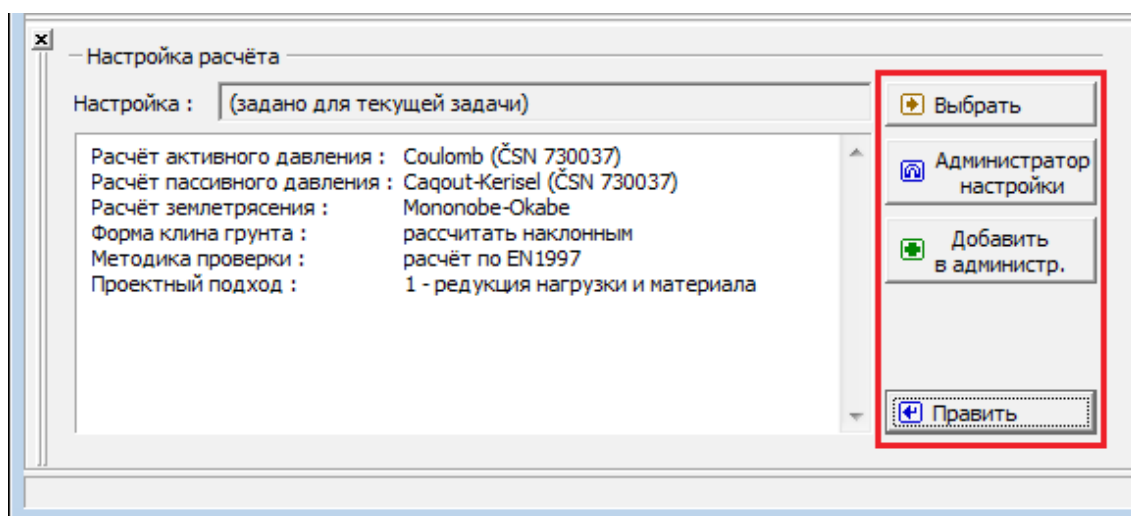
Кнопка **«Администратор настройки»** открывает диалоговое окно **«Администратор настройки»**, в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

Кнопка **«Добавить в администратор»** позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка **«Править»** позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в **«Задано для текущей задачи»**. После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку **«Добавить в администратор»** и добавляем настройку в **«Администратор настройки»**.

Настройка **«Задано для текущей задачи»** обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладках **«Материалы и стандарты»**, **«Расчёт стен»**.



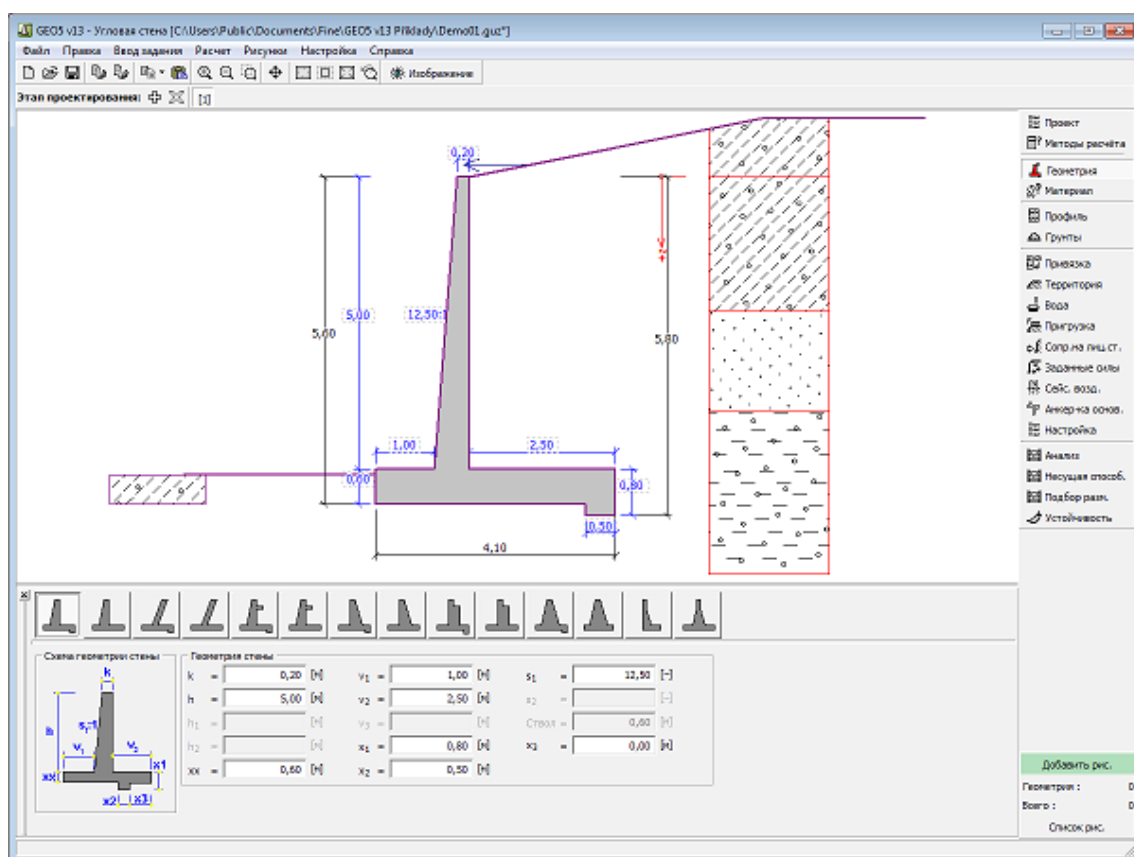
Рамка «Настройка»

## Геометрия

В **рамке «Геометрия»** нажатием кнопки выбирают форму угловой стены. Форма с графической подсказкой («**Схема геометрии стены**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактировать форму стены можно или в рамке, вводя значения в поля ввода, или на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

При наклонной форме конструкции задают соотношение сторон наклонной части 1:х. **Вертикальную конструкцию задают** вводом значения ноль.

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.



Рамка «Геометрия»

## Материал

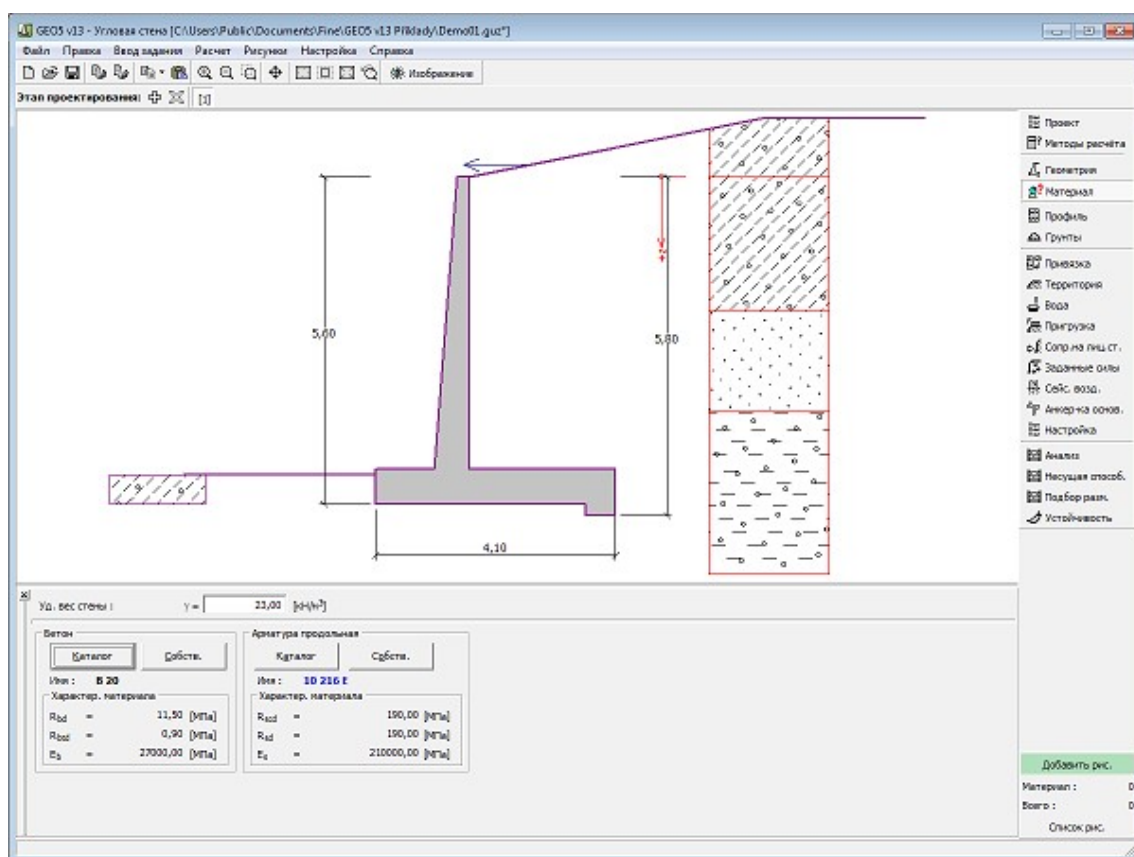
В **рамке «Материал»** выбирают характеристики материала. В поле ввода в верхней части рамки задают **удельный вес стены**.

При настройке параметров материала можно использовать две опции:

- кнопкой **«Каталог»** открыть диалоговое окно **«Каталог материалов»** и в списке выбрать нужный материал.
- кнопкой **«Пользователь»** открыть диалоговое окно **«Редактор материала»** и ввести нужные характеристики материала вручную

Содержимое каталогов меняется в соответствии с настройкой стандарта по проектированию **бетонных** конструкций в закладке **«Материалы и стандарты»**.





Рамка «Материал»

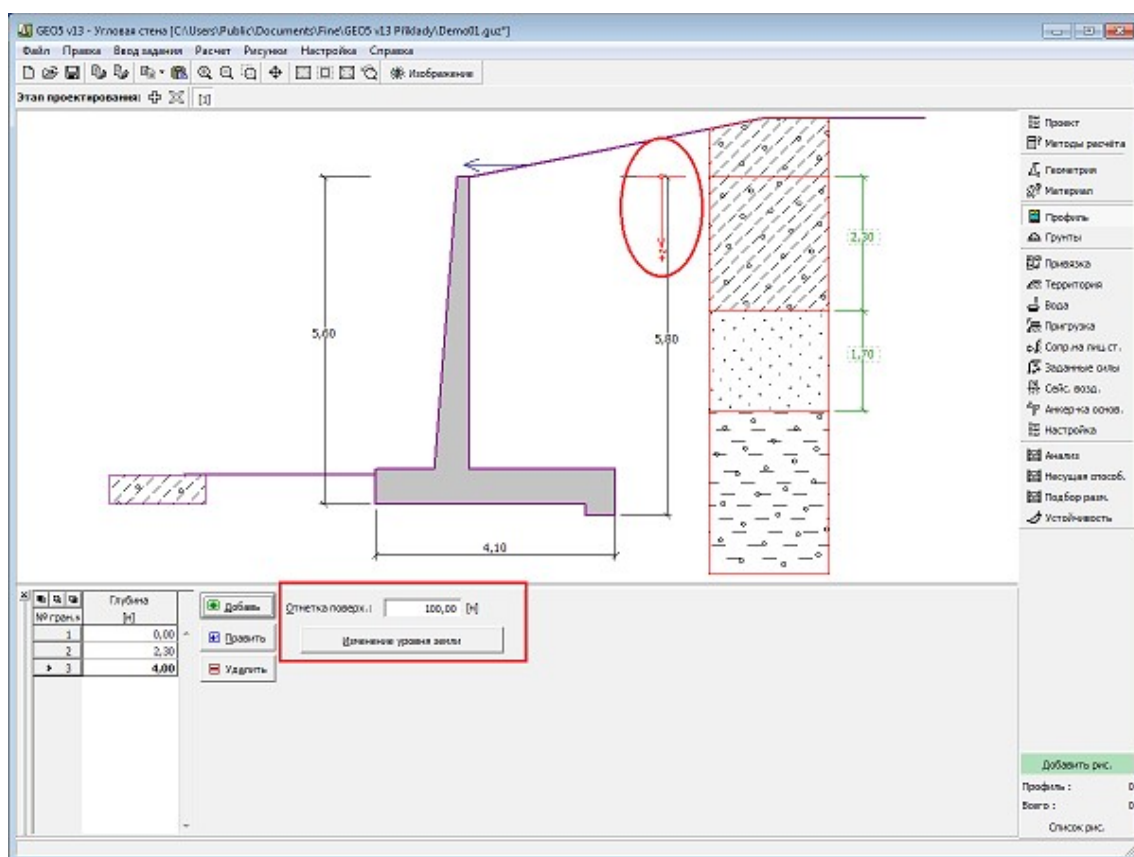
## Профиль

В рамке «Профиль» есть таблица со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи активных отметок (размерных чисел).

Добавление границы выполняется в диалоговом окне «Создать границу контура». Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне «Изменение уровня земли» и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы «Рельеф».





Рамка «Профиль»

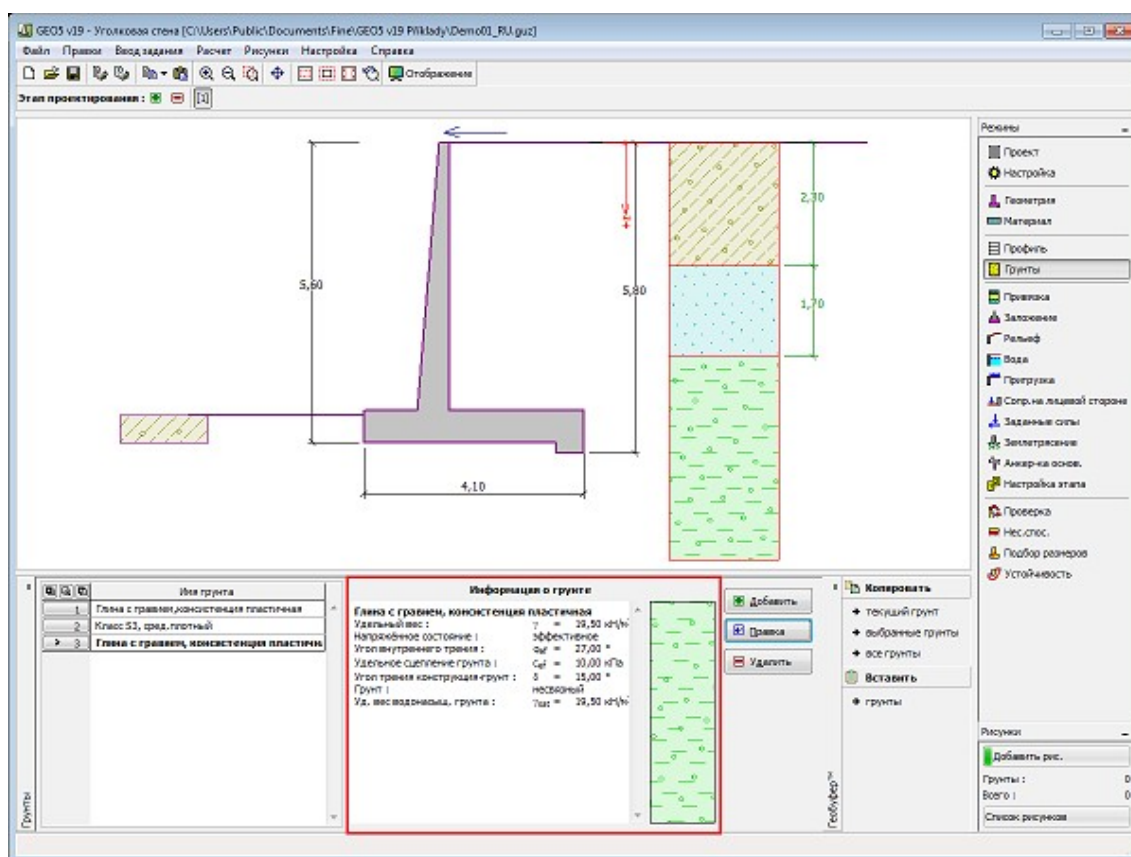
## Грунты

В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. В случае, что в таблице выбрано несколько грунтов, данные об отдельных грунтах расположены в последовательном порядке.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Базовые данные», «Статическое давление грунта» и «Подъемная сила».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать **базу данных грунтов** по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Угол внутреннего трения грунта и коэффициент сцепления задают **эффективным** или **полным** в зависимости от установки в выпадающем списке «**Напряжённость**». Выполнять расчёт в **эффективном или полном напряжённом** состоянии зависит прежде всего от типа грунта, характера нагрузки, долговечности конструкции и водного режима.

Для **эффективного напряжённого состояния** задают **угол трения между грунтом и конструкцией**, который зависит от материала конструкции и типа грунта. Ориентировочные значения угла трения между конструкцией и грунтом приводит **таблица рекомендуемых значений**.

Для **полного (тотального) напряжённого состояния** ещё задают **сцепление грунта со стеной строительной конструкции**  $a$ .

Соответствующая теория подробно описана в разделе «**Давление грунта**».

Редактир.парам.грунта

Идентификация

Имя : Глина с гравием,консистенция пластичная

Глина с гравием,консистенция пластичная

Исходные данные

Удельный вес :  $\gamma = 19,00$  [кН/м<sup>3</sup>] 19,0

Напряжённость : эффективный

Угол внутреннего трения :  $\phi_{ef} = 29,00$  [°] 26-32

Связность грунта :  $c_{ef} = 8,00$  [кПа] 4-12

Угол трения констр.-грунт :  $\delta = 15,00$  [°]

Натуральное давление

Грунт : несвязный

Противодавление

Способ расч. противодавления : стандартный

Удельный вес нас.грунта :  $\gamma_{sat} = 19,00$  [кН/м<sup>3</sup>]

Отображение

Узор и цвет

Рабочий стол

Рисунки

Классификация

Определи

Стереть

OK +

OK +

☒ OK

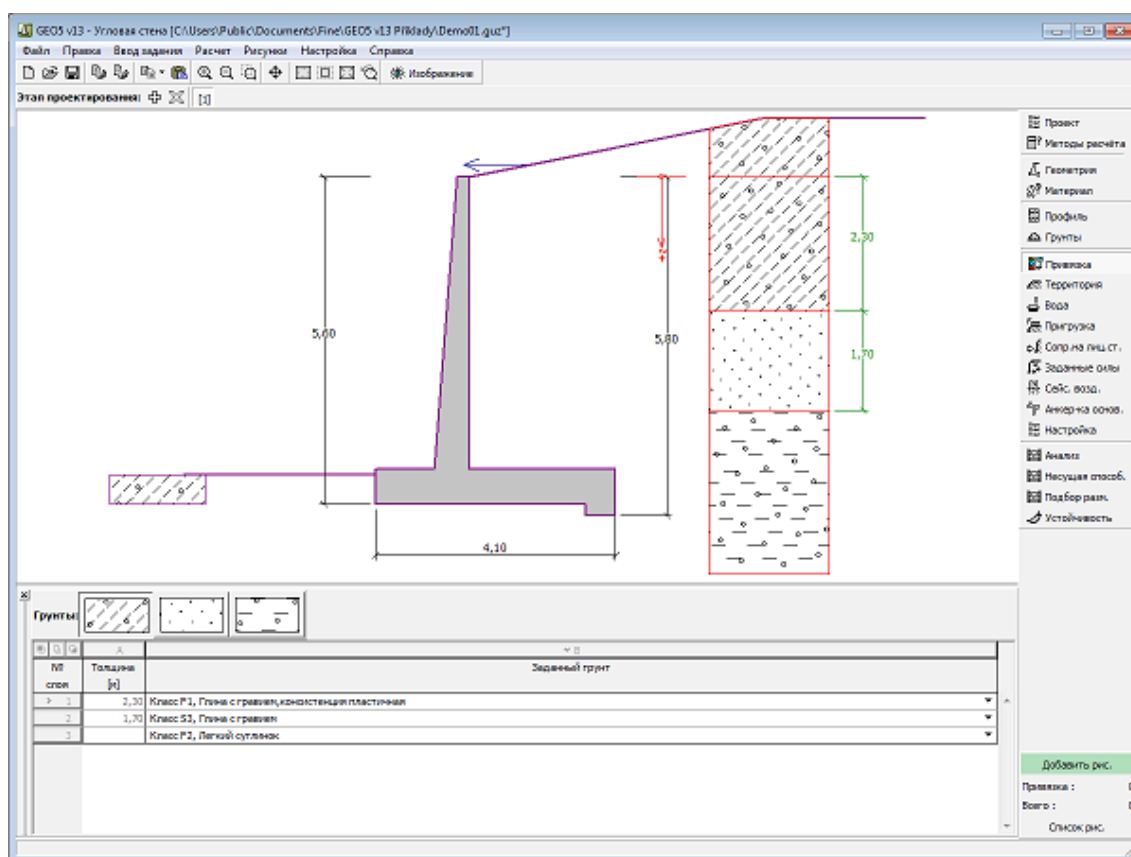
☒ Отмена

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В рамке «Привязка» есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).



Рамка «Привязка»

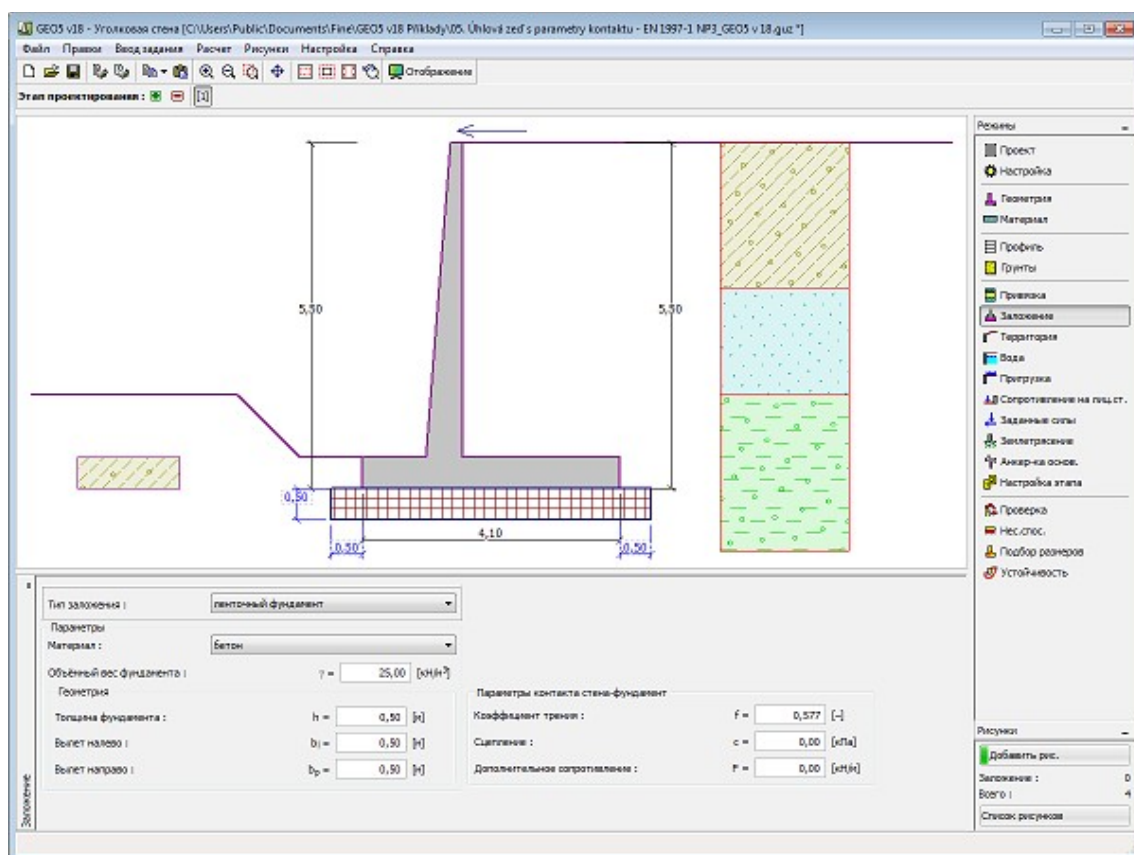
## Заложение

В рамку **«Заложение»** вводим тип заложения стены. Программа позволяет задавать следующие типы заложения стены:

- **грунт - геологический разрез** - стена заложена в грунте **присвоенном** из геологического разреза, который задаётся в рамке **«Профиль»**
- **грунт - ввести параметры контакта** - задаём параметры контакта подошвы фундамента конструкции с грунтом. При выборе **«задать угол трения фундамент-грунт»** в программу вводим угол трения между фундаментом и грунтом  $\psi$  [°]. При выборе **«задать коэффициент трения»** в программу вводим коэффициент трения  $\mu$  [-]. В обоих случаях задаём сцепление между фундаментом и грунтом  $a$  [кПа].
- **ленточный фундамент** - материалом для ленточного фундамента является **грунт** (задан в рамке **«Грунты»**) или бетон - вводим **удельный вес материала фундамента**  $\gamma$  и **параметры контакта стена-фундамент** (коэффициент трения  $f$ , сцепление  $c$ , дополнительное сопротивление  $F$ )
- **свайный фундамент** - заложение стены на одном ряде свай или на двух рядах свай

**Ленточный фундамент** и **свайный фундамент** для заложения стены можно применять только при условии, что в рамке **«Геометрия»** задан тип стены с **ровной подошвой фундамента без уступа**. Геометрию заложения стены (**ленточный фундамент, свайный фундамент**) можно редактировать в рамке путём ввода соответствующих значений в поля ввода или на рабочем столе с помощью **активных отметок**.

Исходные данные заданные в эту рамку влияют на **расчёт стен** (проверка на перемещение) и дальше на **несущую способность грунта основания**.

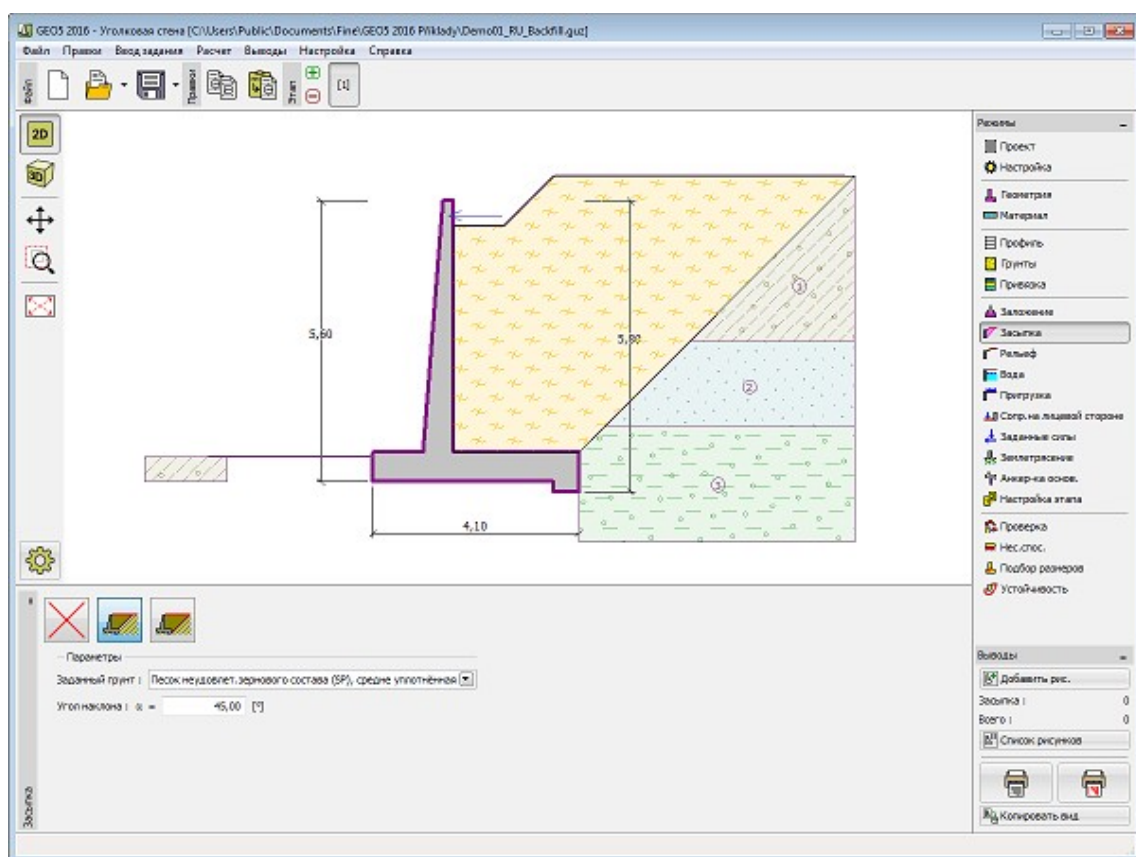


Рамка «Заложение»

## Засыпка

В **рамке «Засыпка»** нажатием кнопки выбираем вид засыпки.

В выпадающем списке задаём грунт присвоенный засыпке (его параметры определяются в рамке «Грунты»). Далее задаём уклон засыпки.



Рамка «Засыпка»

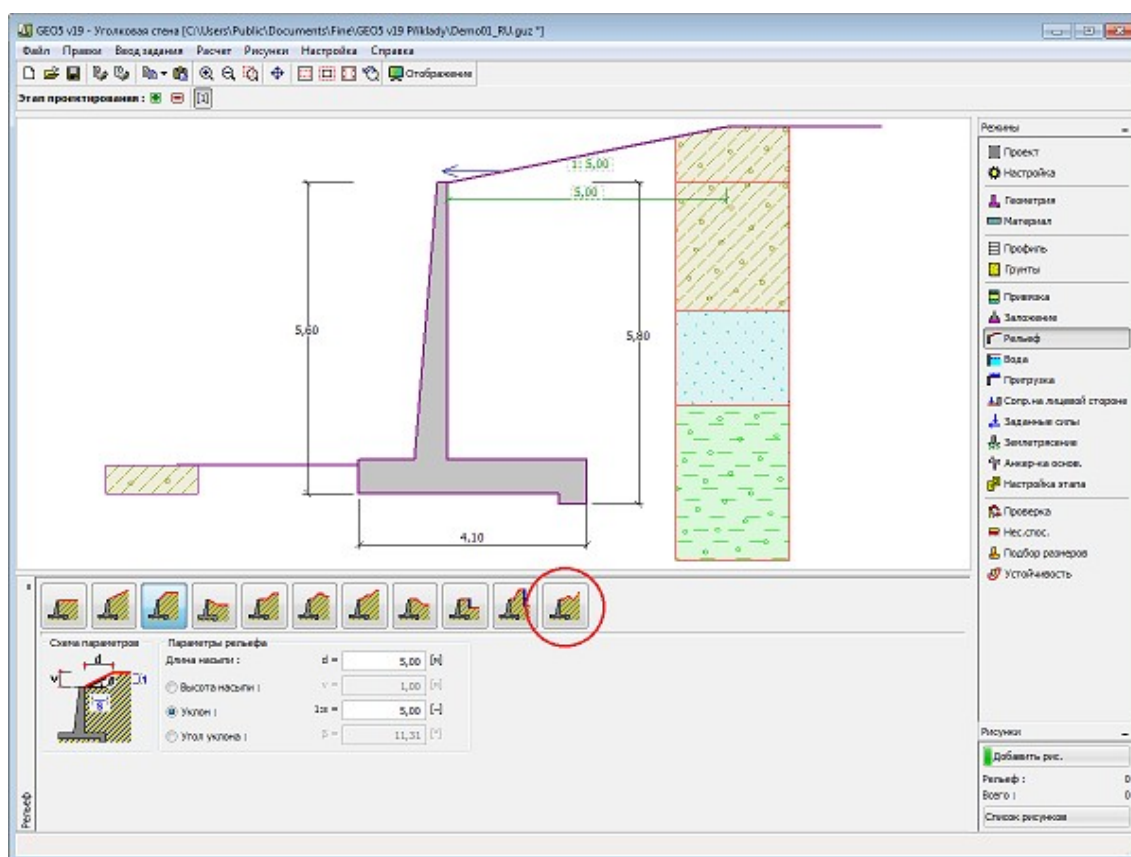
## Рельеф

В **рамке «Рельеф»** нажатием кнопки выбираем форму рельефа. Выбранная форма с графической подсказкой («**Схема параметров**») заданных значений отображается в левой части рамки. Редактировать форму рельефа можно - или в рамке (вводим значения в поля ввода), или на рабочем столе (при помощи **активных отметок**).

Последний пункт выбора в меню - это общая форма рельефа: в рамке имеется таблица со списком пунктов (точек) на местности. Первый пункт рельефа с координатой [0,0] лежит на верхней точке конструкции.

Расчёт давлений грунта в случае наклонного участка местности описан в теоретической части подсказки «**Распределение давления грунта при пересечённой местности**».





Рамка «Рельеф»

## Вода

В **рамке «Вода»** нажатием кнопки выбираем тип воды. Выбранный тип с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Параметры воды ( $h_1$ ,  $h_2$ ...) можно редактировать или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

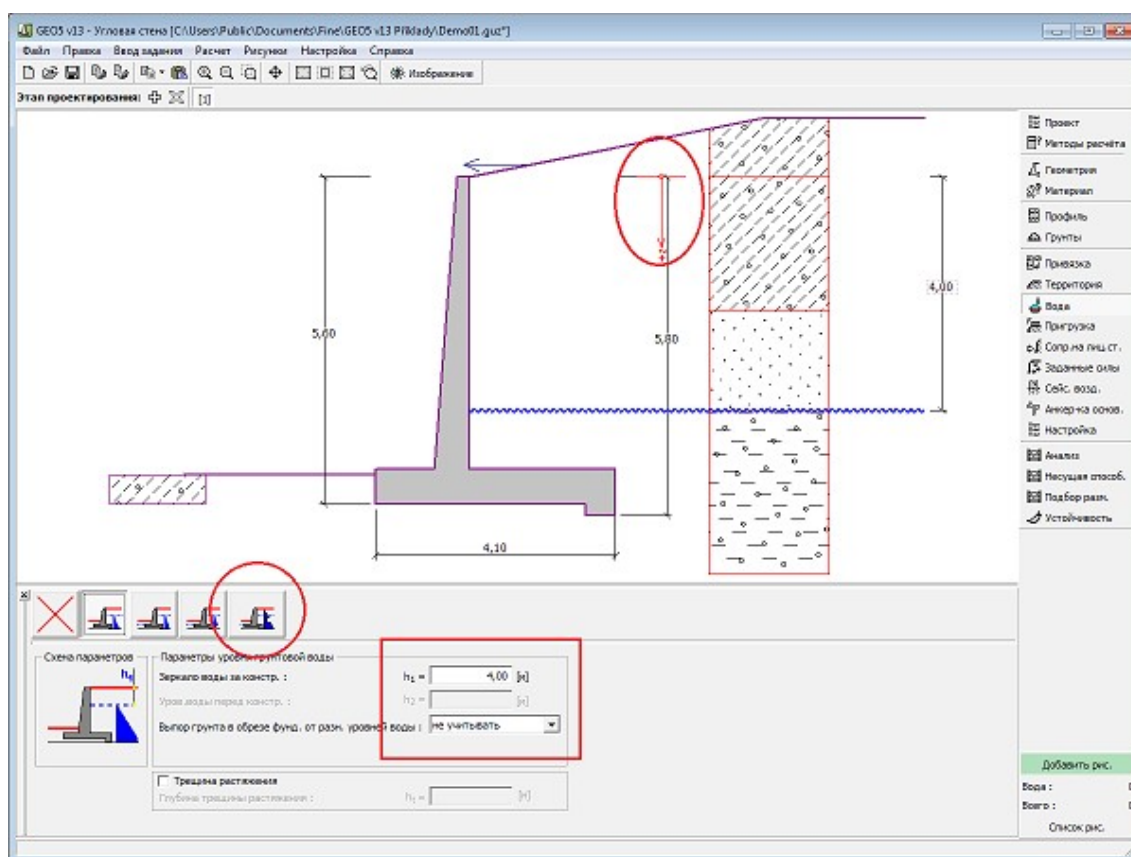
В выпадающем списке отмечаем, предполагается ли воздействие взвешивающей силы воды от разных уровней в подошве. Она может быть **линейной**, **параболической** или вообще не принимается во внимание. Взвешивающая сила в подошве от различной высоты уровней воды принимается как отдельная сила в анализе стены.

Последний выбор - это ручной ввод порового давления перед и за конструкцией. В рамке появляются две закладки «**Перед конструкцией**» и «**За конструкцией**» с таблицами. В **таблицы** вводят значения порового давления перед или за конструкцией на глубине « $z$ » (см. ось  $z$ )

Высоту уровня воды можно задавать также **над конструкцией** или над грунтовым профилем - в таком случае значению глубины воды присваивается отрицательный знак.

Расчёт давлений грунта с воздействием воды описан в теоретической части подсказки «**Воздействие воды**».

Программа позволяет задавать глубину **трещин растяжения** заполненных водой.



Рамка «Вода»

## Пригрузка

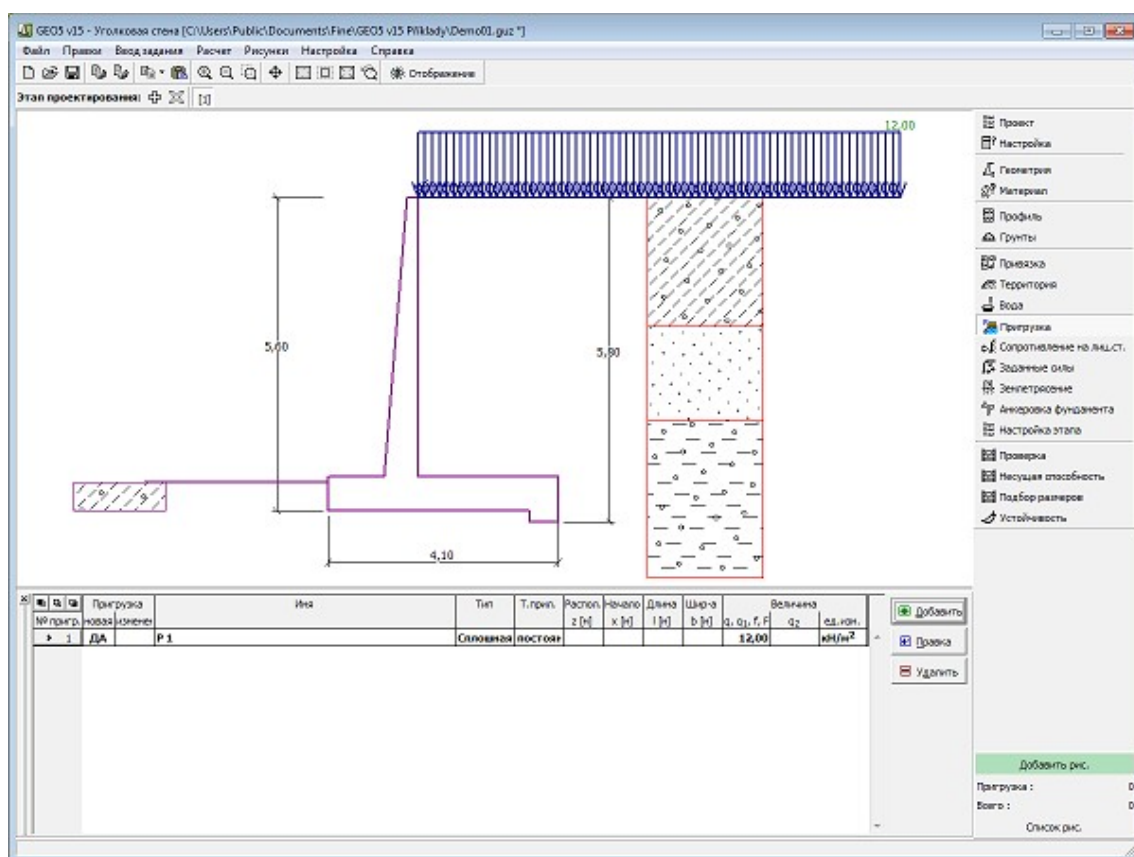
В **рамке «Пригрузка»** есть **таблица** со списком заданных пригрузок. **Добавление** (редактирование) пригрузки выполняется в **диалоговом окне «Создать (правка) пригрузку»**. Редактировать заданную пригрузку можно также на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

Вместе с вводом пригрузки на глубине нужно задать координату  $z$  от верхней точки конструкции, с положительным знаком в глубину. В случае, что пригрузка задана вне пределов местности, программа перед выполнением расчёта даст сообщение об ошибке.

Пригрузку можно задавать **постоянной, переменной** или **случайной**. В зависимости от типа воздействия пригрузки результирующее воздействие умножается на соответствующий расчётный коэффициент. Случайная пригрузка с положительным воздействием в расчёт не принимается.

Расчёт давлений грунта от пригрузки описан в теоретической части справки **«Воздействие пригрузки»**.





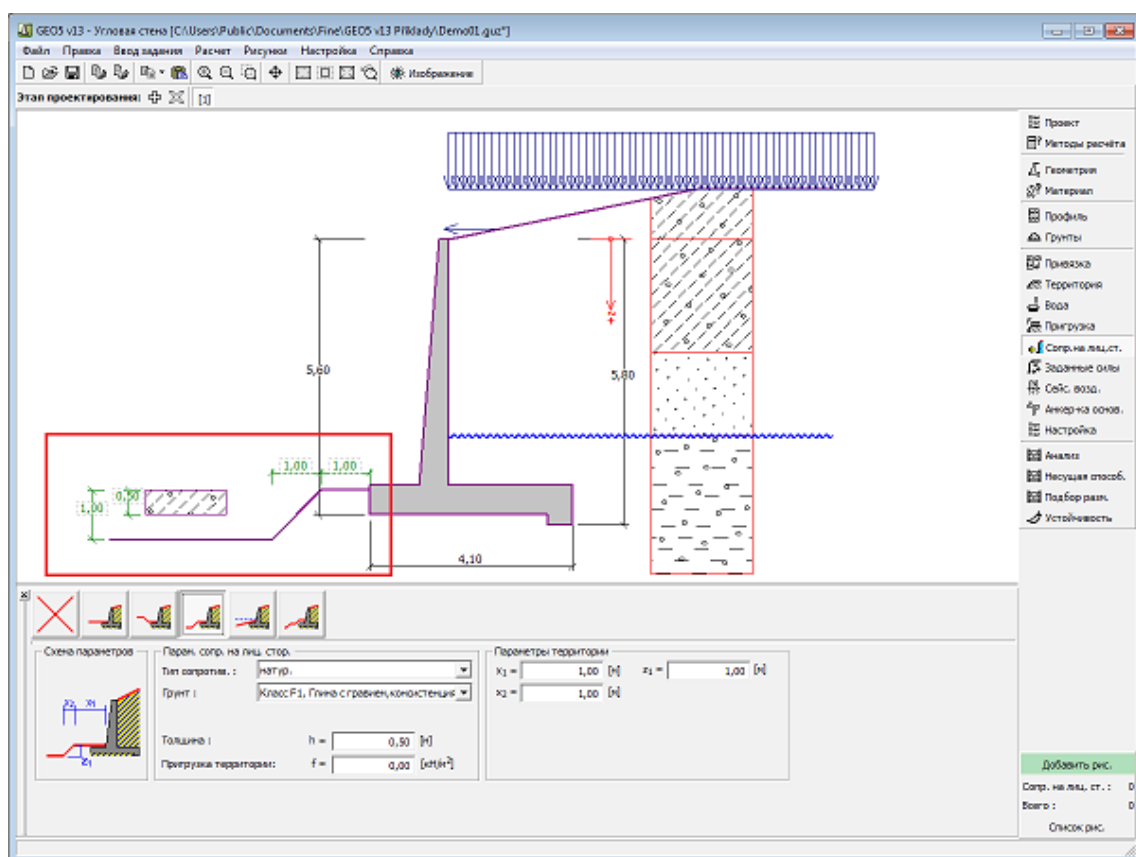
Рамка «Пригрузка»

## Соппротивление на лицевой стороне

В **рамке «Соппротивление на лицевой стороне»** нажатием кнопки выбирают форму (профиль) местности и параметры сопротивления на лицевой стороне стены. Выбранный рельеф с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактирование рельефа местности можно выполнять или в рамке путём ввода значений в поля ввода, или на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

В рамке в выпадающем списке выбирают тип сопротивления и грунт ( в списке находятся грунты, указанные в режиме «**Грунты**»). В рамку можно задавать величину пригрузки на местности перед стенкой, или толщину грунта над самой нижней точкой конструкции стены.

Соппротивление на лицевой стороне можно задать **статическим давлением**, **пассивным давлением** или **приведённым пассивным давлением**. Результирующая сила от приведённого пассивного давления принимается как равнодействующая сил от активного и пассивного давлений, умноженных на соответствующий коэффициент в соответствии с заданным типом приведённого пассивного давления.



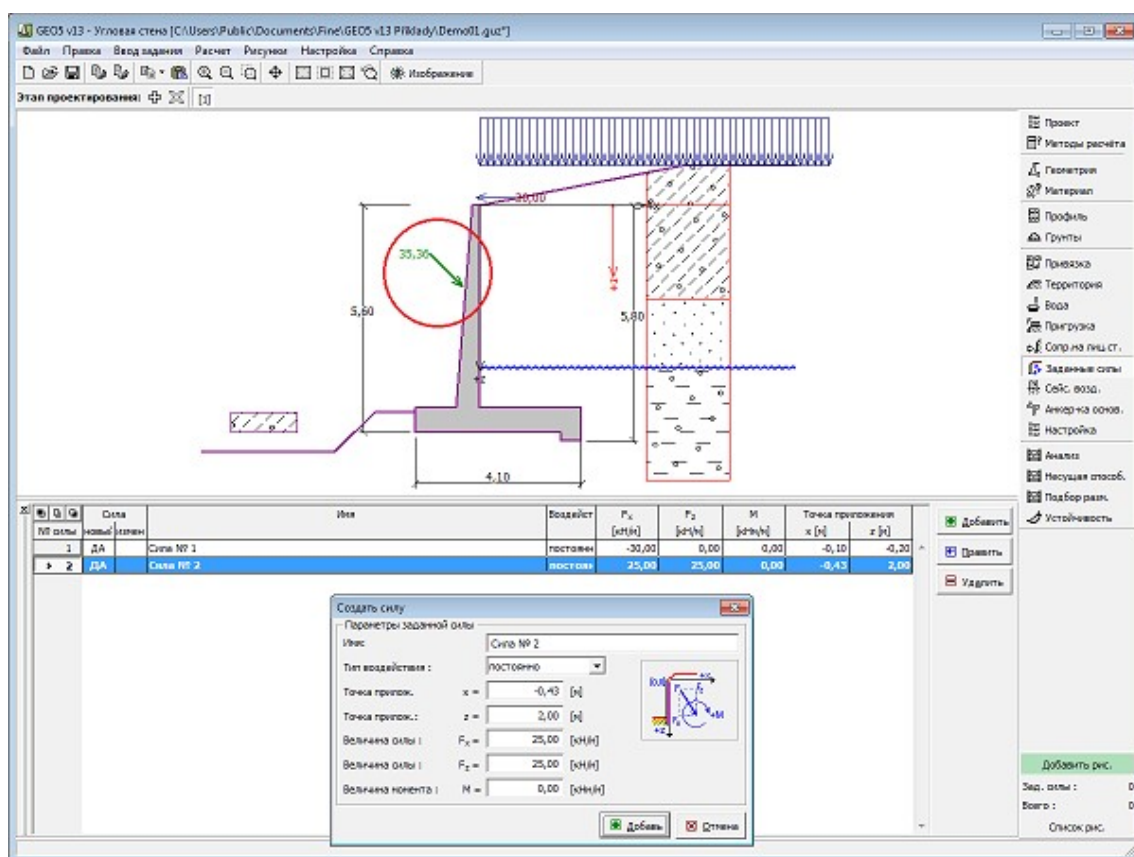
Рамка «Сопротивление на лицевой стороне»

## Заданные силы

В рамке «Заданные силы» есть таблица со списком заданных сил, действующих на конструкцию. Добавление сил выполняется в диалоговом окне «Создать силу». Редактирование заданных сил можно также выполнять на рабочем столе с помощью активных объектов.

**Заданными силами** разумеется дополнительная нагрузка действующая на конструкцию стены, ограждения, укрепленной (армированной) насыпи. Заданными силами можно моделировать, напр., заанкерование колёсоотбойных дорожных ограждений, удар транспортного средства, нагрузку от рекламных щитов (билбордов) и т.п. Программа заданные силы в расчёте дальше не меняет.

Наружную нагрузку приложенную к грунту или к поверхности территории нужно моделировать как **пригрузку**.



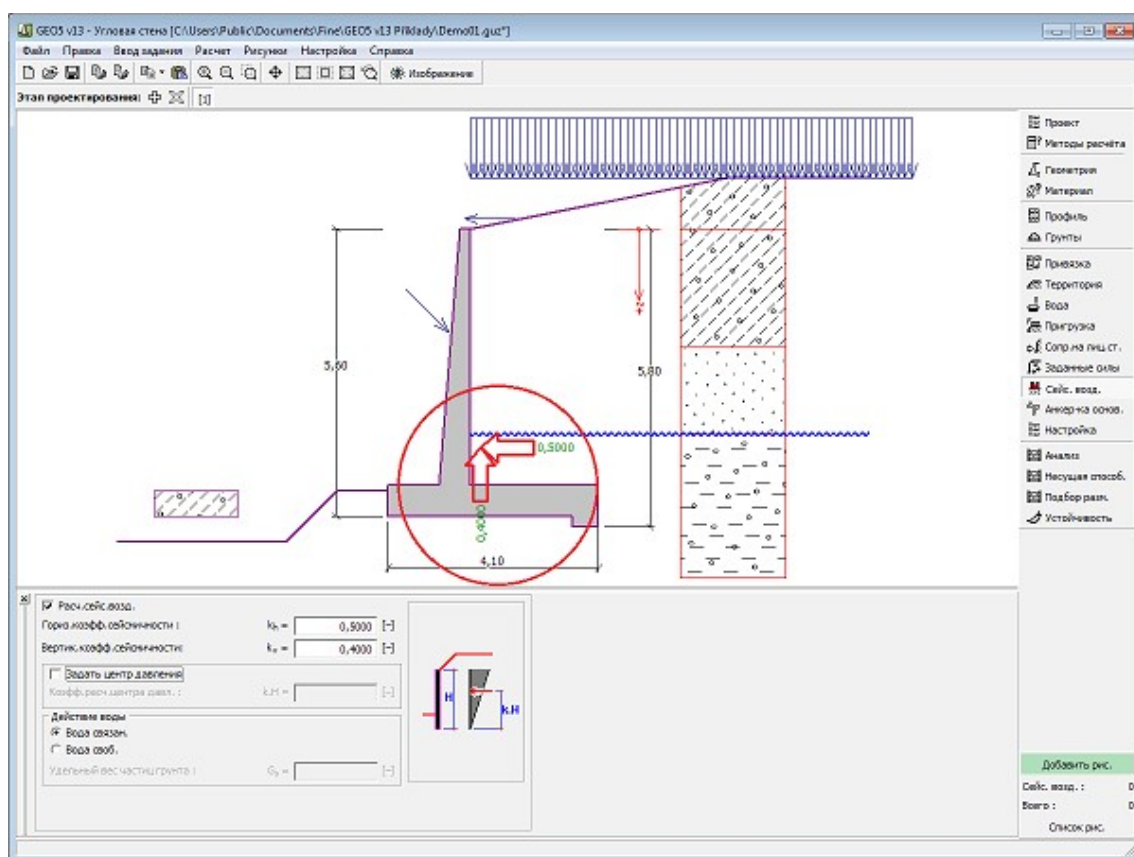
Рамка «Заданные силы»

## Землетрясение

В **рамку «Землетрясение»** задают параметры сеймики. Направления заданных сейсмических воздействий отображены на рабочем столе.

В случае отсутствия коэффициентов  $k_h$  и  $k_v$  полученных в результате измерений, проводят дополнительный расчёт способом указанным в **EN 1998-5**.

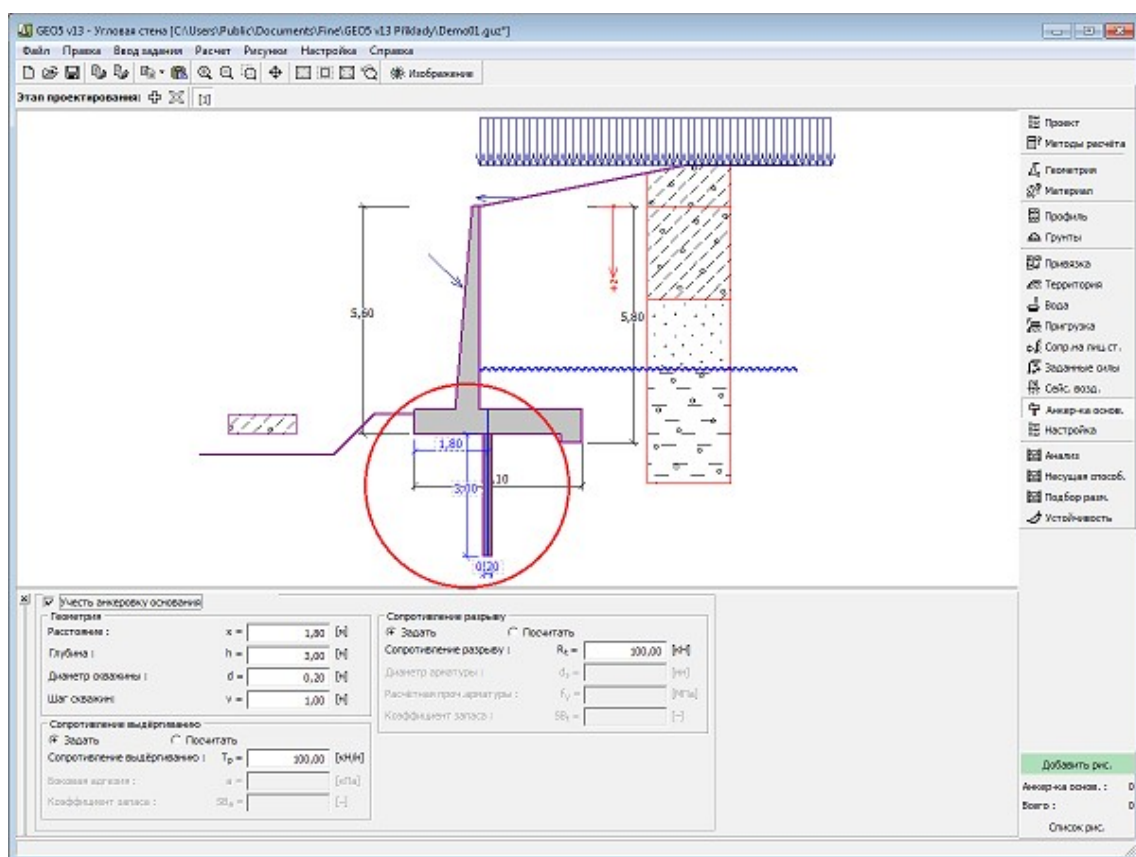
Расчёт давлений грунта с воздействием землетрясения описан в теоретической части подсказки **«Воздействие землетрясения»**.



Рамка «Землетрясение»

## Анкеровка фундамента

В **рамку «Анкеровка фундамента»** вводят параметры (геометрия анкеровки, несущая способность на выдёргивание и несущая способность на разрыв.) анкеровки фундамента стены. Редактирование анкеровки фундамента можно выполнять или в рамке вводом значений в вводные поля, или на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**. Значения несущих способностей на выдёргивание и на разрыв можно или вводить, или по заданным параметрам они будут **программой рассчитаны**.



Рамка «Анкеровка фундамента»

## Настройка этапа

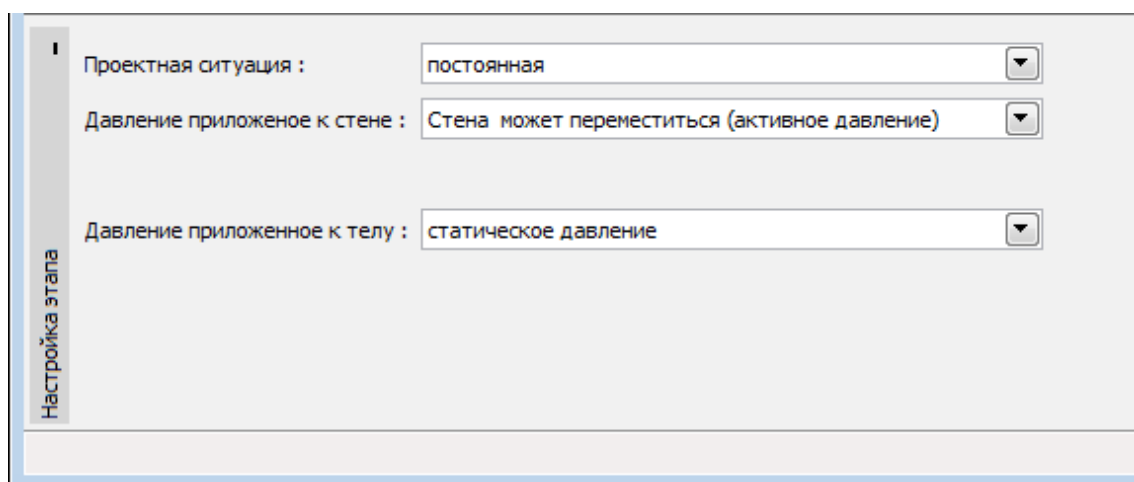
В **рамку «Настройка этапа»** задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования

Внешний вид рамки зависит от выбора **методики проверки**.

Далее выбирают тип давления, приложенного к стене с учётом допускаемой деформации стены. Для стены, у которой возможно перемещение в расчёт принимают нагрузку от **активного давления**, в обратном случае **статическое давление**. Третий выбор позволяет нагружать конструкцию стены **увеличенным активным давлением**.

На тело стены действует **статическое давление** или одинаковое давление как на стену.



Рамка «Настройка этапа»

## Проверка

В **рамке «Проверка»** отображены результаты расчёта. По одной задаче можно выполнить **несколько расчётов**.

Вид рамки меняется в зависимости от выбора **методики проверки**:

- Расчёт по **коэффициенту безопасности** или **предельным состояниям** - в таблице в последней колонке указывают **расчётные коэффициенты**, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.
- Расчёт по EN 1997** - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции **«Комбинация нагрузок»**.
- Расчёт по LRFD** - в таком случае последняя колонка не отображена.

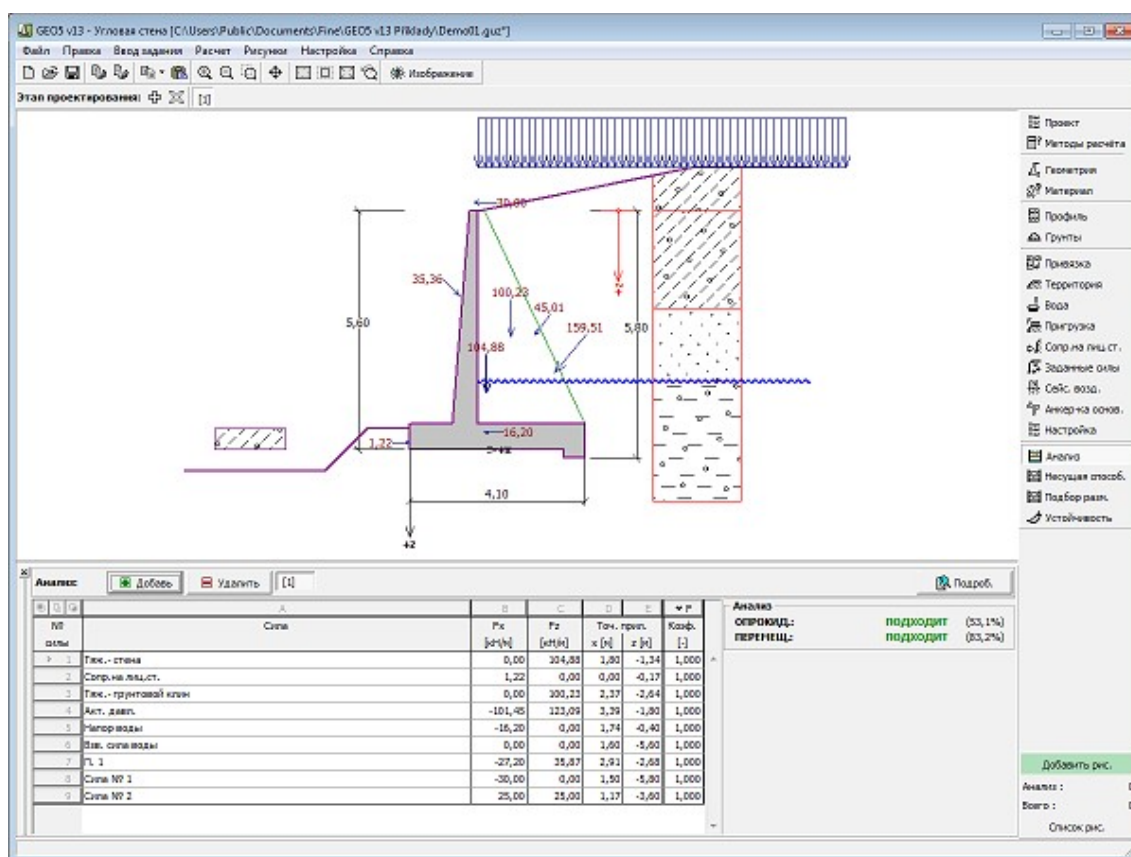
На стену действует или **активное давление**, или **статическое давление** в зависимости от задания в рамке **«Настройка этапа»**.

Порядок собственного **анализа стены** описан в теоретической части подсказки.

Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. В правой части рамки отображается результат анализа стены на **опрокидывание и перемещение**. Кнопкой **«Подробно»** открывается диалоговое окно с подробной выпиской результатов анализа.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне **«Настройка рисования»**.





Рамка «Проверка»

## Несущая способность

В рамке «Несущая способность» отображены результаты расчёта несущей способности грунта основания. Напряжение в подошве (принято постоянным) рассчитано на основе всех анализов выполненных в рамке «Проверка». В программу «Отдельные фундаменты» анализы будут переведены как сочетания нагрузок.

Рамка предлагает следующие опции расчётов:

- **Ввести несущую способность грунта основания**
- **Рассчитать несущую способность грунта основания в программе «Отдельные фундаменты»**

В вводное поле вводят несущую способность грунта основания. Результаты анализа стены на **эксцентриситет** и **несущую способность грунта** основания отображены в правой части рамки. Кнопка «**Подробнее**» открывает диалоговое окно с детальной выпиской результатов анализа несущей способности грунта.

Кнопкой «**Запуск программы Отдельные фундаменты**» **запустить программу «Отдельные фундаменты»**, в которой можно рассчитать несущую способность грунта основания, или осадку и поворот фундамента. После выполнения расчётов нажать кнопку «**ОК**» - результаты в т.ч. заданные изображения будут переданы в протокол расчёта программы «**Угловая стена**». Если не установлена программа «**Отдельные фундаменты**», то кнопка недоступна. Задают общую

длину фундамента стены.

- **Рассчитать вертикальную несущую способность одиночной сваи с помощью программы «Сваи»**

Процедура расчёта идентична расчёту несущей способности грунта основания с помощью программы «Отдельные фундаменты». Кнопка **«Запуск программы Свая»** доступна в случае заложения стены на сваях (рамка **«Заложение»**). Задаём продольный шаг свай  $s$ .

- **Рассчитать вертикальную несущую способность куста свай с помощью программы «Куст сваи»**

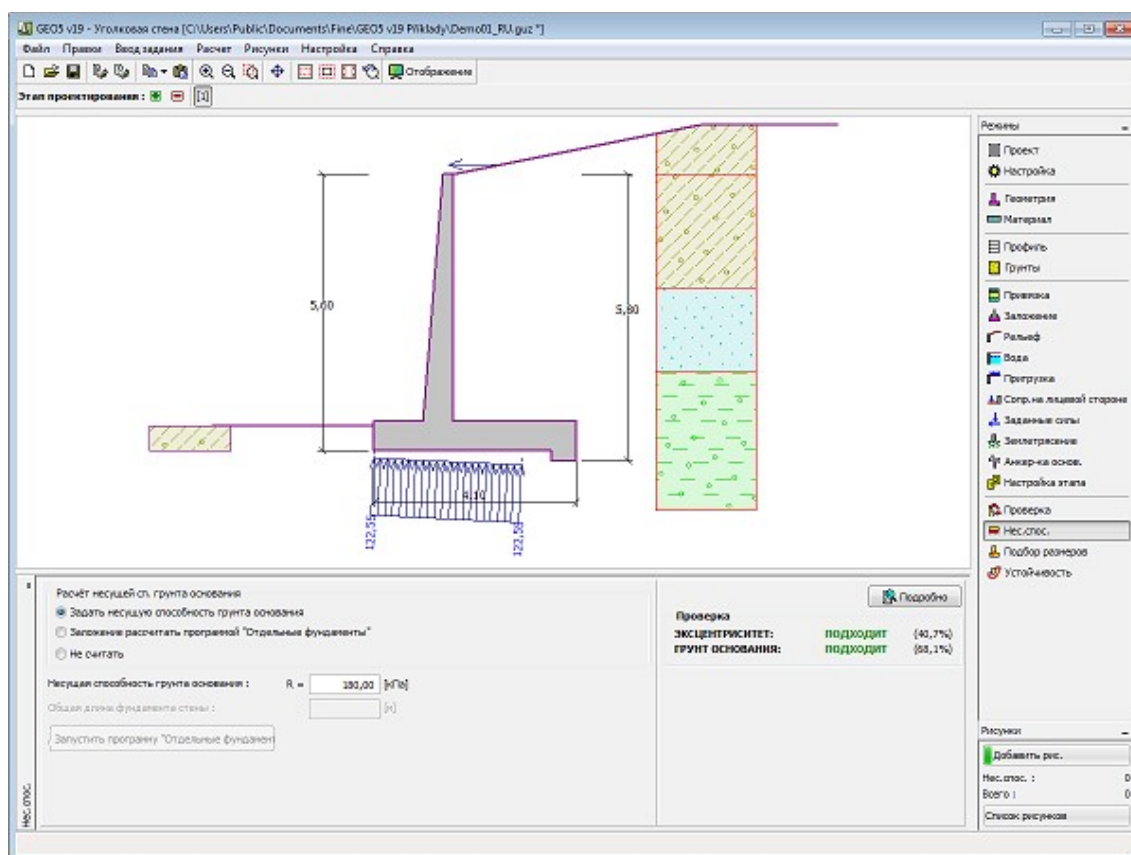
Процедура расчёта идентична расчёту несущей способности грунта основания с помощью программы «Отдельные фундаменты». Кнопка **«Запуск программы Куст сваи»** доступна в случае заложения стены на сваях (рамка **«Заложение»**). Задаём продольный шаг свай  $s$ , общее количество рядов свай  $n$  и длина нагружения  $l$ .

- **Не проводить расчёт (фундамент на сваях)**

Не производится расчёт несущей способности грунта основания.

Программа позволяет задать **форму напряжения в грунте основания**.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне **«Настройка рисования»**.



Рамка «Несущая способность»

## Подбор размеров

В **рамке «Подбор размеров»** можно предложить и проверить армирование сечений стены



- для подбора сечение выбирают в выпадающем списке.

- **Анализ тела стены**
- **Анализ в рабочем шве** - Вводят **глубину** рабочего шва от верхней грани конструкции
- **Анализ выступа стены**
- **Анализ подошвы стены**

Вид рамки меняется в зависимости от выбора **методики проверки**:

- Расчёт по **коэффициенту безопасности** или **предельным состояниям** - в таблице в последней колонке указывают **расчётные коэффициенты**, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.
- **Расчёт по EN 1997** - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «**Комбинация нагрузок**».
- **Расчёт по LRFD** - в таком случае последняя колонка не отображена.

Расчёт сил и их воздействия на рассматриваемое сечение описано **здесь**.

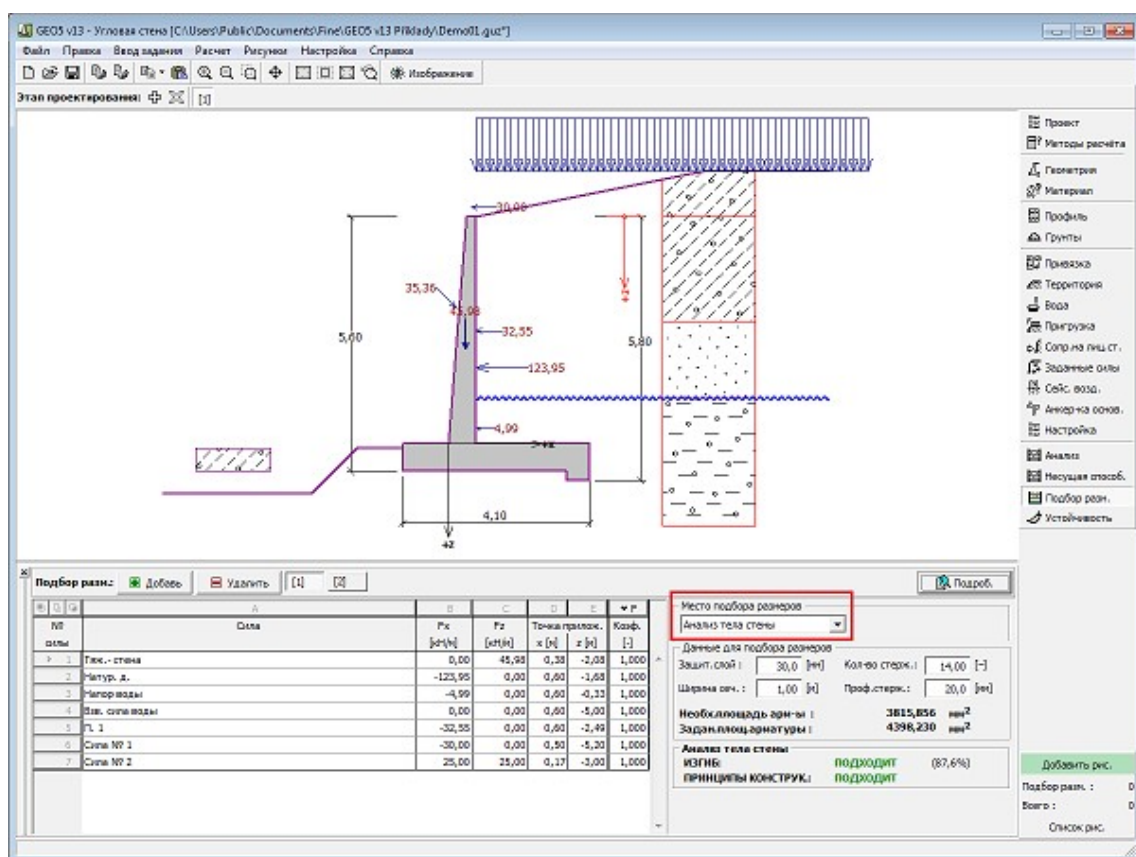
Тело стены или рабочий шов всегда нагружены **статическим давлением**. При анализе переднего выступа стена нагружена или **активным давлением**, или **статическим давлением** в зависимости от задания в рамке «**Настройка этапа**».

**Порядок определения внутренних сил в отдельных сечениях** описан в теоретической части подсказки. Когда в учёт принимают сейсмические действия, то кроме того **рассчитывают дополнительную силу** от статического давления грунта.

**Размеры железобетонной конструкции** подбирают в соответствии со стандартом, указанным в закладке «**Материалы и стандарты**».

В рамке можно выполнять **несколько расчётов** по разным сечениям, можно вводить различные **коэффициенты расчёта**. Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. Кнопка «**Подробнее**» открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов подбора размеров.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».

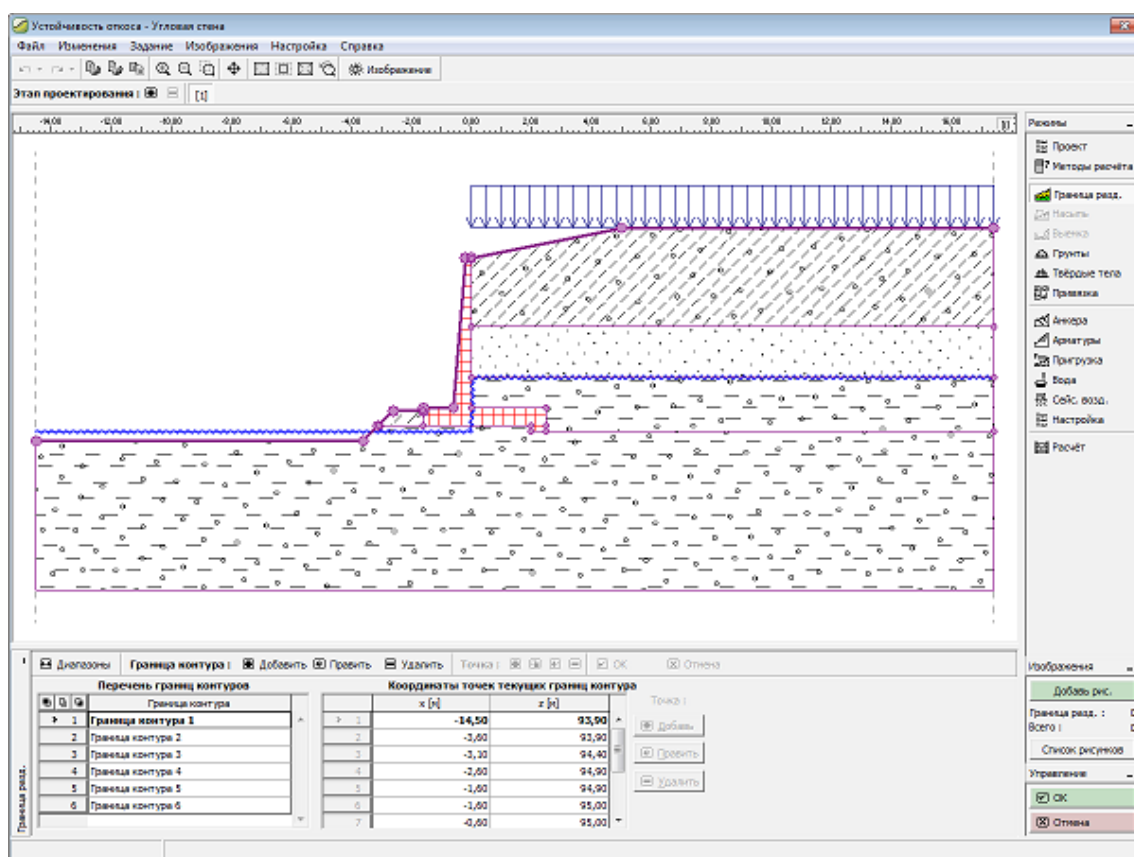


Рамка «Подбор размеров»

## Устойчивость

Нажатием на кнопку **«Устойчивость»** запускается программа **«Устойчивость откоса»** и в программу передаются все необходимые данные. В программе Устойчивость откоса можно анализировать общую устойчивость конструкции стены. Кнопка недоступна, если программа **«Устойчивость откоса»** не установлена.

После выполнения расчёта нажимаем кнопку **«Завершить и передать данные»** - результаты в т.ч. рисунки будут переданы в протокол расчёта в программе **«Угловая стена»**.



Рамка «Устойчивость»

## Программа Гравитационная стена

Программа предназначена для проектирования и анализа бетонных и гравитационных стен.

**Справка для программы «Гравитационная стена» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Геометрия	Материал	Профиль	Грунты	Привязка
Заложение	Засыпка	Рельеф	Вода	Пригрузка	Сопротивле ние на лицевой стороне	Заданные силы
Землетрясе ние	Настройка этапа	Проверка	Несущая способность	Подбор размеров	Устойчивост ь	

- Стандарты и методы расчёта

- Теория расчётов в программе «**Гравитационная стена**»:

Напряжение в  
массиве грунта

Давление грунта

Анализ опор

Анализ  
устойчивости  
основания

Измерение  
бетонных  
конструкций

- Справка относительно **результатов на выходе**
- Информация общего характера о работе в **пользовательской среде** программ GEO5
- Общие операции** для всех программ

## Проект

В **рамку «Проект»** задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой **текстовой и графической информации**.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (**метрическую / дюймовую**). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «**Геобуфера**».

Рамка «Проект»

## Настройка

В **рамку «Настройка»** предназначена для ввода основных «**Настроек**» программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой «**Выбрать настройки**» выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из «**Перечня настроек**».

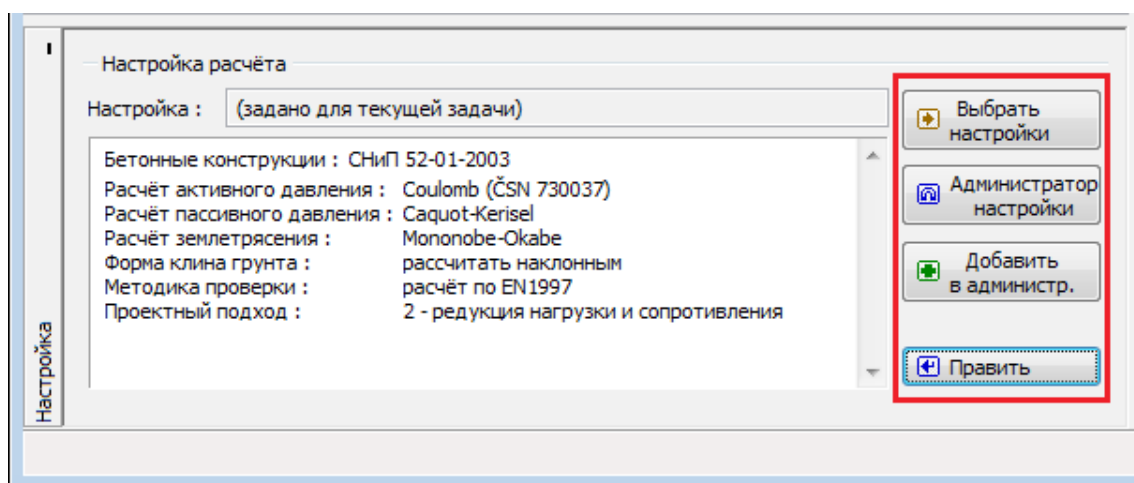
Кнопка «**Администратор настройки**» открывает диалоговое окно «**Администратор настройки**», в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

Кнопка «**Добавить в администратор**» позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка «**Править**» позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в «**Задано для текущей задачи**». После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку «**Добавить в администратор**» и добавляем настройку в «**Администратор настройки**».

Настройка «**Задано для текущей задачи**» обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладках «**Материалы и стандарты**», «**Расчёт стен**».



Рамка «Настройка»

## Геометрия

В **рамке «Геометрия»** нажатием кнопки выбирают форму угловой стены. Форма с графической подсказкой («**Схема геометрии стены**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактировать форму стены можно или в рамке, вводя значения в поля ввода, или на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

При наклонной форме конструкции задают соотношение сторон наклонной части 1:х. **Вертикальную конструкцию задают** вводом значения ноль.



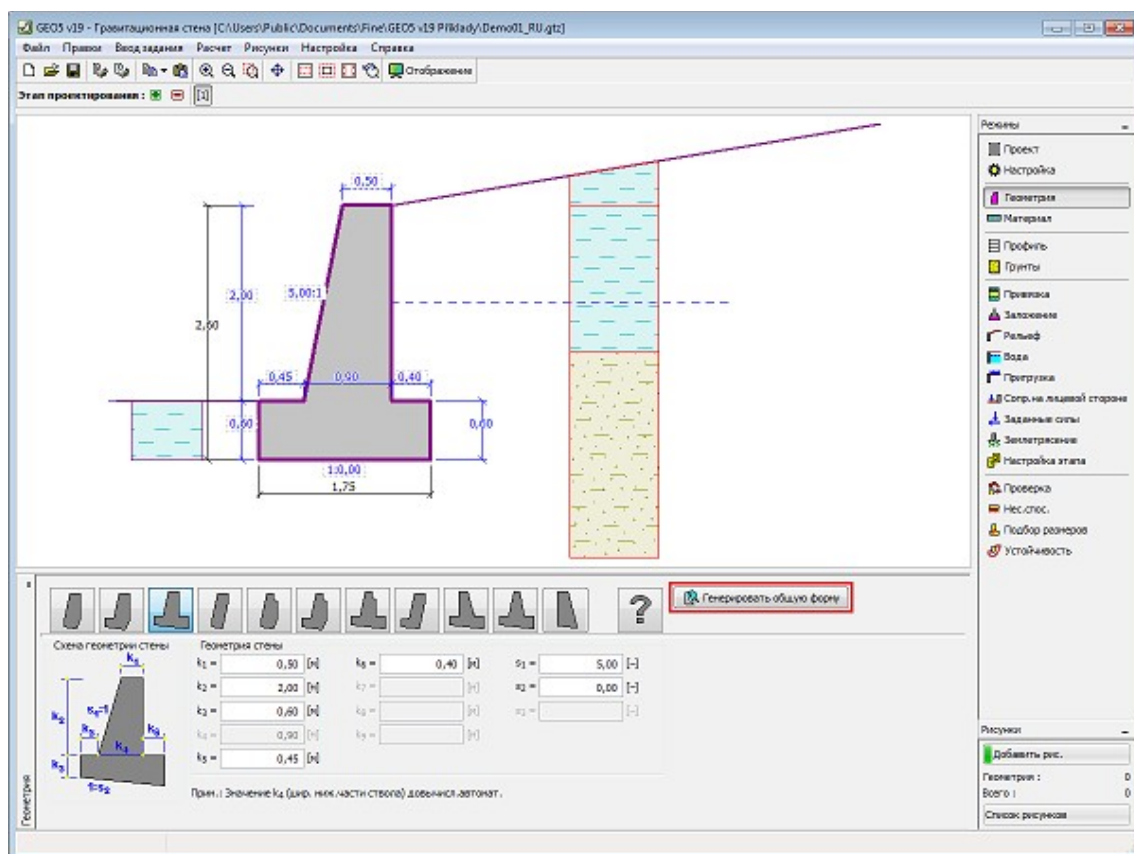
Формы стен по предварительной настройке программы

Если заданная геометрия стены не вписывается в какую-нибудь из вышепоказанных форм предварительной настройки, то программа позволяет пользователю задать **стену общей формы**. Общую форму стены задают или с помощью координат точек, или нажимают кнопку «**Генерировать общую форму**» и получают конструкцию, заданную с помощью размерных чисел, которую можно отредактировать.

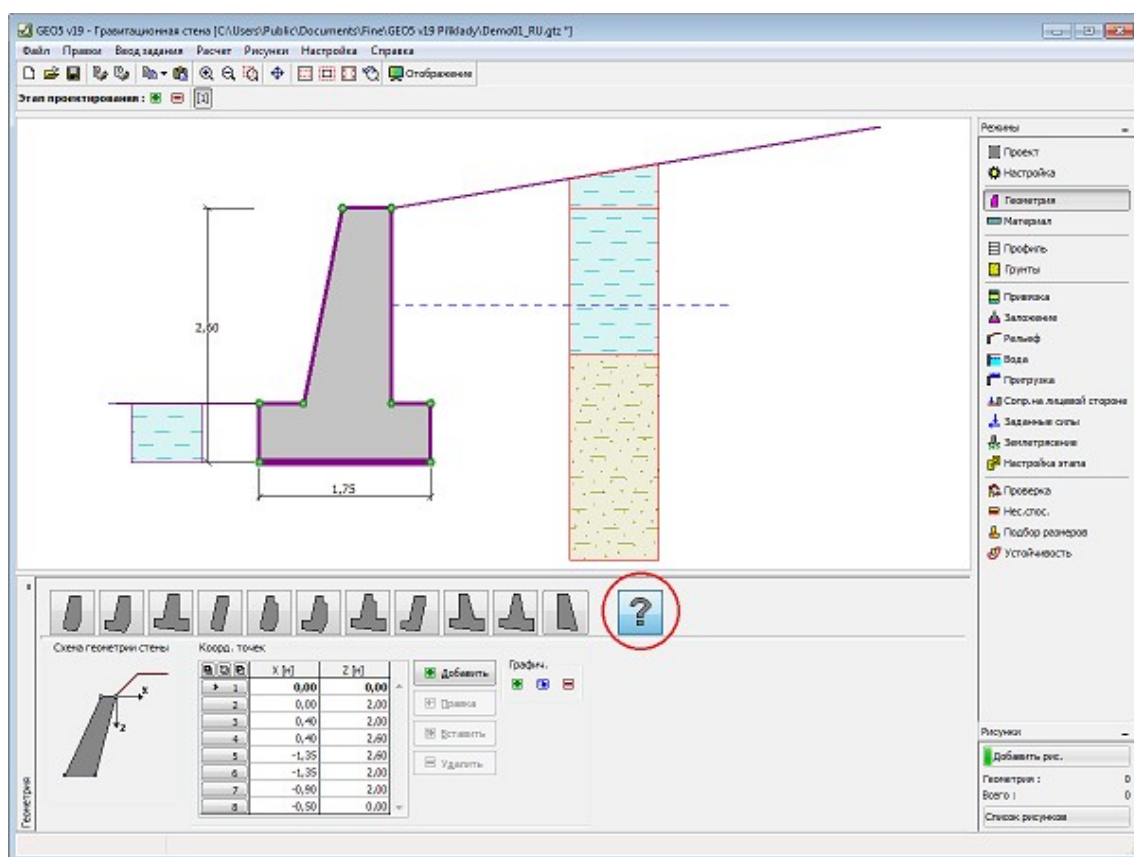


### Задание общей формы стены

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.



Рамка «Геометрия»



Рамка «Геометрия» - общая форма стены

## Общая форма стены

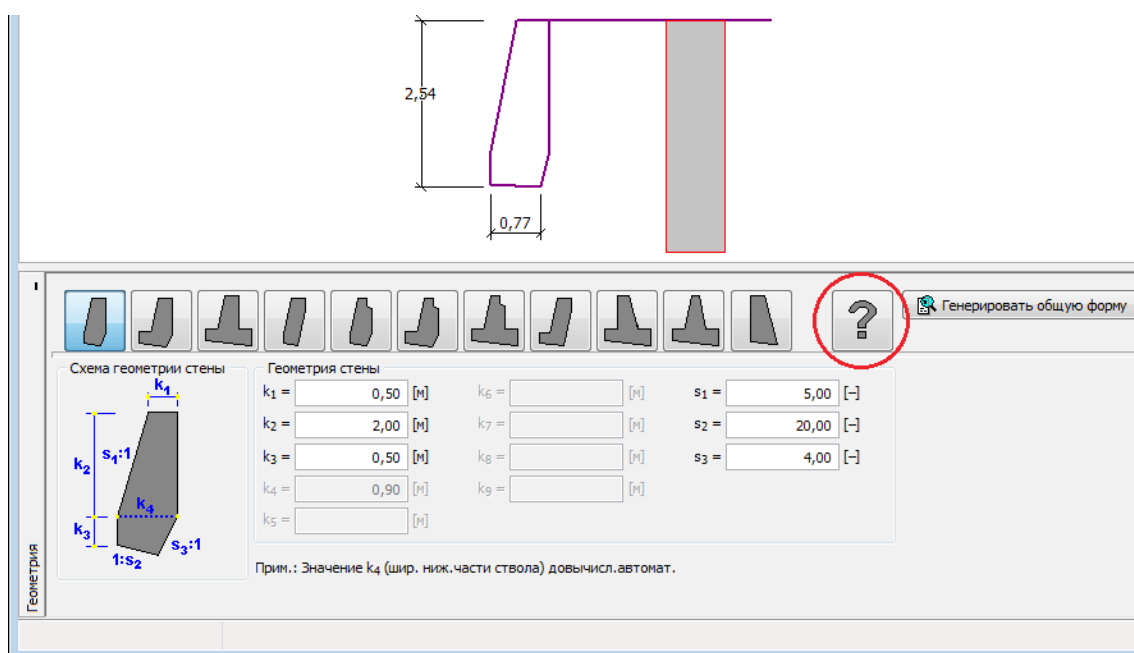
### Задание общей формы стены в новой задаче.

Программа позволяет задавать общую форму стены двумя способами:

#### 1. Задание общей формы стены с помощью точек

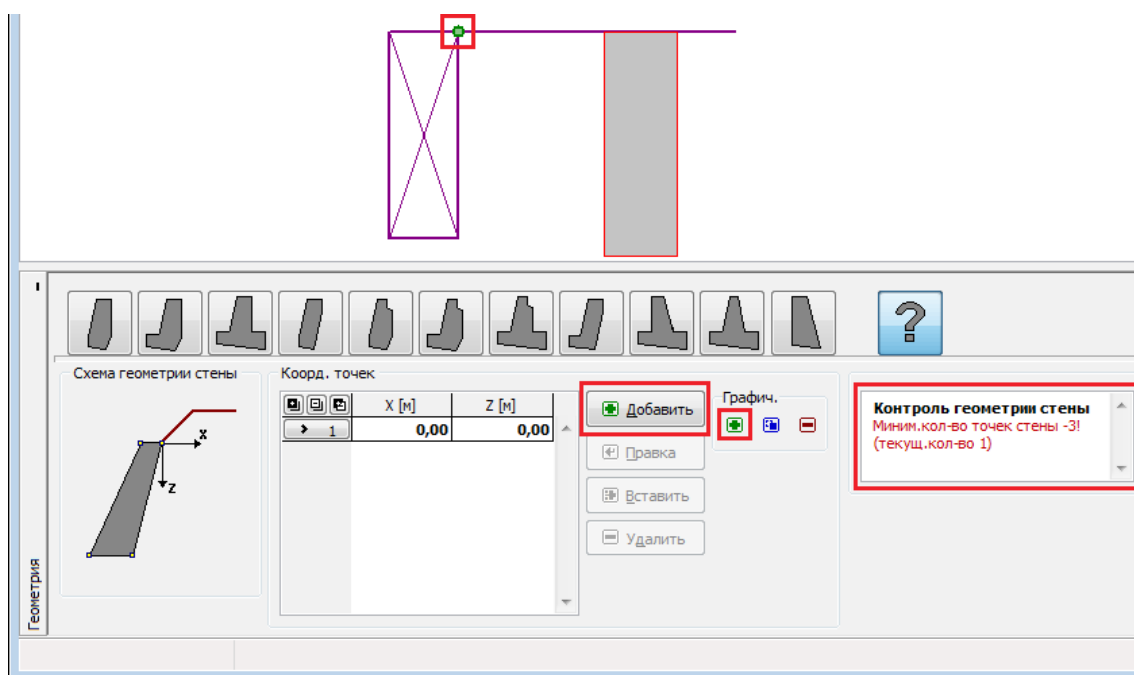
После нажатия значка с вопросительным знаком на горизонтальной строке «**Схема геометрии стены**» программа построит только общую схему - прямоугольник и введёт первую точку конструкции [0,0]. Минимальное количество заданных точек стены - 3. Если точек задано меньше, то в рамке появляется сообщение об ошибке.






Рамка «Геометрия» - новая задача

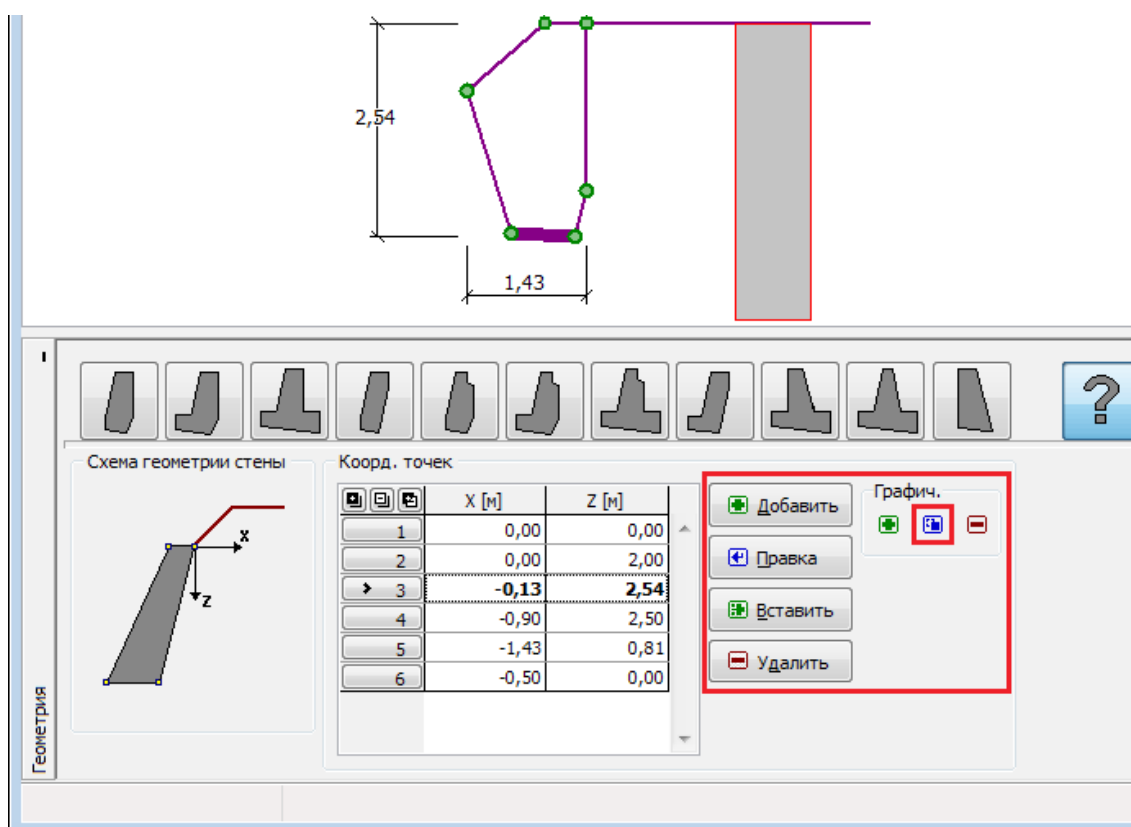
С помощью кнопки «**Добавить**» открывают диалоговое окно «**Создать точку**» и вводят новые точки конструкции (можно использовать графическое задание и щёлкать на рабочий стол курсором мыши).



Рамка «Геометрия» - задание общей формы стены с помощью точек

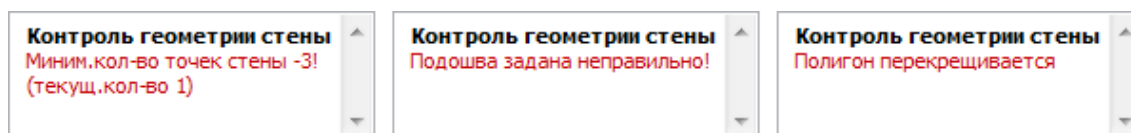
Заданные точки вводятся в таблицу и дальше их можно редактировать - вставлять и удалять с помощью кнопок «**Править**», «**Вставить**», «**Удалить**», или щёлкать непосредственно на рабочий стол курсором мыши. Отдельные точки можно перемещать непосредственно на рабочем столе курсором мыши после щелчка на специальном значке .





Рамка «Геометрия» - правка точек

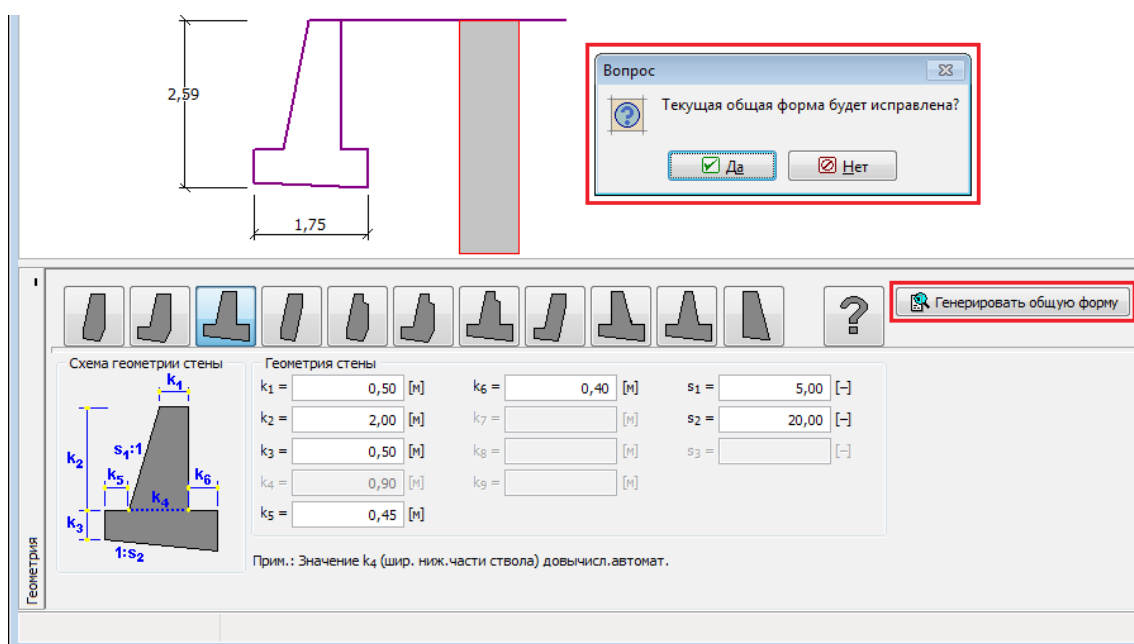
Принимается максимальный угол наклона подошвы 45°. Если был некорректно задан угол наклона подошвы, или произошло пересечение полигона, программа проверяет геометрию общей формы стены и выдаёт предупреждение об ошибке. В таком случае необходимо отредактировать геометрию стены.



Рамка «Геометрия» - сообщения об ошибке при вводе точек

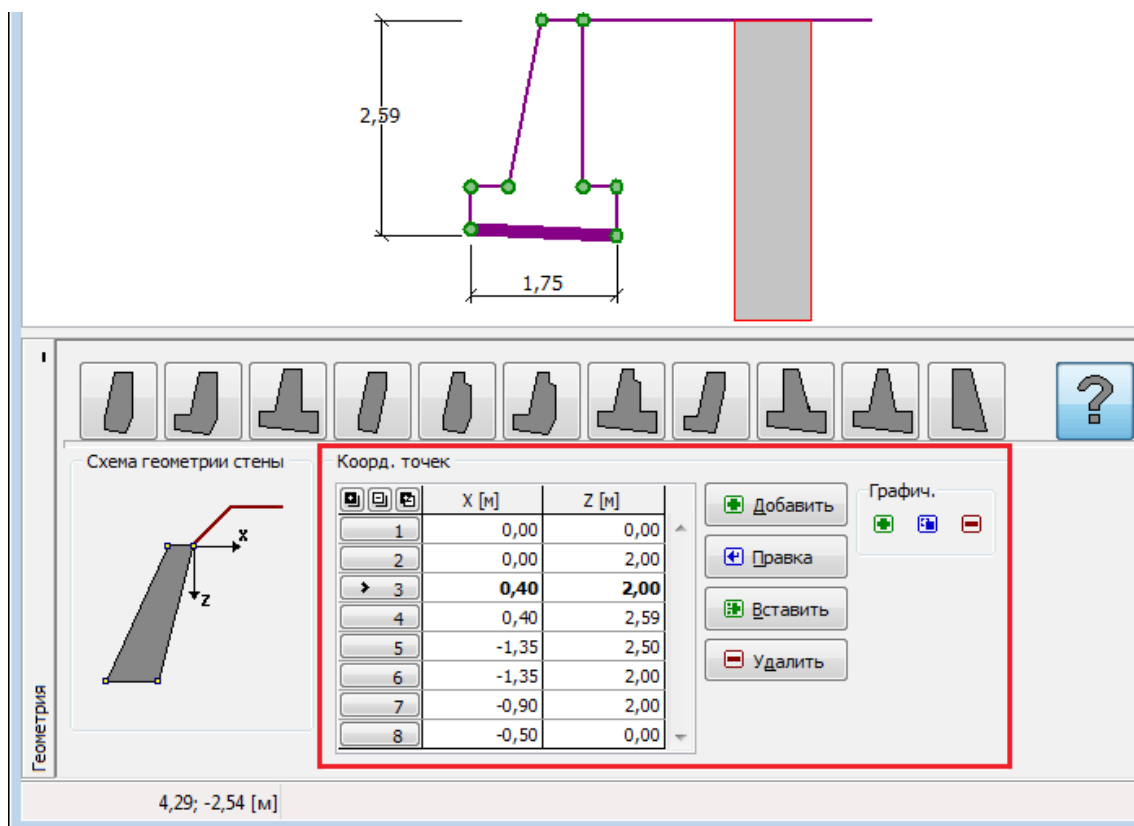
## 2. Задание общей формы стены с помощью генератора общей формы

Конструкцию заданную с помощью схемы конструкции и размеров конструкции передать в задание общей формы стены, нажав для этого кнопку **«Генерировать общую форму»**. С созданными генерированием точками дальше можно работать и отредактировать сгенерированную форму стены.



Рамка «Геометрия» - задание общей формы стены с помощью генератора общей формы

Вид рамки меняется как в предыдущем случае после задания общей формы конструкции. Следовательно, продолжать работать с рисунком формы конструкции можно таким же образом как было описано выше.



Рамка «Геометрия» - вид рамки после генерирования общей формы

## Материал

В рамке «**Материал**» выбирают тип материала, из которого будет возведена стена (бетон, каменная кладка). В поле ввода в верхней части рамки необходимо задать удельный вес стены.

Для бетонной стены программа предлагает две опции:

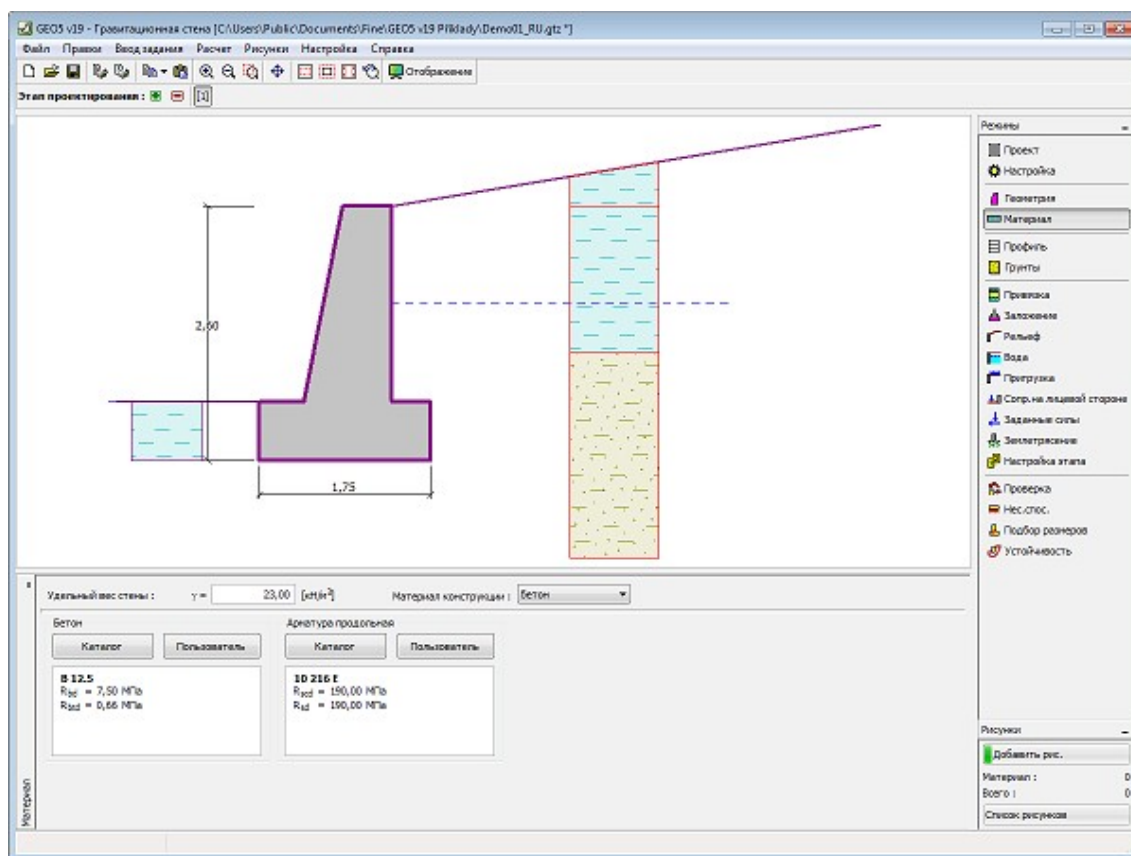
- кнопкой «**Каталог**» открыть диалоговое окно «**Каталог материалов**» и нужный материал выбрать из списка.
- кнопкой «**Пользователь**» открыть диалоговое окно «**Редактор материала**» и ввести нужные характеристики материала вручную

Содержимое каталогов меняется в зависимости от выбора стандарта проектирования **бетонных** и **стальных** конструкций в закладке «**Материалы и стандарты**».

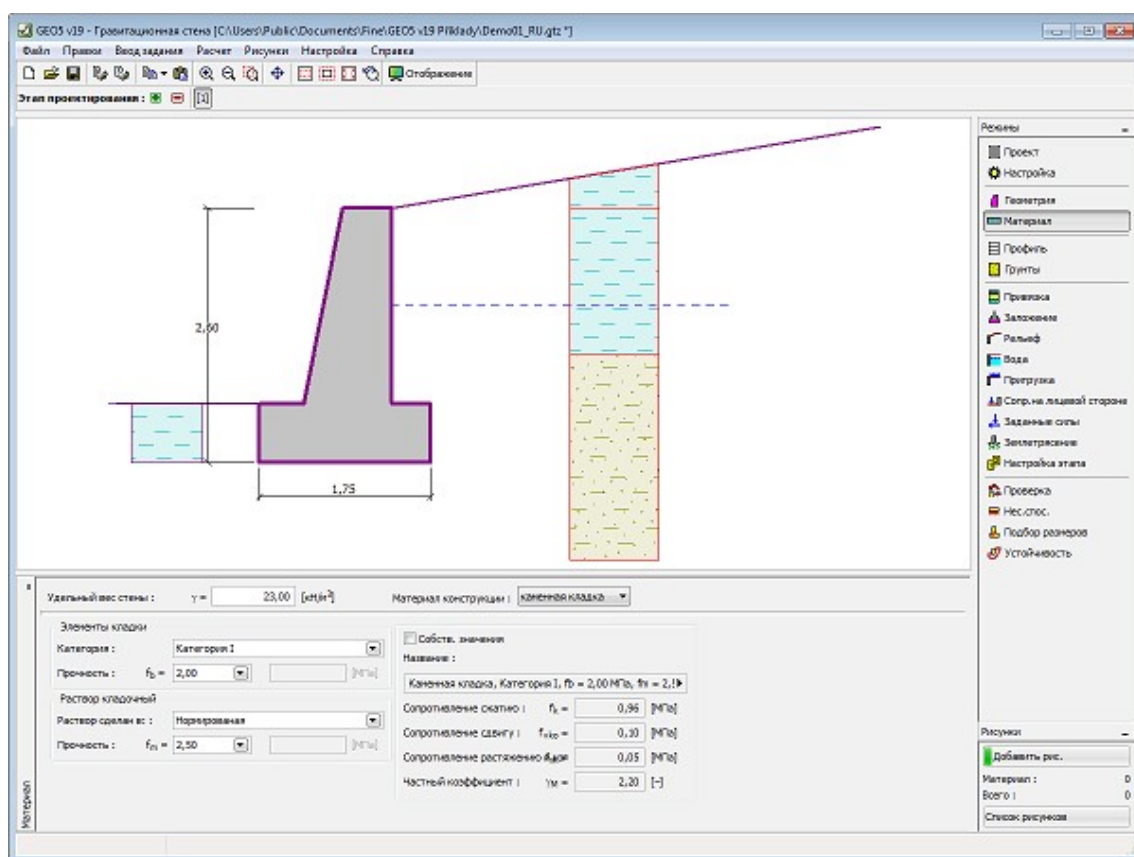
Для **стены из каменной кладки**, задают материальные характеристики элементов кладки в зависимости от выбора стандарта в закладке «**Материалы и стандарты**»:

- **EN 1996-1-1** - категория и прочность  $f_b$  элементов кладки, происхождение кладочного раствора, его прочность  $f_m$
- **GB 50003-2011** - вид элементов кладки, класс прочности камня, класс прочности кладочного раствора

Если зачеркнуть кнопку «**Собственные значения**», программа позволяет задавать пользовательские (собственные) материальные характеристики кладки.



Рамка «Материал» - бетон



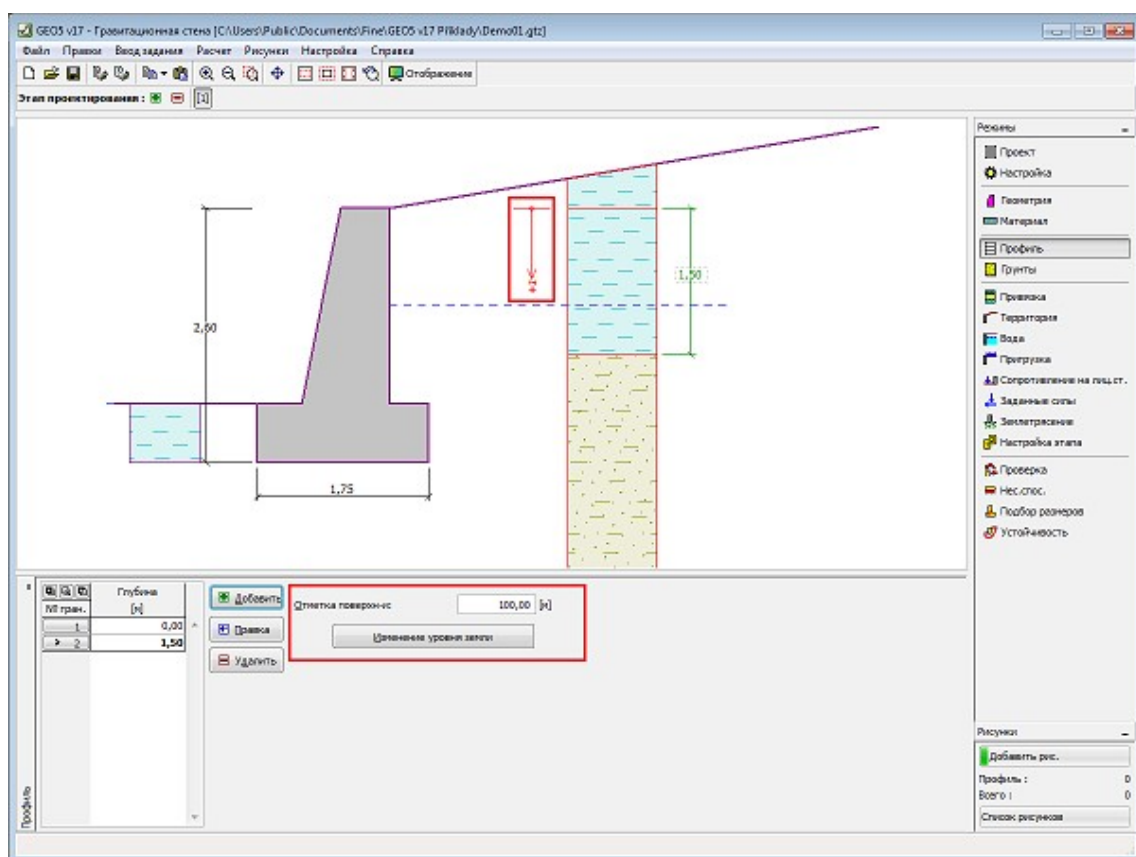
Рамка «Материал» - каменная кладка

## Профиль

В рамке «Профиль» есть таблица со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи активных отметок (размерных чисел).

Добавление границы выполняется в диалоговом окне «Создать границу контура». Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне «Изменение уровня земли» и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы «Рельеф».



Рамка «Профиль»

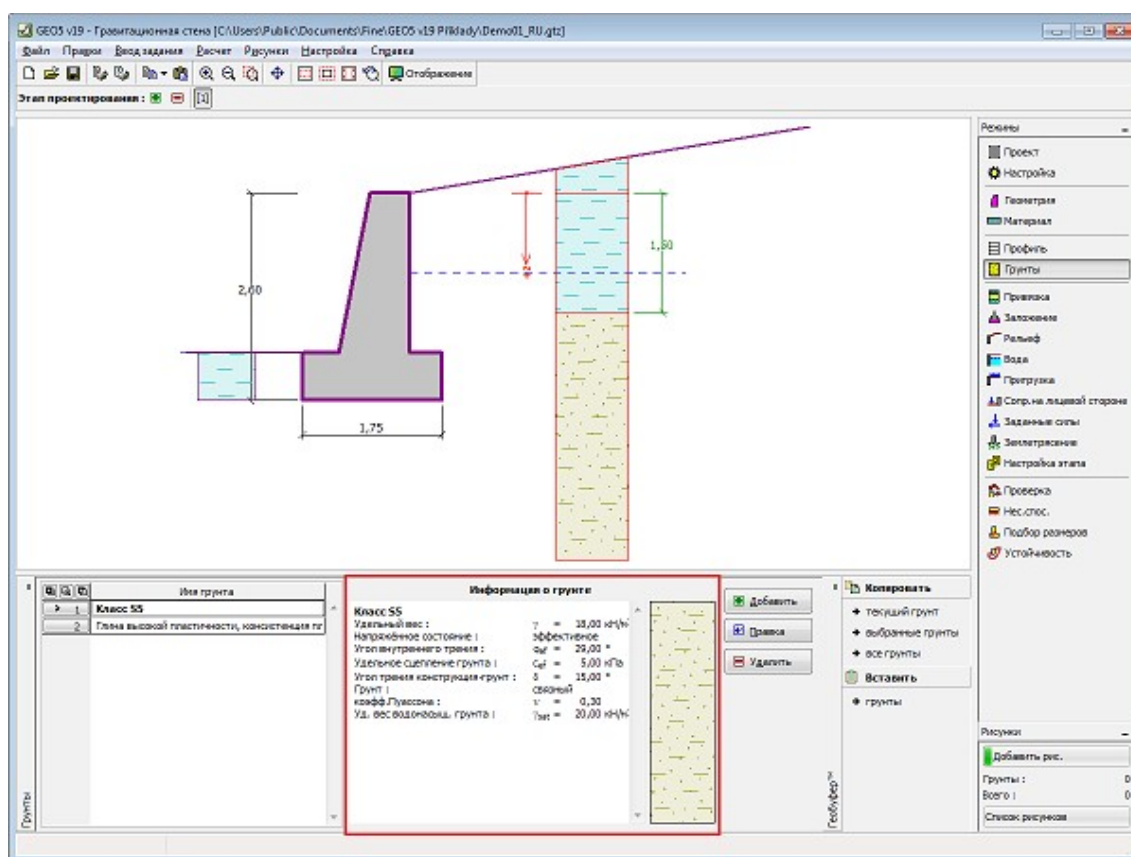
## Грунты

В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. В случае, что в таблице выбрано несколько грунтов, данные об отдельных грунтах расположены в последовательном порядке.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Базовые данные», «Статическое давление грунта» и «Подъёмная сила».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать **базу данных грунтов** по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Угол внутреннего трения грунта и коэффициент сцепления задают **эффективным** или **полным** в зависимости от установки в выпадающем списке «**Напряжённость**». Выполнять расчёт в **эффективном или полном напряжённом** состоянии зависит прежде всего от типа грунта, характера нагрузки, долговечности конструкции и водного режима.

Для **эффективного напряжённого состояния** задают **угол трения между грунтом и конструкцией**, который зависит от материала конструкции и типа грунта. Ориентировочные значения угла трения между конструкцией и грунтом приводит **таблица рекомендуемых значений**.

Для **полного (тотального) напряжённого состояния** ещё задают **сцепление грунта со стеной строительной конструкции**  $a$ .

Соответствующая теория подробно описана в разделе «**Давление грунта**».

The screenshot shows a software dialog box titled "Добавление новых грунтов" (Adding new soils). It has a tabbed interface with the "Базовые данные" (Basic data) tab selected and highlighted with a red rectangle. The dialog is divided into several sections:

- Идентификация** (Identification): A text field for "Имя:" (Name) containing "Глина с гравием, консистенция пластичная". Below it, the same text is displayed in blue.
- Базовые данные** (Basic data):
  - Удельный вес** (Specific weight):  $\gamma =$  19,00 [кН/м³] with a result of 19,0.
  - Напряжённое состояние** (Stress state): A dropdown menu set to "эффективное".
  - Угол внутреннего трения** (Angle of internal friction):  $\varphi_{ef} =$  29,00 [°] with a range of 26-32.
  - Удельное сцепление грунта** (Soil cohesion):  $c_{ef} =$  8,00 [кПа] with a range of 4-12.
  - Угол трения конструкция-грунт** (Construction-soil friction angle):  $\delta =$  15,00 [°].
- Статическое давление** (Static pressure):
  - Грунт** (Soil): A dropdown menu set to "связный".
  - коэфф. Пуассона** (Poisson's coefficient):  $\nu =$  0,35 [-] with a result of 0,35.
- Противодавление** (Counterpressure):
  - Расчёт взвешивающего усилия** (Calculation of weighing force): A dropdown menu set to "стандартный".
  - Удельный вес водонасыщенный** (Saturated specific weight):  $\gamma_{sat} =$  20,50 [кН/м³].
- Отображение** (Display):
  - Цвет** (Color): A color selection bar.
  - Категория узоров** (Pattern category): A dropdown menu set to "GEO".
  - Узор** (Pattern): A preview of a pattern labeled "Суглинок с гравием".
- Классификация** (Classification): Buttons for "Определи" (Determine), "Стереть" (Erase), "Добавить" (Add), and "Отмена" (Cancel).

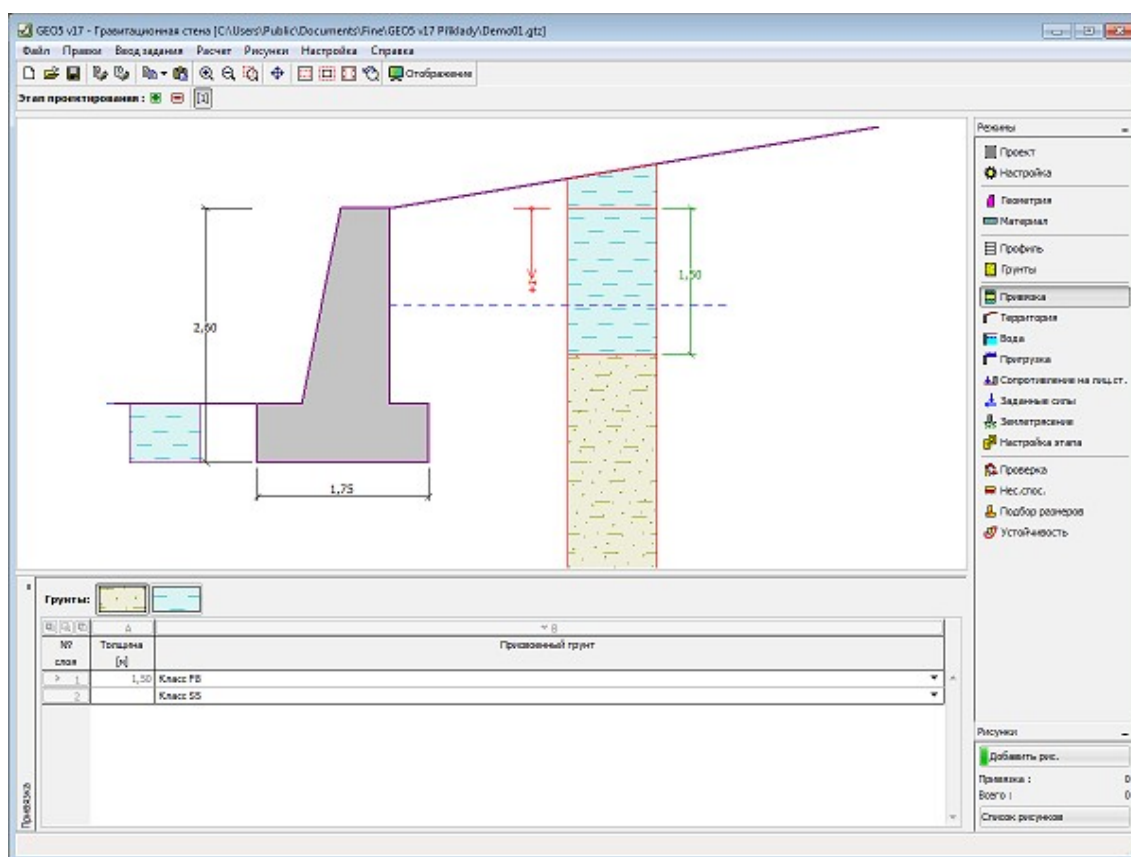
Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В **рамке «Привязка»** есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).





Рамка «Привязка»

## Заложение

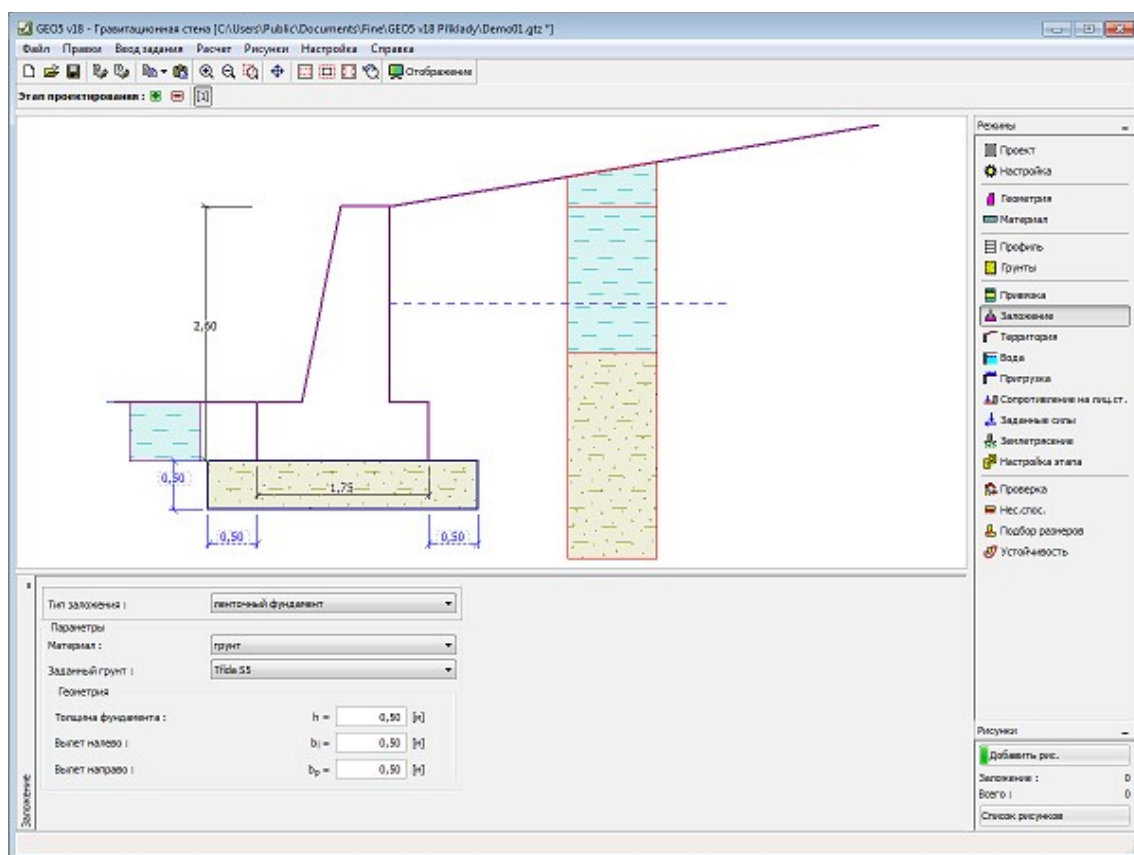
В **рамку «Заложение»** вводим тип заложения стены. Программа позволяет задавать следующие типы заложения стены:

- **грунт - геологический разрез** - стена заложена в грунте **присвоенном** из геологического разреза, который задаётся в рамке **«Профиль»**
- **грунт - ввести параметры контакта** - задаём параметры контакта подошвы фундамента конструкции с грунтом. При выборе **«задать угол трения фундамент-грунт»** в программу вводим угол трения между фундаментом и грунтом  $\psi$  [°]. При выборе **«задать коэффициент трения»** в программу вводим коэффициент трения  $\mu$  [-]. В обоих случаях задаём сцепление между фундаментом и грунтом  $a$  [кПа].
- **ленточный фундамент** - материалом для ленточного фундамента является **грунт** (задан в рамке **«Грунты»**) или бетон - вводим **удельный вес материала фундамента**  $\gamma$  и **параметры контакта стена-фундамент** (коэффициент трения  $f$ , сцепление  $c$ , дополнительное сопротивление  $F$ )
- **свайный фундамент** - заложение стены на одном ряде свай или на двух рядах свай

**Ленточный фундамент** и **свайный фундамент** для заложения стены можно применять только при условии, что в рамке **«Геометрия»** задан тип стены с **ровной подошвой фундамента без уступа**. Геометрию заложения стены (**ленточный фундамент, свайный фундамент**) можно редактировать в рамке путём ввода соответствующих значений в поля ввода или на рабочем столе с помощью **активных отметок**.



Исходные данные заданные в эту рамку влияют на **расчёт стен** (проверка на перемещение) и дальше на **несущую способность грунта основания**.

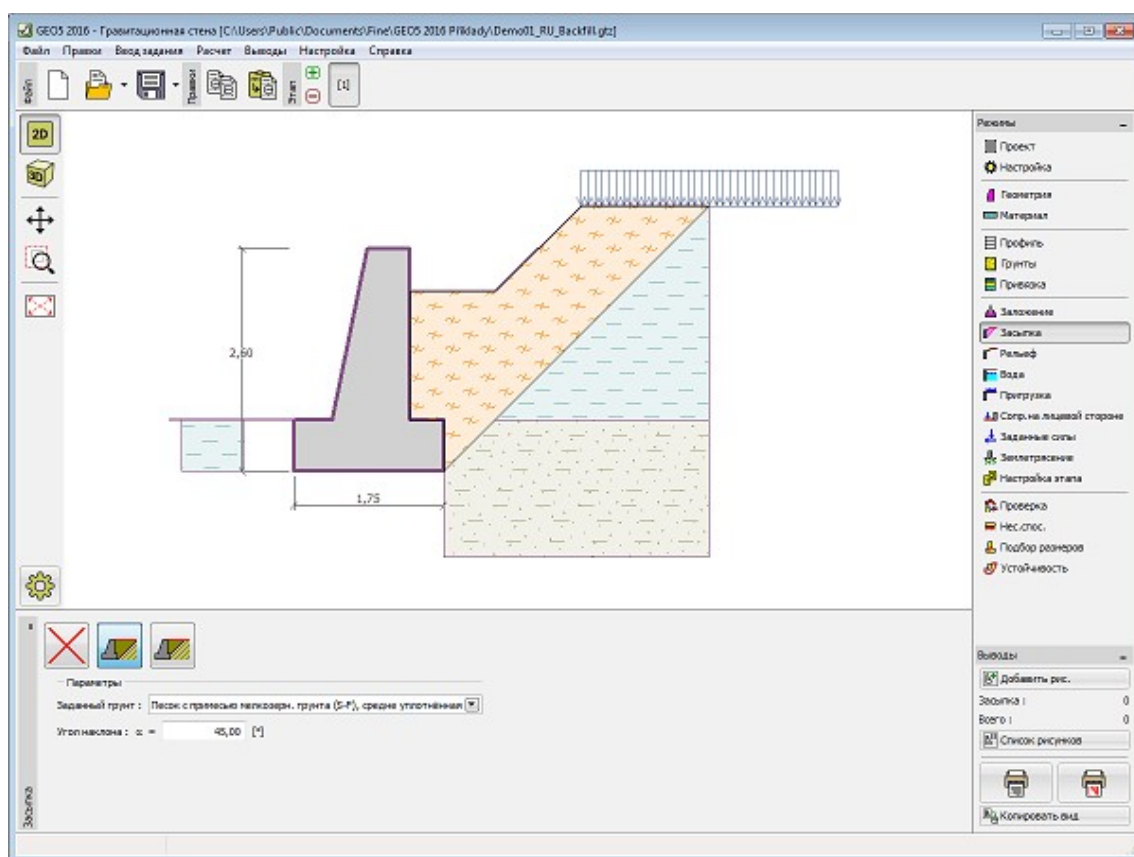


Рамка «Заложение»

## Засыпка

В **рамке «Засыпка»** нажатием кнопки выбираем вид засыпки.

В выпадающем списке задаём грунт присвоенный засыпке (его параметры определяются в рамке «**Грунты**»). Дальше задаём уклон засыпки.



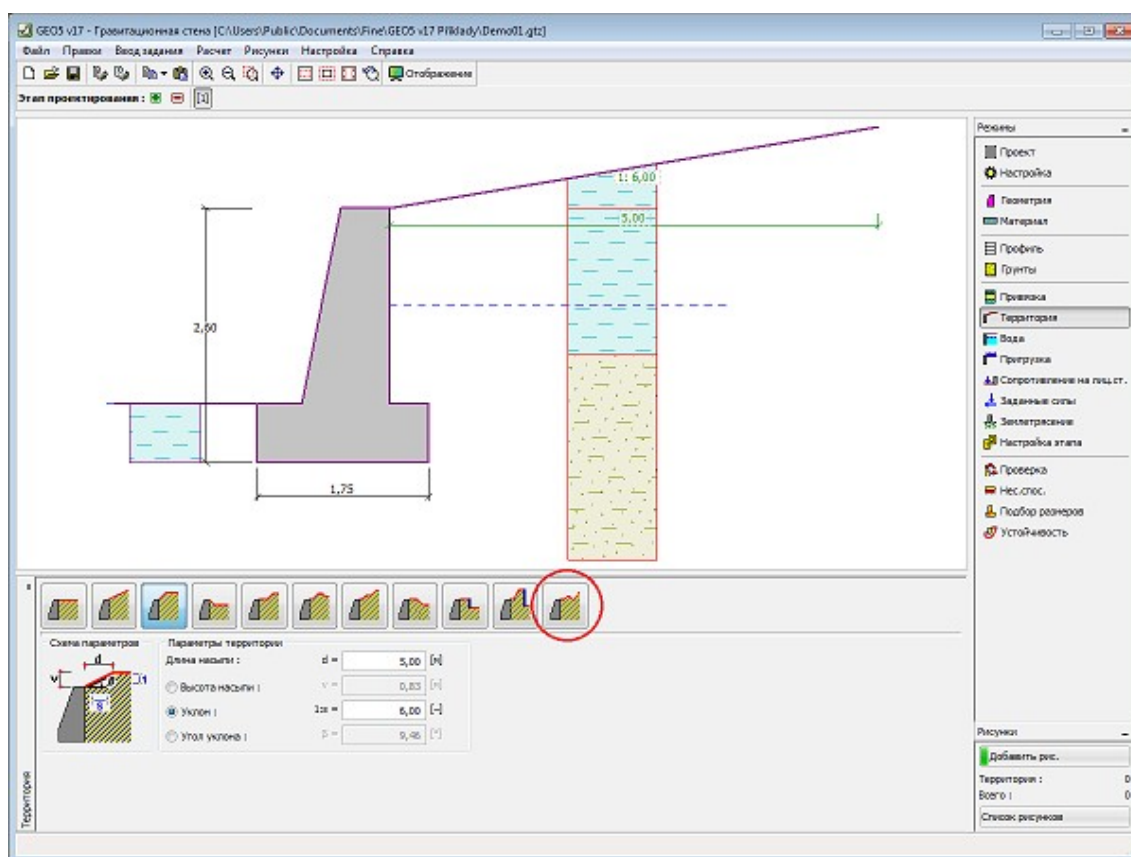
Рамка «Засыпка»

## Рельеф

В **рамке «Рельеф»** нажатием кнопки выбираем рельеф местности. Выбранный рельеф с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактировать можно или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

Последний выбор в меню - общая форма (рельеф) местности. Для этого есть в рамке таблица со списком точек (пунктов) на местности. Первый пункт местности с координатой  $[0,0]$  лежит на верхней точке конструкции.

Расчёт давлений грунта в случае наклонной местности описан в теоретической части подсказки «**Распределение давления грунта при пересечённой местности**».



Рамка «Рельеф»

## Вода

В **рамке «Вода»** нажатием кнопки выбираем тип воды. Выбранный тип с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Параметры воды ( $h_1$ ,  $h_2$ ...) можно редактировать или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

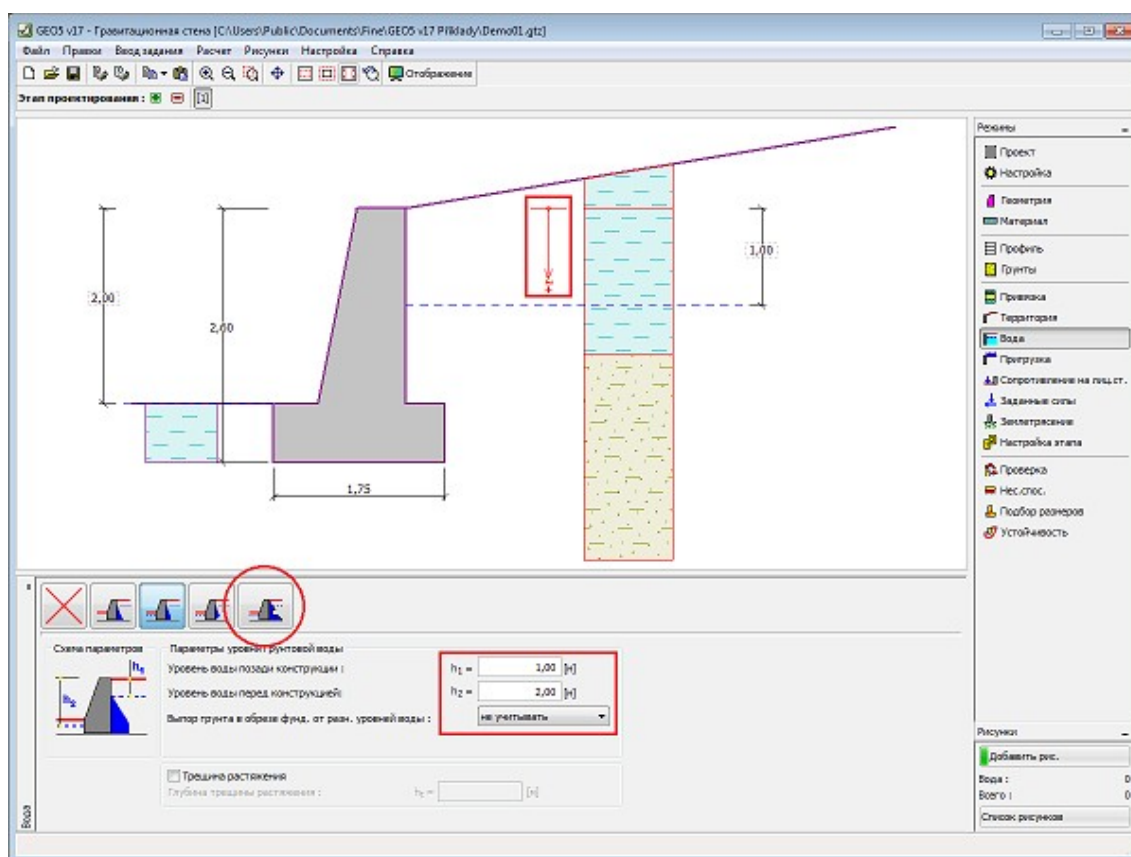
В выпадающем списке отмечаем, предполагается ли воздействие взвешивающей силы воды от разных уровней в подошве. Она может быть **линейной**, **параболической** или вообще не принимается во внимание. Взвешивающая сила в подошве от различной высоты уровней воды принимается как отдельная сила в анализе стены.

Последний выбор - это ручной ввод порового давления перед и за конструкцией. В рамке появляются две закладки «**Перед конструкцией**» и «**За конструкцией**» с таблицами. В **таблицы** вводят значения порового давления перед или за конструкцией на глубине « $z$ » (см. ось  $z$ )

Высоту уровня воды можно задавать также **над конструкцией** или над грунтовым профилем - в таком случае значению глубины воды присваивается отрицательный знак.

Расчёт давлений грунта с воздействием воды описан в теоретической части подсказки «**Воздействие воды**».

Программа позволяет задавать глубину **трещин растяжения** заполненных водой.



Рамка «Вода»

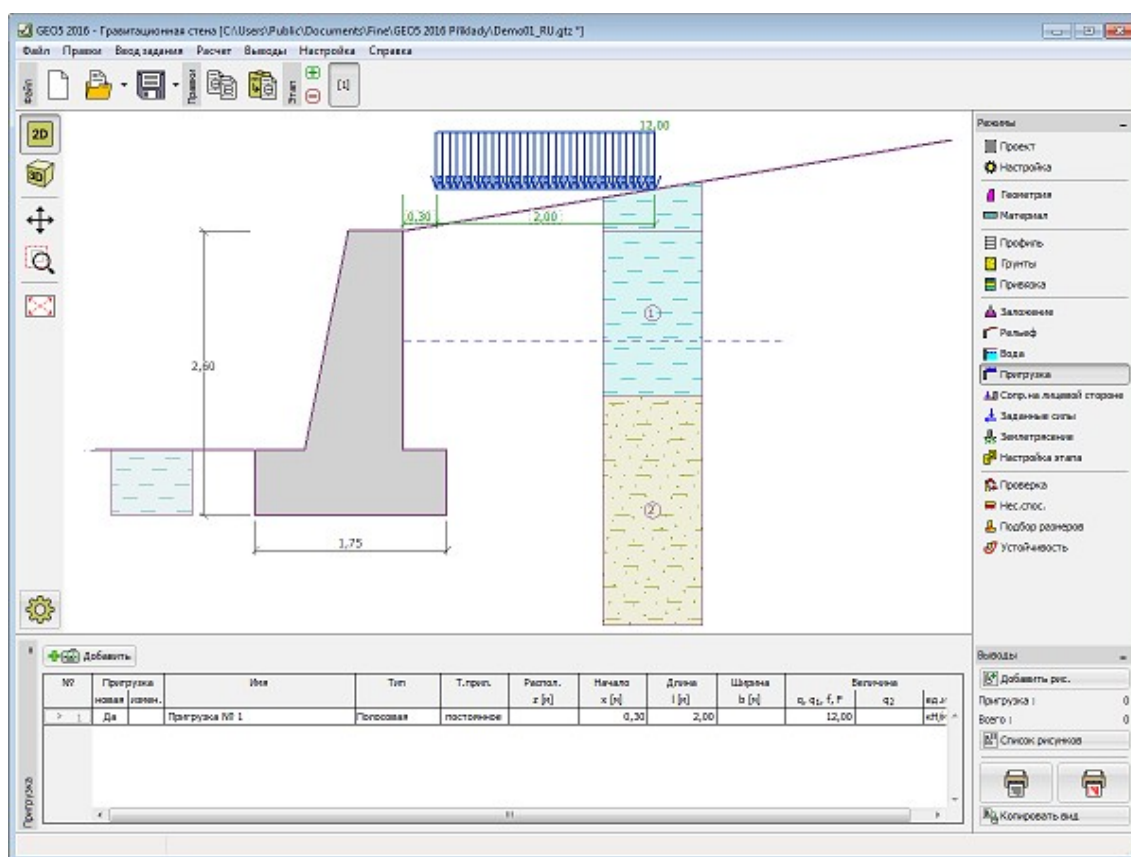
## Пригрузка

В **рамке «Пригрузка»** есть **таблица** со списком заданных пригрузок. **Добавление** пригрузки выполняется в **диалоговом окне «Создать пригрузку»**. Редактировать заданную пригрузку можно также на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

Вместе с вводом пригрузки на глубине нужно задать координату  $z$  от верхней точки конструкции, с положительным знаком в глубину. В случае, что пригрузка задана вне пределов местности, программа перед выполнением расчёта даст сообщение об ошибке.

Пригрузку можно задавать **постоянной, переменной** или **случайной**. В зависимости от типа воздействия пригрузки результирующее воздействие умножается на соответствующий расчётный коэффициент. Случайная пригрузка с положительным воздействием в расчёт не принимается.

Расчёт давлений грунта от пригрузки описан в теоретической части справки **«Воздействие пригрузки»**.



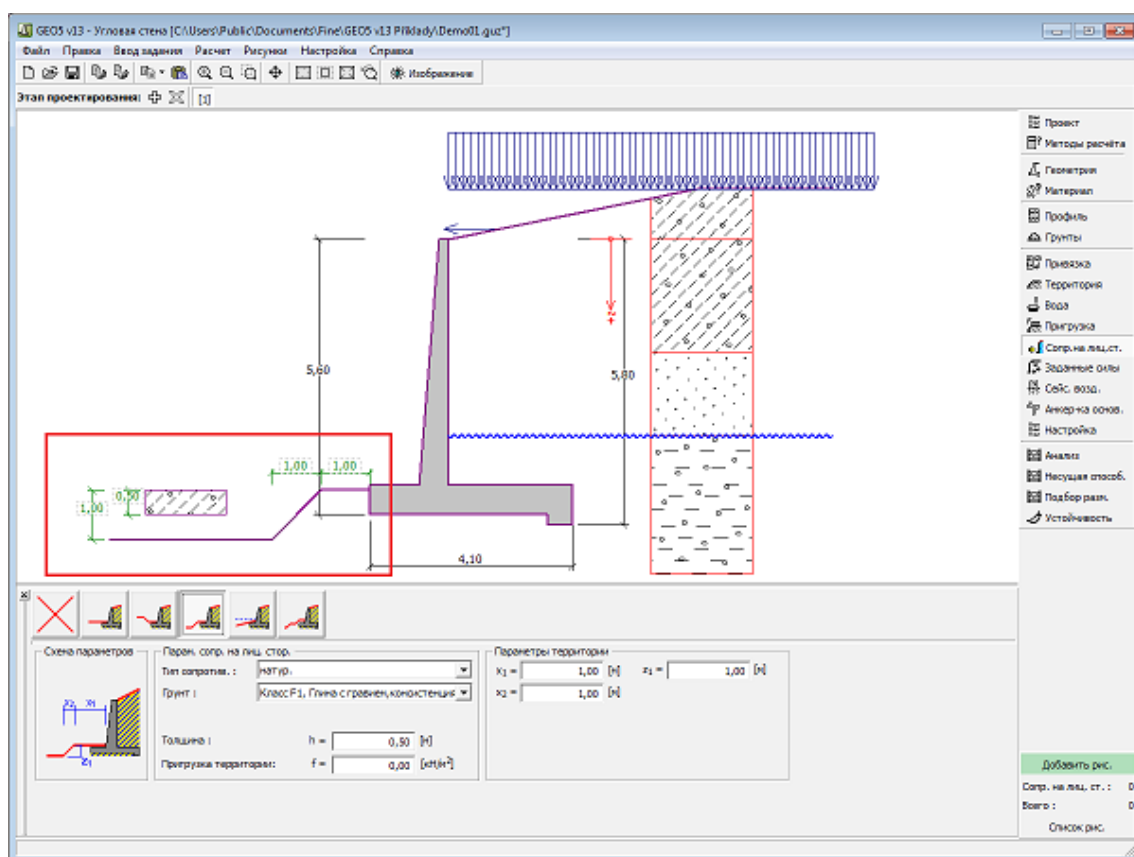
Frame «Пригрузка»

## Сопротивление на лицевой стороне

В рамке **«Сопротивление на лицевой стороне»** нажатием кнопки выбирают форму (профиль) местности и параметры сопротивления на лицевой стороне стены. Выбранный рельеф с графической подсказкой (**«Схема параметров»**) задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактирование рельефа местности можно выполнять или в рамке путём ввода значений в поля ввода, или на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

В рамке в выпадающем списке выбирают тип сопротивления и грунт ( в списке находятся грунты, указанные в режиме **«Грунты»**). В рамку можно задавать величину пригрузки на местности перед стенкой, или толщину грунта над самой нижней точкой конструкции стены.

Сопротивление на лицевой стороне можно задать **статическим давлением**, **пассивным давлением** или **приведённым пассивным давлением**. Результирующая сила от приведённого пассивного давления принимается как равнодействующая сил от активного и пассивного давлений, умноженных на соответствующий коэффициент в соответствии с заданным типом приведённого пассивного давления.



Рамка «Сопротивление на лицевой стороне»

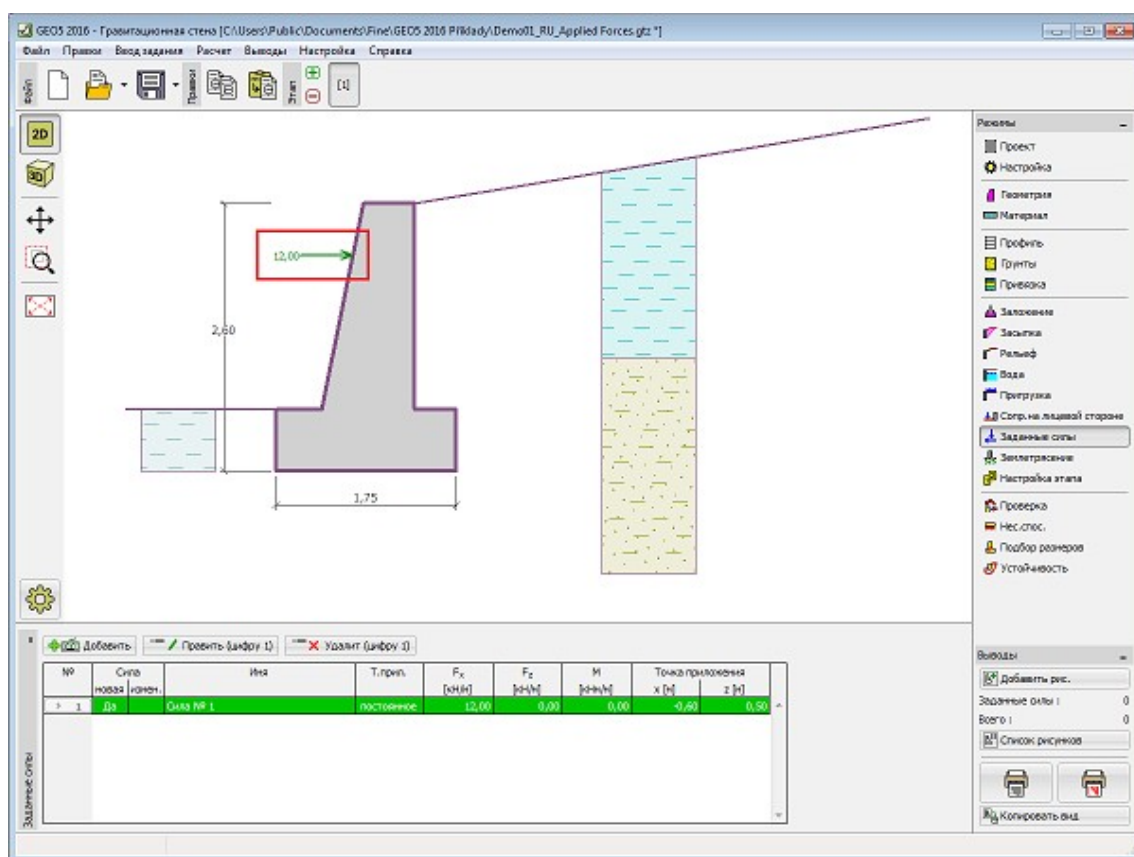
## Заданные силы

В рамке «**Заданные силы**» есть таблица со списком заданных сил, действующих на конструкцию. Добавление сил выполняется в диалоговом окне «**Создать силу**». Редактирование заданных сил можно также выполнять на рабочем столе с помощью активных объектов.

**Заданными силами** разумеется дополнительная нагрузка действующая на конструкцию стены, ограждения, укреплённой (армированной) насыпи. Заданными силами можно моделировать, напр., заанкерование колёсоотбойных дорожных ограждений, удар транспортного средства, нагрузку от рекламных щитов (билбордов) и т.п. Программа заданные силы в расчёте дальше не меняет.

Наружную нагрузку приложенную к грунту или к поверхности территории нужно моделировать как **пригрузку**.





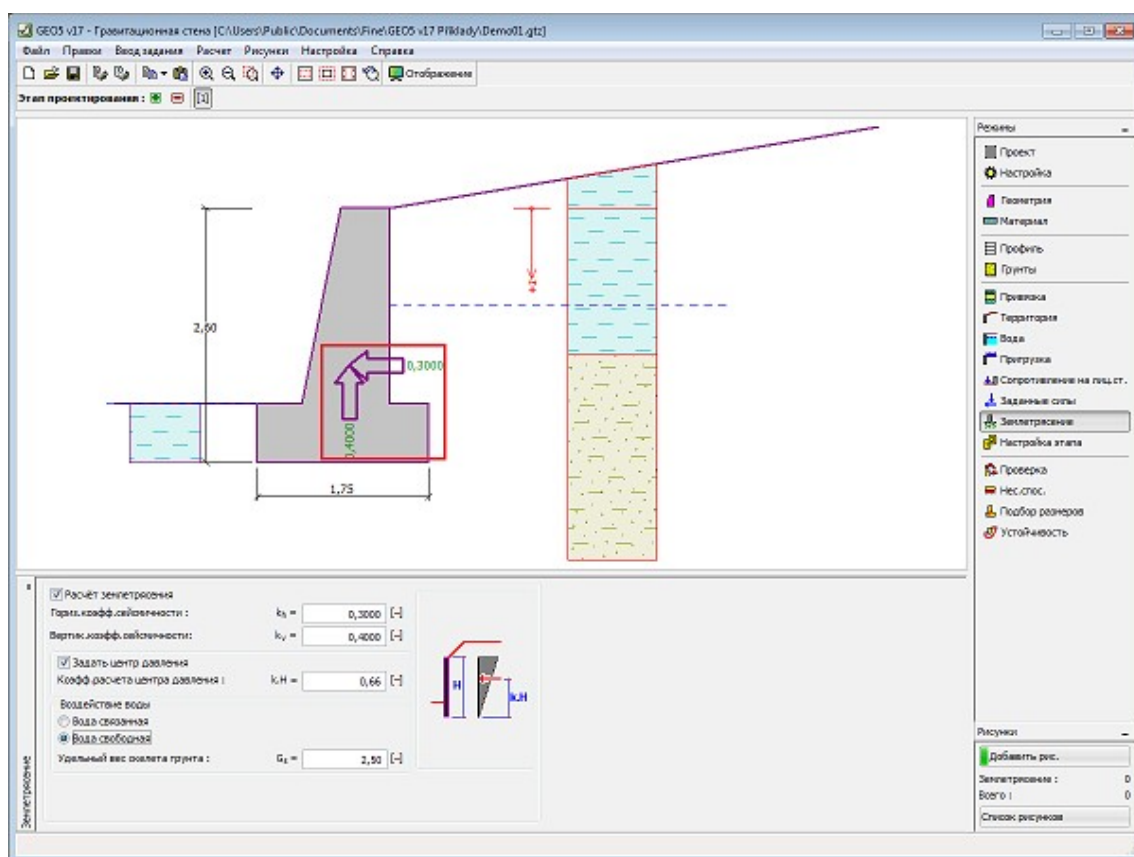
Рамка «Заданные силы»

## Землетрясение

В **рамку «Землетрясение»** задают параметры сеймики. Направления заданных сейсмических воздействий отображены на рабочем столе.

В случае отсутствия коэффициентов  $k_h$  и  $k_v$  полученных в результате измерений, проводят дополнительный расчёт способом указанным в EN 1998-5.

Расчёт давлений грунта с воздействием землетрясения описан в теоретической части подсказки «**Воздействие землетрясения**».



Рамка «Землетрясение»

## Настройка этапа

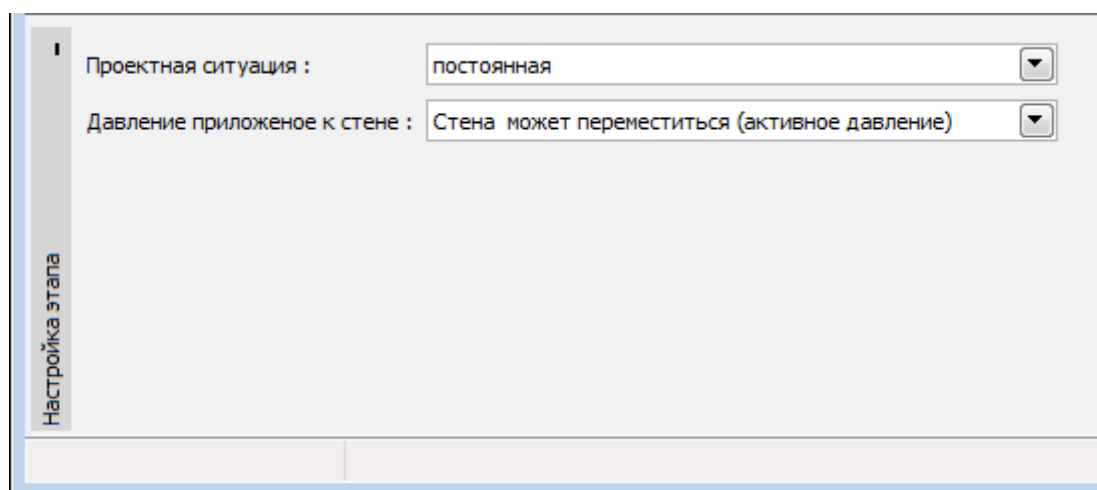
В **рамку «Настройка этапа»** задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования.

Внешний вид рамки зависит от выбора **методики проверки**.

Далее выбирают тип давления, приложенного к стене с учётом допускаемой деформации стены. Для стены, у которой возможно перемещение в расчёт принимают нагрузку от **активного давления**, в обратном случае **статическое давление**. Третий выбор позволяет нагрузить конструкцию стены **увеличенным активным давлением**.





Рамка «Настройка этапа»

## Проверка

В рамке «**Проверка**» отображены результаты расчёта. По одной задаче можно выполнить несколько расчётов.

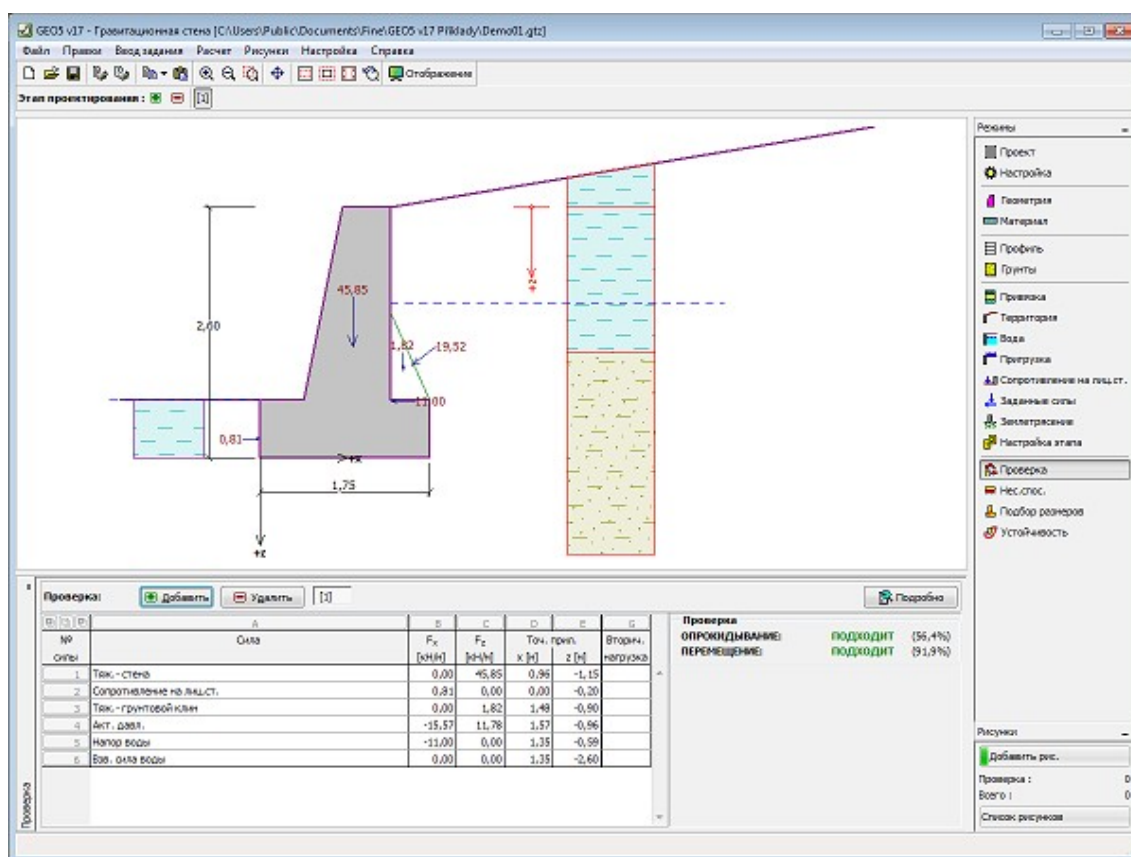
Вид рамки меняется в зависимости от выбора методики проверки:

- Расчёт по коэффициенту безопасности или предельным состояниям - в таблице в последней колонке указывают расчётные коэффициенты, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.
- Расчёт по EN 1997 - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «Комбинация нагрузок».
- Расчёт по LRFD - в таком случае последняя колонка не отображена.

Порядок собственного анализа стены описан в теоретической части подсказки.

Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. В правой части рамки отображается результат анализа стены на опрокидывание и перемещение. Кнопкой «**Подробнее**» открывается диалоговое окно с подробной выпиской результатов анализа.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».



Рамка «Проверка»

## Несущая способность

В рамке «Несущая способность» отображены результаты расчёта несущей способности грунта основания. Напряжение в подошве (принято постоянным) рассчитано на основе всех анализов выполненных в рамке «Проверка». В программу «Отдельные фундаменты» анализы будут переведены как сочетания нагрузок.

Рамка предлагает следующие опции расчётов:

- **Ввести несущую способность грунта основания**
- **Рассчитать несущую способность грунта основания в программе «Отдельные фундаменты»**

В вводное поле вводят несущую способность грунта основания. Результаты анализа стены на **эксцентриситет** и **несущую способность грунта** основания отображены в правой части рамки. Кнопка «**Подробнее**» открывает диалоговое окно с детальной выпиской результатов анализа несущей способности грунта.

Кнопкой «**Запуск программы Отдельные фундаменты**» **запустить программу «Отдельные фундаменты»**, в которой можно рассчитать несущую способность грунта основания, или осадку и поворот фундамента. После выполнения расчётов нажать кнопку «**ОК**» - результаты в т.ч. заданные изображения будут переданы в протокол расчёта программы «**Гравитационная стена**». Если не установлена программа «**Отдельные фундаменты**», то кнопка

- **Рассчитать вертикальную несущую способность одиночной сваи с помощью программы «Сваи»**

недоступна. Задают общую длину фундамента стены.

Процедура расчёта идентична расчёту несущей способности грунта основания с помощью программы «Отдельные фундаменты». Кнопка **«Запуск программы Свая»** доступна в случае заложения стены на сваях (рамка «Заложение»). Задаём продольный шаг свай  $s$ .

- **Рассчитать вертикальную несущую способность куста свай с помощью программы «Куст свай»**

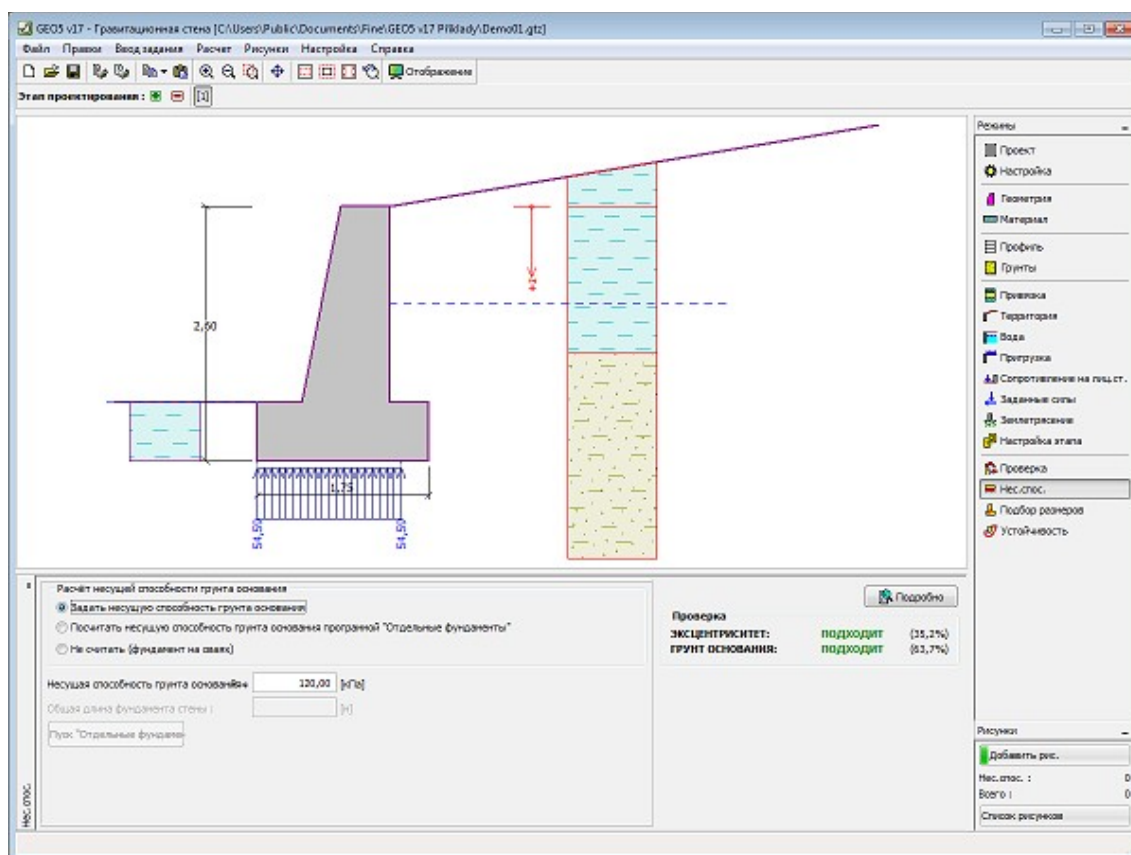
Процедура расчёта идентична расчёту несущей способности грунта основания с помощью программы «Отдельные фундаменты». Кнопка **«Запуск программы Куст свай»** доступна в случае заложения стены на сваях (рамка «Заложение»). Задаём продольный шаг свай  $s$ , общее количество рядов свай  $n$  и длина нагружения  $l$ .

- **Не проводить расчёт (фундамент на сваях)**

Не производится расчёт несущей способности грунта основания.

Программа позволяет задать **форму напряжения в грунте основания**.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».



Рамка «Несущая способность»

## Подбор размеров

В **рамке «Подбор размеров»** можно предложить и проверить армирование сечений стены

- для подбора сечение выбирают в выпадающем списке.

- **Анализ в рабочем шве**
- **Анализ выступа стены** Вводят **глубину** рабочего шва от верхней грани конструкции
- **Анализ подошвы стены**

Вид рамки меняется в зависимости от выбора **методики проверки**:

- Расчёт по **коэффициенту безопасности** или **предельным состояниям** - в таблице в последней колонке указывают **расчётные коэффициенты**, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.
- **Расчёт по EN 1997** - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «**Комбинация нагрузок**».
- **Расчёт по LRFD** - в таком случае последняя колонка не отображена.

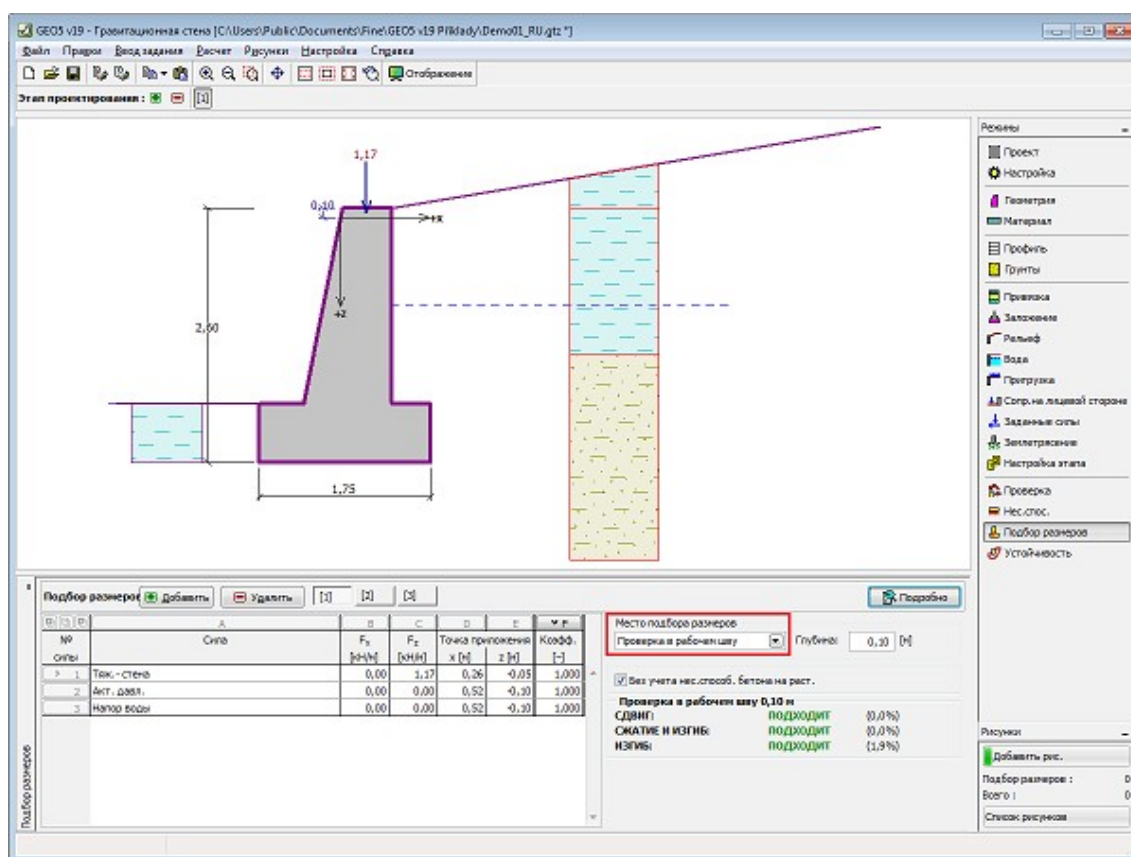
Расчёт сил и их воздействия на рассматриваемое сечение описано [здесь](#). Тело стены или рабочий шов всегда нагружены **статическим давлением**.

**Порядок определения внутренних сил в отдельных сечениях** описан в теоретической части подсказки.

**Размеры железобетонной конструкции** подбирают в соответствии со стандартом, указанным в закладке «**Материалы и стандарты**».

В рамке можно выполнять **несколько расчётов** по разным сечениям, можно вводить различные **коэффициенты расчёта**. Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. Кнопка «**Подробнее**» открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов подбора размеров.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».

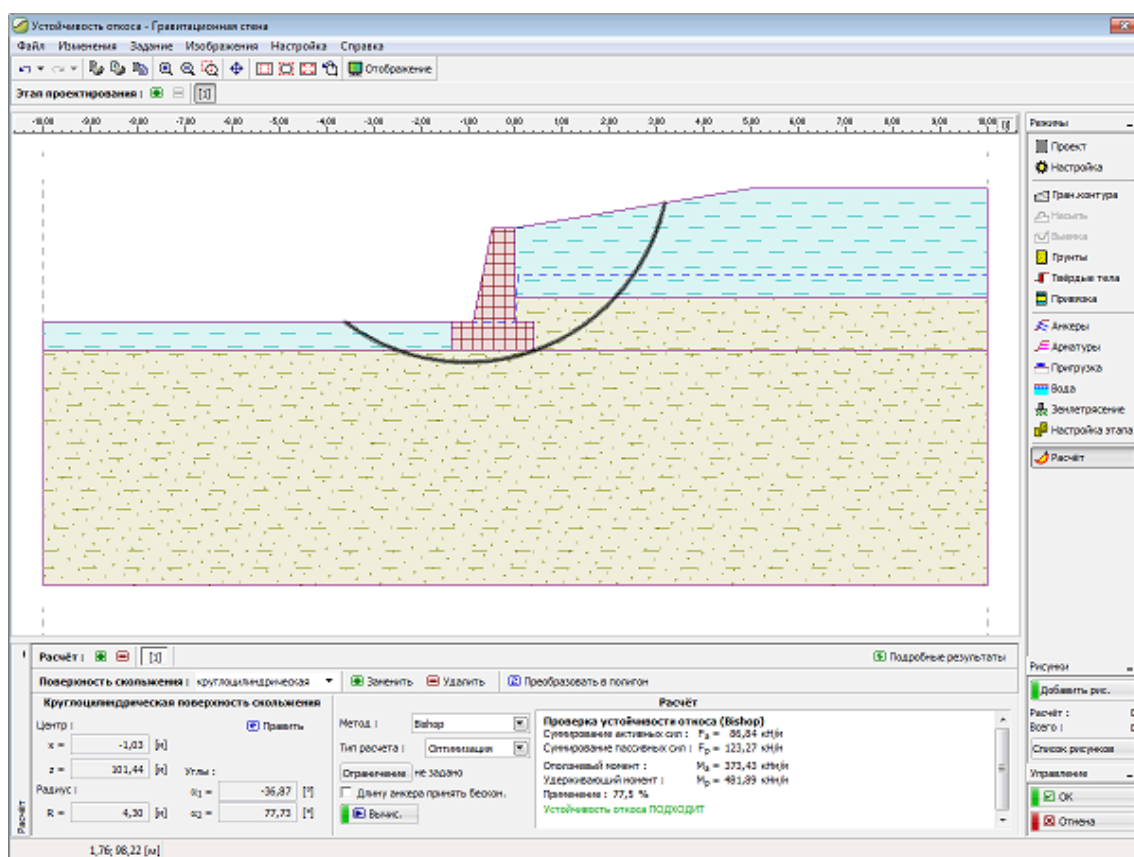


Рамка «Подбор размеров»

## Устойчивость

Нажатием на кнопку **«Устойчивость»** запускаются программа **«Устойчивость откоса»** и в программу передаются все необходимые данные. В программе Устойчивость откоса можно анализировать общую устойчивость конструкции стены. Кнопка недоступна, если программа **«Устойчивость откоса»** не установлена.

После выполнения расчёта нажатием кнопки **«ОК»** передаются результаты в т.ч. рисунки в протокол расчёта в программе **«Гравитационная стена»**.



Рамка «Устойчивость»

## Программа Сборная стена

Программа предназначена для проектирования и анализа стен из сборных блоков заводского изготовления.

**Справка для программы «Сборная стена» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Геометрия	Профиль	Грунты	Привязка	Заложение
Засыпка	Рельеф	Вода	Пригрузка	Сопротивле ние на лицевой стороне	Заданные силы	Землетрясе ние
Настройка этапа	Проверка	Несущая способность	Подбор размеров	Смещение по арматуре	Устойчивост	

- Стандарты и методы расчёта

- Теория расчётов в программе «**Сборная стена**»:

Напряжение в  
массиве грунта

Давление грунта

Анализ опор

Анализ  
устойчивости  
основания

- Справка относительно **результатов на выходе**
- Информация общего характера о работе в **пользовательской среде** программ GEO5
- **Общие операции** для всех программ

## Проект

В **рамку «Проект»** задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой **текстовой и графической информации**.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (**метрическую / дюймовую**). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «**Геобуфера**».

Рамка «Проект»

## Настройка

В **рамку «Настройка»** предназначена для ввода основных «**Настроек**» программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой «**Выбрать настройки**» выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из «**Перечня настроек**».

Кнопка «**Администратор настройки**» открывает диалоговое окно «**Администратор настройки**», в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.



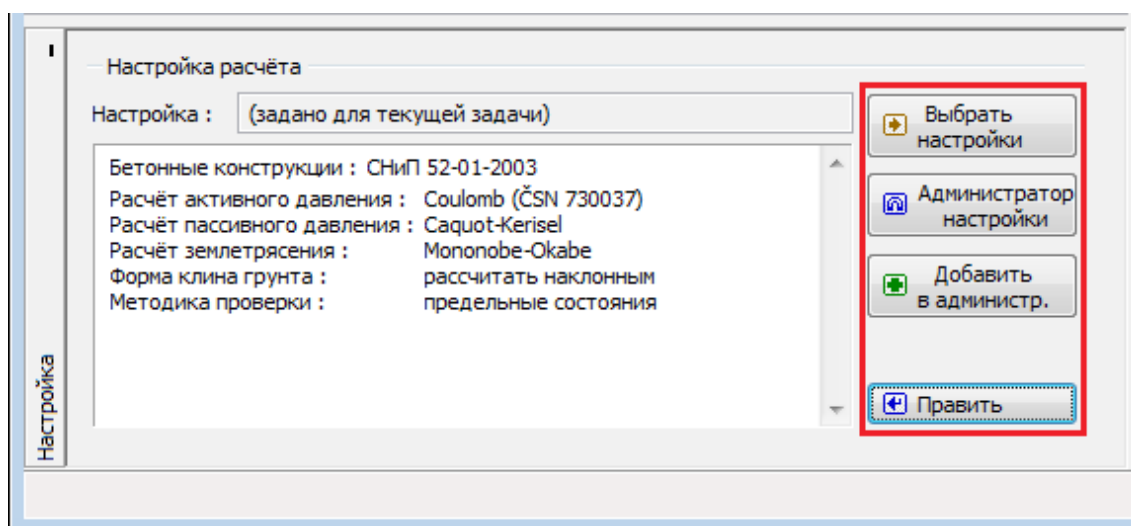
Кнопка «**Добавить в администратор**» позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка «**Править**» позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в «**Задано для текущей задачи**». После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку «**Добавить в администратор**» и добавляем настройку в «**Администратор настройки**».

Настройка «**Задано для текущей задачи**» обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Программа позволяет задать значение **минимального давления при подборе размеров  $k$**  (отмечаем поле «**Учесть минимальное давление при подборе размеров**»). На реальных конструкциях было засвидетельствовано, что при учёте связного грунта позади стены поведение верхних блоков вызывает опасения. По этой причине даём рекомендацию: если засыпка представляет собой связный грунт - вводить в расчёт значение  $k$ .

Настройка параметров расчёта производится в закладках «**Материалы и стандарты**», «**Расчёт стен**».



Рамка «Настройка»

## Геометрия

В **рамке «Геометрия»** находится **таблица** со списком заданных сборных блоков конструкции стен (№ 1 - самый нижний). **Добавление** блоков выполняется в **диалоговом окне «Создать блок»**.

В диалоговое окно **геометрия блока задают, параметры арматуры** (длину выпуска, несущую способность на выдёргивание, прочность арматуры) и **характеристики материала** (собственная сила тяги, трение между блоками, когезия).

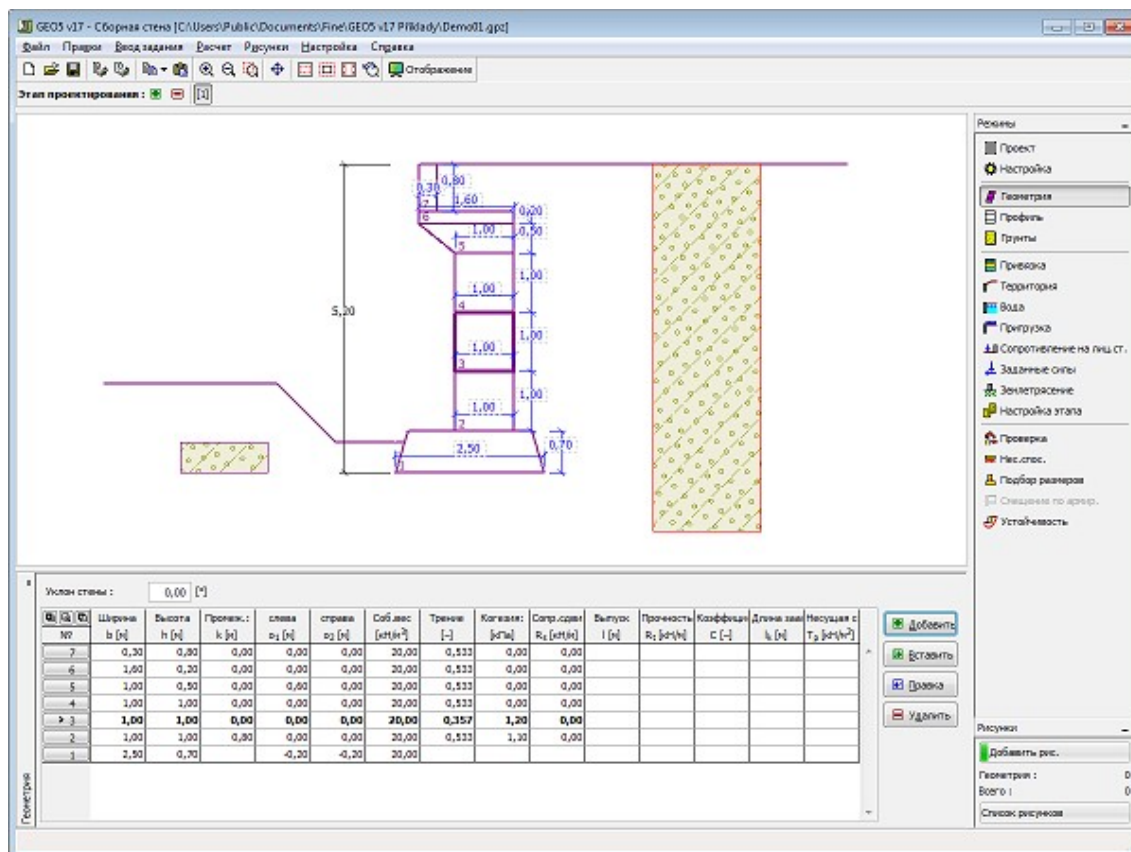
Программа позволяет вставить новый блок между уже установленными заданными блоками конструкции. Блок вставляется в диалоговом окне «**Вставленный блок**», идентичном с диалоговым окном «**Создать блок**». Новый (вставленный) блок строится под выбранный текущий блок конструкции.

Заданные блоки могут быть отредактированы на рабочем столе с помощью **активных**



размерных чисел, или активных объектов - двойным щелчком на конструкции открываем диалоговое окно с соответствующим блоком. **Режим активных объектов работает только при условии, что отключено изображение подробных размерных чисел в диалоговом окне «Настройка стиля отображения».**

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.



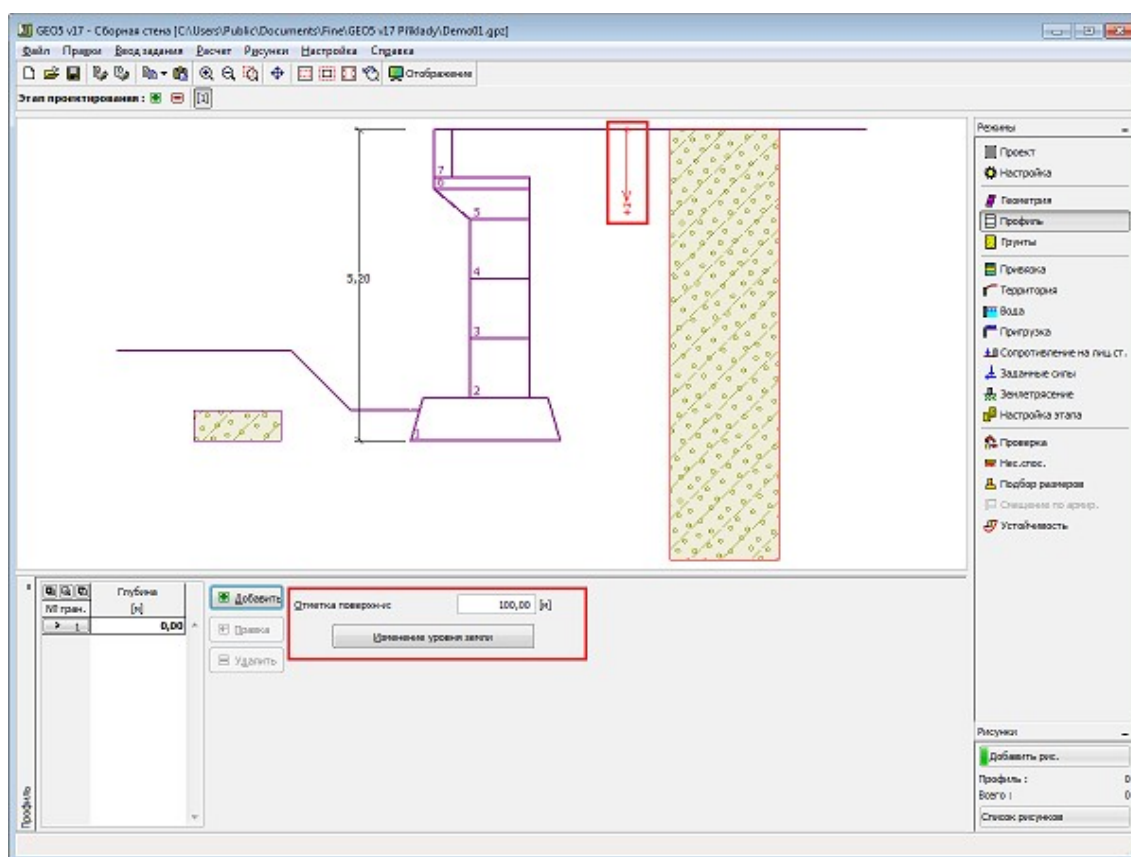
Рамка «Геометрия»

## Профиль

В **рамке «Профиль»** есть **таблица** со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

**Добавление** границы выполняется в **диалоговом окне «Создать границу контура»**. Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне **«Изменение уровня земли»** и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы **«Рельеф»**.



Рамка «Профиль»

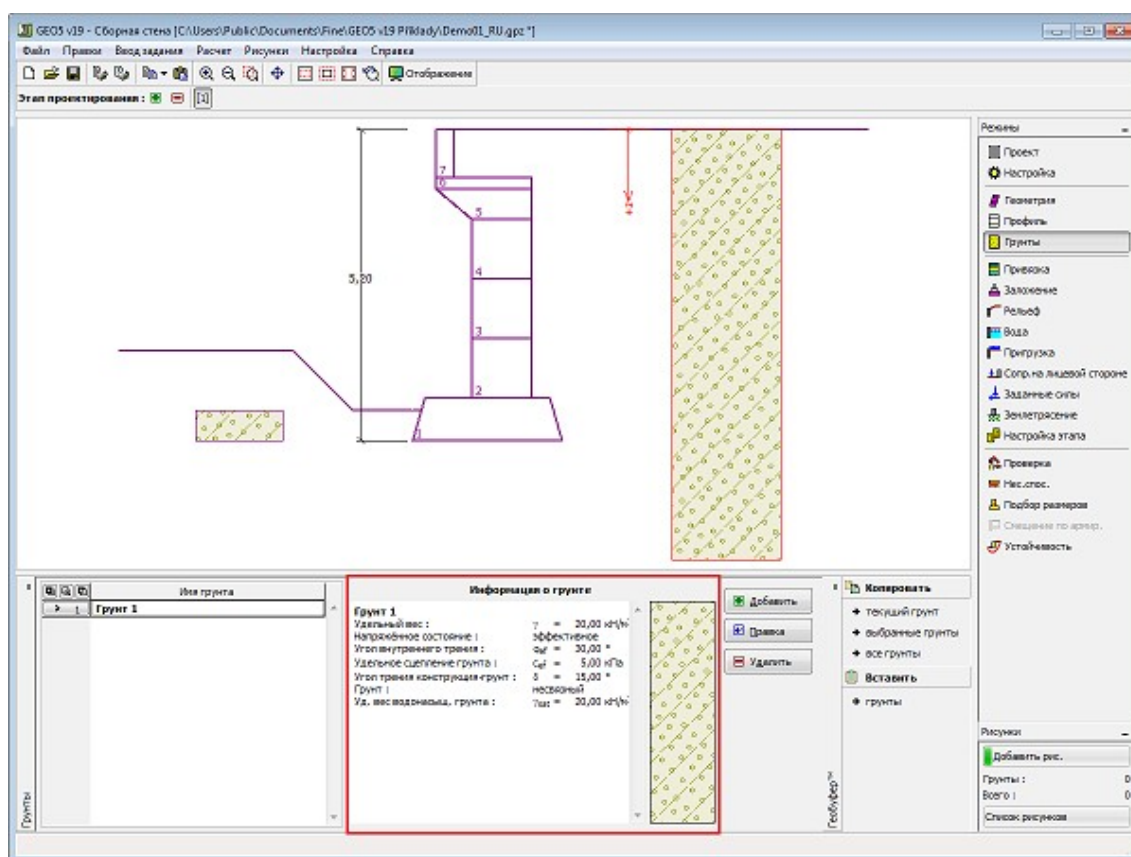
## Грунты

В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. В случае, что в таблице выбрано несколько грунтов, данные об отдельных грунтах расположены в последовательном порядке.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Базовые данные», «Статическое давление грунта» и «Подъёмная сила».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать **базу данных грунтов** по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Угол внутреннего трения грунта и коэффициент сцепления задают **эффективным** или **полным** в зависимости от установки в выпадающем списке «**Напряжённость**». Выполнять расчёт в **эффективном или полном напряжённом** состоянии зависит прежде всего от типа грунта, характера нагрузки, долговечности конструкции и водного режима.

Для **эффективного напряжённого состояния** задают **угол трения между грунтом и конструкцией**, который зависит от материала конструкции и типа грунта. Ориентировочные значения угла трения между конструкцией и грунтом приводит **таблица рекомендуемых значений**.

Для **полного (тотального) напряжённого состояния** ещё задают **сцепление грунта со стеной строительной конструкции**  $a$ .

Соответствующая теория подробно описана в разделе «**Давление грунта**».

**Добавление новых грунтов**

Идентификация

Имя : Глина с гравием, консистенция пластичная

Глина с гравием, консистенция пластичная

**Базовые данные**

Удельный вес :  $\gamma = 19,00$  [кН/м³] 19,0

Напряжённое состояние : эффективное

Угол внутреннего трения :  $\phi_{ef} = 29,00$  [°] 26-32

Удельное сцепление грунта :  $c_{ef} = 8,00$  [кПа] 4-12

Угол трения конструкция-грунт  $\delta = 15,00$  [°]

Статическое давление

Грунт : несвязный

Противодавление

Расчёт взвешивающего усилия: стандартный

Удельный вес водонасыщенный  $\gamma_{sat} = 20,00$  [кН/м³]

Отображение

Цвет

Категория узоров GEO

Узор

Суглинок с гравием

Классификация

Определить

Стереть

Добавить

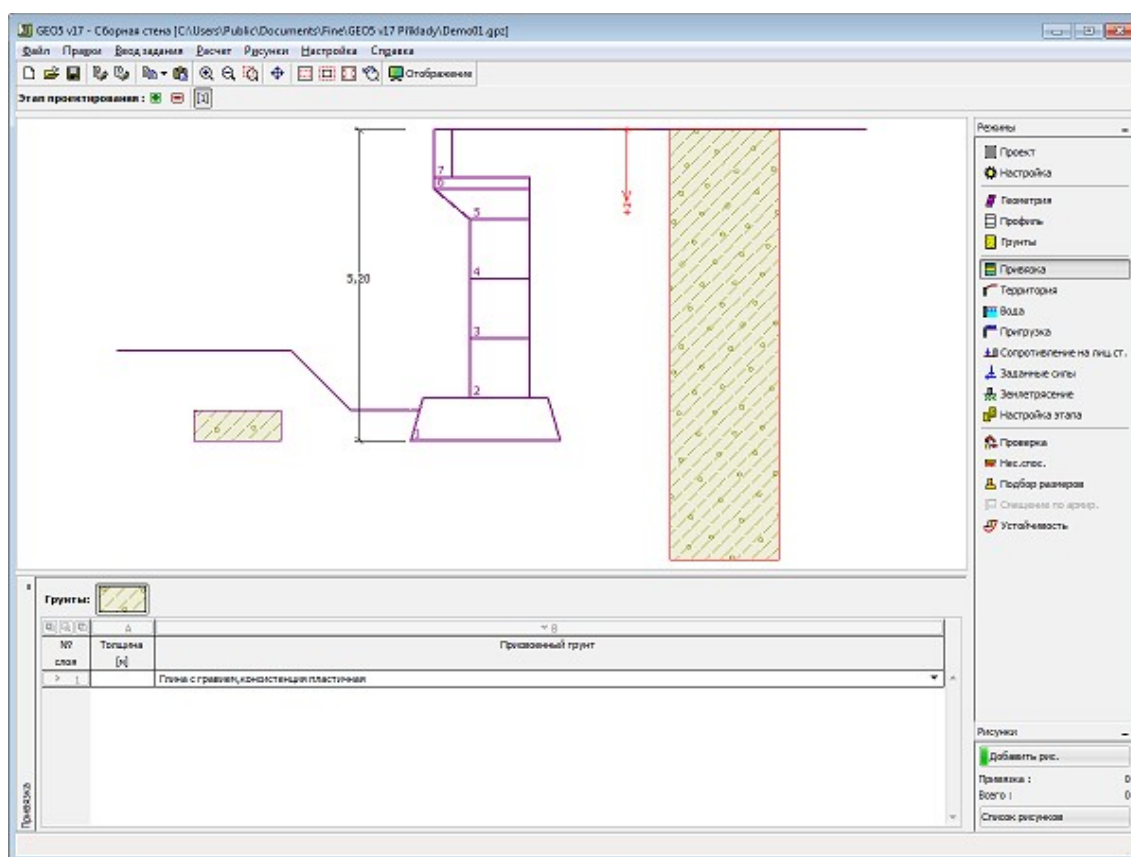
Отмена

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В рамке «Привязка» есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).



Рамка «Привязка»

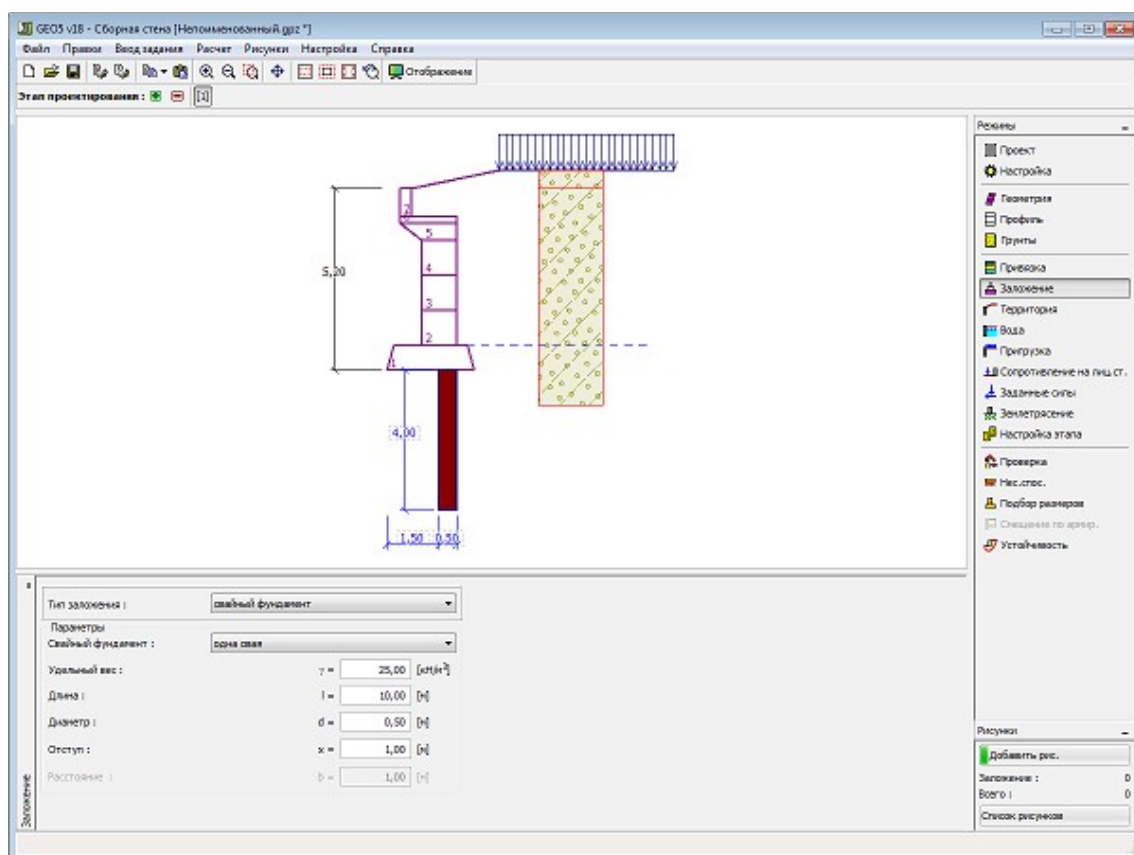
## Заложение

В **рамку «Заложение»** вводим тип заложения стены. Программа позволяет задавать следующие типы заложения стены:

- **грунт - геологический разрез** - стена заложена в грунте **присвоенном** из геологического разреза, который задаётся в рамке **«Профиль»**
- **грунт - ввести параметры контакта** - задаём параметры контакта подошвы фундамента конструкции с грунтом. При выборе **«задать угол трения фундамент-грунт»** в программу вводим угол трения между фундаментом и грунтом  $\psi$  [°]. При выборе **«задать коэффициент трения»** в программу вводим коэффициент трения  $\mu$  [-]. В обоих случаях задаём сцепление между фундаментом и грунтом  $a$  [кПа].
- **ленточный фундамент** - материалом для ленточного фундамента является **грунт** (задан в рамке **«Грунты»**) или бетон - вводим **удельный вес материала фундамента**  $\gamma$  и **параметры контакта стена-фундамент** (коэффициент трения  $f$ , сцепление  $c$ , дополнительное сопротивление  $F$ )
- **свайный фундамент** - заложение стены на одном ряде свай или на двух рядах свай

**Ленточный фундамент** и **свайный фундамент** для заложения стены можно применять только при условии, что в рамке **«Геометрия»** задан тип стены с **ровной подошвой фундамента без уступа**. Геометрию заложения стены (**ленточный фундамент, свайный фундамент**) можно редактировать в рамке путём ввода соответствующих значений в поля ввода или на рабочем столе с помощью **активных отметок**.

Исходные данные заданные в эту рамку влияют на **расчёт стен** (проверка на перемещение) и дальше на **несущую способность грунта основания**.



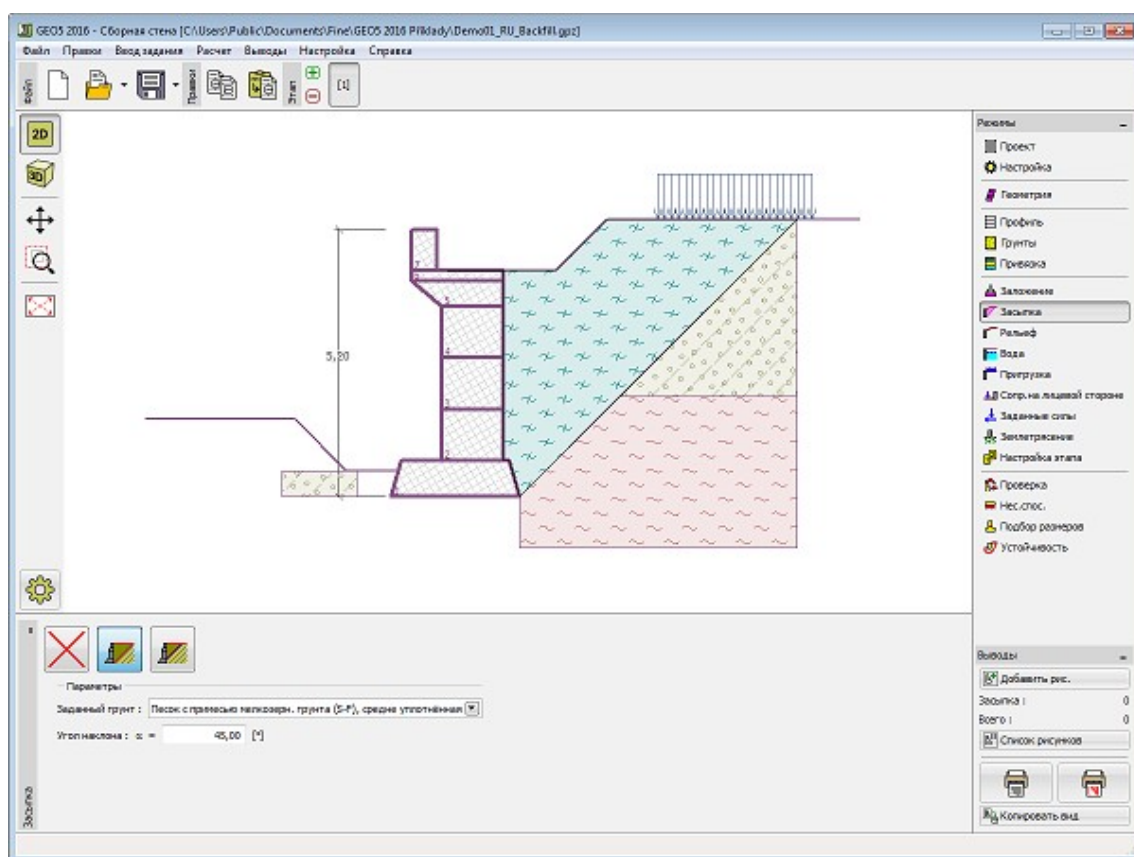
Рамка «Заложение»

## Засыпка

В **рамке «Засыпка»** нажатием кнопки выбираем вид засыпки.

В выпадающем списке задаём грунт присвоенный засыпке (его параметры определяются в рамке «**Грунты**»). Далее задаём уклон засыпки.





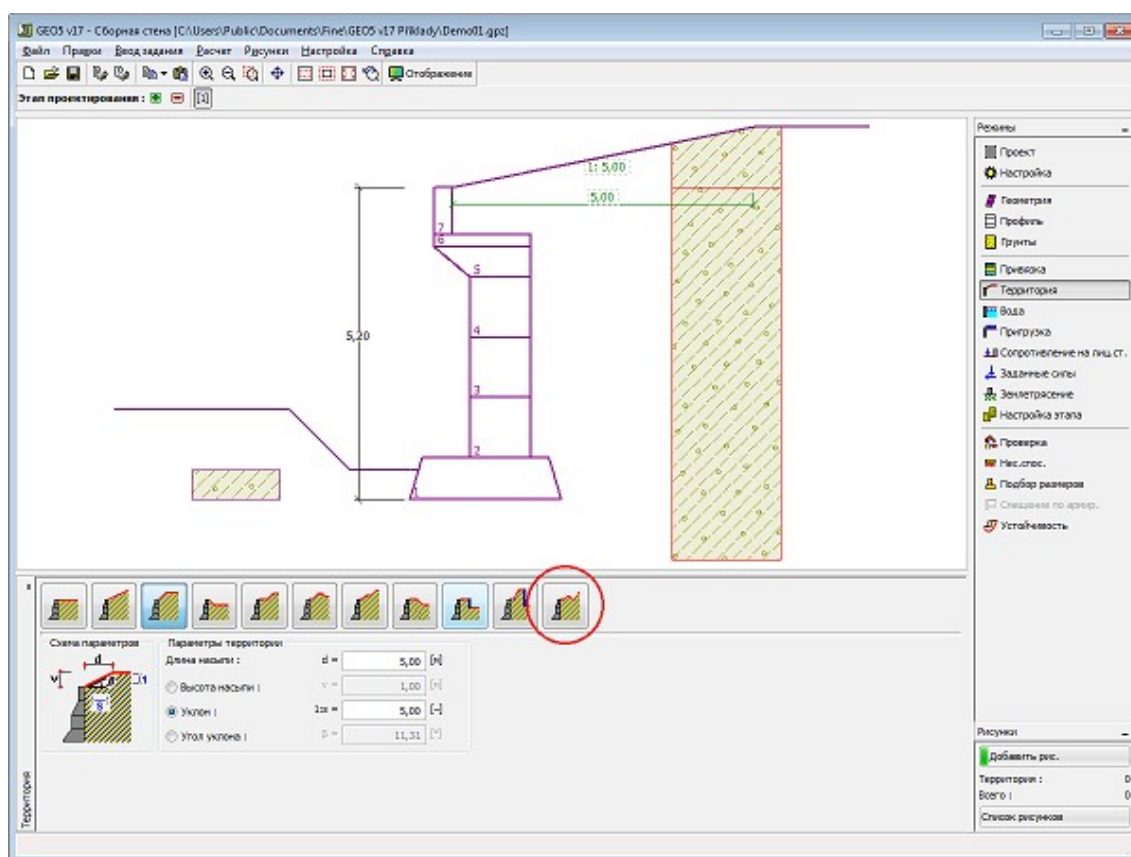
Рамка «Засыпка»

## Рельеф

В рамке **«Рельеф»** нажатием кнопки выбираем рельеф местности. Выбранный рельеф с графической подсказкой (**«Схема параметров»**) задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактировать можно или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

Последний выбор в меню - общая форма (рельеф) местности. Для этого есть в рамке таблица со списком точек (пунктов) на местности. Первый пункт местности с координатой  $[0,0]$  лежит на верхней точке конструкции.

Расчёт давлений грунта в случае наклонной местности описан в теоретической части подсказки **«Распределение давления грунта при пересечённой местности»**.



Рамка «Рельеф»

## Вода

В **рамке «Вода»** нажатием кнопки выбираем тип воды. Выбранный тип с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Параметры воды ( $h_1$ ,  $h_2$ ...) можно редактировать или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

В выпадающем списке отмечаем, предполагается ли воздействие взвешивающей силы воды от разных уровней в подошве. Она может быть **линейной**, **параболической** или вообще не принимается во внимание. Взвешивающая сила в подошве от различной высоты уровней воды принимается как отдельная сила в анализе стены.

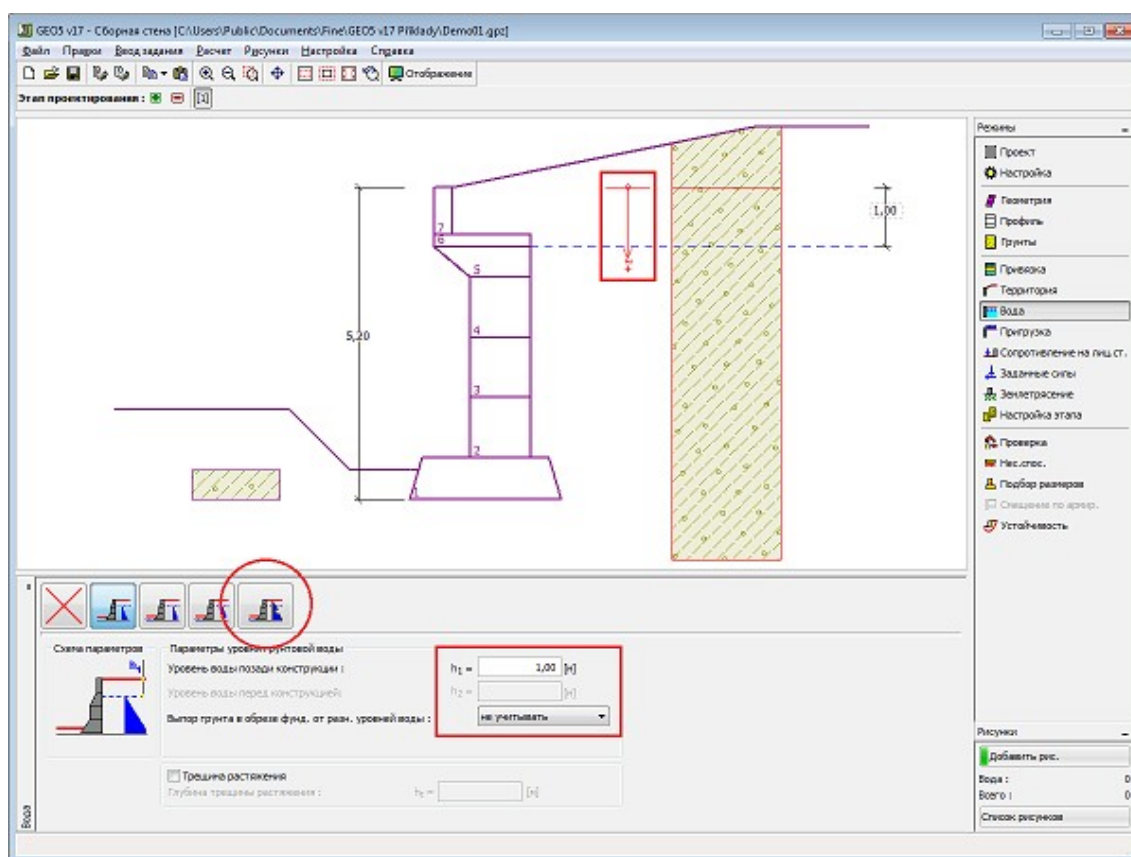
Последний выбор - это ручной ввод порового давления перед и за конструкцией. В рамке появляются две закладки «**Перед конструкцией**» и «**За конструкцией**» с таблицами. В **таблицы** вводят значения порового давления перед или за конструкцией на глубине « $z$ » (см. ось  $z$ )

Высоту уровня воды можно задавать также **над конструкцией** или над грунтовым профилем - в таком случае значению глубины воды присваивается отрицательный знак.

Расчёт давлений грунта с воздействием воды описан в теоретической части подсказки «**Воздействие воды**».

Программа позволяет задавать глубину **трещин растяжения** заполненных водой.





Рамка «Вода»

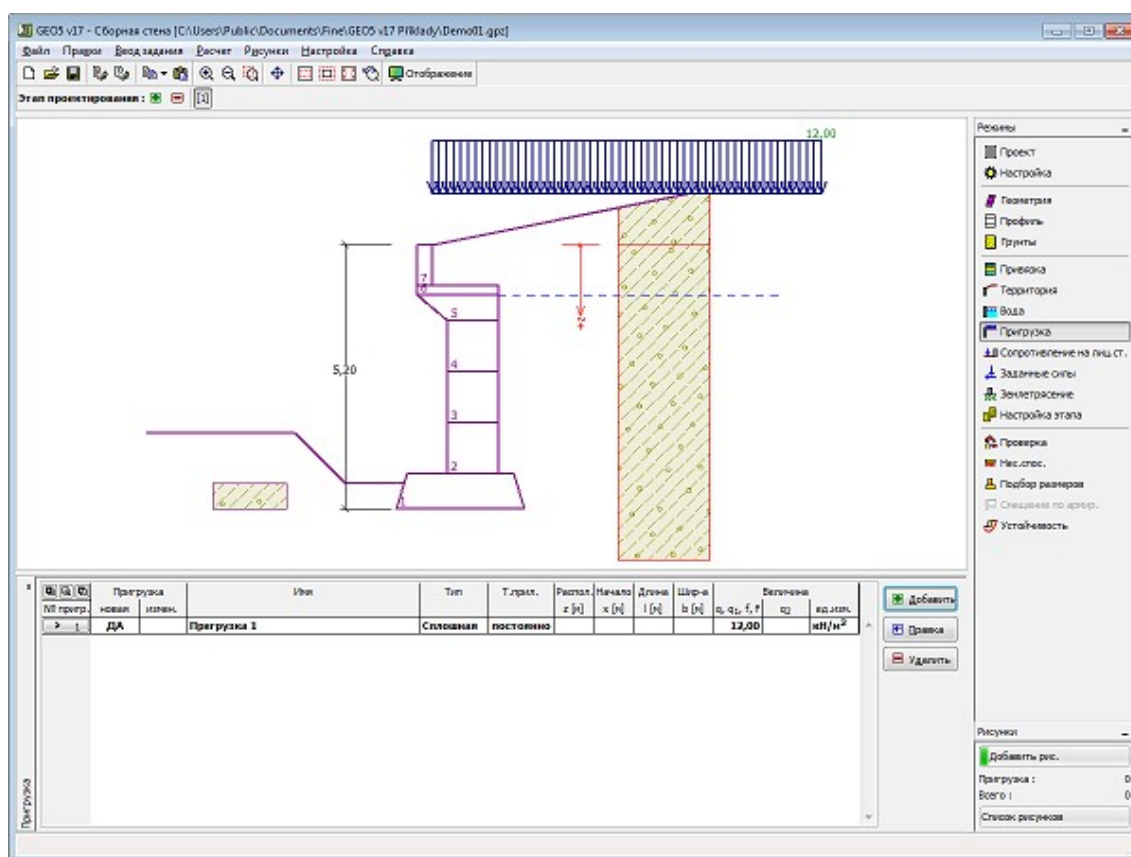
## Пригрузка

В рамке «**Пригрузка**» есть таблица со списком заданных пригрузок. Добавление пригрузки выполняется в диалоговом окне «**Создать пригрузку**». Редактировать заданную пригрузку можно также на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

Вместе с вводом пригрузки на глубине нужно задать координату  $z$  от верхней точки конструкции, с положительным знаком в глубину. В случае, что пригрузка задана вне пределов местности, программа перед выполнением расчёта даст сообщение об ошибке.

Пригрузку можно задавать **постоянной, переменной** или **случайной**. В зависимости от типа воздействия пригрузки результирующее воздействие умножается на соответствующий расчётный коэффициент. Случайная пригрузка с положительным воздействием в расчёт не принимается.

Расчёт давлений грунта от пригрузки описан в теоретической части справки «**Воздействие пригрузки**».



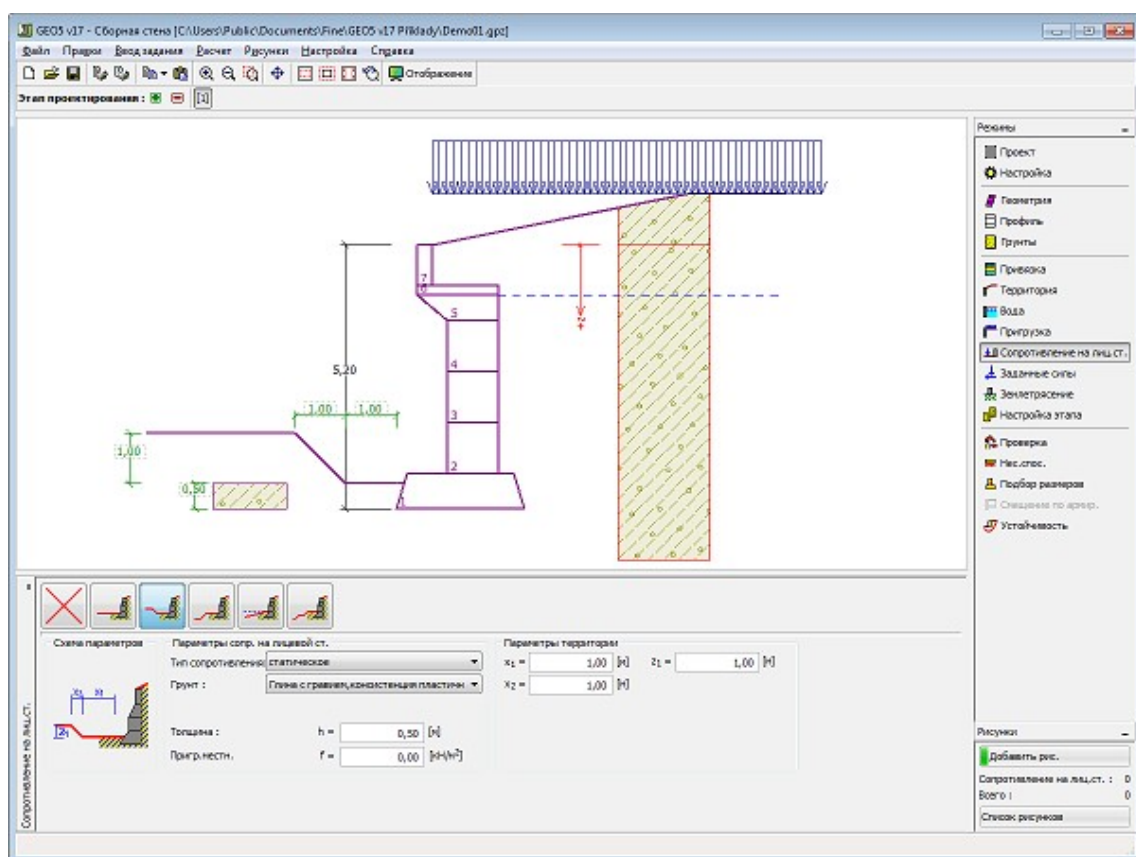
Рамка «Пригрузка»

## Сопротивление на лицевой стороне

В рамке **«Сопротивление на лицевой стороне»** нажатием кнопки выбирают форму (профиль) местности и параметры сопротивления на лицевой стороне стены. Выбранный рельеф с графической подсказкой (**«Схема параметров»**) задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактирование рельефа местности можно выполнять или в рамке путём ввода значений в поля ввода, или на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

В рамке в выпадающем списке выбирают тип сопротивления и грунт ( в списке находятся грунты, указанные в режиме **«Грунты»**). В рамку можно задавать величину пригрузки на местности перед стенкой, или толщину грунта над самой нижней точкой конструкции стены.

Сопротивление на лицевой стороне можно задать **статическим давлением**, **пассивным давлением** или **приведённым пассивным давлением**. Результирующая сила от приведённого пассивного давления принимается как равнодействующая сил от активного и пассивного давлений, умноженных на соответствующий коэффициент в соответствии с заданным типом приведённого пассивного давления.



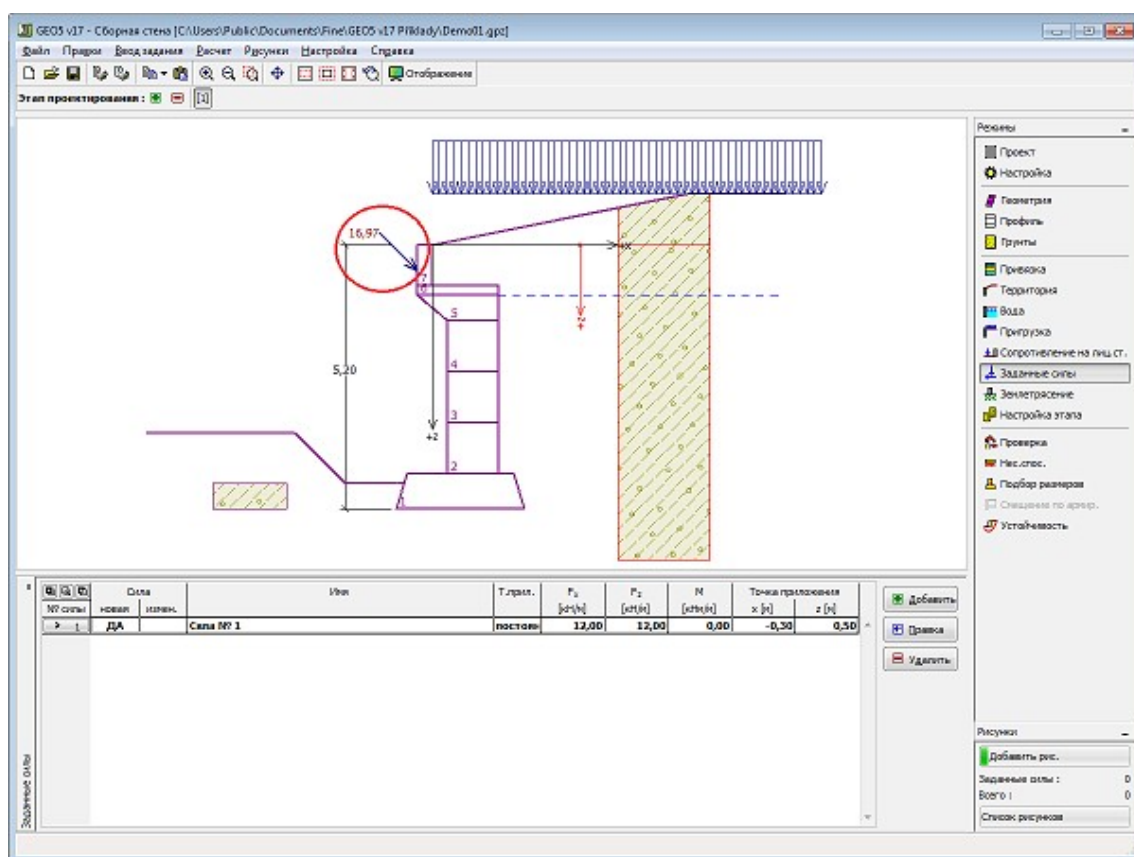
Рамка «Сопротивление на лицевой стороне»

## Заданные силы

В рамке «**Заданные силы**» есть таблица со списком заданных сил, действующих на конструкцию. Добавление сил выполняется в диалоговом окне «**Создать силу**». Редактирование заданных сил можно также выполнять на рабочем столе с помощью активных объектов.

**Заданными силами** разумеется дополнительная нагрузка действующая на конструкцию стены, ограждения, укрепленной (армированной) насыпи. Заданными силами можно моделировать, напр., заанкерование колёсоотбойных дорожных ограждений, удар транспортного средства, нагрузку от рекламных щитов (билбордов) и т.п. Программа заданные силы в расчёте дальше не меняет.

Наружную нагрузку приложенную к грунту или к поверхности территории нужно моделировать как **пригрузку**.



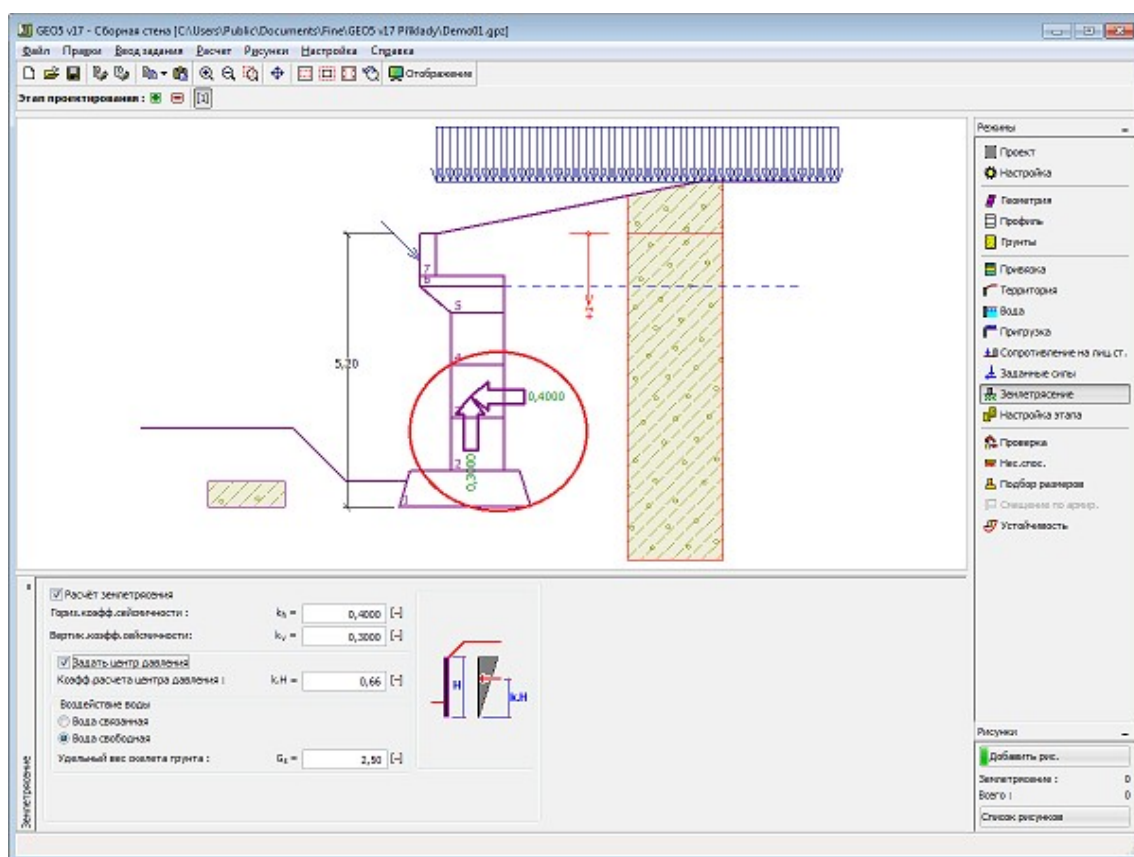
Рамка «Заданные силы»

## Землетрясение

В **рамку «Землетрясение»** задают параметры сеймики. Направления заданных сейсмических воздействий отображены на рабочем столе.

В случае отсутствия коэффициентов  $k_h$  и  $k_v$  полученных в результате измерений, проводят дополнительный расчёт способом указанным в **EN 1998-5**.

Расчёт давлений грунта с воздействием землетрясения описан в теоретической части подсказки «**Воздействие землетрясения**».



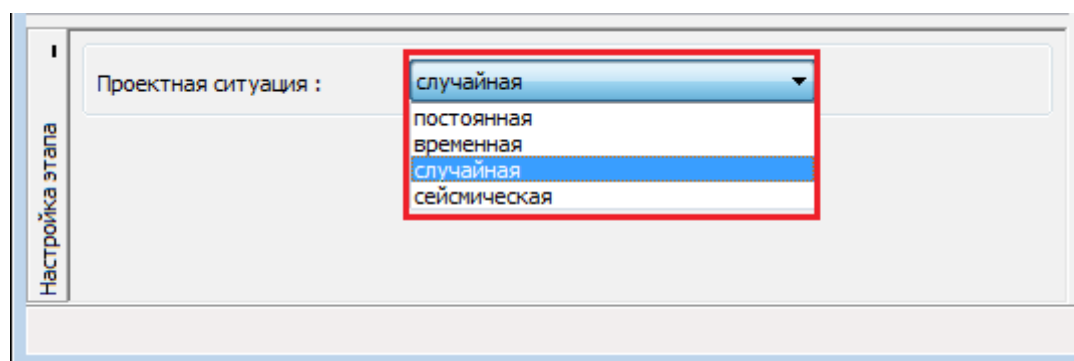
Рамка «Землетрясение»

## Настройка этапа

В **рамку «Настройка этапа»** задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования.

Внешний вид рамки зависит от выбора **методики проверки**.



Рамка «Настройка этапа»

## Проверка

В рамке «Проверка» отображены результаты расчёта. По одной задаче можно выполнить несколько расчётов.

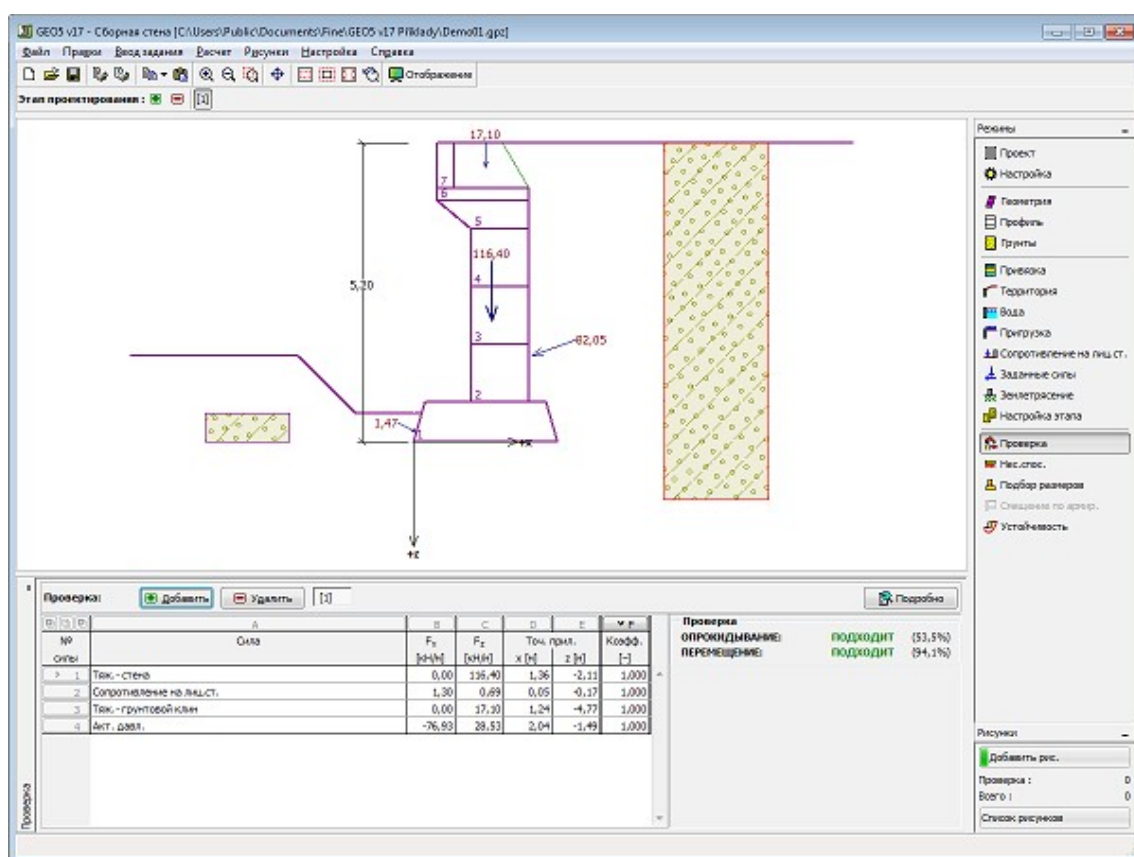
Вид рамки меняется в зависимости от выбора методики проверки:

- Расчёт по коэффициенту безопасности или предельным состояниям - в таблице в последней колонке указывают расчётные коэффициенты, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.
- Расчёт по EN 1997 - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «Комбинация нагрузок».
- Расчёт по LRFD - в таком случае последняя колонка не отображена.

Порядок собственного анализа стены описан в теоретической части подсказки.

Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. В правой части рамки отображается результат анализа стены на опрокидывание и перемещение. Кнопкой «Подробнее» открывается диалоговое окно с подробной выпиской результатов анализа.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».



Рамка «Проверка»



## Несущая способность

В рамке «Несущая способность» отображены результаты расчёта несущей способности грунта основания. Напряжение в подошве (принято постоянным) рассчитано на основе всех анализов выполненных в рамке «Проверка». В программу «Отдельные фундаменты» анализы будут переведены как сочетания нагрузок.

Рамка предлагает следующие опции расчётов:

- **Ввести несущую способность грунта основания**

В вводное поле вводят несущую способность грунта основания. Результаты анализа стены на эксцентриситет и несущую способность грунта основания отображены в правой части рамки. Кнопка «Подробно» открывает диалоговое окно с детальной выпиской результатов анализа несущей способности грунта.
- **Рассчитать несущую способность грунта основания в программе «Отдельные фундаменты»**

Кнопкой «Запуск программу Отдельные фундаменты» запустить программу «Отдельные фундаменты», в которой можно рассчитать несущую способность грунта основания, или осадку и поворот фундамента. После выполнения расчётов нажать кнопку «ОК» - результаты в т.ч. заданные изображения будут переданы в протокол расчёта программы «Гравитационная стена». Если не установлена программа «Отдельные фундаменты», то кнопка недоступна. Задают общую длину фундамента стены.
- **Рассчитать вертикальную несущую способность одиночной сваи с помощью программы «Сваи»**

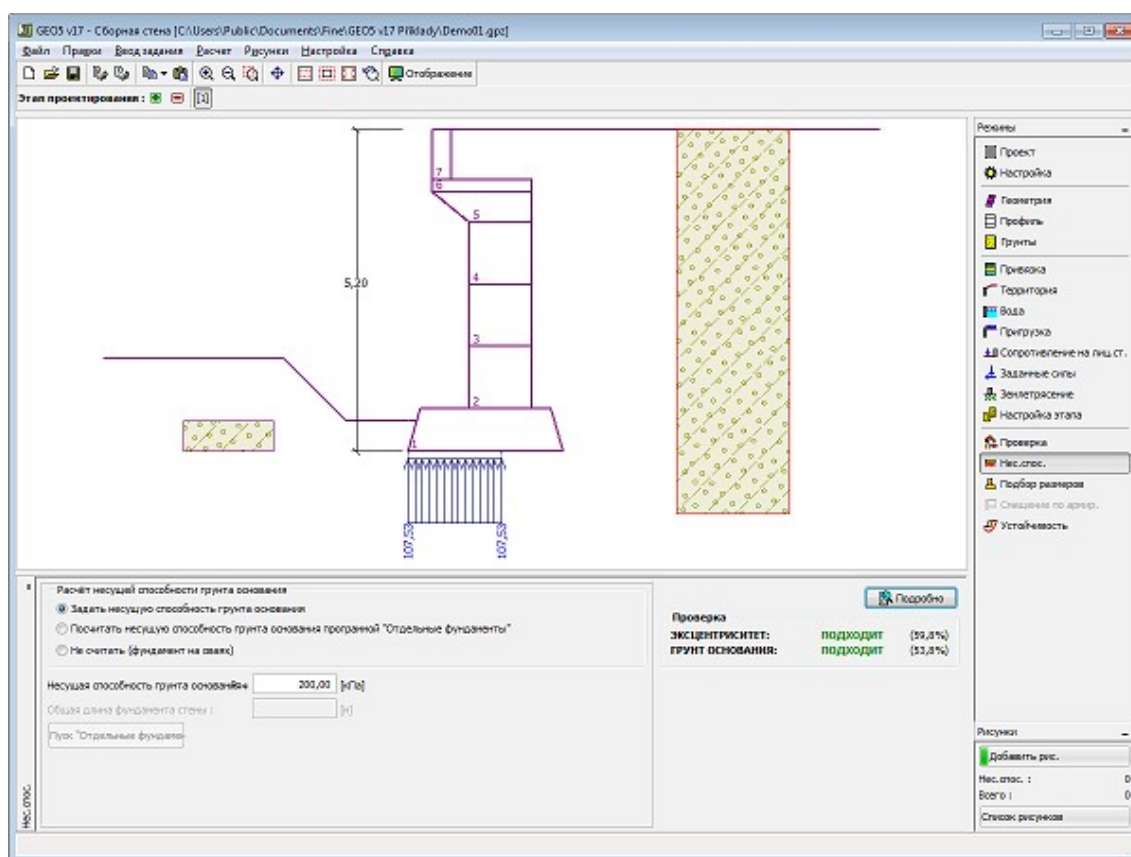
Процедура расчёта идентична расчёту несущей способности грунта основания с помощью программы «Отдельные фундаменты». Кнопка «Запуск программу Сваи» доступна в случае заложения стены на сваях (рамка «Заложение»). Задаём продольный шаг свай  $s$ .
- **Рассчитать вертикальную несущую способность куста свай с помощью программы «Куст свай»**

Процедура расчёта идентична расчёту несущей способности грунта основания с помощью программы «Отдельные фундаменты». Кнопка «Запуск программу Куст свай» доступна в случае заложения стены на сваях (рамка «Заложение»). Задаём продольный шаг свай  $s$ , общее количество рядов свай  $n$  и длина нагружения  $l$ .
- **Не проводить расчёт (фундамент на сваях)**

Не производится расчёт несущей способности грунта основания.

Программа позволяет задать форму напряжения в грунте основания.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».



Рамка «Несущая способность»

## Подбор размеров

В **рамке «Подбор размеров»** можно проверить швы между отдельными блоками стены. В поле **«Шов над блоком №»** выбираем соответствующий шов и программа выполняет проверочный расчёт. Проверку выполняют на **опрокидывание** и **смещение** аналогично к проверке **стены в целом** - трение между блоками и сцепление материала блоков задают в рамку **«Геометрия»**.

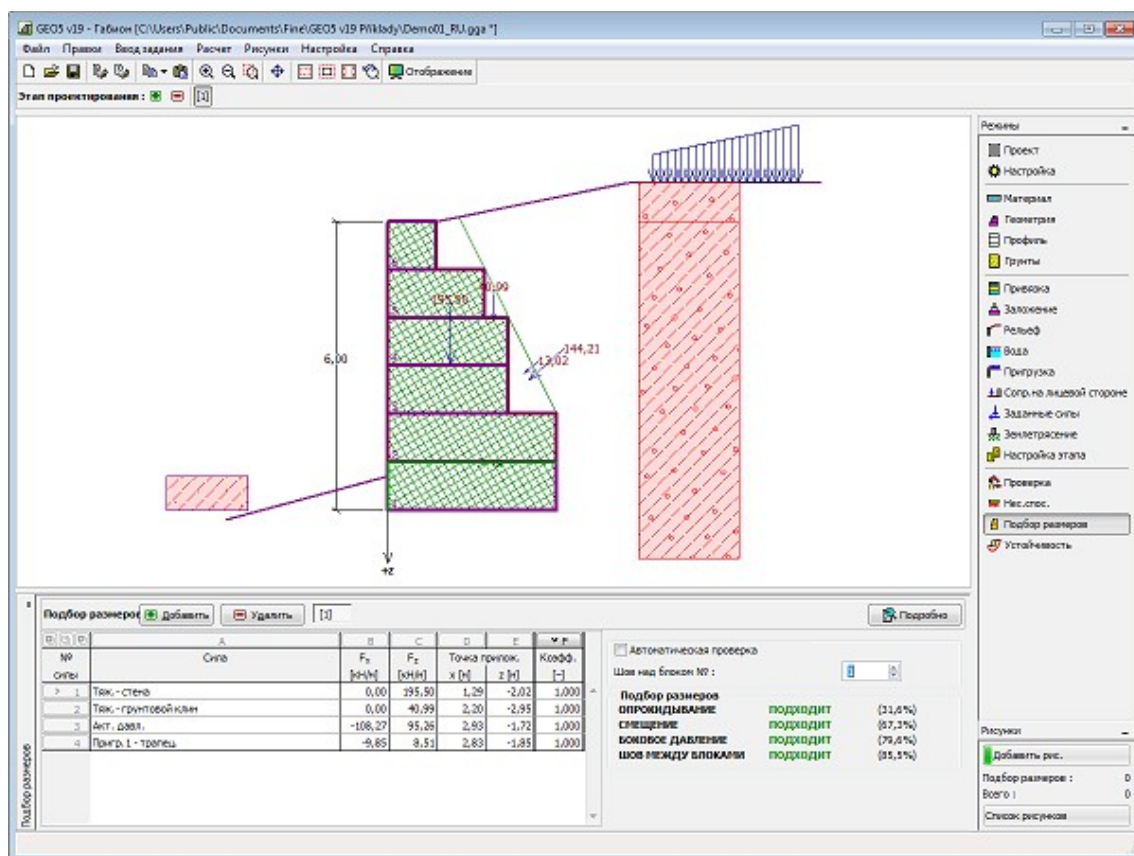
Вид рамки меняется в зависимости от выбора **методики проверки**:

- Расчёт по **коэффициенту безопасности** или **предельным состояниям** - в таблице в последней колонке указывают **расчётные коэффициенты**, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.
- Расчёт по EN 1997** - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции **«Комбинация нагрузок»**.
- Расчёт по LRFD** - в таком случае последняя колонка не отображена.

В рамке можно выполнять **несколько расчётов** по разным сечениям, можно вводить различные **коэффициенты расчёта**. Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. Кнопка **«Подробно»** открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов подбора размеров.



Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «[Настройка рисования](#)».



Рамка «Подбор размеров»

## Смещение по арматуре

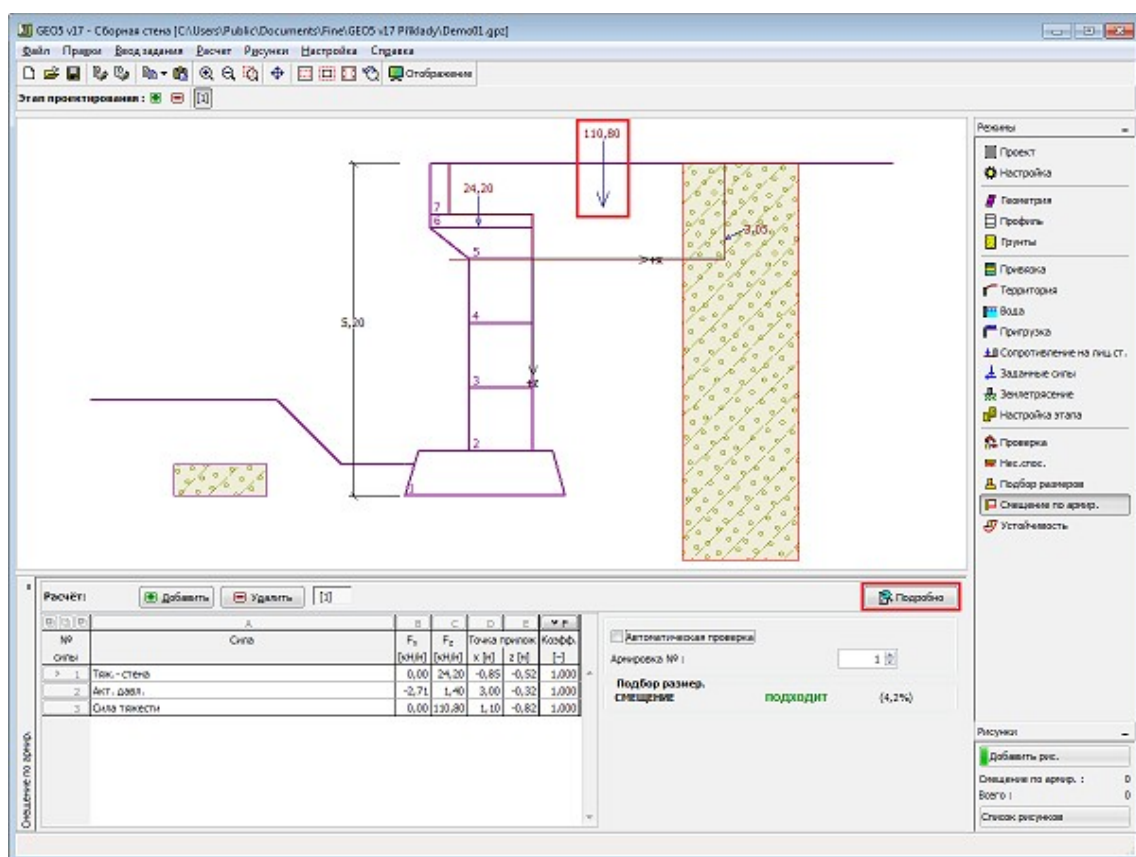
В [рамке](#) проверяется предельное состояние смещения по геоарматуре - т.е. рамка доступна только на тех [этапах](#), на которых задана геоарматура.

В окно вводят номер рассматриваемой геоарматуры - на рабочий стол изображаются силы, входящие в проверку и форма сдвигающегося блока. Рассчитанные силы показаны в [таблице](#).

Рамка позволяет выполнить [несколько расчётов](#) для различных армировок. Можно задавать даже разные [расчётные коэффициенты](#) отдельных сил. Рассчитанные силы изображаются на рабочем столе и обновляются синхронно при любом изменении данных и настройки в рамке. Кнопка «[Подробнее](#)» открывает диалоговое окно, в котором находится подробная выписка результатов подбора размеров.

Проверку можно выполнять в соответствии с настройкой в закладке «[Расчёты стен](#)» по коэффициентам запаса или по теории предельных состояний. Порядок расчёта описан [здесь](#).

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «[Настройка рисования](#)».

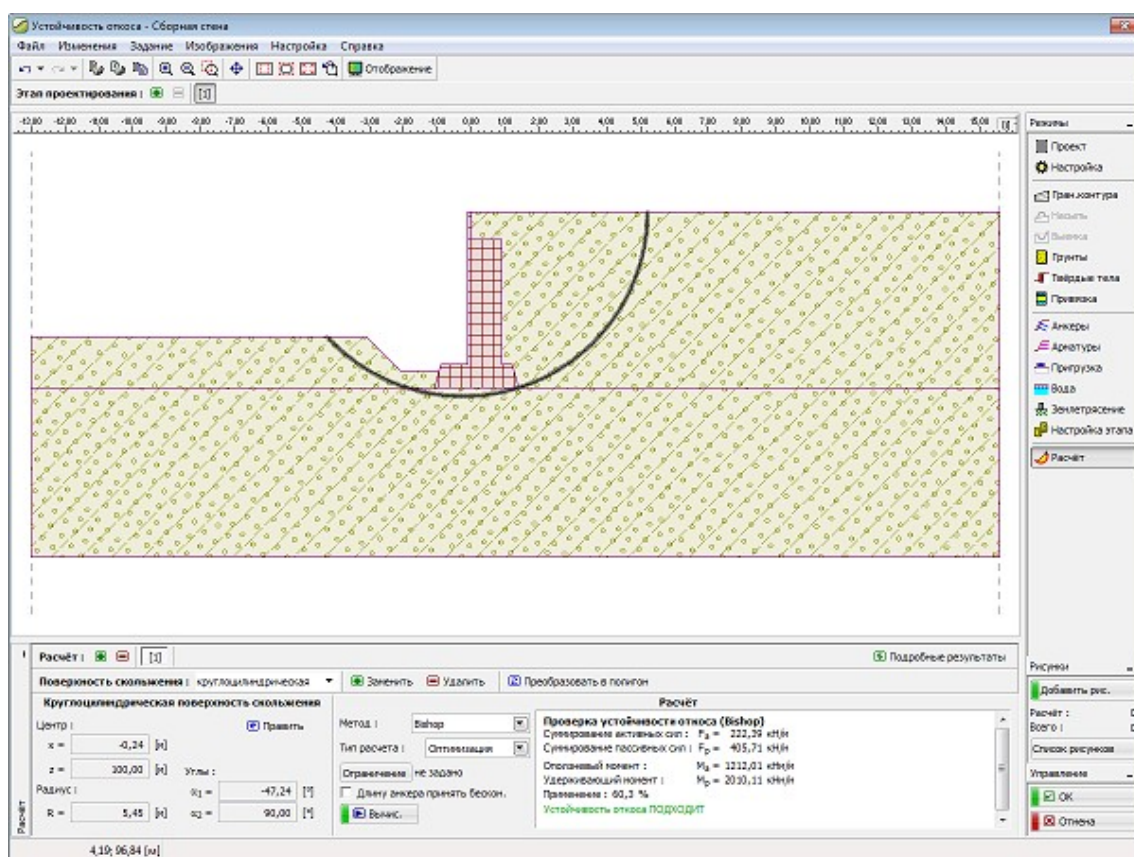


Рамка «Внутренняя устойчивость»

## Устойчивость

Нажатием на кнопку **«Устойчивость»** запускаются программа **«Устойчивость откоса»** и в программу передаются все необходимые данные. В программе Устойчивость откоса можно анализировать общую устойчивость конструкции стены. Кнопка недоступна, если программа **«Устойчивость откоса»** не установлена.

После выполнения расчёта нажатием кнопки **«ОК»** передаются результаты в т.ч. рисунки в протокол расчёта в программе **«Сборная стена»**.



Рамка «Устойчивость»

## Программа Армированная стена

Программа предназначена для проектирования и анализа армированных стен из каменной кладки по Еврокоду EN 1996 (EC 6), или EN 1992 (EC 2).

**Справка для программы «Армированная стена» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Геометрия	Типы блоков	Материал	Профиль	Грунты
Привязка	Заложение	Засыпка	Рельеф	Вода	Пригрузка	Сопротивление на лицевой стороне
Заданные силы	Землетрясение	Анкерование фундамента	Настройка этапа	Проверка	Несущая способность	Подбор размеров
Устойчивость						

- Стандарты и методы расчёта
- Теория расчётов в программе «**Армированная стена**»:
 

Напряжение в массиве грунта	Давление грунта	Анализ опор	Анализ устойчивости основания	Измерение бетонных конструкций
-----------------------------	-----------------	-------------	-------------------------------	--------------------------------
- Справка относительно результатов на выходе
- Информация общего характера о работе в пользовательской среде программ GEO5
- Общие операции для всех программ

## Проект

В рамку «**Проект**» задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой текстовой и графической информации.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (метрическую / дюймовую). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «Геобуфера».

Рамка «Проект»

## Настройка

В рамку «**Настройка**» предназначена для ввода основных «**Настроек**» программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой «**Выбрать настройки**» выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из «**Перечня настроек**».

Кнопка «**Администратор настройки**» открывает диалоговое окно «**Администратор**

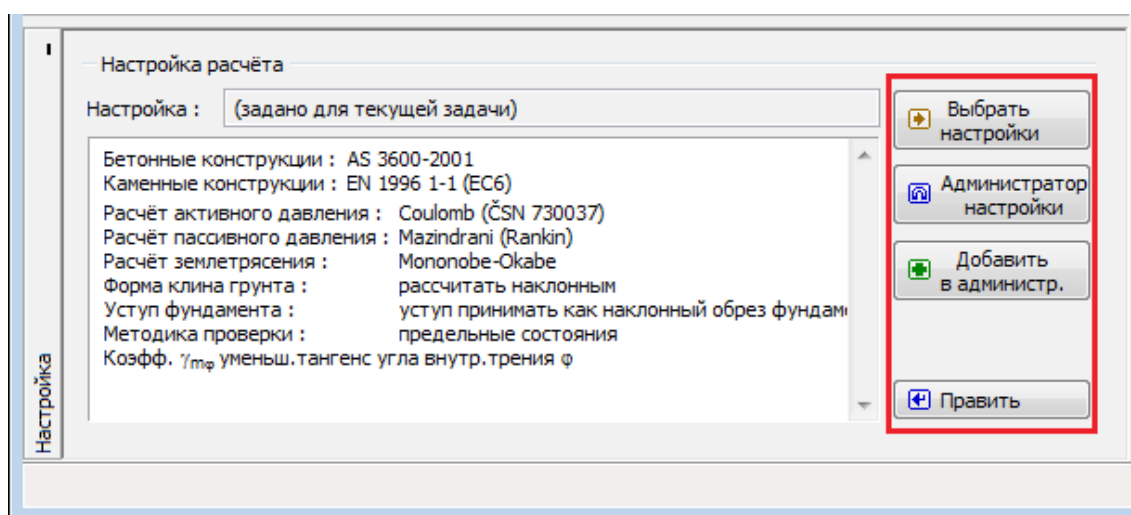
**настройки**», в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют, которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

Кнопка **«Добавить в администратор»** позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка **«Править»** позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в **«Задано для текущей задачи»**. После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку **«Добавить в администратор»** и добавляем настройку в **«Администратор настройки»**.

Настройка **«Задано для текущей задачи»** обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладках **«Материалы и стандарты»**, **«Расчёт стен»**.



Рамка «Настройка»

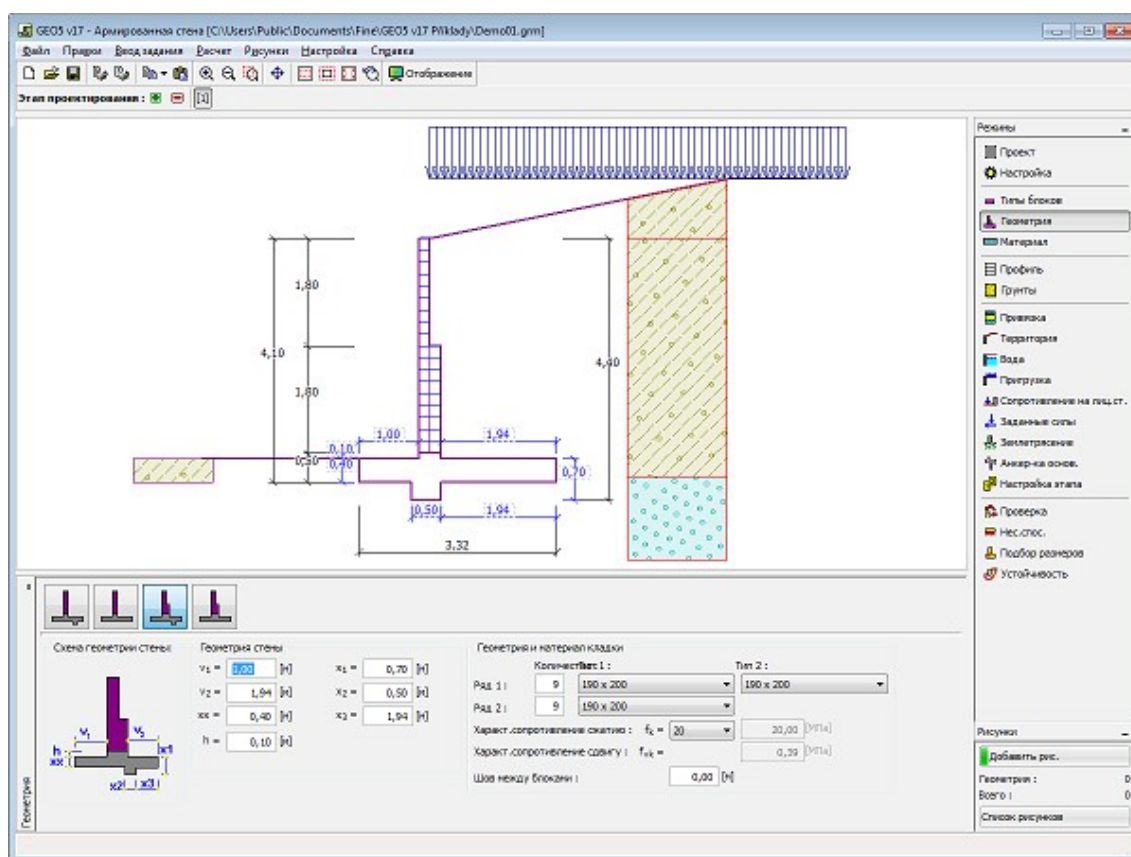
## Геометрия

В **рамке «Геометрия»** нажатием кнопки выбирают форму угловой стены. Форма с графической подсказкой (**«Схема геометрии стены»**) задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактировать форму стены можно или в рамке, вводя значения в поля ввода, или на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

В соответствии с выбранной формой стены, в часть рамки **«Геометрия кладки»** задают количество и размеры блоков в отдельных рядах, можно ввести и толщину вертикального шва между блоками. Далее задают нормированную прочность кладки в сжатии - т.е. основной входной параметр для проверки несущей способности армированной кладки (по **EN 1996-1-1** или **AS 3700**).

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.





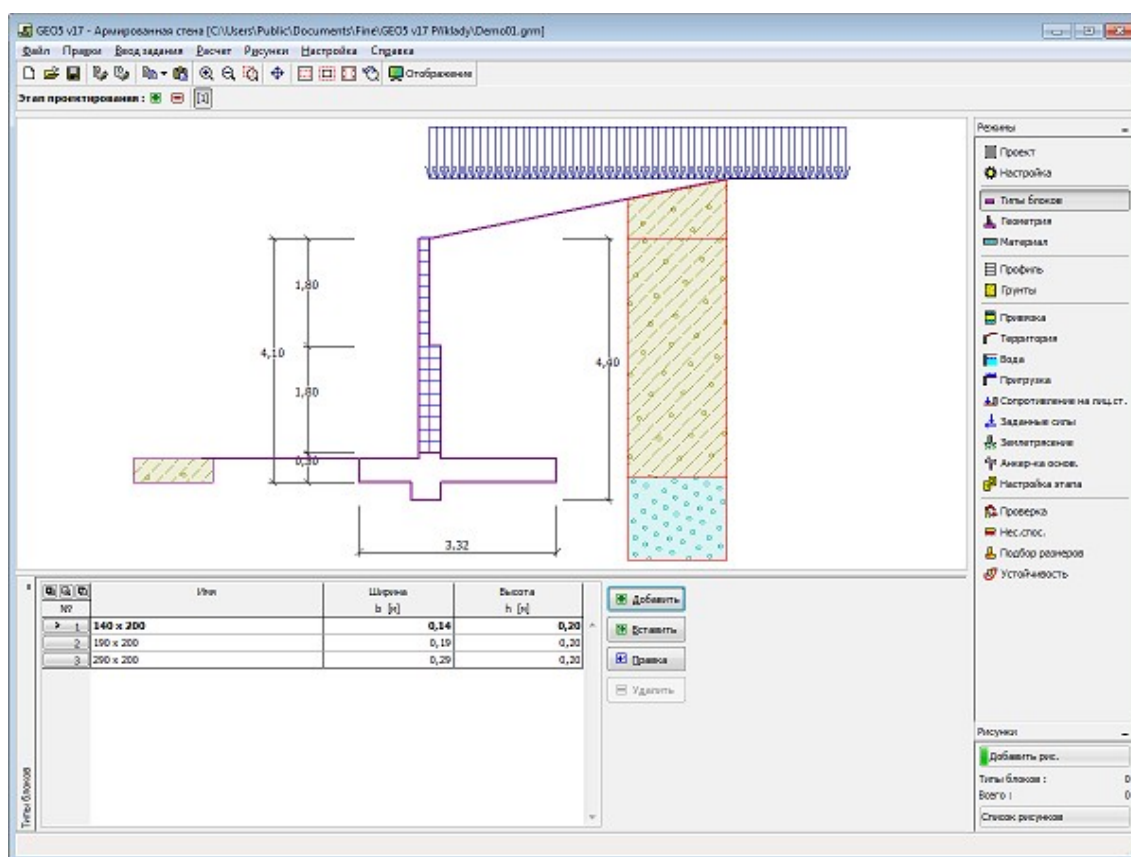
Рамка «Геометрия»

## Типы блоков

В рамке «**Типы блоков**» находится таблица со списком заданных типов блоков. **Добавление** (правка) блоков происходит в диалоговом окне «**Создать тип блока (Правка типа блока)**».

В диалоговом окне задают **геометрию блока** (высота, ширина).

Программа позволяет вставить новый блок между уже имеющиеся заданные блоки конструкции. Вставка блока производится в диалоговом окне «**Вставленный тип блока**», идентичном с диалоговым окном «**Создать тип блока**». Новый вставленный блок строится под выбранный текущий блок конструкции в таблице.



Рамка «Типы блоков»

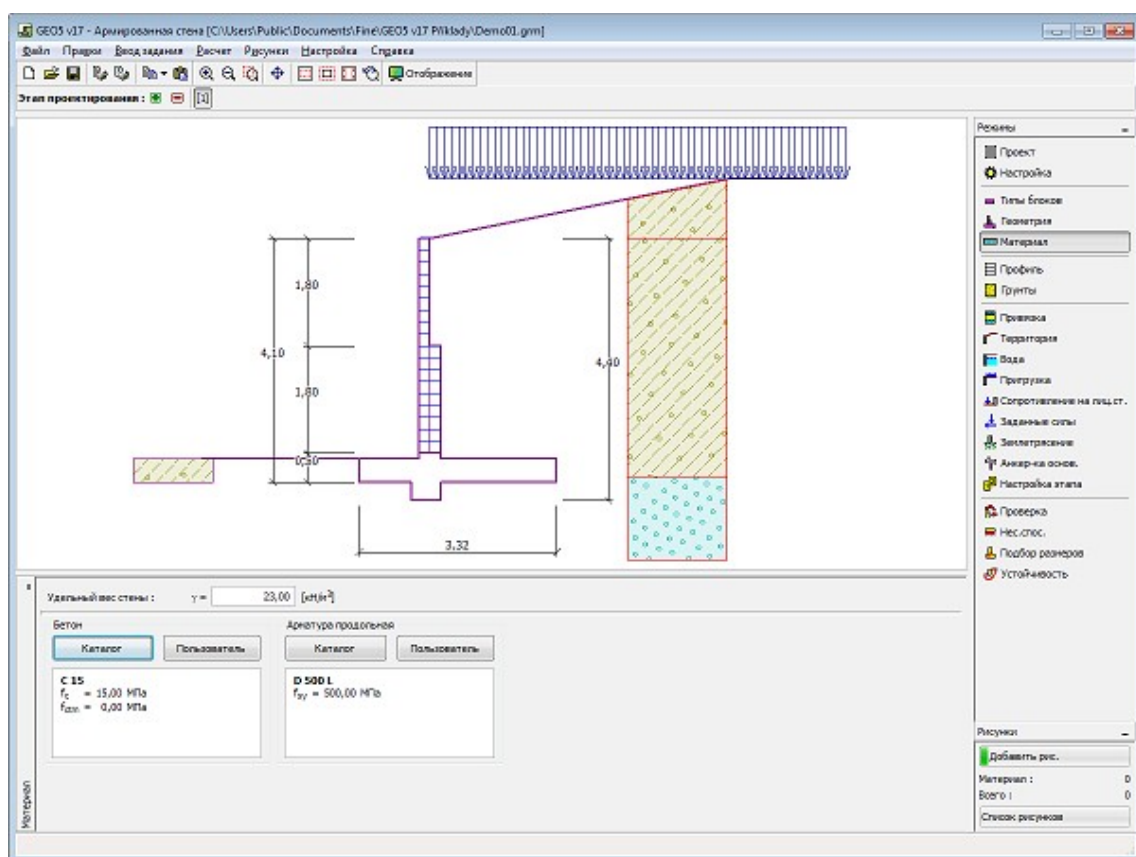
## Материал

В **рамке «Материал»** выбирают характеристики используемого бетона и продольной стальной армировки.

При выборе материала можно использовать две опции:

- кнопкой **«Каталог»** открыть диалоговое окно **«Каталог материалов»** (бетона или стальной армировки) и вручную ввести нужные характеристики материала
- кнопкой **«Пользователь»** открыть диалоговое окно **«Редактор материала - Бетон»** (для бетона) или диалоговое окно **«Редактор материала - Арматурная сталь»** (для продольной стальной арматуры) и ввести нужные характеристики материала вручную

Содержимое каталогов меняется в соответствии с выбранным стандартом по проектированию бетонных конструкций в закладке **«Материалы и стандарты»**. В поле ввода в верхней части рамки задают объёмную силу тяжести стены.



Рамка «Материал»

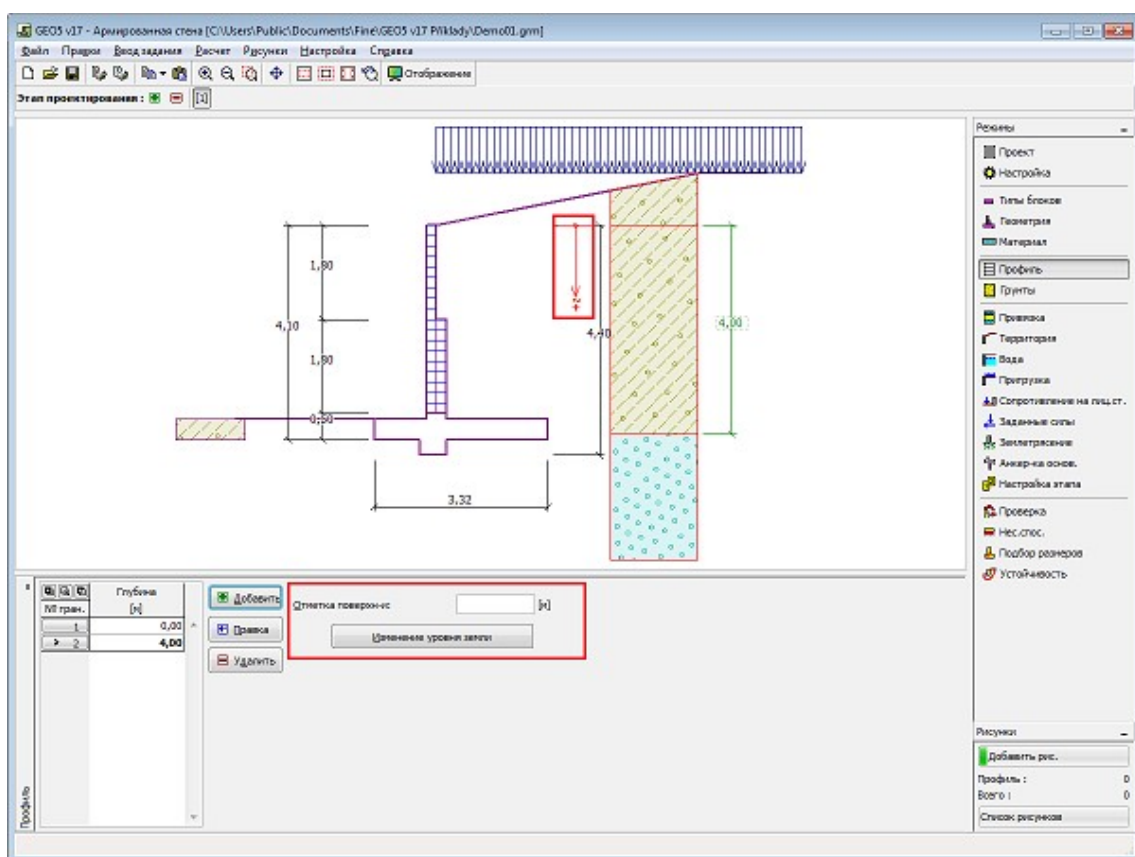
## Профиль

В рамке «Профиль» есть таблица со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи активных отметок (размерных чисел).

Добавление границы выполняется в диалоговом окне «Создать границу контура». Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне «Изменение уровня земли» и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы «Рельеф».





Рамка «Профиль»

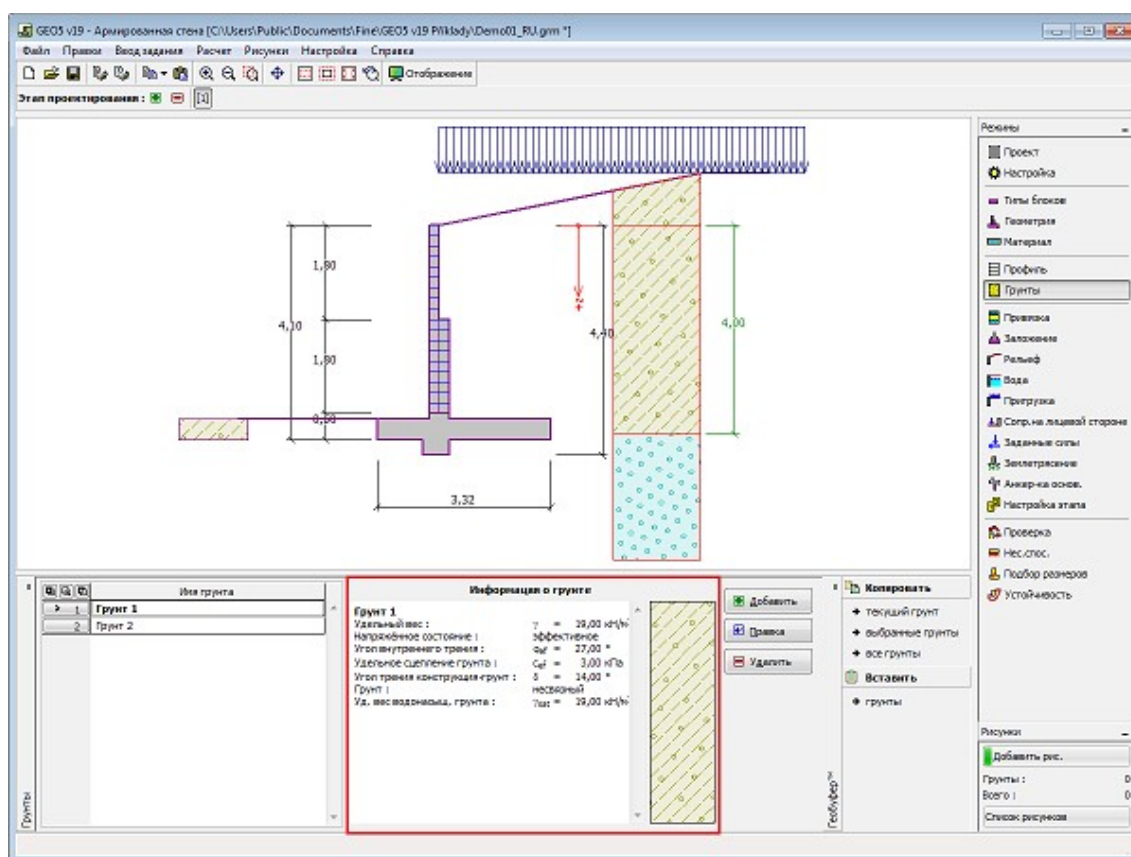
## Грунты

В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. В случае, что в таблице выбрано несколько грунтов, данные об отдельных грунтах расположены в последовательном порядке.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Базовые данные», «Статическое давление грунта» и «Подъёмная сила».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать **базу данных грунтов** по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Угол внутреннего трения грунта и коэффициент сцепления задают **эффективным** или **полным** в зависимости от установки в выпадающем списке «**Напряжённость**». Выполнять расчёт в **эффективном или полном напряжённом** состоянии зависит прежде всего от типа грунта, характера нагрузки, долговечности конструкции и водного режима.

Для **эффективного напряжённого состояния** задают **угол трения между грунтом и конструкцией**, который зависит от материала конструкции и типа грунта. Ориентировочные значения угла трения между конструкцией и грунтом приводит **таблица рекомендуемых значений**.

Для **полного (тотального) напряжённого состояния** ещё задают **сцепление грунта со стеной строительной конструкции**  $a$ .

Соответствующая теория подробно описана в разделе «**Давление грунта**».

The screenshot shows a software dialog box titled "Добавление новых грунтов" (Adding new soils). It has a tabbed interface with the "Базовые данные" (Basic data) tab selected and highlighted with a red rectangle. The dialog is organized into several sections:

- Идентификация** (Identification): A text field for "Имя:" (Name) containing "Глина с гравием, консистенция полутвёрдая" (Clay with gravel, semi-rigid consistency).
- Базовые данные** (Basic data):
  - Удельный вес** (Specific weight):  $\gamma = 19,00$  [кН/м<sup>3</sup>], with a calculated value of 19,0.
  - Напряжённое состояние** (Stress state): A dropdown menu set to "эффективное" (effective).
  - Угол внутреннего трения** (Angle of internal friction):  $\phi_{ef} = 29,00$  [°], with a range of 26-32.
  - Удельное сцепление грунта** (Soil cohesion):  $c_{ef} = 8,00$  [кПа], with a range of 4-12.
  - Угол трения конструкция-грунт** (Friction angle structure-soil):  $\delta = 17,00$  [°].
- Статическое давление** (Static pressure): A dropdown menu set to "несвязный" (non-cohesive).
- Противодавление** (Counterpressure): A dropdown menu set to "стандартный" (standard).
- Удельный вес водонасыщенный** (Saturated specific weight):  $\gamma_{sat} = 19,00$  [кН/м<sup>3</sup>].

On the right side of the dialog, there are three additional sections:

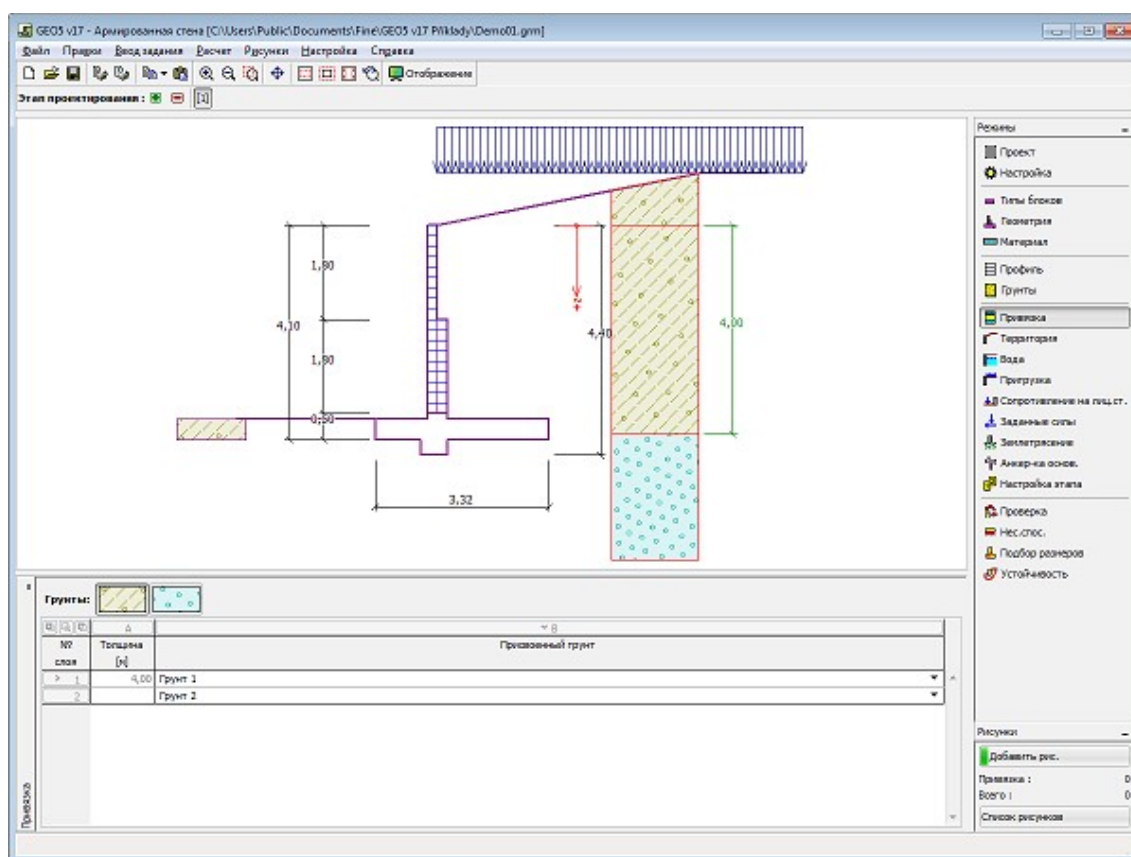
- Отображение** (Display):
  - Цвет** (Color): A color selection bar.
  - Категория узоров** (Pattern category): A dropdown menu set to "GEO".
  - Узор** (Pattern): A preview of a pattern labeled "Суглинок с гравием" (Silt with gravel).
- Классификация** (Classification): Buttons for "Определи" (Determine), "Стереть" (Erase), "Добавить" (Add), and "Отмена" (Cancel).

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В рамке «Привязка» есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).



Рамка «Привязка»

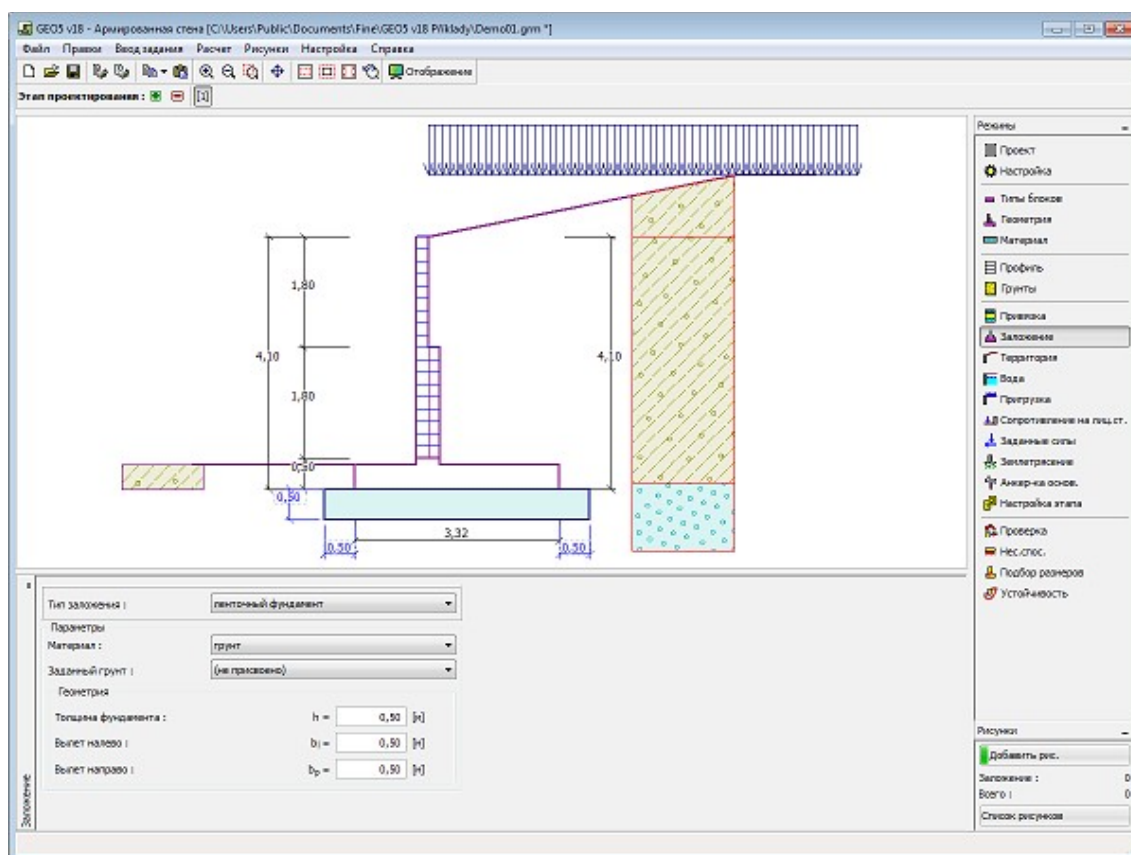
## Заложение

В **рамку «Заложение»** вводим тип заложения стены. Программа позволяет задавать следующие типы заложения стены:

- **грунт - геологический разрез** - стена заложена в грунте **присвоенном** из геологического разреза, который задаётся в рамке **«Профиль»**
- **грунт - ввести параметры контакта** - задаём параметры контакта подошвы фундамента конструкции с грунтом. При выборе **«задать угол трения фундамент-грунт»** в программу вводим угол трения между фундаментом и грунтом  $\psi$  [°]. При выборе **«задать коэффициент трения»** в программу вводим коэффициент трения  $\mu$  [-]. В обоих случаях задаём сцепление между фундаментом и грунтом  $a$  [кПа].
- **ленточный фундамент** - материалом для ленточного фундамента является **грунт** (задан в рамке **«Грунты»**) или бетон - вводим **удельный вес материала фундамента**  $\gamma$  и **параметры контакта стена-фундамент** (коэффициент трения  $f$ , сцепление  $c$ , дополнительное сопротивление  $F$ )
- **свайный фундамент** - заложение стены на одном ряде свай или на двух рядах свай

**Ленточный фундамент** и **свайный фундамент** для заложения стены можно применять только при условии, что в рамке **«Геометрия»** задан тип стены с **ровной подошвой фундамента без уступа**. Геометрию заложения стены (**ленточный фундамент**, **свайный фундамент**) можно редактировать в рамке путём ввода соответствующих значений в поля ввода или на рабочем столе с помощью **активных отметок**.

Исходные данные заданные в эту рамку влияют на **расчёт стен** (проверка на перемещение) и дальше на **несущую способность грунта основания**.

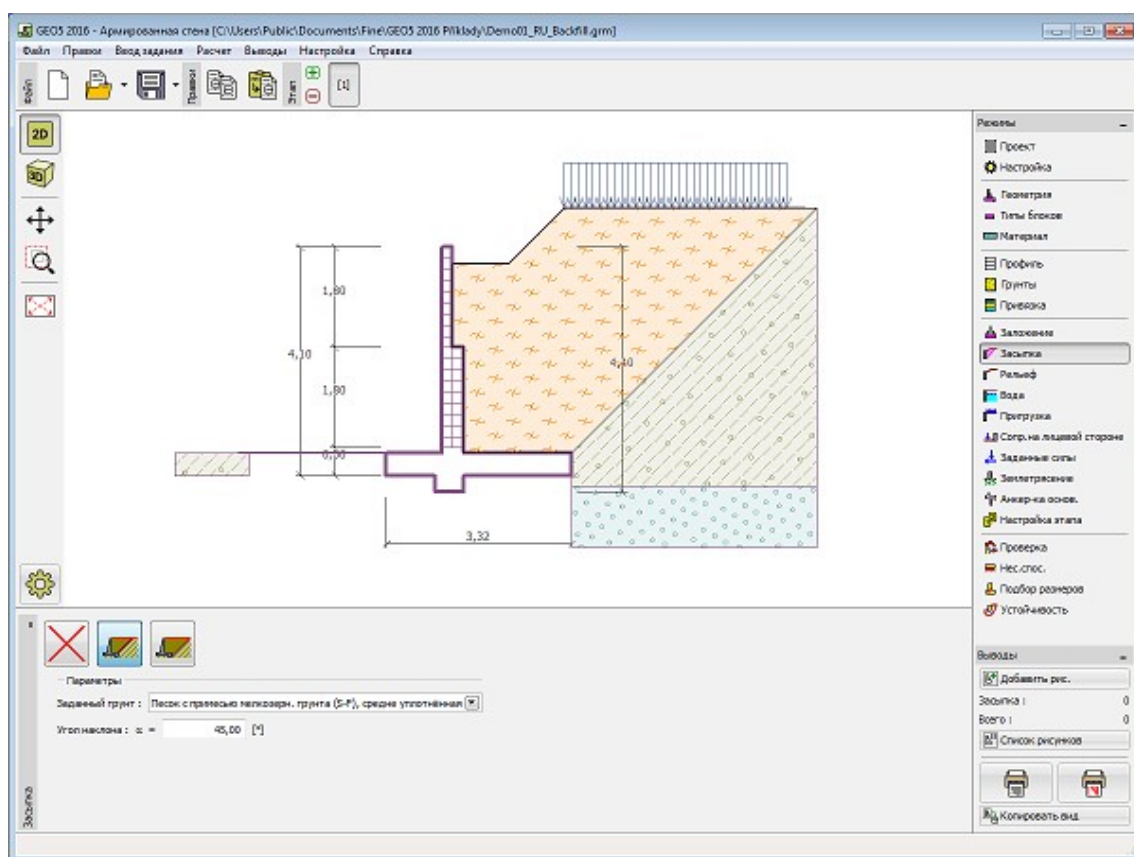


Рамка «Заложение»

## Засыпка

В **рамке «Засыпка»** нажатием кнопки выбираем вид засыпки.

В выпадающем списке задаём грунт присвоенный засыпке (его параметры определяются в рамке «**Грунты**»). Далее задаём уклон засыпки.



Рамка «Засыпка»

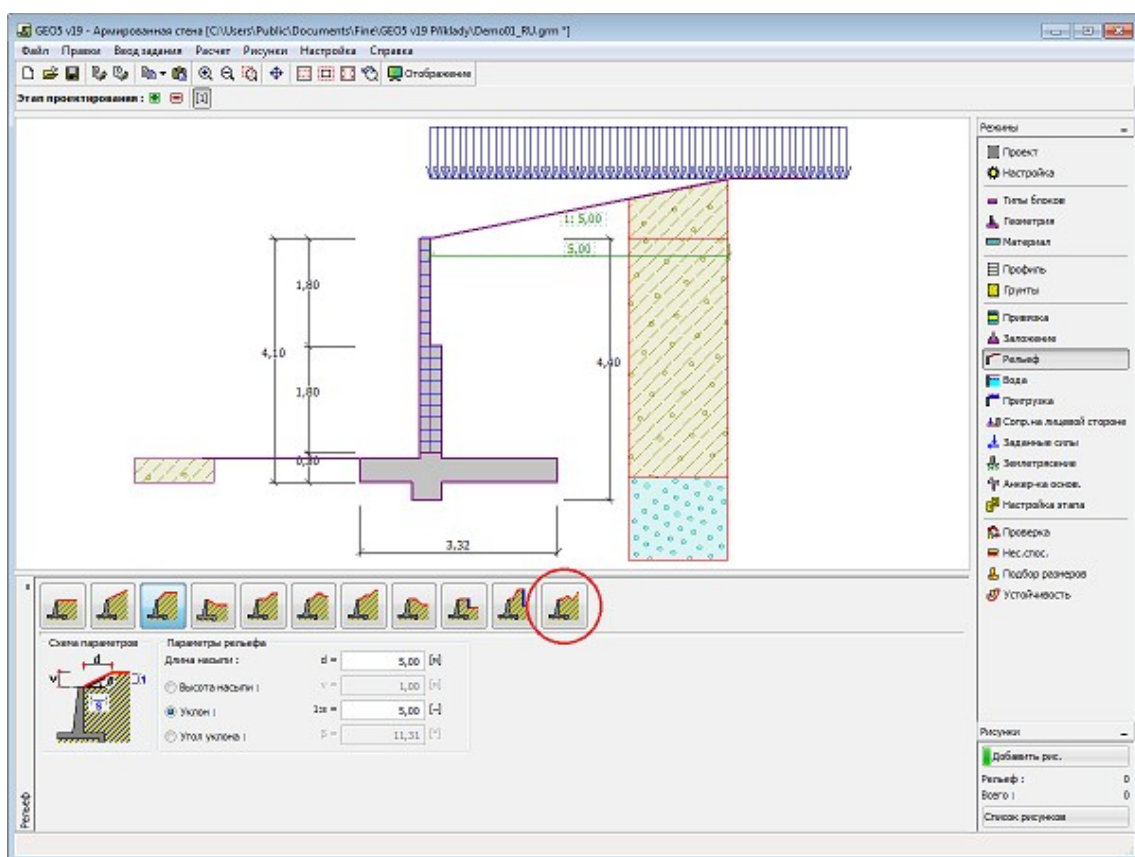
## Рельеф

В **рамке «Рельеф»** нажатием кнопки выбираем форму рельефа. Выбранная форма с графической подсказкой («**Схема параметров**») заданных значений отображается в левой части рамки. Редактировать форму рельефа можно - или в рамке (вводим значения в поля ввода), или на рабочем столе (при помощи **активных отметок**).

Последний пункт выбора в меню - это общая форма рельефа: в рамке имеется таблица со списком пунктов (точек) на местности. Первый пункт рельефа с координатой [0,0] лежит на верхней точке конструкции.

Расчёт давлений грунта в случае наклонного участка местности описан в теоретической части подсказки «**Распределение давления грунта при пересечённой местности**».





Рамка «Рельеф»

## Вода

В **рамке «Вода»** нажатием кнопки выбираем тип воды. Выбранный тип с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Параметры воды ( $h_1$ ,  $h_2$ ...) можно редактировать или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

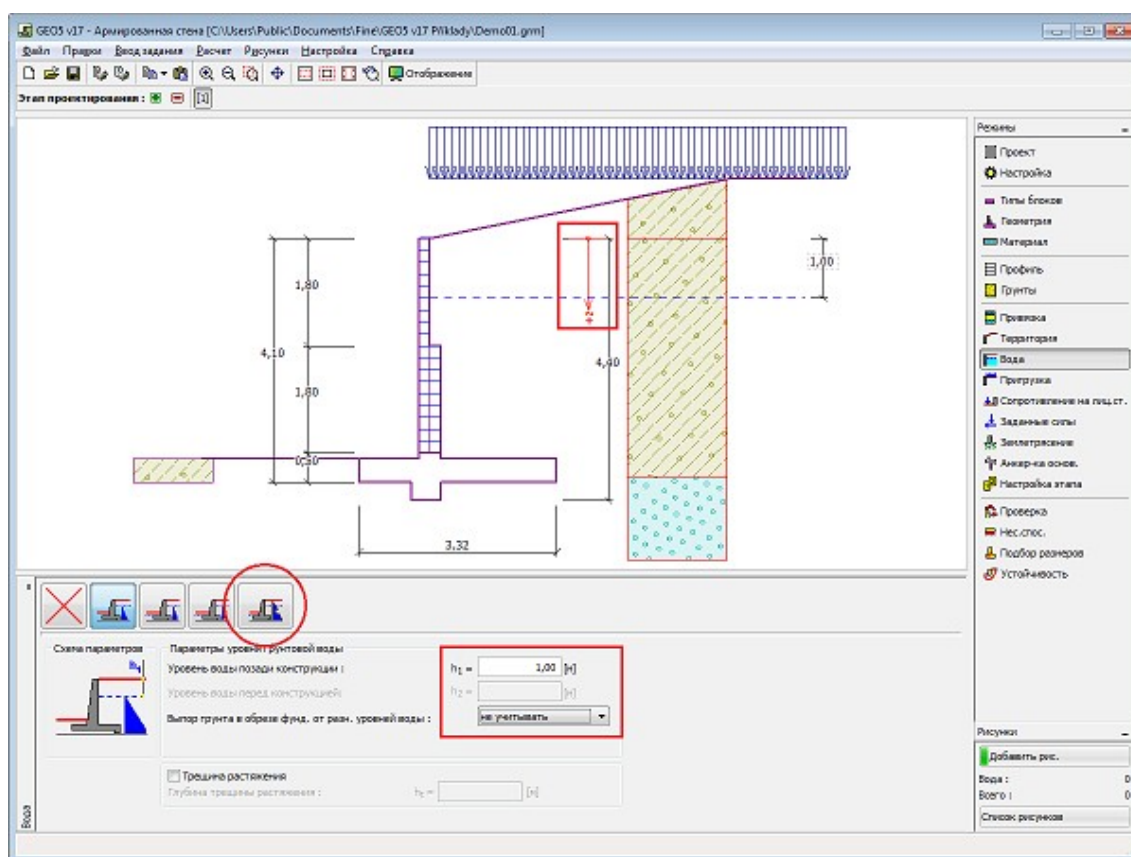
В выпадающем списке отмечаем, предполагается ли воздействие взвешивающей силы воды от разных уровней в подошве. Она может быть **линейной**, **параболической** или вообще не принимается во внимание. Взвешивающая сила в подошве от различной высоты уровней воды принимается как отдельная сила в анализе стены.

Последний выбор - это ручной ввод порового давления перед и за конструкцией. В рамке появляются две закладки «**Перед конструкцией**» и «**За конструкцией**» с таблицами. В **таблицы** вводят значения порового давления перед или за конструкцией на глубине « $z$ » (см. ось  $z$ )

Высоту уровня воды можно задавать также **над конструкцией** или над грунтовым профилем - в таком случае значению глубины воды присваивается отрицательный знак.

Расчёт давлений грунта с воздействием воды описан в теоретической части подсказки «**Воздействие воды**».

Программа позволяет задавать глубину **трещин растяжения** заполненных водой.



Рамка «Вода»

## Пригрузка

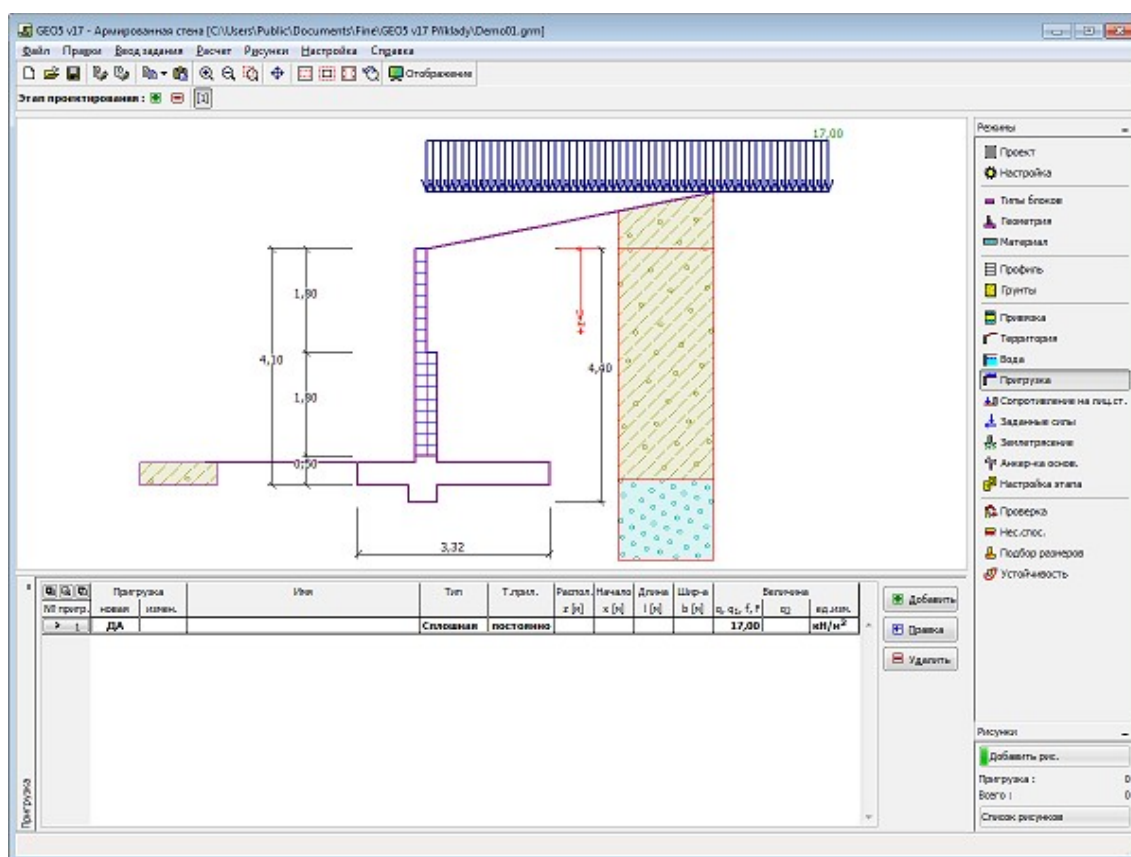
В рамке «**Пригрузка**» есть таблица со списком заданных пригрузок. Добавление пригрузки выполняется в диалоговом окне «**Создать пригрузку**». Редактировать заданную пригрузку можно также на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

Вместе с вводом пригрузки на глубине нужно задать координату  $z$  от верхней точки конструкции, с положительным знаком в глубину. В случае, что пригрузка задана вне пределов местности, программа перед выполнением расчёта даст сообщение об ошибке.

Пригрузку можно задавать **постоянной, переменной** или **случайной**. В зависимости от типа воздействия пригрузки результирующее воздействие умножается на соответствующий расчётный коэффициент. Случайная пригрузка с положительным воздействием в расчёт не принимается.

Расчёт давлений грунта от пригрузки описан в теоретической части справки «**Воздействие пригрузки**».





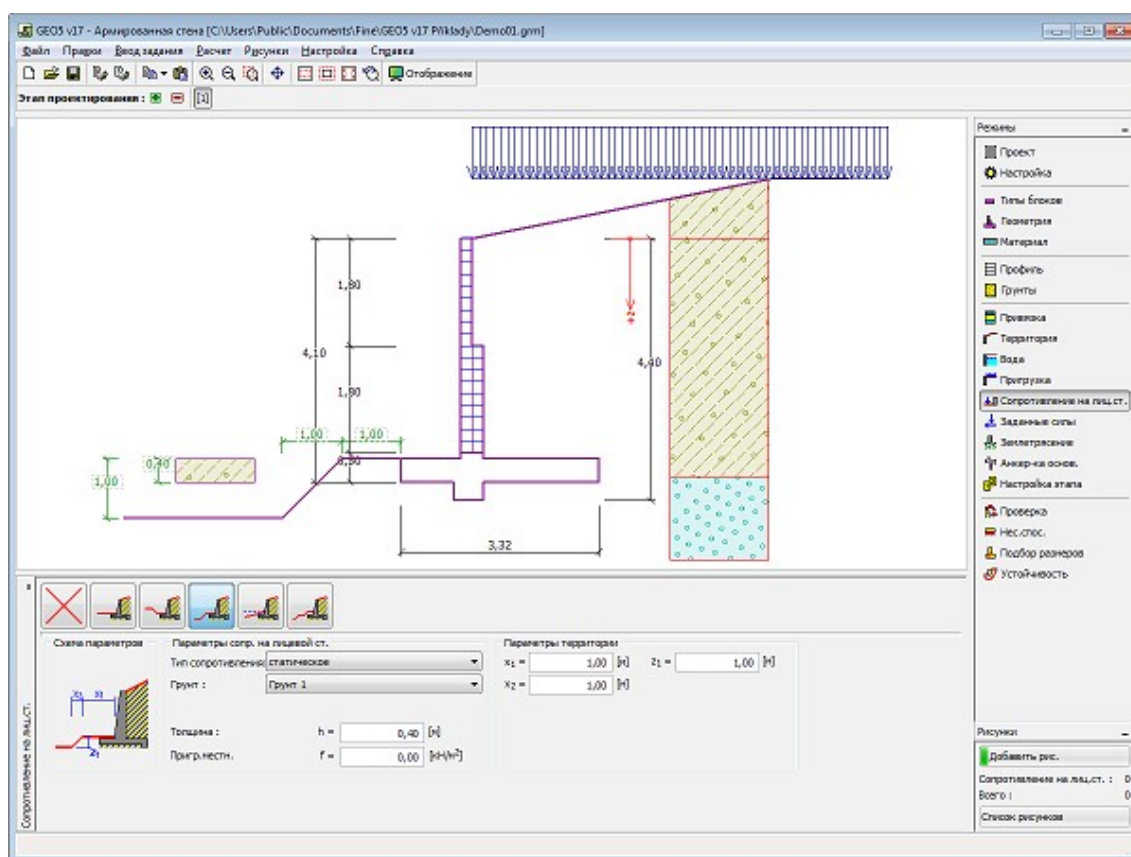
Frame «Пригрузка»

## Сопротивление на лицевой стороне

В **рамке «Сопротивление на лицевой стороне»** нажатием кнопки выбирают форму (профиль) местности и параметры сопротивления на лицевой стороне стены. Выбранный рельеф с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактирование рельефа местности можно выполнять или в рамке путём ввода значений в поля ввода, или на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

В рамке в выпадающем списке выбирают тип сопротивления и грунт ( в списке находятся грунты, указанные в режиме «**Грунты**»). В рамку можно задавать величину пригрузки на местности перед стенкой, или толщину грунта над самой нижней точкой конструкции стены.

Сопротивление на лицевой стороне можно задать **статическим давлением**, **пассивным давлением** или **приведённым пассивным давлением**. Результирующая сила от приведённого пассивного давления принимается как равнодействующая сил от активного и пассивного давлений, умноженных на соответствующий коэффициент в соответствии с заданным типом приведённого пассивного давления.



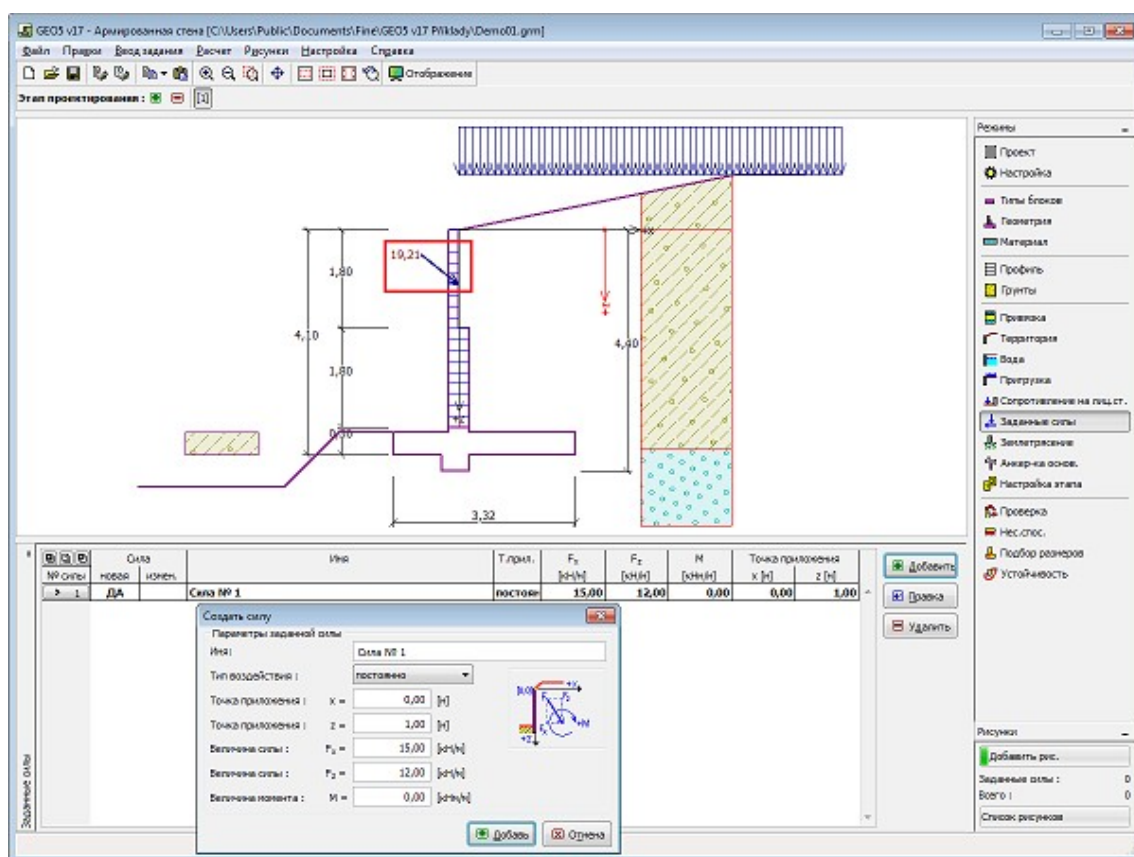
Рамка «Сопротивление на лицевой стороне»

## Заданные силы

В рамке «Заданные силы» есть таблица со списком заданных сил, действующих на конструкцию. Добавление сил выполняется в диалоговом окне «Создать силу». Редактирование заданных сил можно также выполнять на рабочем столе с помощью активных объектов.

**Заданными силами** разумеется дополнительная нагрузка действующая на конструкцию стены, ограждения, укрепленной (армированной) насыпи. Заданными силами можно моделировать, напр., заанкерование колёсоотбойных дорожных ограждений, удар транспортного средства, нагрузку от рекламных щитов (билбордов) и т.п. Программа заданные силы в расчёте дальше не меняет.

Наружную нагрузку приложенную к грунту или к поверхности территории нужно моделировать как **пригрузку**.



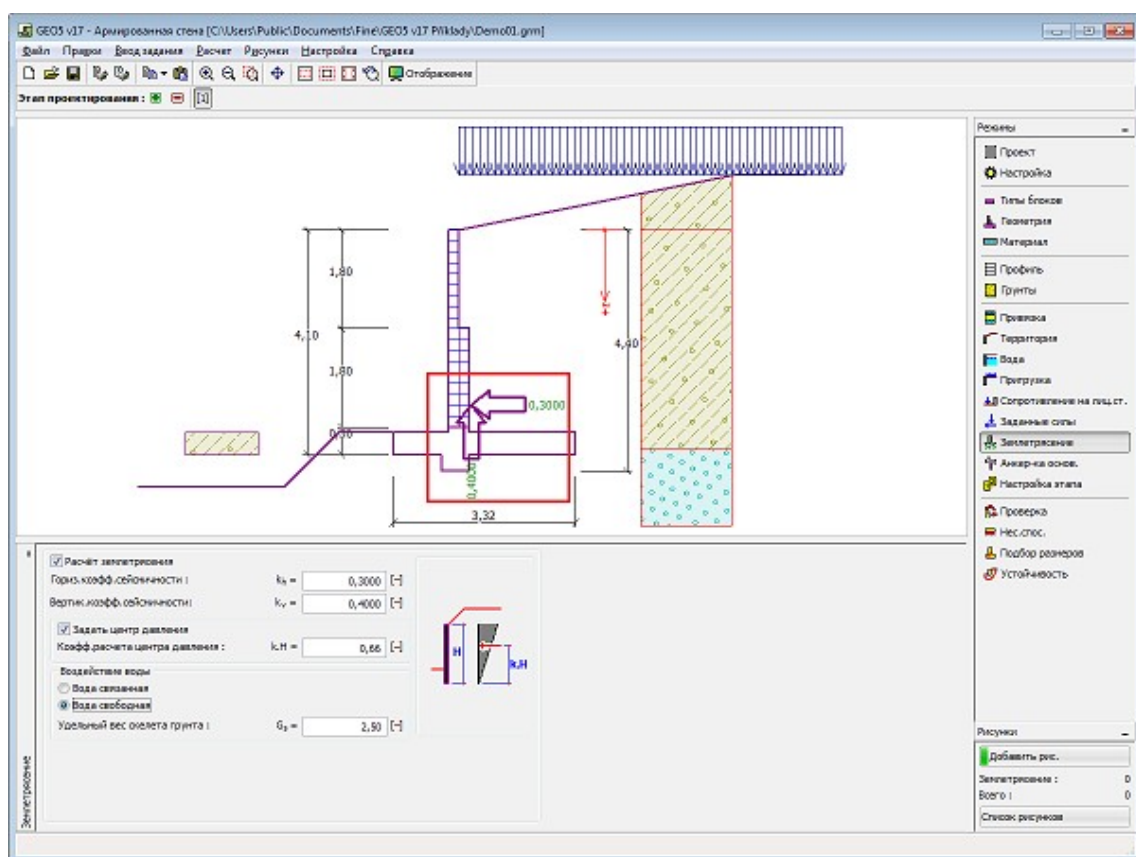
Рамка «Заданные силы»

## Землетрясение

В **рамку «Землетрясение»** задают параметры сеймики. Направления заданных сейсмических воздействий отображены на рабочем столе.

В случае отсутствия коэффициентов  $k_h$  и  $k_v$  полученных в результате измерений, проводят дополнительный расчёт способом указанным в **EN 1998-5**.

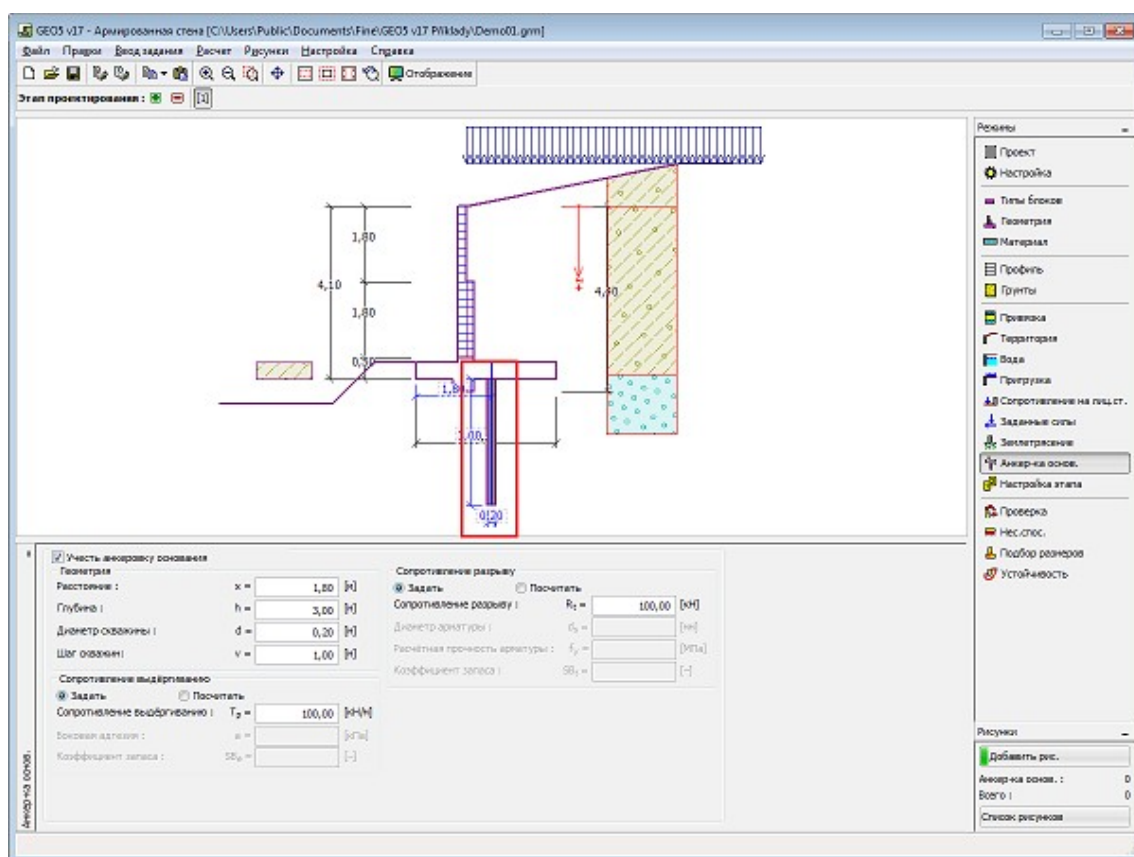
Расчёт давлений грунта с воздействием землетрясения описан в теоретической части подсказки **«Воздействие землетрясения»**.



Рамка «Землетрясение»

## Анкеровка фундамента

В **рамку «Анкеровка фундамента»** вводят параметры (геометрия анкеровки, несущая способность на выдёргивание и несущая способность на разрыв.) анкеровки фундамента стены. Редактирование анкеровки фундамента можно выполнять или в рамке вводом значений в вводные поля, или на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**. Значения несущих способностей на выдёргивание и на разрыв можно или вводить, или по заданным параметрам они будут **программой рассчитаны**.



Рамка «Анкеровка фундамента»

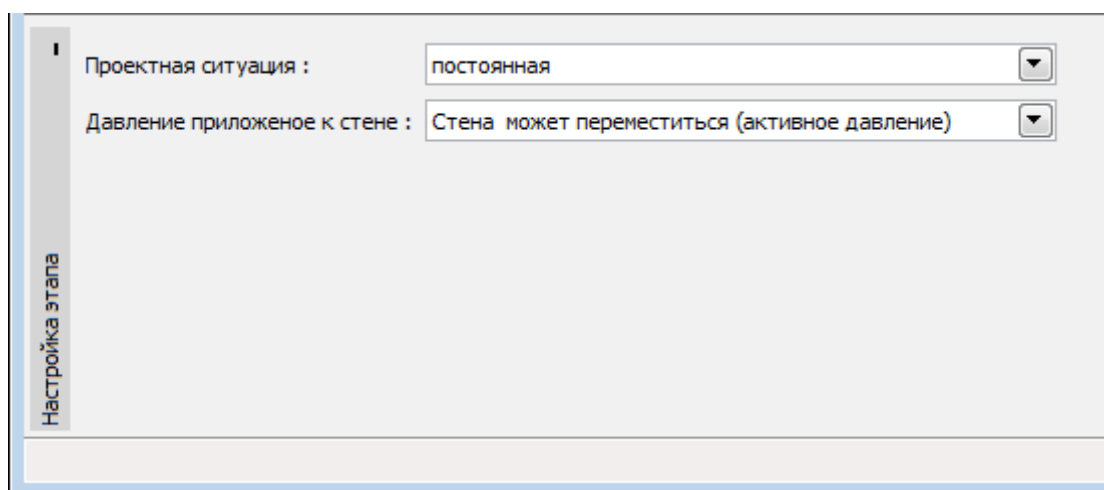
## Настройка этапа

В **рамку «Настройка этапа»** задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования.

Внешний вид рамки зависит от выбора **методики проверки**.

Далее выбирают тип давления, приложенного к стене с учётом допускаемой деформации стены. Для стены, у которой возможно перемещение в расчёт принимают нагрузку от **активного давления**, в обратном случае **статическое давление**. Третий выбор позволяет нагрузить конструкцию стены **увеличенным активным давлением**.



Рамка «Настройка этапа»

## Проверка

В **рамке «Проверка»** отображены результаты расчёта. По одной задаче можно выполнить **несколько расчётов**.

Вид рамки меняется в зависимости от выбора **методики проверки**:

- Расчёт по **коэффициенту безопасности** или **предельным состояниям** - в таблице в последней колонке указывают **расчётные коэффициенты**, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.
- Расчёт по EN 1997** - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции **«Комбинация нагрузок»**.
- Расчёт по LRFD** - в таком случае последняя колонка не отображена.

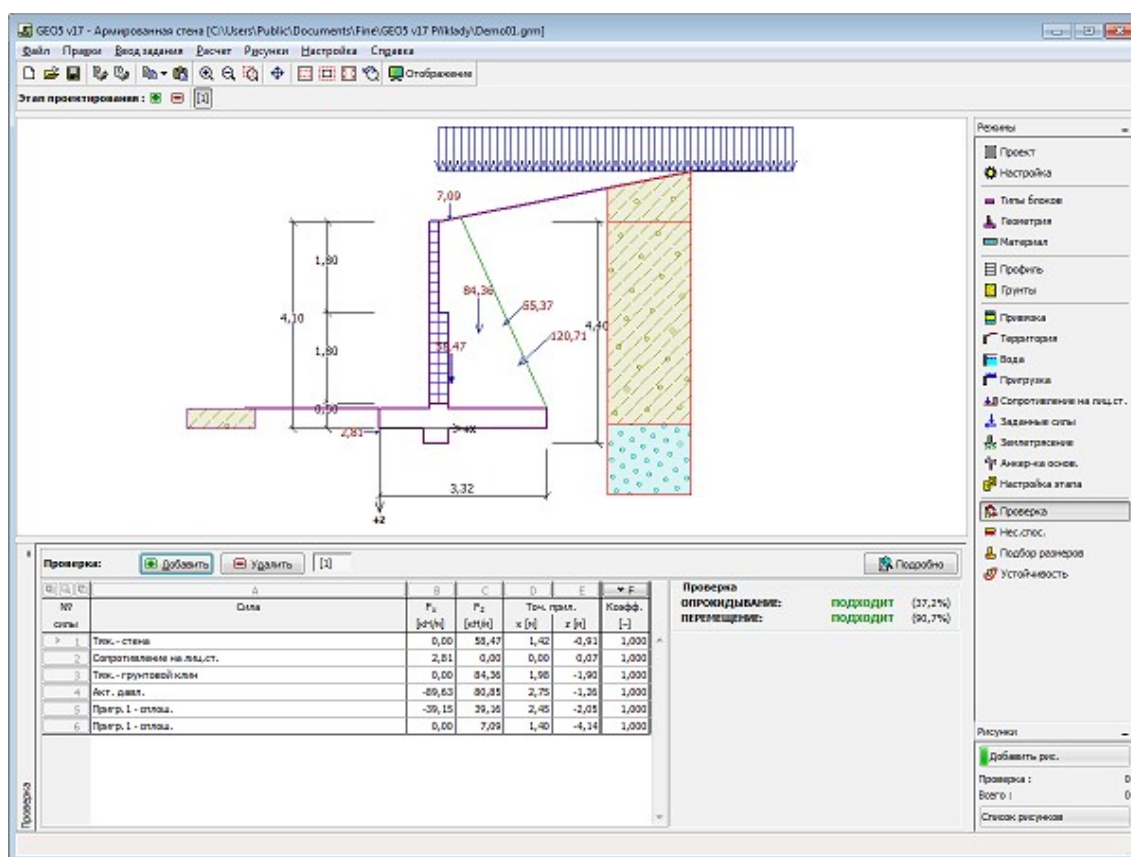
На стену действует или **активное давление**, или **статическое давление** в зависимости от задания в рамке **«Настройка этапа»**.

Порядок собственного **анализа стены** описан в теоретической части подсказки.

Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. В правой части рамки отображается результат анализа стены на **опрокидывание и перемещение**. Кнопкой **«Подробно»** открывается диалоговое окно с подробной выпиской результатов анализа.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне **«Настройка рисования»**.





Рамка «Проверка»

## Несущая способность

В рамке «Несущая способность» отображены результаты расчёта несущей способности грунта основания. Напряжение в подошве (принято постоянным) рассчитано на основе всех анализов выполненных в рамке «Проверка». В программу «Отдельные фундаменты» анализы будут переведены как сочетания нагрузок.

Рамка предлагает следующие опции расчётов:

- **Ввести несущую способность грунта основания**
- **Рассчитать несущую способность грунта основания в программе «Отдельные фундаменты»**

В вводное поле вводят несущую способность грунта основания. Результаты анализа стены на **эксцентриситет** и **несущую способность грунта** основания отображены в правой части рамки. Кнопка «**Подробнее**» открывает диалоговое окно с детальной выпиской результатов анализа несущей способности грунта.

Кнопкой «**Запуск программы Отдельные фундаменты**» **запустить программу «Отдельные фундаменты»**, в которой можно рассчитать несущую способность грунта основания, или осадку и поворот фундамента. После выполнения расчётов нажать кнопку «**ОК**» - результаты в т.ч. заданные изображения будут переданы в протокол расчёта программы «**Армированная стена**». Если не установлена программа «**Отдельные фундаменты**», то кнопка

- **Рассчитать вертикальную несущую способность одиночной сваи с помощью программы «Сваи»**

недоступна. Задают общую длину фундамента стены.

Процедура расчёта идентична расчёту несущей способности грунта основания с помощью программы «Отдельные фундаменты». Кнопка **«Запуск программы Свая»** доступна в случае заложения стены на сваях (рамка **«Заложение»**). Задаём продольный шаг свай  $s$ .

- **Рассчитать вертикальную несущую способность куста свай с помощью программы «Куст сваи»**

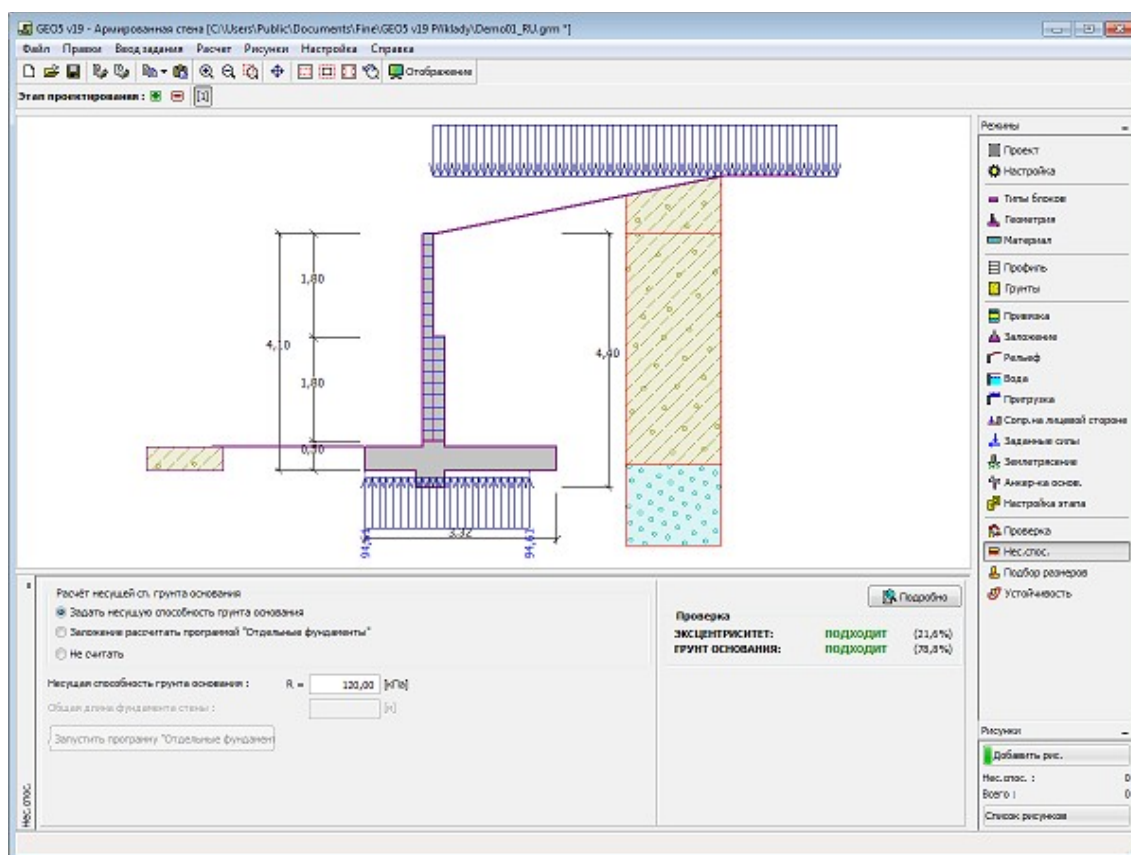
Процедура расчёта идентична расчёту несущей способности грунта основания с помощью программы «Отдельные фундаменты». Кнопка **«Запуск программы Куст сваи»** доступна в случае заложения стены на сваях (рамка **«Заложение»**). Задаём продольный шаг свай  $s$ , общее количество рядов свай  $n$  и длина нагружения  $l$ .

- **Не проводить расчёт (фундамент на сваях)**

Не производится расчёт несущей способности грунта основания.

Программа позволяет задать **форму напряжения в грунте основания**.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне **«Настройка рисования»**.



Рамка «Несущая способность»

## Подбор размеров

В рамке **«Подбор размеров»** можно предложить и проверить армирование сечений стены



- для подбора сечение выбирают в выпадающем списке.

- **Анализ в рабочем шве** - Задают № шва между блоками
- **Анализ выступа стены**
- **Анализ подошвы стены**

Вид рамки меняется в зависимости от выбора **методики проверки**:

- Расчёт по **коэффициенту безопасности** или **предельным состояниям** - в таблице в последней колонке указывают **расчётные коэффициенты**, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.
- **Расчёт по EN 1997** - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «**Комбинация нагрузок**».
- **Расчёт по LRFD** - в таком случае последняя колонка не отображена.

Расчёт сил и их воздействия на рассматриваемое сечение описано [здесь](#).

На стену действует нагрузка от активного давления грунта или от статического давления в зависимости от задания в рамке «**Настройка этапа**».

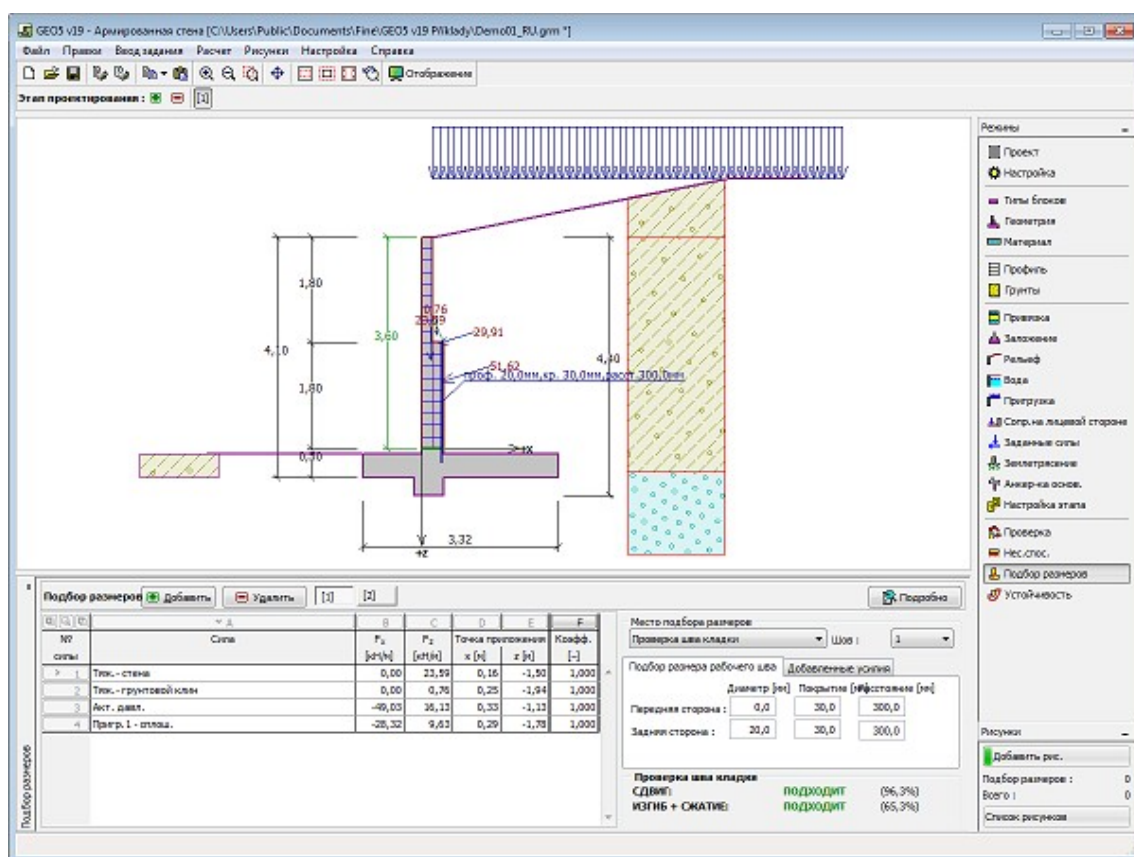
**Порядок определения внутренних сил в отдельных сечениях** описан в теоретической части подсказки. Если принимать в расчёт и землетрясение, то нужно добавить расчёт **дополнительной силы** от статического давления грунта.

Проверка швов между блоками выполняется по стандарту **AS 3700**, или **EN 1996-1-1** в зависимости от настройки в закладке «**Материалы и стандарты**». Программа проверяет несущую способность на изгиб, сопротивление сдвигу и комбинацию сжатия и изгиба. Армирование можно задавать на передней и задней стороне конструкции. Можно также задавать дополнительную нагрузку сечения (изгибающий момент, нормальную сжимающую силу и сдвигающую силу). Эти дополнительные силы суммируются с вычисленными силами.

**Размеры железобетонной конструкции** подбирают в соответствии со стандартом, указанным в закладке «**Материалы и стандарты**».

В рамке можно выполнять **несколько расчётов** по разным сечениям, можно вводить различные **коэффициенты расчёта**. Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. Кнопка «**Подробнее**» открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов подбора размеров.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».

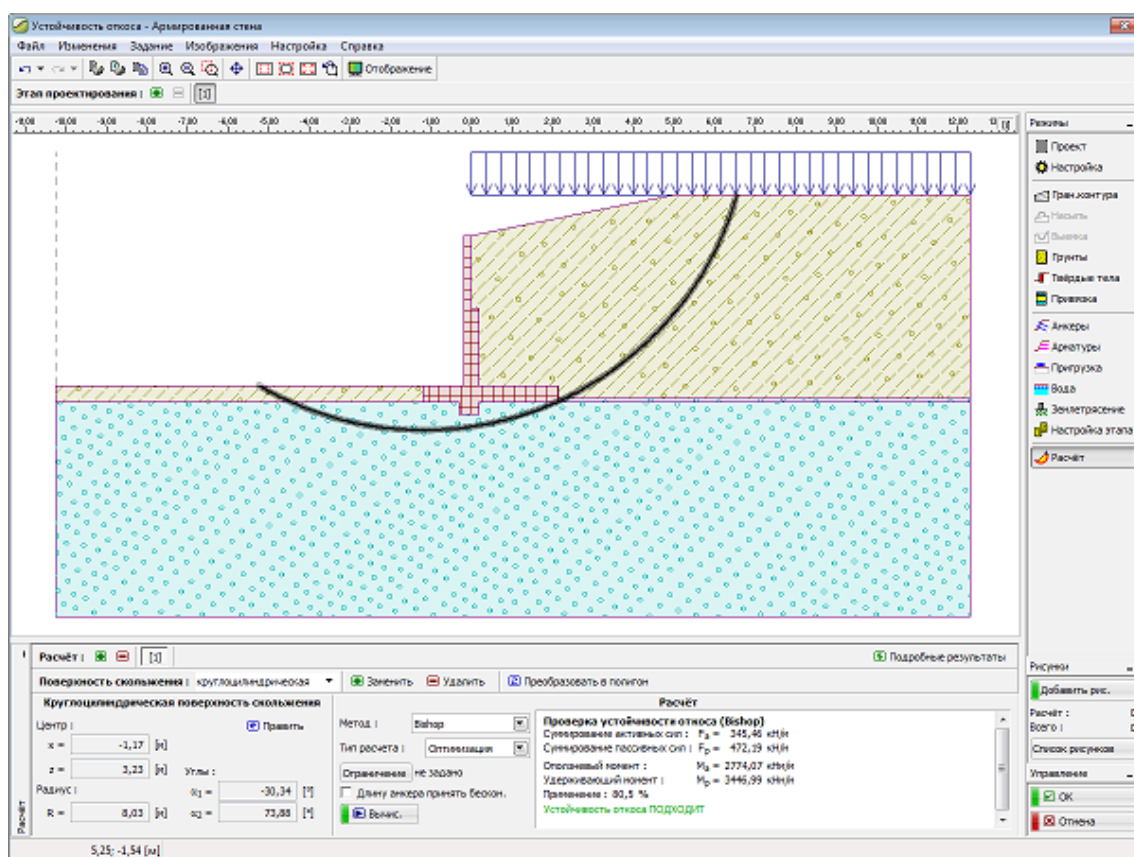


Рамка «Подбор размеров»

## Устойчивость

Нажатием на кнопку «**Устойчивость**» **запускаются** программа «**Устойчивость откоса**» и в программу передаются все необходимые данные. В программе Устойчивость откоса можно анализировать общую устойчивость конструкции стены. Кнопка недоступна, если программа «**Устойчивость откоса**» не установлена.

После выполнения расчёта нажатием кнопки «**ОК**» передаются результаты в т.ч. рисунки в протокол расчёта в программе «**Армированная стена**».



Рамка «Устойчивость»

## Программа Габион

Программа предназначена для проектирования и анализа габионных конструкций. Позволяет рассчитывать общие формы конструкции в т. ч. с выпусками (анкерровкой) сеток.

**Справка для программы «Габион» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Материал	Геометрия	Профиль	Грунты	Привязка
Заложение	Засыпка	Рельеф	Вода	Пригрузка	Сопротивле ние на лицевой стороне	Заданные силы
Землетрясе ние	Настройка этапа	Проверка	Несущая способность	Подбор размеров	Устойчивост ь	

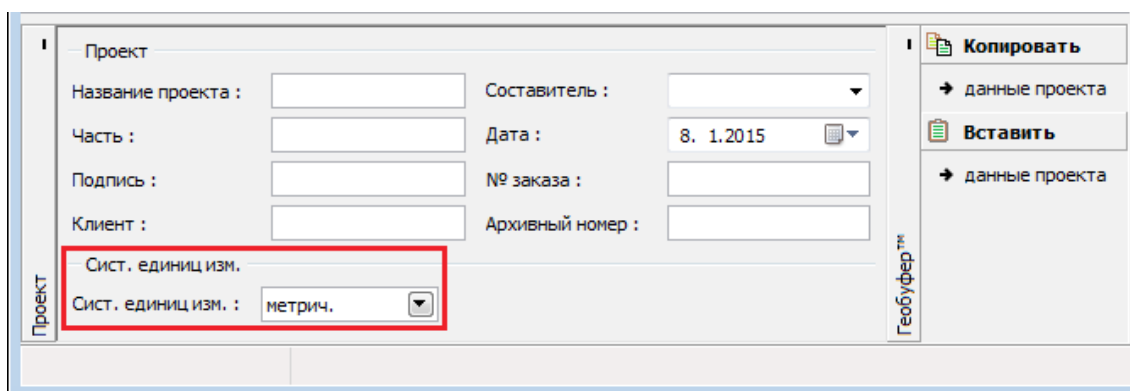
- Стандарты и методы расчёта

- Теория расчётов в программе «Габрион»:
  - Напряжение в массиве грунта
  - Давление грунта
  - Анализ опор
  - Анализ устойчивости основания
- Справка относительно результатов на выходе
- Информация общего характера о работе в пользовательской среде программ GEO5
- Общие операции для всех программ

## Проект

В рамку «Проект» задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой текстовой и графической информации.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (метрическую / дюймовую). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Проект»

## Настройка

В рамку «Настройка» предназначена для ввода основных «Настроек» программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой «**Выбрать настройки**» выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из «Перечня настроек».

Кнопка «**Администратор настройки**» открывает диалоговое окно «Администратор настройки», в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

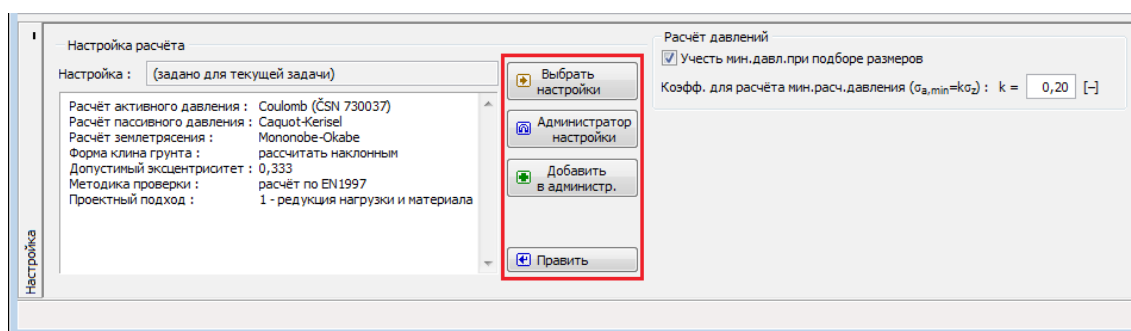
Кнопка «**Добавить в администратор**» позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка «**Править**» позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в «**Задано для текущей задачи**». После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку «**Добавить в администратор**» и добавляем настройку в «**Администратор настройки**».

Настройка «**Задано для текущей задачи**» обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Программа позволяет задать значение **минимального давления при подборе размеров  $k$**  (отмечаем поле «**Учесть минимальное давление при подборе размеров**»). На реальных конструкциях было засвидетельствовано, что при учёте связного грунта позади стены поведение верхних блоков вызывает опасения. По этой причине даём рекомендацию: если засыпка представляет собой связный грунт - вводить в расчёт значение  $k$ .

Настройка параметров расчёта производится в закладках «**Материалы и стандарты**», «**Расчёт стен**».



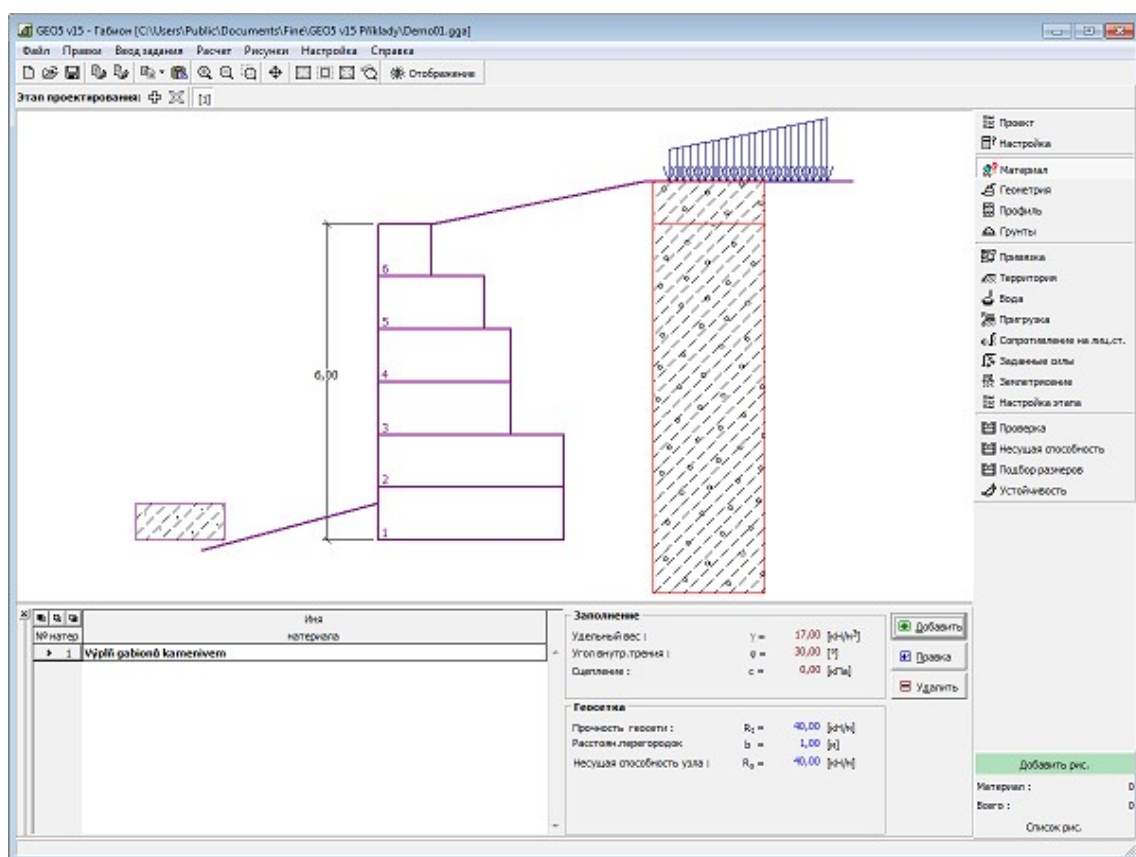
Рамка «Настройка»

## Материал

В **рамке «Материал»** находится **таблица** со списком заданного наполнителя (каменного материала) и характеристик материала габионной сетки. **Добавление** материала и сетки происходит в **диалоговом окне «Новый материал»**.

В правой части рамки отображаются заданные характеристики наполнителя и сетки для текущего блока габиона.

Ориентировочное значение угла внутреннего трения материала, заполняющего габион для хорошо гранулированного гравия в диапазоне  $35 - 40$  градусов, для каменной наброски может быть выше.



Рамка «Материал»

## Геометрия

В рамке «Геометрия» находится таблица со списком заданных строительных блоков габиона (самому нижнему присвоен №1). Добавление блоков выполняется в диалоговом окне «Создать блок».

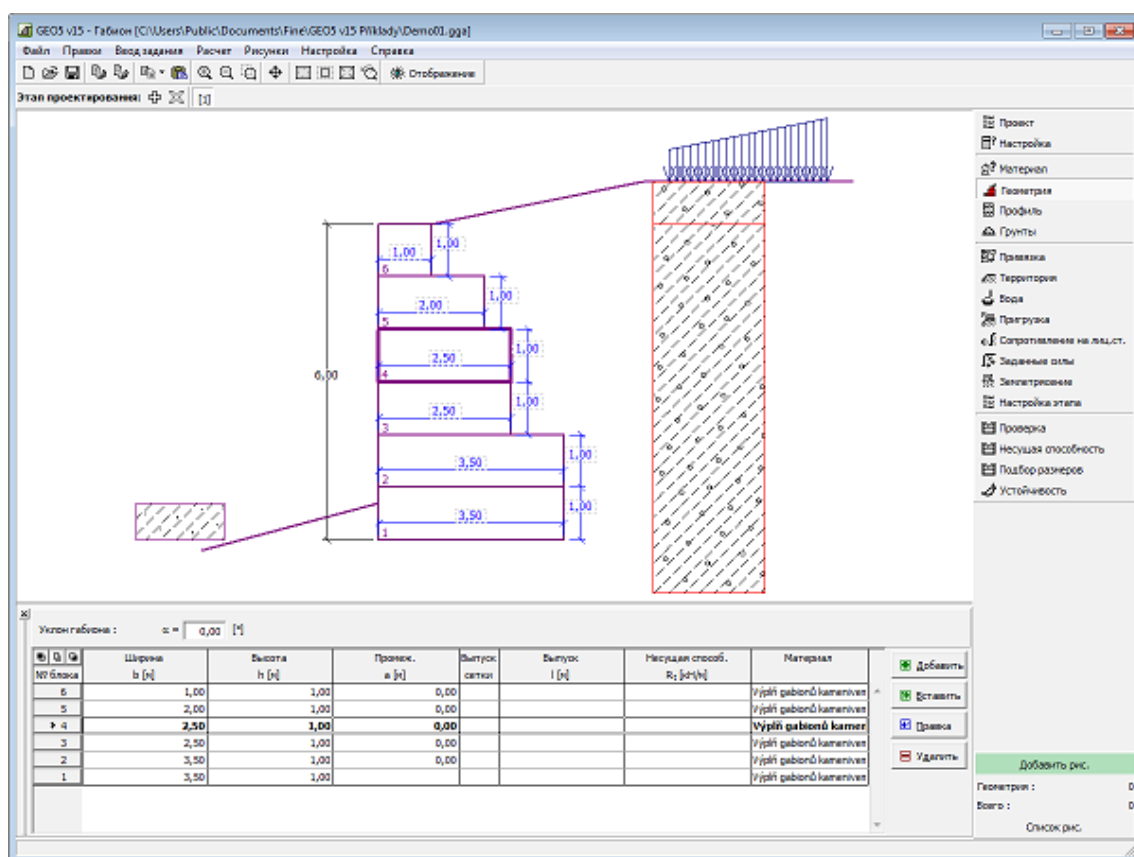
В диалоговом окне задают геометрию блока и параметры армир.выпуска сетки (длина выпуска, длина анкеровки, сопротивление выдёргиванию).

Программа позволяет вложить (вставить) новый блок между существующими заданными блоками конструкции. Вставка блока выполняется в диалоговом окне «Вставленный блок», идентичном с диалоговым окном «Создать блок». Созданный вновь вставленный блок выстраивается под текущим выбранным блоком конструкции.

Правку заданных блоков можно выполнять на рабочем столе с помощью либо **активных отметок**, либо **активных объектов** - двойной щелчок на конструкции открывает диалоговое окно с соответствующим блоком. **Режим активных объектов работает только при условии, что отключено отображение подробных отметок в диалоговом окне «Настройка стиля изображения».**

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.





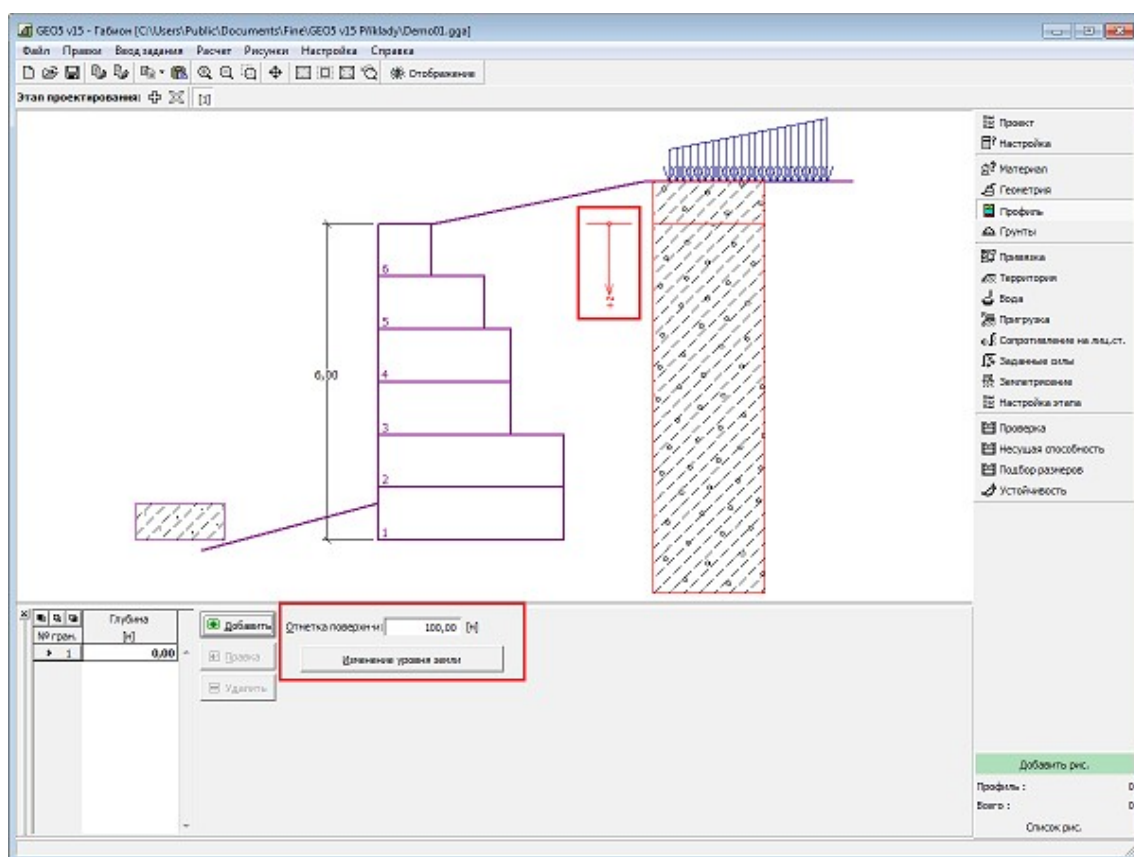
Рамка «Геометрия»

## Профиль

В рамке «Профиль» есть таблица со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи активных отметок (размерных чисел).

Добавление границы выполняется в диалоговом окне «Создать границу контура». Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне «Изменение уровня земли» и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы «Рельеф».



Рамка «Профиль»

## Грунты

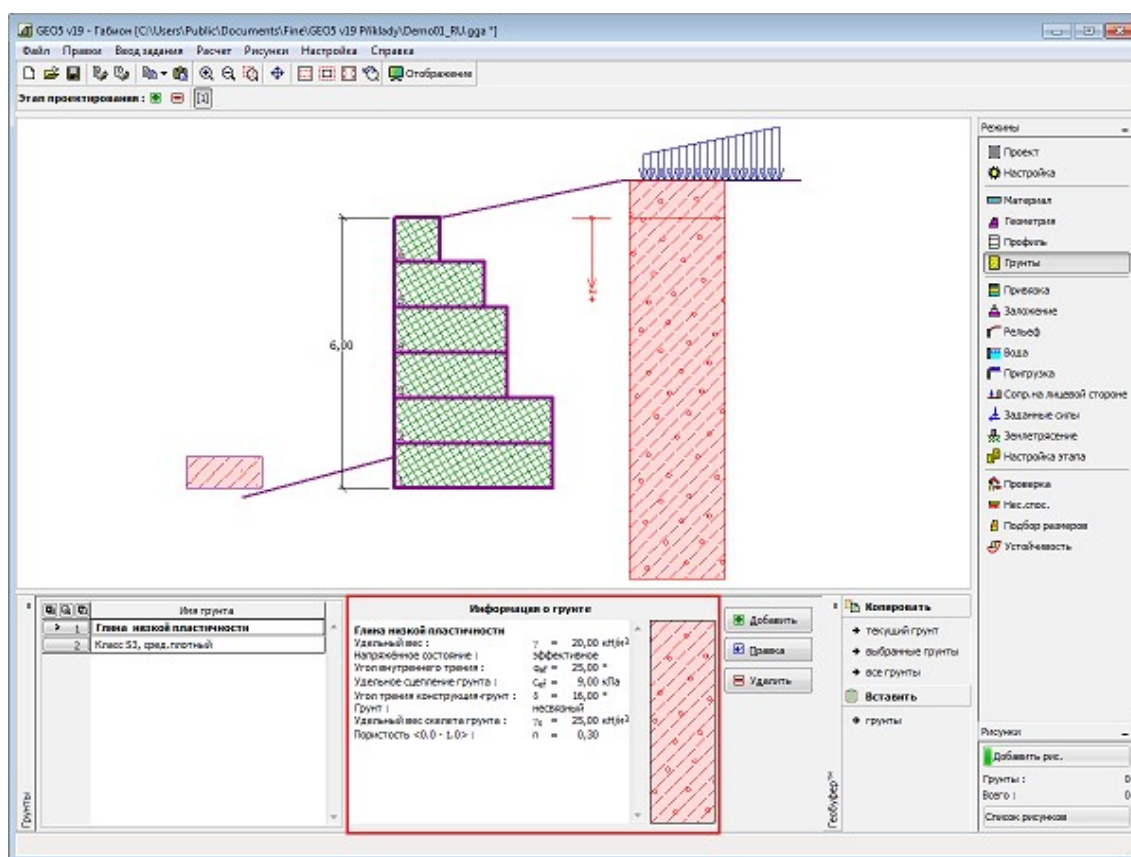
В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. В случае, что в таблице выбрано несколько грунтов, данные об отдельных грунтах расположены в последовательном порядке.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Базовые данные», «Статическое давление грунта» и «Подъёмная сила».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».





Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать **базу данных грунтов** по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Угол внутреннего трения грунта и коэффициент сцепления задают **эффективным или полным** в зависимости от установки в выпадающем списке «**Напряжённость**». Выполнять расчёт в **эффективном или полном напряжённом** состоянии зависит прежде всего от типа грунта, характера нагрузки, долговечности конструкции и водного режима.

Для **эффективного напряжённого состояния** задают **угол трения между грунтом и конструкцией**, который зависит от материала конструкции и типа грунта. Ориентировочные значения угла трения между конструкцией и грунтом приводит **таблица рекомендуемых значений**.

Для **полного (тотального) напряжённого состояния** ещё задают **сцепление грунта со стеной строительной конструкции**  $a$ .

Соответствующая теория подробно описана в разделе «**Давление грунта**».

**Добавление новых грунтов**

Идентификация

Имя : Легкий суглинок, консистенция пластичная

Легкий суглинок, консистенция пластичная

**Базовые данные**

Удельный вес :  $\gamma = 18,00$  [кН/м<sup>3</sup>] 18,0

Напряжённое состояние : эффективное

Угол внутреннего трения :  $\varphi_{ef} = 26,50$  [°] 24-29

Удельное сцепление грунта :  $c_{ef} = 12,00$  [кПа] 8-16

Угол трения конструкция-грунт :  $\delta = 16,00$  [°]

Статическое давление

Грунт : несвязный

Подъёмная сила

Расчёт взвешив. усилия : рассчитать по пористости

Удельный вес скелета грунта :  $\gamma_s = 25,00$  [кН/м<sup>3</sup>]

Пористость <0.0 - 1.0> :  $n = 0,30$  [-]

Отображение

Цвет

Категория узоров : GEO

Узор : Грубопесч. сугл.

Классификация

Определи

Стереть

Добавить

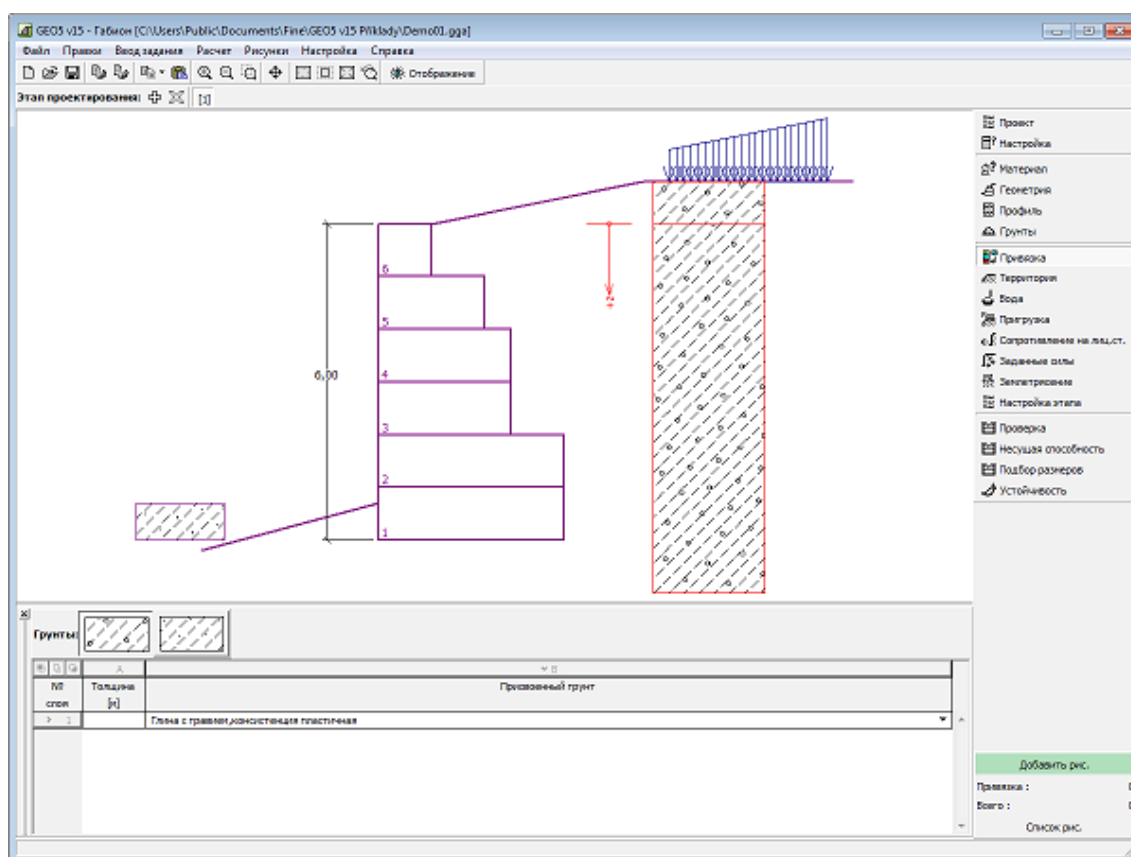
Отмена

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В рамке «Привязка» есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).



Рамка «Привязка»

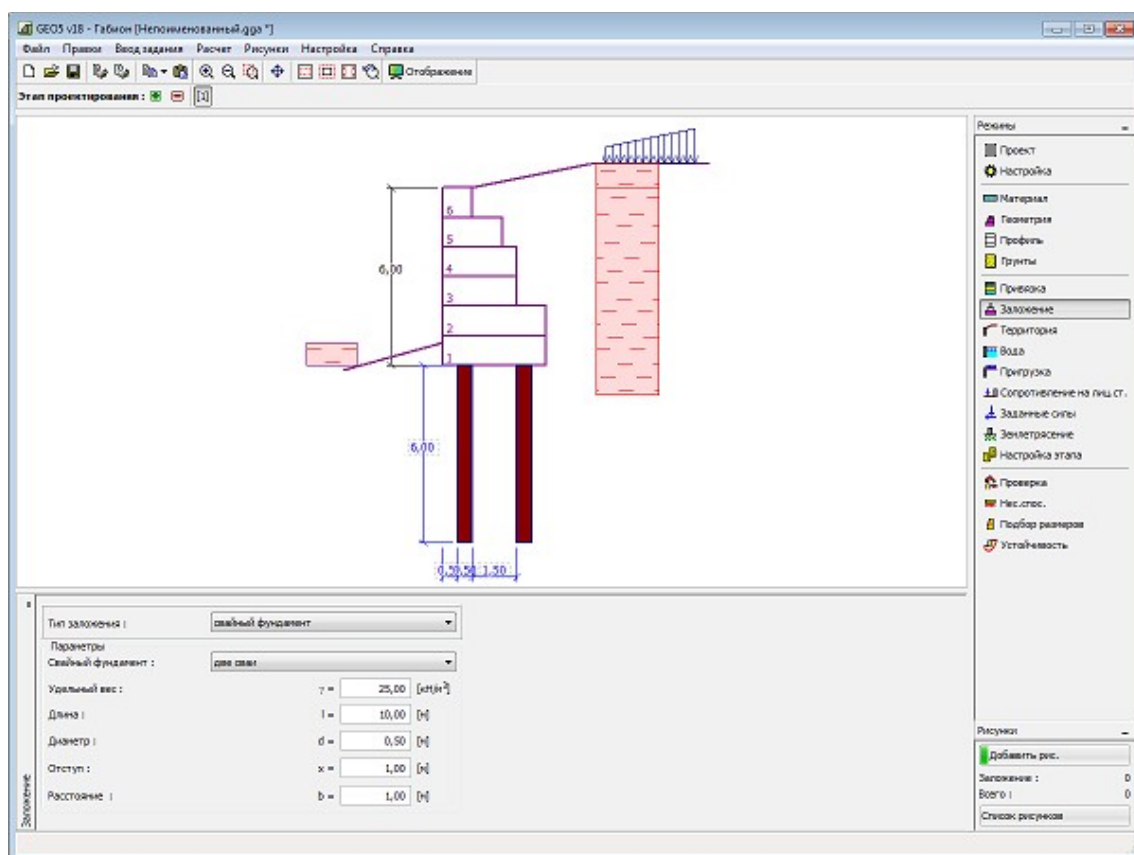
## Заложение

В **рамку «Заложение»** вводим тип заложения стены. Программа позволяет задавать следующие типы заложения стены:

- **грунт - геологический разрез** - стена заложена в грунте **присвоенном** из геологического разреза, который задаётся в рамке **«Профиль»**
- **грунт - ввести параметры контакта** - задаём параметры контакта подошвы фундамента конструкции с грунтом. При выборе **«задать угол трения фундамент-грунт»** в программу вводим угол трения между фундаментом и грунтом  $\psi$  [°]. При выборе **«задать коэффициент трения»** в программу вводим коэффициент трения  $\mu$  [-]. В обоих случаях задаём сцепление между фундаментом и грунтом  $a$  [кПа].
- **ленточный фундамент** - материалом для ленточного фундамента является **грунт** (задан в рамке **«Грунты»**) или бетон - вводим **удельный вес материала фундамента**  $\gamma$  и **параметры контакта стена-фундамент** (коэффициент трения  $f$ , сцепление  $c$ , дополнительное сопротивление  $F$ )
- **свайный фундамент** - заложение стены на одном ряде свай или на двух рядах свай

**Ленточный фундамент** и **свайный фундамент** для заложения стены можно применять только при условии, что в рамке **«Геометрия»** задан тип стены с **ровной подошвой фундамента без уступа**. Геометрию заложения стены (**ленточный фундамент, свайный фундамент**) можно редактировать в рамке путём ввода соответствующих значений в поля ввода или на рабочем столе с помощью **активных отметок**.

Исходные данные заданные в эту рамку влияют на **расчёт стен** (проверка на перемещение) и дальше на **несущую способность грунта основания**.

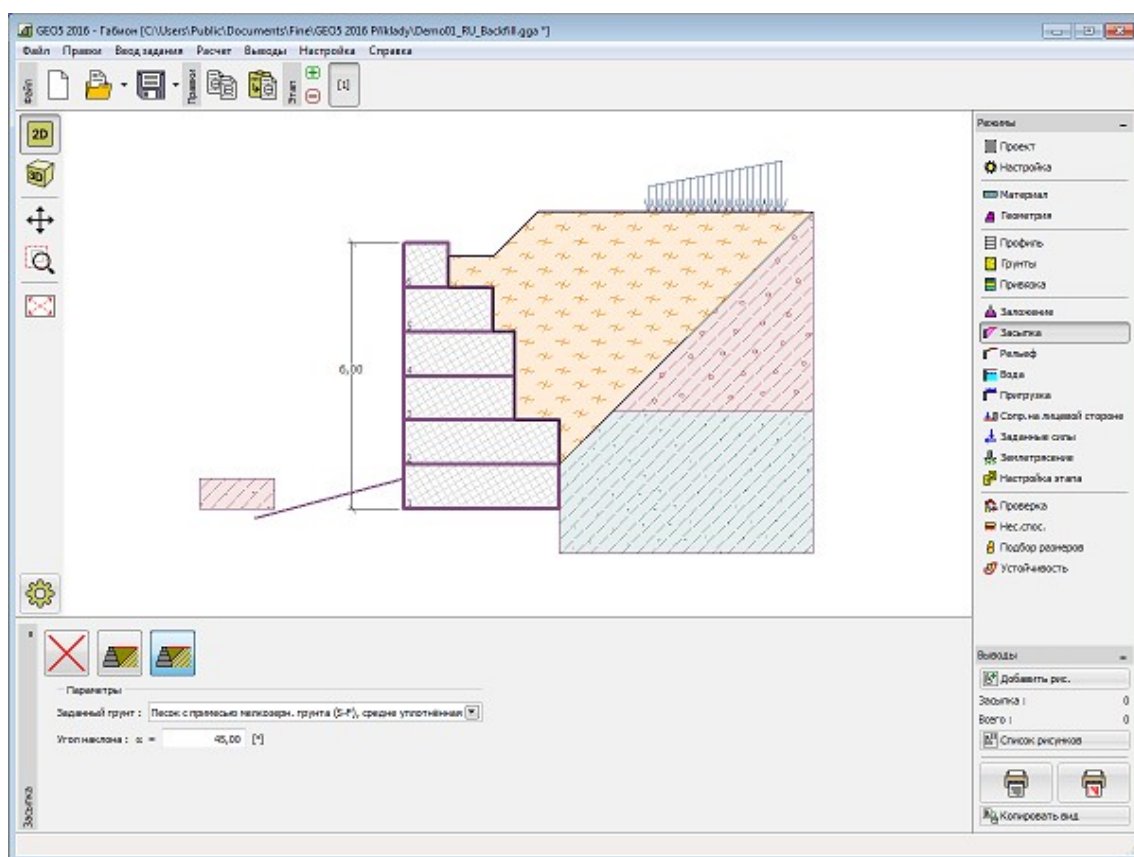


Рамка «Заложение»

## Засыпка

В **рамке «Засыпка»** нажатием кнопки выбираем вид засыпки.

В выпадающем списке задаём грунт присвоенный засыпке (его параметры определяются в рамке «Грунты»). Дальше задаём уклон засыпки.



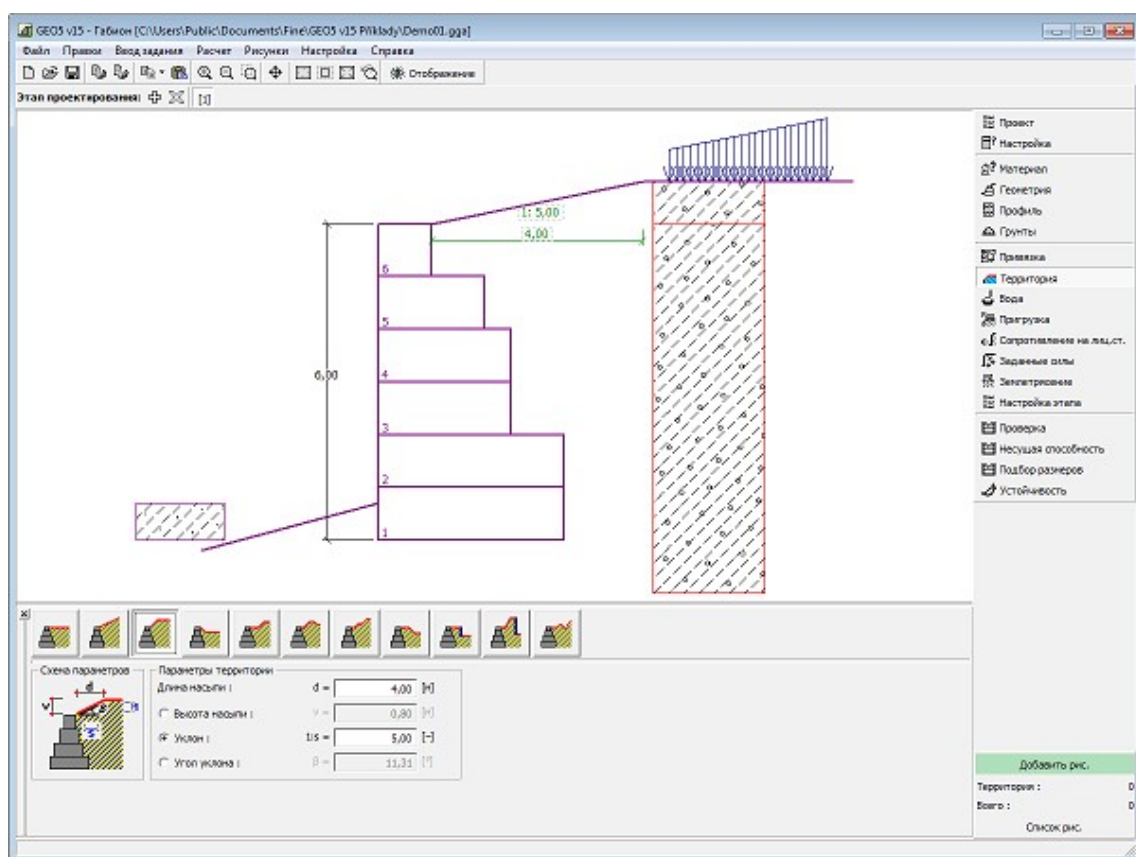
Рамка «Засыпка»

## Рельеф

В **рамке «Рельеф»** нажатием кнопки выбираем рельеф местности. Выбранный рельеф с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактировать можно или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

Последний выбор в меню - общая форма (рельеф) местности. Для этого есть в рамке таблица со списком точек (пунктов) на местности. Первый пункт местности с координатой [0,0] лежит на верхней точке конструкции.

Расчёт давлений грунта в случае наклонной местности описан в теоретической части подсказки «**Распределение давления грунта при пересечённой местности**».



Рамка «Рельеф»

## Вода

В **рамке «Вода»** нажатием кнопки выбираем тип воды. Выбранный тип с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Параметры воды ( $h_1$ ,  $h_2$ ...) можно редактировать или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

В выпадающем списке отмечаем, предполагается ли воздействие взвешивающей силы воды от разных уровней в подошве. Она может быть **линейной**, **параболической** или вообще не принимается во внимание. Взвешивающая сила в подошве от различной высоты уровней воды принимается как отдельная сила в анализе стены.

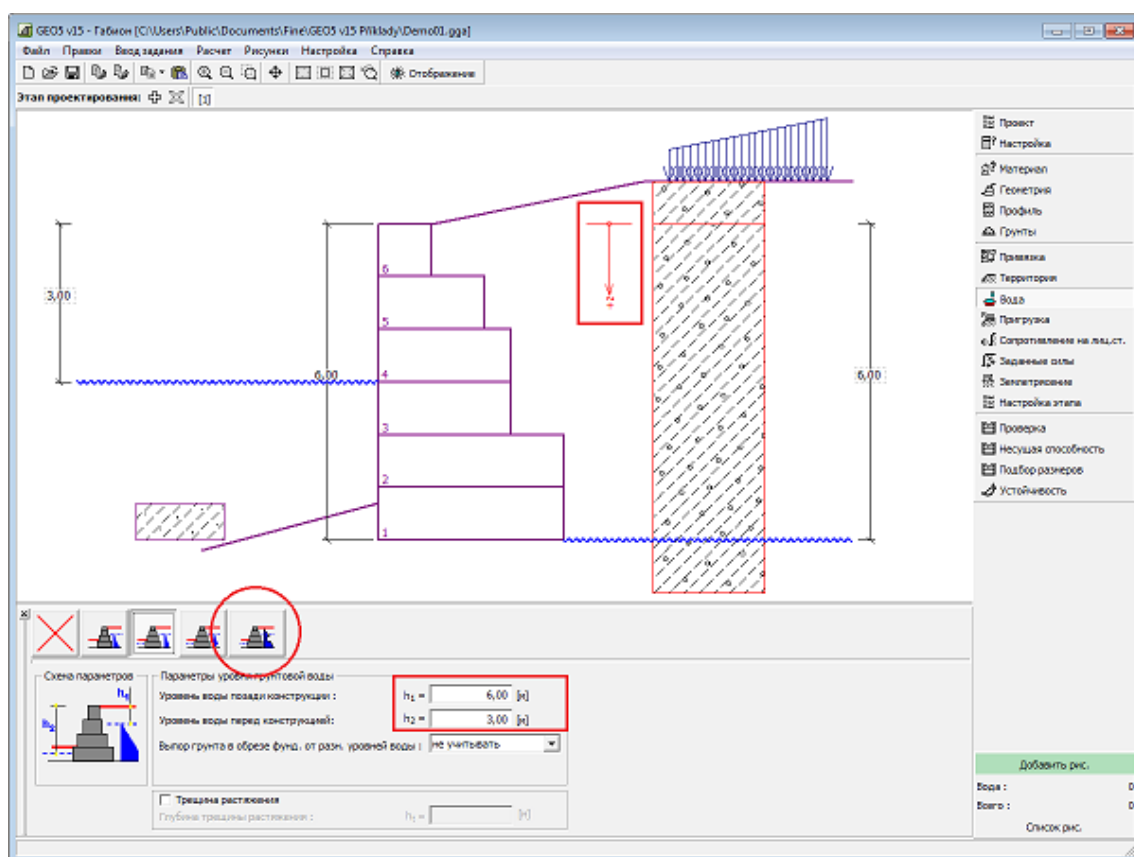
Последний выбор - это ручной ввод порового давления перед и за конструкцией. В рамке появляются две закладки «**Перед конструкцией**» и «**За конструкцией**» с **таблицами**. В таблицы вводят значения порового давления перед или за конструкцией на глубине « $z$ » (см. ось  $z$ ).

Высоту уровня воды можно задавать также **над конструкцией** или над грунтовым профилем - в таком случае значению глубины воды присваивается отрицательный знак.

Расчёт давлений грунта с воздействием воды описан в теоретической части подсказки «**Воздействие воды**».

Программа позволяет задавать глубину **трещин растяжения** заполненных водой.





Рамка «Вода»

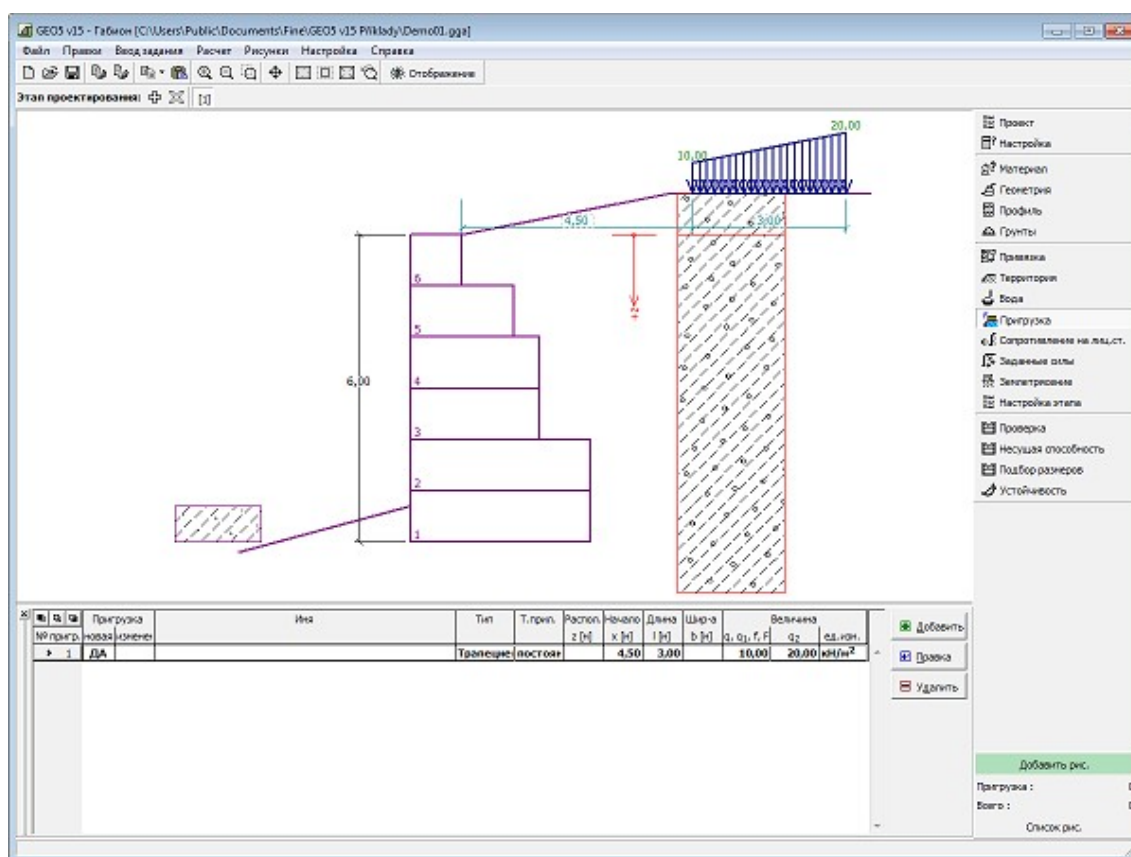
## Пригрузка

В рамке «**Пригрузка**» есть таблица со списком заданных пригрузок. Добавление пригрузки выполняется в диалоговом окне «**Создать пригрузку**». Редактировать заданную пригрузку можно также на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

Вместе с вводом пригрузки на глубине нужно задать координату  $z$  от верхней точки конструкции, с положительным знаком в глубину. В случае, что пригрузка задана вне пределов местности, программа перед выполнением расчёта даст сообщение об ошибке.

Пригрузку можно задавать **постоянной, переменной** или **случайной**. В зависимости от типа воздействия пригрузки результирующее воздействие умножается на соответствующий расчётный коэффициент. Случайная пригрузка с положительным воздействием в расчёт не принимается.

Расчёт давлений грунта от пригрузки описан в теоретической части справки «**Воздействие пригрузки**».



Рамка «Пригрузка»

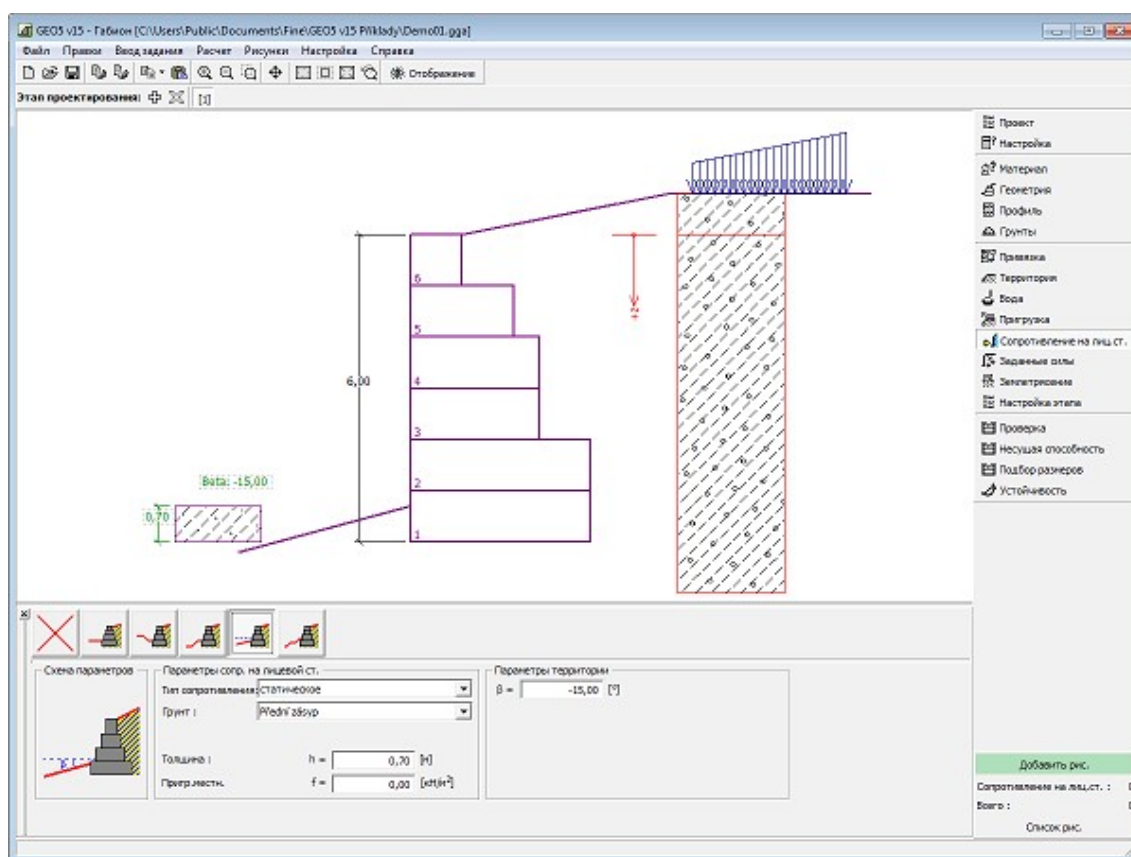
## Соппротивление на лицевой стороне

В **рамке «Соппротивление на лицевой стороне»** нажатием кнопки выбирают форму (профиль) местности и параметры сопротивления на лицевой стороне стены. Выбранный рельеф с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактирование рельефа местности можно выполнять или в рамке путём ввода значений в поля ввода, или на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

В рамке в выпадающем списке выбирают тип сопротивления и грунт ( в списке находятся грунты, указанные в режиме «**Грунты**»). В рамку можно задавать величину пригрузки на местности перед стенкой, или толщину грунта над самой нижней точкой конструкции стены.

Соппротивление на лицевой стороне можно задать **статическим давлением**, **пассивным давлением** или **приведённым пассивным давлением**. Результирующая сила от приведённого пассивного давления принимается как равнодействующая сил от активного и пассивного давлений, умноженных на соответствующий коэффициент в соответствии с заданным типом приведённого пассивного давления.





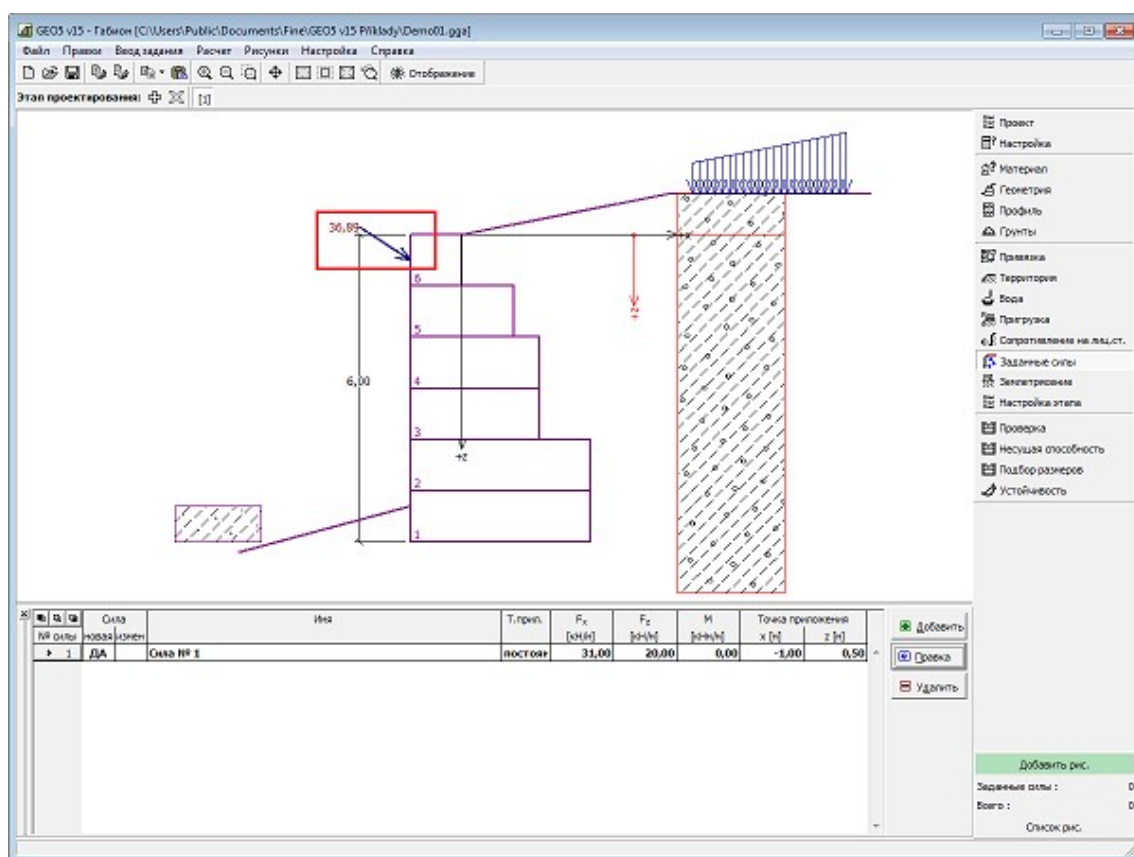
Рамка «Соппротивление на лицевой стороне»

## Заданные силы

В **рамке «Заданные силы»** есть **таблица** со списком заданных сил, действующих на конструкцию. **Добавление** сил выполняется в **диалоговом окне «Создать силу»**. Редактирование заданных сил можно также выполнять на рабочем столе с помощью **активных объектов**.

**Заданными силами** разумеется дополнительная нагрузка действующая на конструкцию стены, ограждения, укрепленной (армированной) насыпи. Заданными силами можно моделировать, напр., заанкерование колёсоотбойных дорожных ограждений, удар транспортного средства, нагрузку от рекламных щитов (билбордов) и т.п. Программа заданные силы в расчёте дальше не меняет.

Наружную нагрузку приложенную к грунту или к поверхности территории нужно моделировать как **пригрузку**.



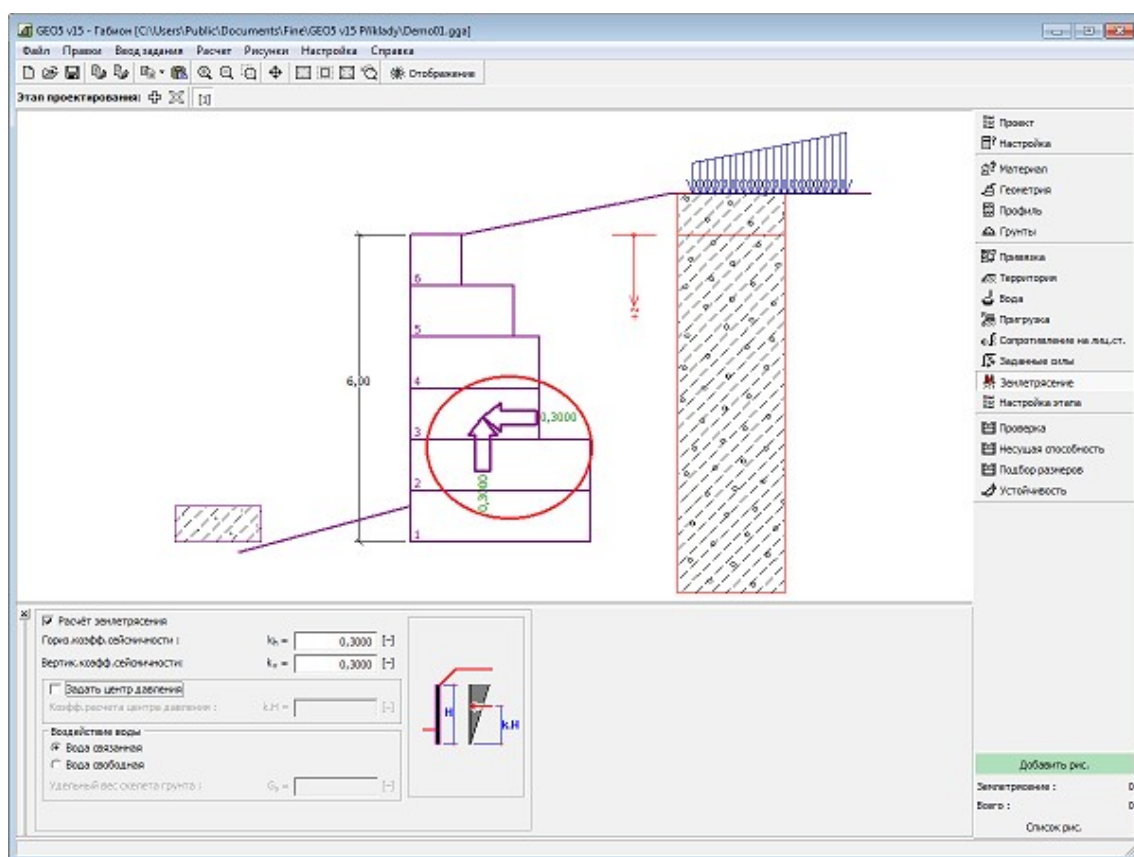
Рамка «Заданные силы»

## Землетрясение

В **рамку «Землетрясение»** задают параметры сеймики. Направления заданных сейсмических воздействий отображены на рабочем столе.

В случае отсутствия коэффициентов  $k_h$  и  $k_v$  полученных в результате измерений, проводят дополнительный расчёт способом указанным в **EN 1998-5**.

Расчёт давлений грунта с воздействием землетрясения описан в теоретической части подсказки «**Воздействие землетрясения**».



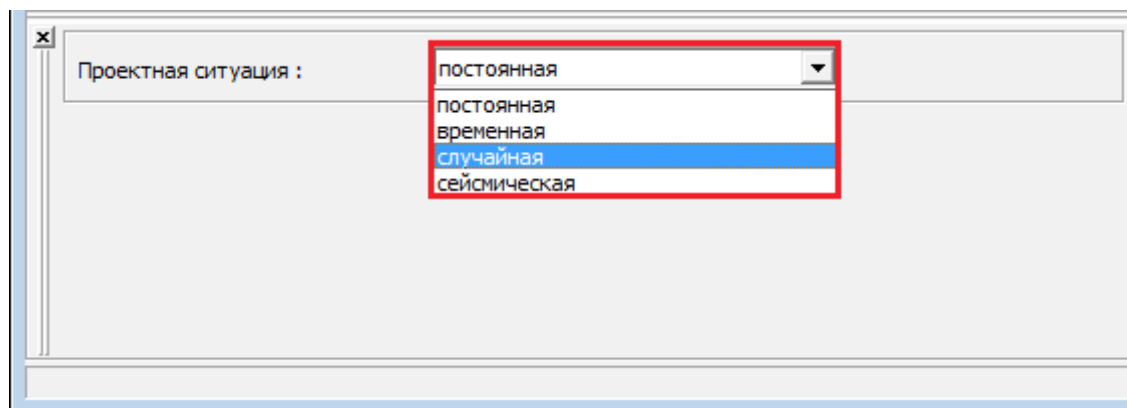
Рамка «Землетрясение»

## Настройка этапа

В **рамку «Настройка этапа»** задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования.

Внешний вид рамки зависит от выбора **методики проверки**.



Рамка «Настройка этапа»

## Проверка

В рамке «Проверка» отображены результаты расчёта. По одной задаче можно выполнить несколько расчётов.

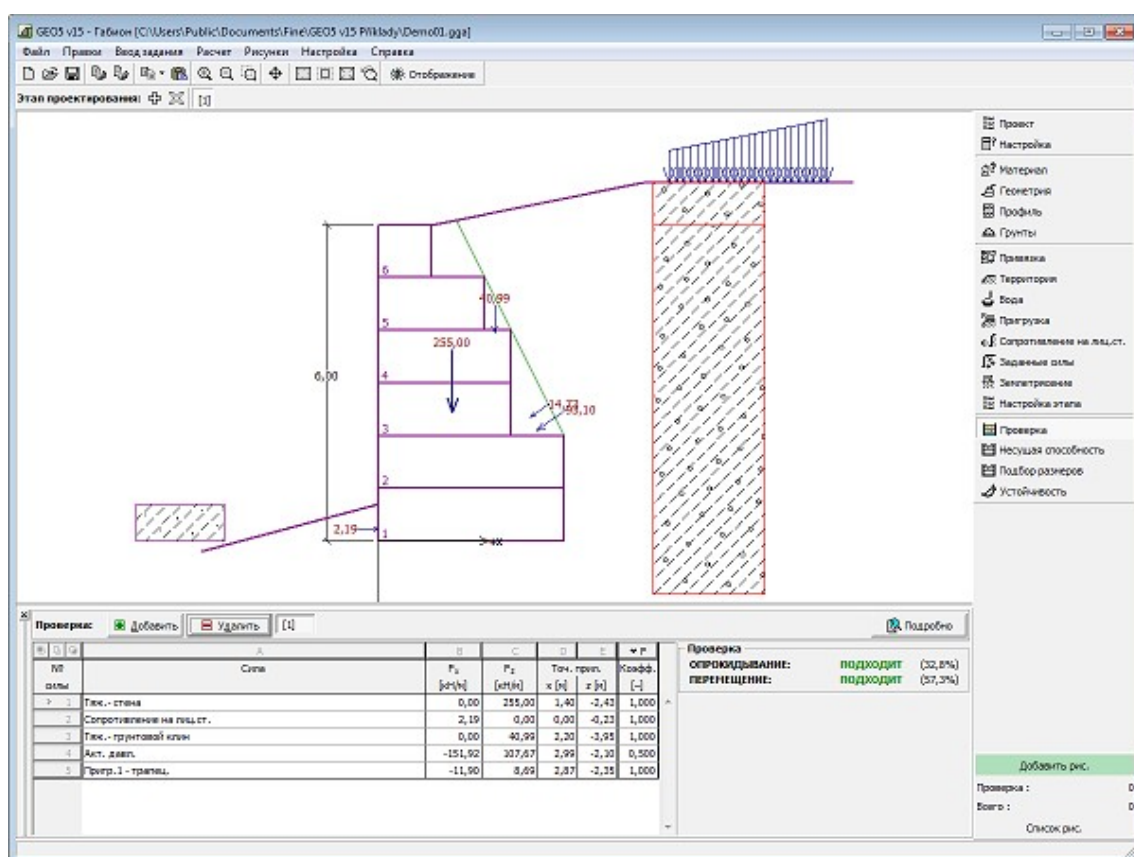
Вид рамки меняется в зависимости от выбора методики проверки:

- Расчёт по коэффициенту безопасности или предельным состояниям - в таблице в последней колонке указывают расчётные коэффициенты, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.
- Расчёт по EN 1997 - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «Комбинация нагрузок».
- Расчёт по LRFD - в таком случае последняя колонка не отображена.

Порядок собственного анализа стены описан в теоретической части подсказки.

Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. В правой части рамки отображается результат анализа стены на опрокидывание и перемещение. Кнопкой «Подробнее» открывается диалоговое окно с подробной выпиской результатов анализа.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».



Рамка «Проверка»

## Несущая способность

В рамке «Несущая способность» отображены результаты расчёта несущей способности грунта основания. Напряжение в подошве (принято постоянным) рассчитано на основе всех анализов выполненных в рамке «Проверка». В программу «Отдельные фундаменты» анализы будут переведены как сочетания нагрузок.

Рамка предлагает следующие опции расчётов:

- **Ввести несущую способность грунта основания**

В вводное поле вводят несущую способность грунта основания. Результаты анализа стены на эксцентриситет и несущую способность грунта основания отображены в правой части рамки. Кнопка «Подробно» открывает диалоговое окно с детальной выпиской результатов анализа несущей способности грунта.
- **Рассчитать несущую способность грунта основания в программе «Отдельные фундаменты»**

Кнопкой «Запуск программу Отдельные фундаменты» запустить программу «Отдельные фундаменты», в которой можно рассчитать несущую способность грунта основания, или осадку и поворот фундамента. После выполнения расчётов нажать кнопку «ОК» - результаты в т.ч. заданные изображения будут переданы в протокол расчёта программы «Гравитационная стена». Если не установлена программа «Отдельные фундаменты», то кнопка недоступна. Задают общую длину фундамента стены.
- **Рассчитать вертикальную несущую способность одиночной сваи с помощью программы «Сваи»**

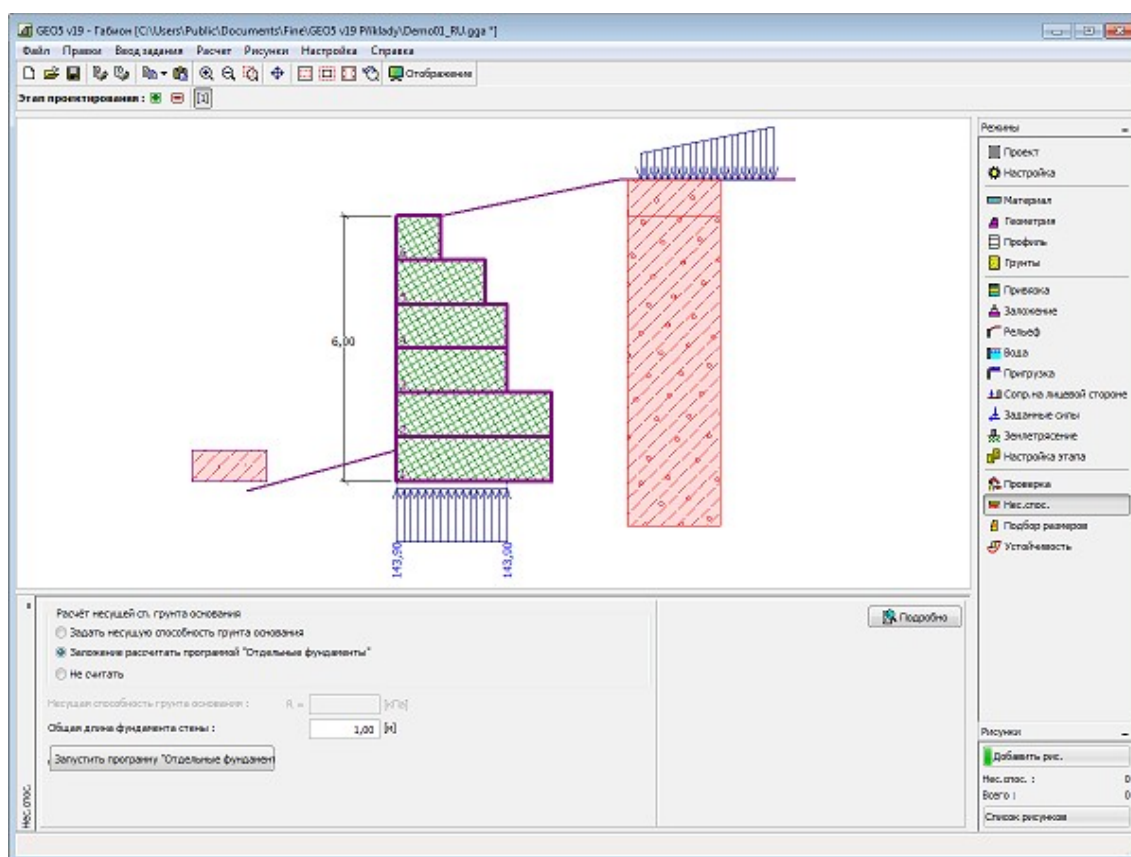
Процедура расчёта идентична расчёту несущей способности грунта основания с помощью программы «Отдельные фундаменты». Кнопка «Запуск программу Сваи» доступна в случае заложения стены на сваях (рамка «Заложение»). Задаём продольный шаг свай  $s$ .
- **Рассчитать вертикальную несущую способность куста свай с помощью программы «Куст свай»**

Процедура расчёта идентична расчёту несущей способности грунта основания с помощью программы «Отдельные фундаменты». Кнопка «Запуск программу Куст свай» доступна в случае заложения стены на сваях (рамка «Заложение»). Задаём продольный шаг свай  $s$ , общее количество рядов свай  $n$  и длина нагружения  $l$ .
- **Не проводить расчёт (фундамент на сваях)**

Не производится расчёт несущей способности грунта основания.

Программа позволяет задать форму напряжения в грунте основания.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».



Рамка «Несущая способность»

## Подбор размеров

В рамке «Подбор размеров» можно проверить отдельные швы между блоками габиона. В поле «Шов над блоком №» выбираем соответствующий шов и программа выполняет проверочный расчёт. Проверка выполняется на опрокидывание, смещение, боковое давление и на шов между блоками.

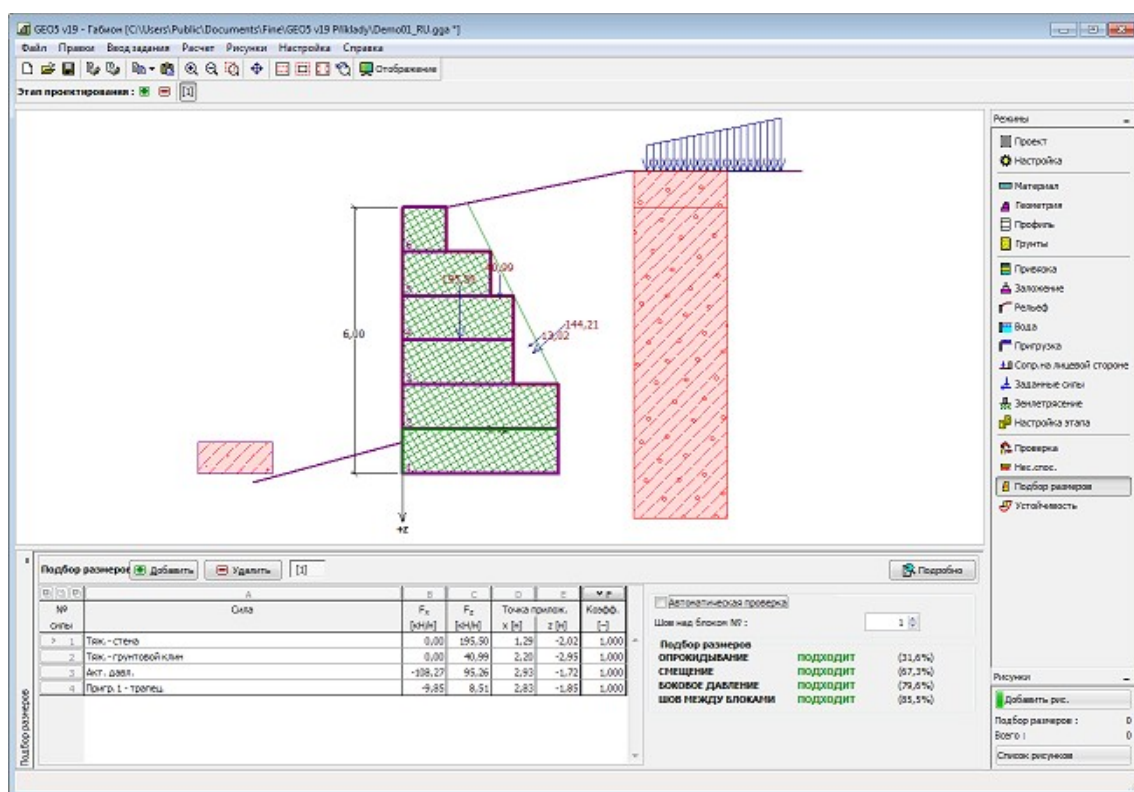
Вид рамки меняется в зависимости от выбора методики проверки:

- Расчёт по коэффициенту безопасности или предельным состояниям - в таблице в последней колонке указывают расчётные коэффициенты, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.
- Расчёт по EN 1997 - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «Комбинация нагрузок».
- Расчёт по LRFD - в таком случае последняя колонка не отображена.

В рамке можно выполнять несколько расчётов по разным сечениям, можно вводить различные коэффициенты расчёта. Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. Кнопка «Подробно» открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов подбора размеров.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».



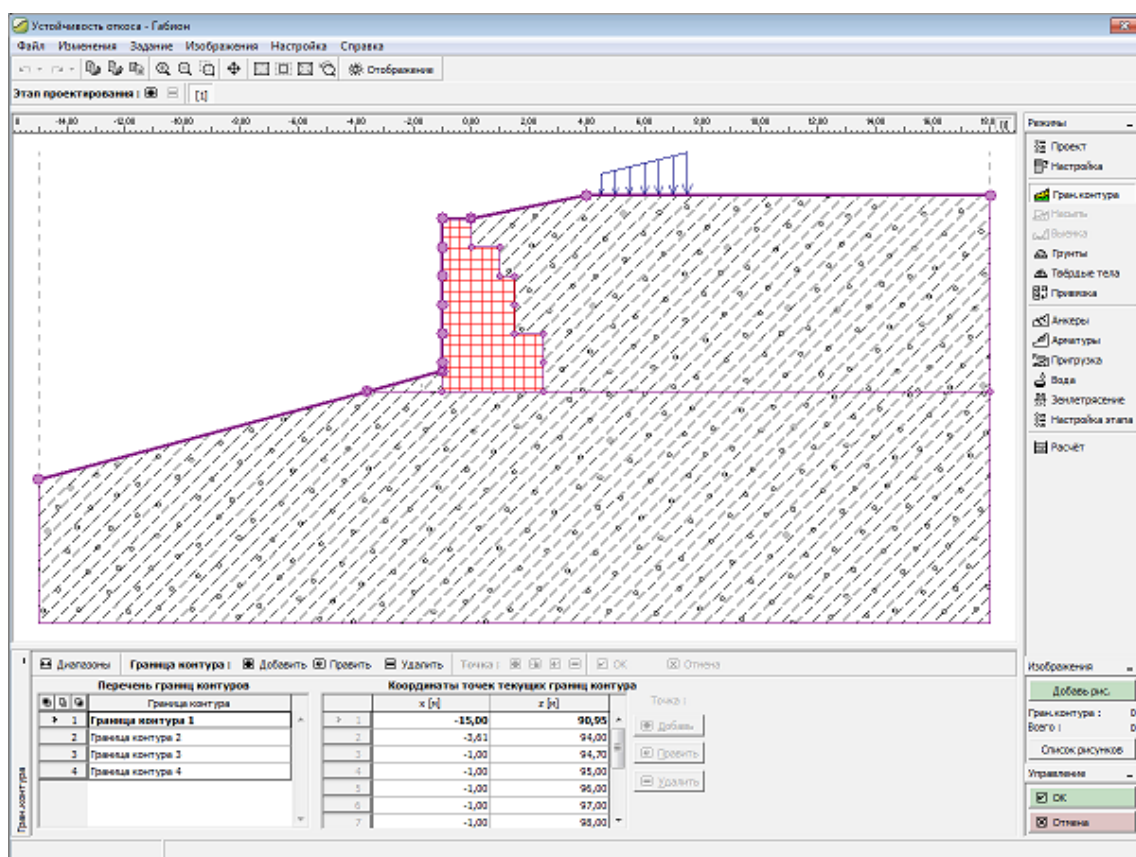


Рамка «Подбор размеров»

## Устойчивость

Нажатием на кнопку **«Устойчивость»** запускаются программа **«Устойчивость откоса»** и в программу передаются все необходимые данные. В программе Устойчивость откоса можно анализировать общую устойчивость конструкции стены. Кнопка недоступна, если программа **«Устойчивость откоса»** не установлена.

После выполнения расчёта нажатием кнопки **«ОК»** передаются результаты в т.ч. рисунки в протокол расчёта в программе **«Габрион»**.



Рамка «Устойчивость»

## Программа Устой

Программа предназначена для проектирования и анализа устоев мостов. Программа позволяет проверить устои на опрокидывание, перемещение, грунт основания на несущую способность, и подобрать размеры ответственных сечений (в т.ч. крыльев) из простого бетона или железобетона по стандарту ČSN 73 6206 «Проектирование бетонных и железобетонных конструкций мостов».

**Справка для программы «Устой» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Геометрия сечение	Крылья	Геометрия план	Ступени фундаменты	Материал
Профиль	Грунты	Нагрузка	Привязка	Заложение	Засыпка	Рельеф
Вода	Пригрузка	Сопротивление на лицевой стороне	Заданные силы	Землетрясение	Настройка этапа	Проверка
Несущая способность	Подбор размеров	Устойчивость				



- Стандарты и методы расчёта
- Теория расчётов в программе «Устой»:
 

Напряжение в массиве грунта	Давление грунта	Анализ опор	Анализ устойчивости основания	Измерение бетонных конструкций
-----------------------------	-----------------	-------------	-------------------------------	--------------------------------
- Справка относительно результатов на выходе
- Информация общего характера о работе в пользовательской среде программ GEO5
- Общие операции для всех программ

## Проект

В рамку «Проект» задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой текстовой и графической информации.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (метрическую / дюймовую). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «Геобуфера».

Рамка «Проект»

## Настройка

В рамку «Настройка» предназначена для ввода основных «Настроек» программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой «**Выбрать настройки**» выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из «Перечня настроек».

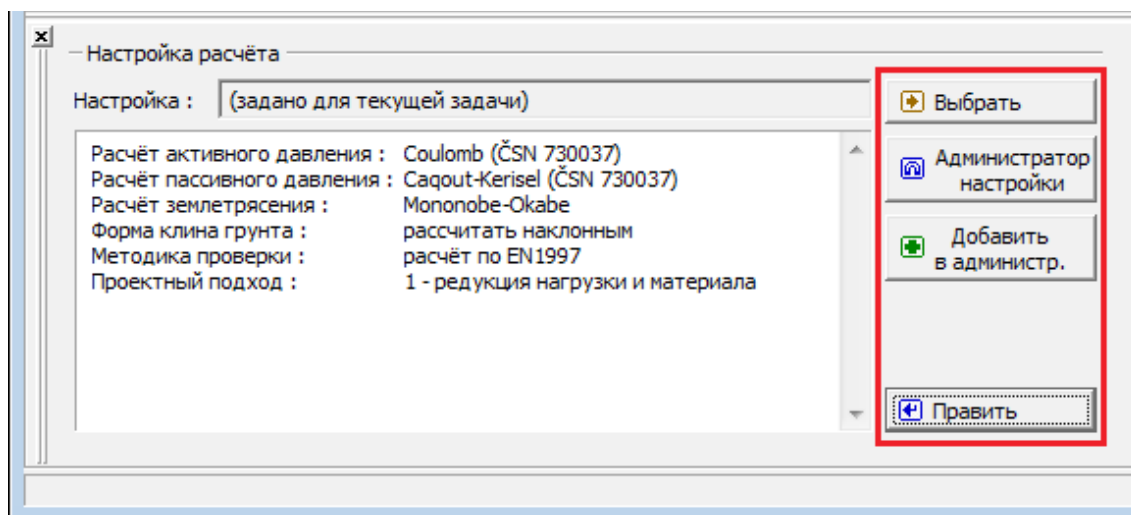
Кнопка «**Администратор настройки**» открывает диалоговое окно «**Администратор настройки**», в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют, которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

Кнопка «**Добавить в администратор**» позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка «**Править**» позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в «**Задано для текущей задачи**». После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку «**Добавить в администратор**» и добавляем настройку в «**Администратор настройки**».

Настройка «**Задано для текущей задачи**» обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладках «**Материалы и стандарты**», «**Расчёт стен**».



Рамка «Настройка»

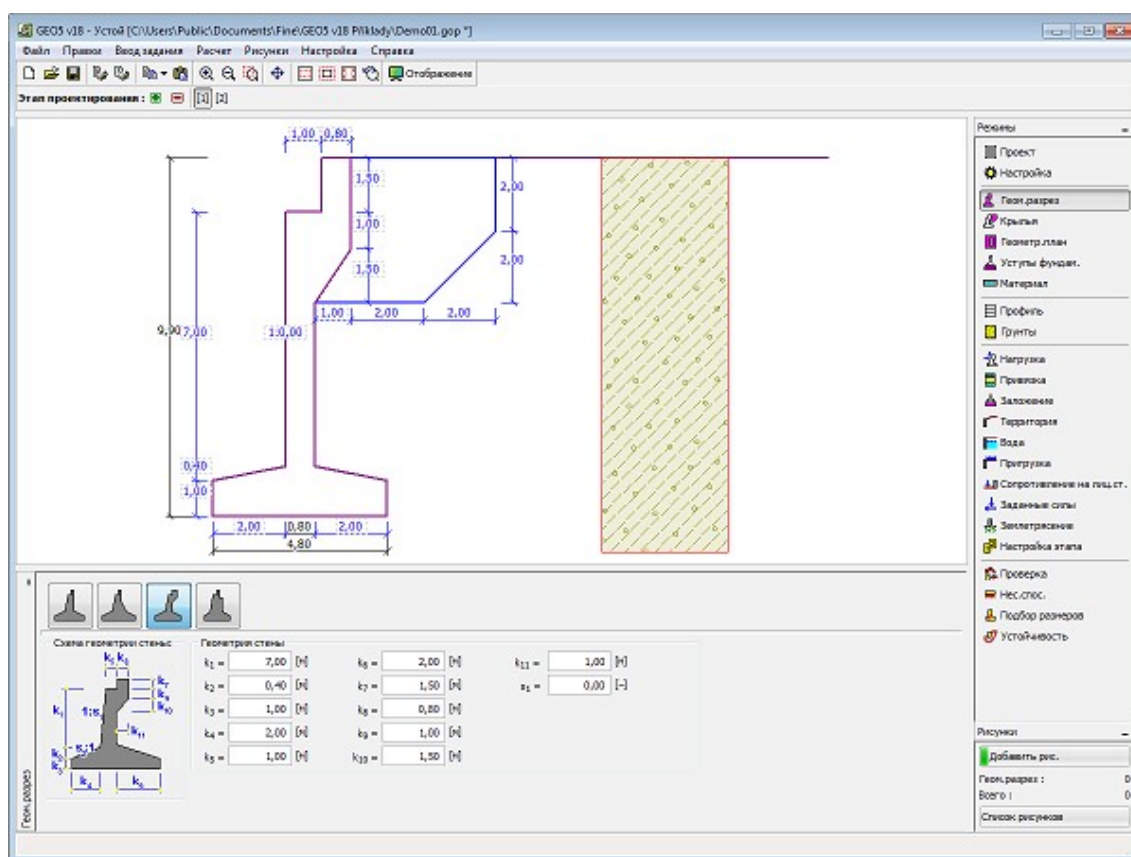
## Геометрия разрез

В **рамке «Геометрия разрез»** кнопкой выбирают форму устоя. Форма с графической подсказкой («**Схема геометрии стены**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактировать форму стены можно или в рамке, вводя значения в поля ввода, или на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

При наклонной форме конструкции задают соотношение сторон наклонной части 1:x. **Вертикальную конструкцию задают** вводом значения ноль.

В рамку задают окончательную форму устоя в т.ч. шкафной стенки. Проверку устоя можно выполнять также по состоянию в процессе возведения (без шкафной стенки) в соответствии с выбором в рамке «**Нагрузка - СН**». Длину устоя и фундамента устоя задают в рамке «**Геометрия план**».

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.



Рамка «Geometrie řez»

## Крылья

В **рамку «Крылья»** задают форму и размеры откосных крыльев. Крылья могут быть симметричными или несимметричными. Для несимметричных задают отдельно размеры правого и левого крыла. На рабочем столе всегда вырисовывается текущее заданное крыло - В остальных рамках вырисовывается всегда левое крыло.

Толщину и длину крыльев можно также задавать или редактировать в рамке «**Геометрия план**».

Сечение швов Крыло-устой можно проверить в рамке «**Подбор размеров**». Сечение проверяется на нагрузку моментом. Всё крыло подвергается нагрузке **активным давлением грунта** за устоем. В диалоговом окне «**Подбор размеров**» можно задать величину **нагрузки всей площади**, чтобы определить давление на крыло. Пригрузка заданная в рамке «**Пригрузка**» в данном случае не принимается в расчёт, рельеф за устоем принимается всегда ровной. Результирующий момент нагружающий шов получают умножением общей величины давления, действующего на площадь крыла а разностью центров тяжестей равнодействующей давления и шва.

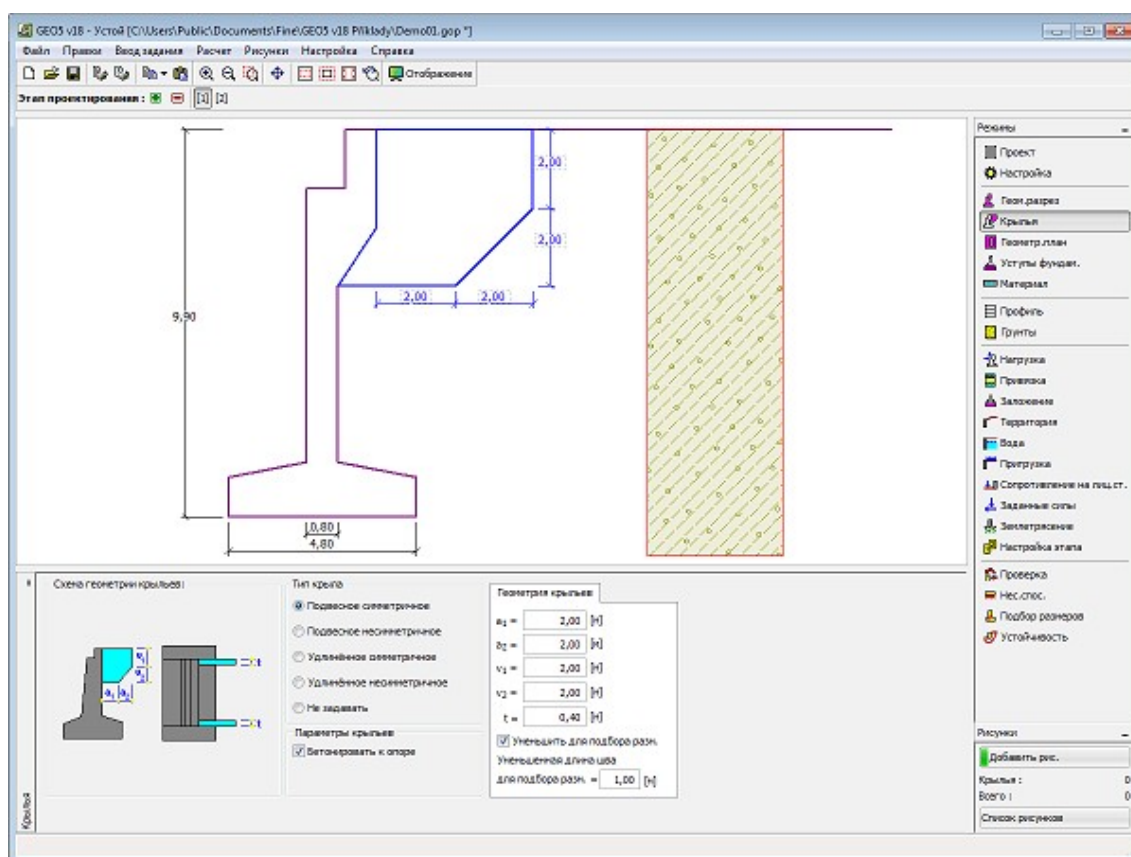
Длина сечения для подбора размеров стандартно принимается как высота крыла - однако можно задать после выбора «**Редукция для подбора размеров**» и другую длину шва крыло-устой.

Для удлинённых крыльев можно задавать размеры фундамента под крылом. Эти выступы фундамента в расчёте учтены путём расчёта фиктивной ширины фундамента в соответствии с формулой:

$$d_{fict} = \frac{A_{tot}}{S}$$

где:  $A_{tot}$  — общая площадь фундамента включ. выступы  
 $S$  — длина фундамента устоя  
 $d_{fict}$  — фиктивная ширина фундамента для расчёта проверки

Таким образом, фундамент упрощённо, но при этом на безопасной стороне, принимается как прямоугольник.



Рамка «Крылья»

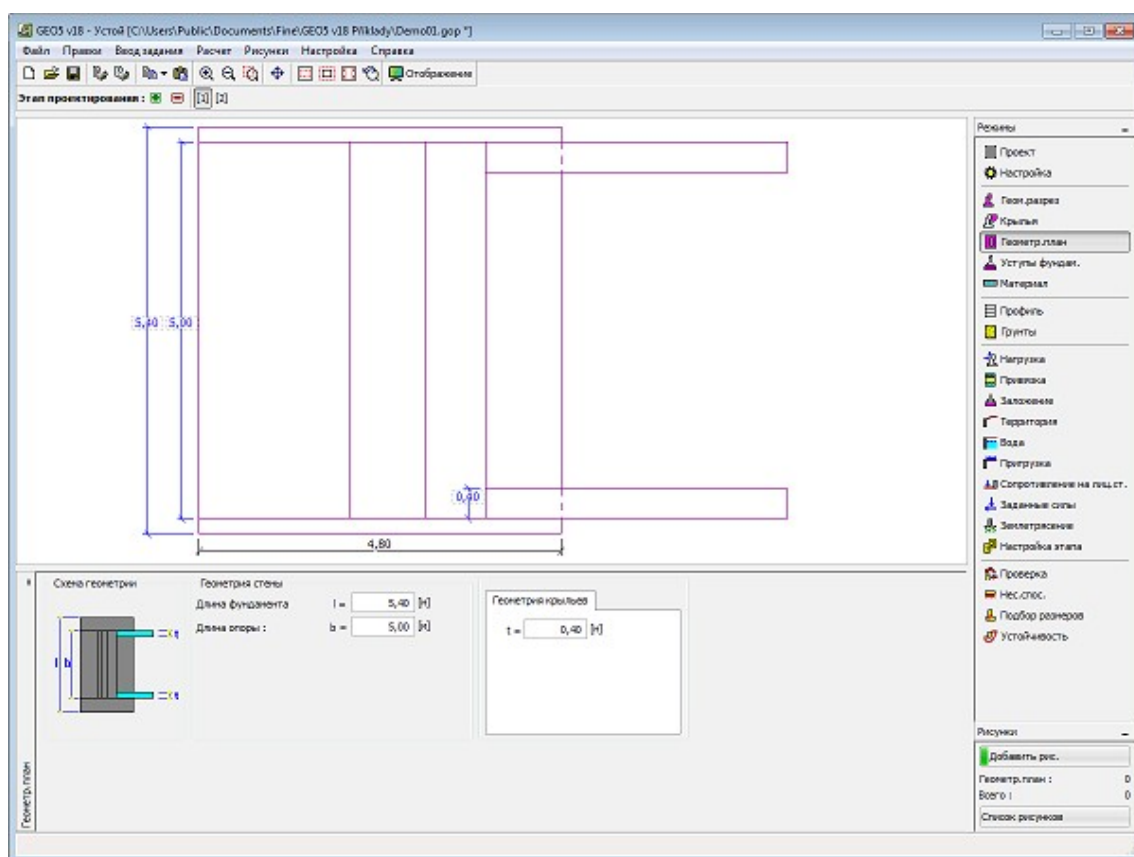
## Геометрия план

В рамку «Геометрия план» задают длину устоя, длину фундамента устоя, а также размеры крыльев устоя.

Размеры можно редактировать или в рамке (вводим значения в вводные поля), или на рабочем столе с помощью **активных размерных чисел**.

**Влияние размеров устоя на проверку** подробно описано в разделе «Расчёт сил, действующих на устой».

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.

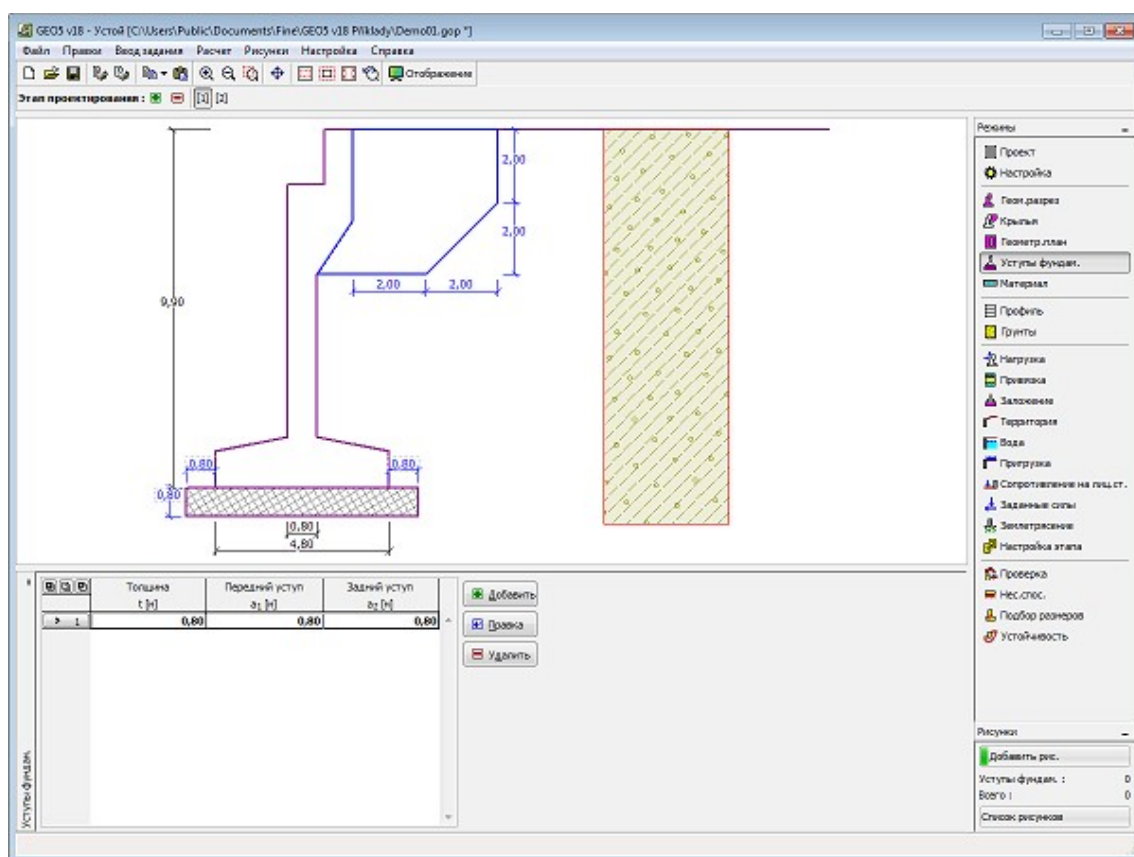


Рамка «Геометрия план»

## Уступы фундаментов

В **рамку «Уступы фундаментов»** можно задавать ступени фундамента под самым устоем. Этим способом можно задавать тоже другие формы устоя.

**Добавление** ступеней фундамента выполняется в **диалоговом окне «Новая ступень»**. Заданные ступени (выступы) можно редактировать тоже на рабочем столе при помощи **активных размерных чисел**, или **активных объектов**.



Рамка «Ступени фундамента»

## Материал

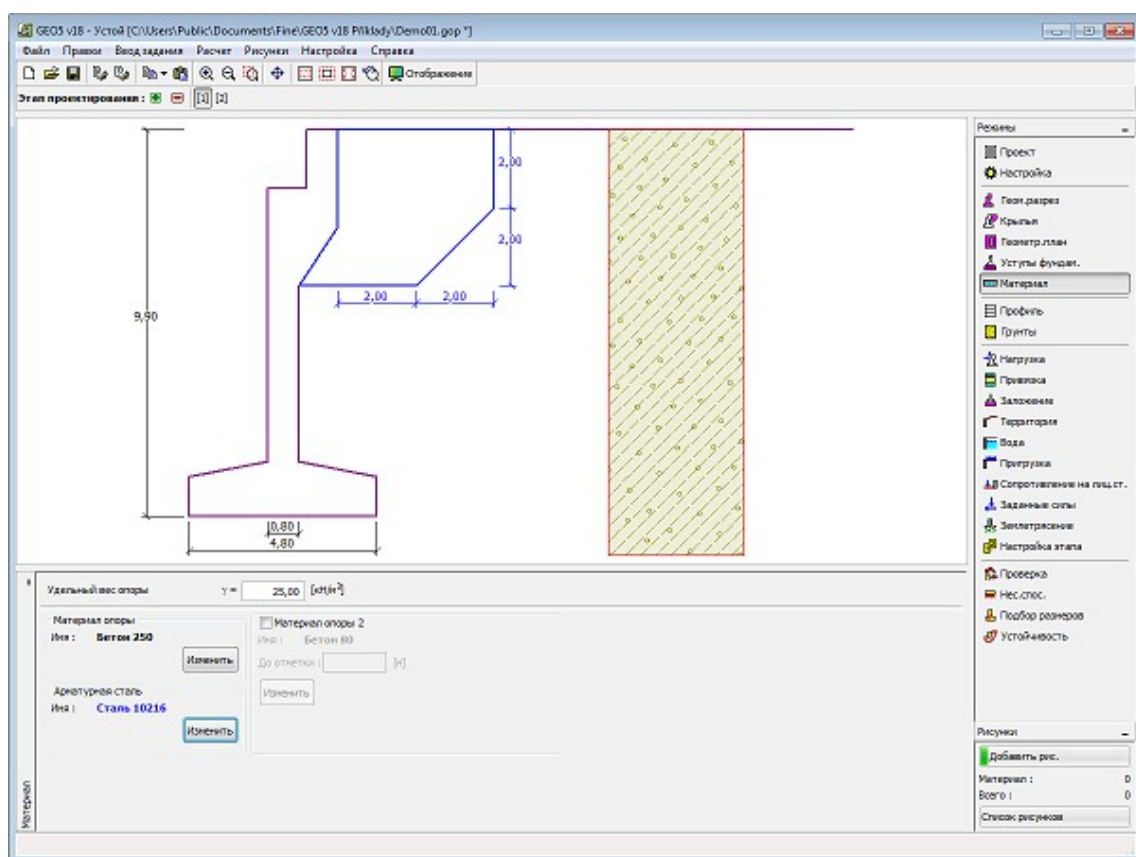
В рамке «**Материал**» выбирают характеристики используемого бетона и продольной стальной армировки.

При выборе материала можно использовать две опции:

- кнопкой «**Каталог**» открыть диалоговое окно «**Каталог материалов**» (бетона или стальной армировки) и вручную ввести нужные характеристики материала
- кнопкой «**Пользователь**» открыть диалоговое окно «**Редактор материала - Бетон**» (для бетона) или диалоговое окно «**Редактор материала - Арматурная сталь**» (для продольной стальной арматуры) и ввести нужные характеристики материала вручную

Содержимое каталогов меняется в соответствии с выбранным стандартом по проектированию бетонных конструкций в закладке «**Материалы и стандарты**». В поле ввода в верхней части рамки задают объёмную силу тяжести стены.





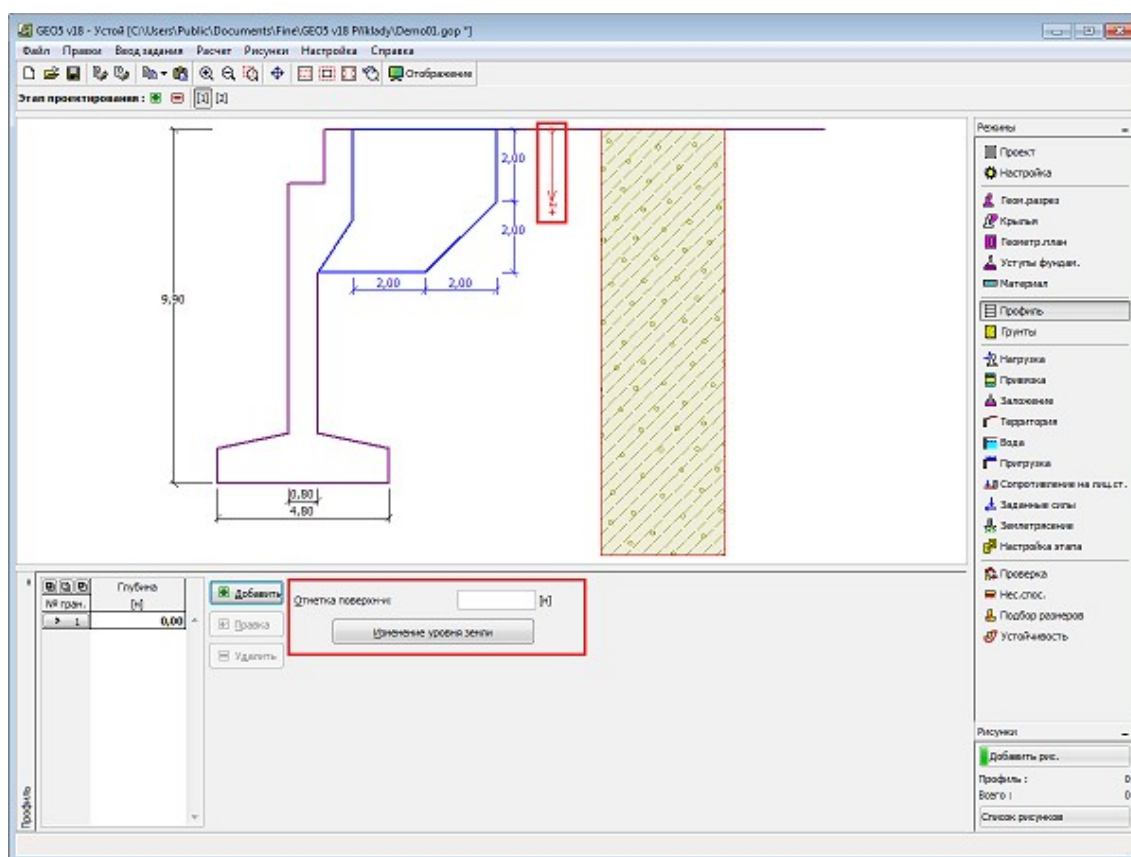
Рамка «Материал»

## Профиль

В рамке «Профиль» есть таблица со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи активных отметок (размерных чисел).

Добавление границы выполняется в диалоговом окне «Создать границу контура». Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне «Изменение уровня земли» и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы «Рельеф».



Рамка «Профиль»

## Грунты

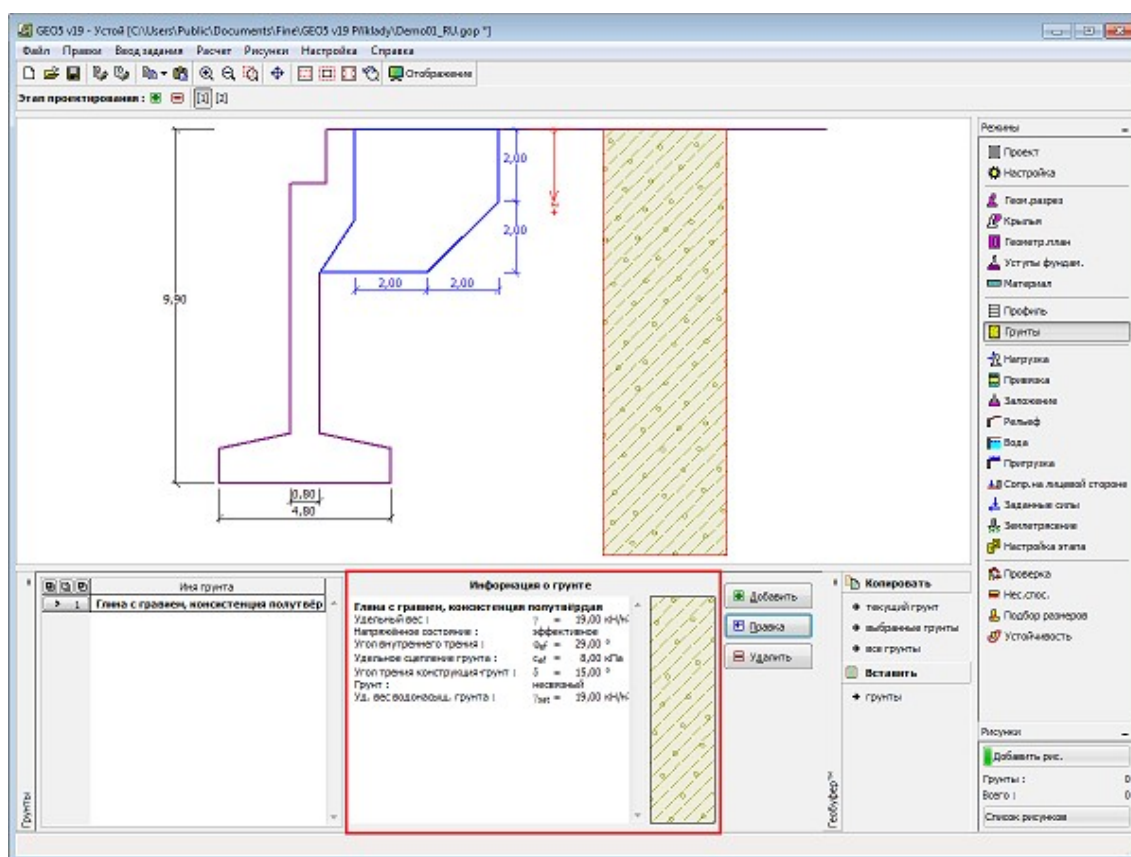
В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. В случае, что в таблице выбрано несколько грунтов, данные об отдельных грунтах расположены в последовательном порядке.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Базовые данные», «Статическое давление грунта» и «Подъёмная сила».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».





Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать **базу данных грунтов** по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Угол внутреннего трения грунта и коэффициент сцепления задают **эффективным** или **полным** в зависимости от установки в выпадающем списке «**Напряжённость**». Выполнять расчёт в **эффективном или полном напряжённом** состоянии зависит прежде всего от типа грунта, характера нагрузки, долговечности конструкции и водного режима.

Для **эффективного напряжённого состояния** задают **угол трения между грунтом и конструкцией**, который зависит от материала конструкции и типа грунта. Ориентировочные значения угла трения между конструкцией и грунтом приводит **таблица рекомендуемых значений**.

Для **полного (тотального) напряжённого состояния** ещё задают **сцепление грунта со стеной строительной конструкции**  $a$ .

Соответствующая теория подробно описана в разделе «**Давление грунта**».

**Добавление новых грунтов**

Идентификация

Имя : Глина с гравием, консистенция полутвёрдая

Глина с гравием, консистенция полутвёрдая

**Базовые данные**

Удельный вес :  $\gamma =$  19,00 [кН/м³] 19,0

Напряжённое состояние : эффективное

Угол внутреннего трения :  $\phi_{ef} =$  29,00 [°] 26-32

Удельное сцепление грунта :  $c_{ef} =$  8,00 [кПа] 4-12

Угол трения конструкция-грунт  $\delta =$  15,00 [°]

Статическое давление

Грунт : несвязный

Подъёмная сила

Расчёт взвешив. усилия : стандартный

Уд. вес водонасыщ. грунта :  $\gamma_{sat} =$  19,00 [кН/м³]

Отображение

Цвет

Категория узоров GEO

Узор

Суглинок с гравием

Классификация

Определи

Стереть

Добавить

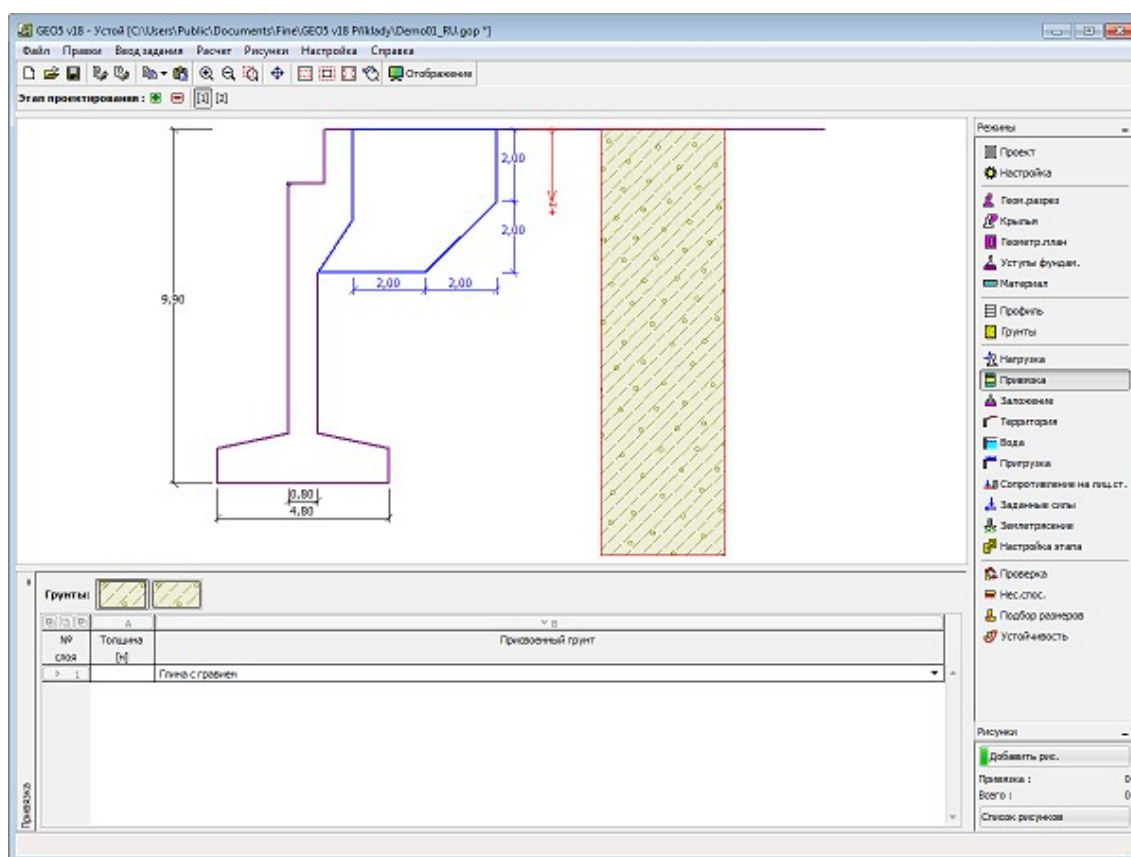
Отмена

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В **рамке «Привязка»** есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).



Рамка «Привязка»

## Нагрузка

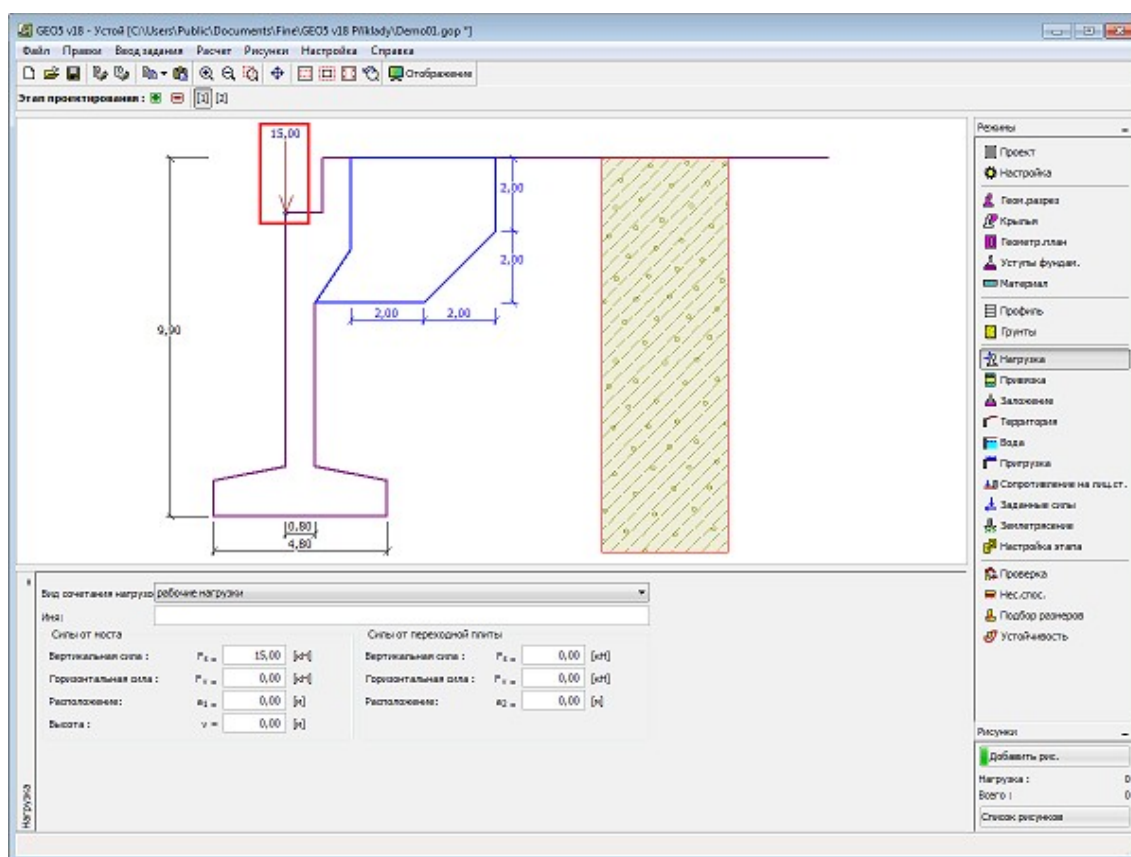
Рамка «**Нагрузка**» назначена для ввода **сочетания нагрузки** (строительной, рабочей) и нагрузки от моста и переходной плиты. В соответствии с заданным типом СН выполняется проверка и подбор размеров устоя моста в целом или его части.

При расчёте по **EN 1997** или по **LRFD** заданная нагрузка от **моста и переходной плиты НЕ ПЕРЕМНОЖАЕТСЯ** ни на какие **частные коэффициенты**. Следовательно, заданные силы должны быть **определены в соответствии** с соответствующими стандартами (EN 1990, EN 1991).

В случае **строительного состояния** устоя не задают никакой нагрузки. Проверка устоя на данном этапе проектирования выполняется без шкафной стенки и крыльев моста.

При **рабочем состоянии** задают нагрузку от **моста и переходной плиты** и их расположения, проверка касается устоя в целом.

Для проверки устоя целесообразно воспользоваться **этапами проектирования** и задавать на отдельных этапах разные сочетания нагрузок (напр., строительное состояние, рабочее состояние без случайной нагрузки, рабочее состояние со всеми видами нагрузок). На отдельных этапах можно задавать разные нагрузки, пригрузки, профили территории, тип расчёта давления (активного, статического), расчётные коэффициенты и др.



Рамка «Нагрузка»

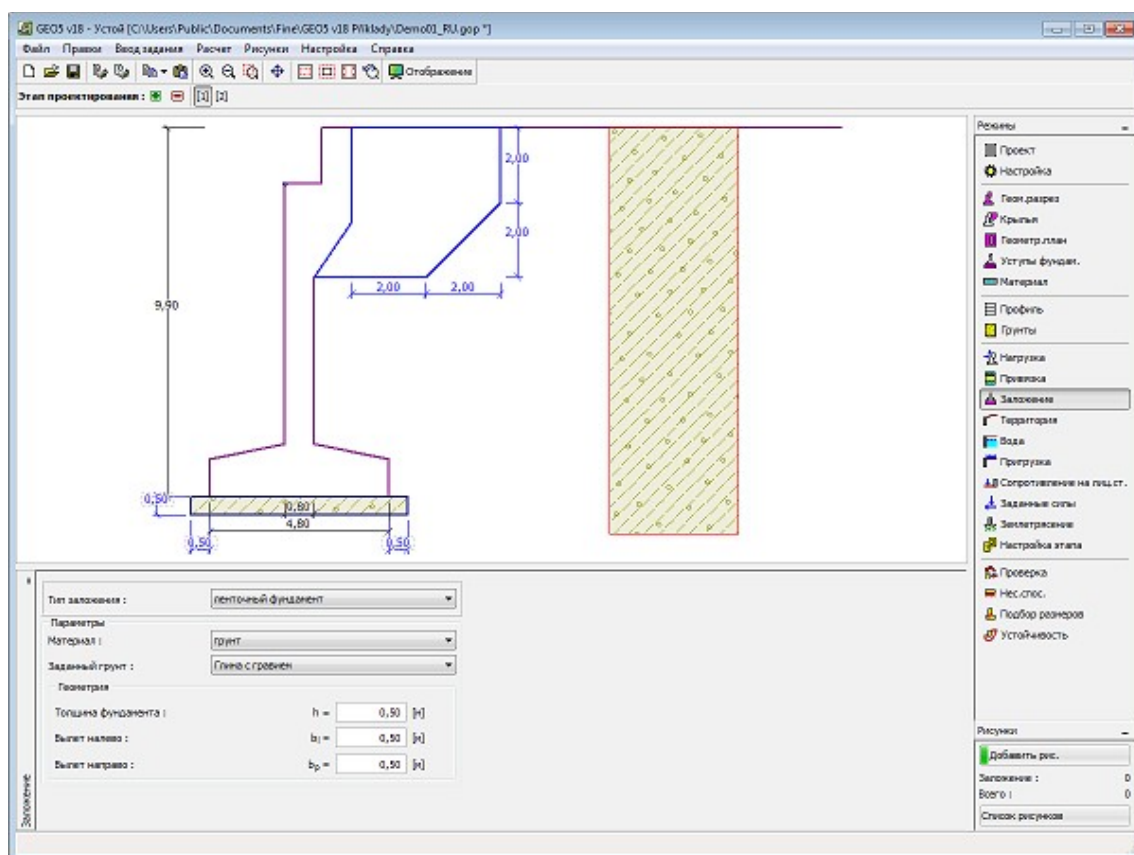
## Заложение

В **рамку «Заложение»** вводим тип заложения стены. Программа позволяет задавать следующие типы заложения стены:

- **грунт - геологический разрез** - стена заложена в грунте **присвоенном** из геологического разреза, который задаётся в рамке «**Профиль**»
- **грунт - ввести параметры контакта** - задаём параметры контакта подошвы фундамента конструкции с грунтом. При выборе «**задать угол трения фундамент-грунт**» в программу вводим угол трения между фундаментом и грунтом  $\psi$  [°]. При выборе «**задать коэффициент трения**» в программу вводим коэффициент трения  $\mu$  [-]. В обоих случаях задаём сцепление между фундаментом и грунтом  $a$  [кПа].
- **ленточный фундамент** - материалом для ленточного фундамента является **грунт** (задан в рамке «**Грунты**») или бетон - вводим **удельный вес материала фундамента**  $\gamma$  и **параметры контакта стена-фундамент** (коэффициент трения  $f$ , сцепление  $c$ , дополнительное сопротивление  $F$ )
- **свайный фундамент** - заложение стены на одном ряде свай или на двух рядах свай

**Ленточный фундамент** и **свайный фундамент** для заложения стены можно применять только при условии, что в рамке «**Геометрия**» задан тип стены с **ровной подошвой фундамента без уступа**. Геометрию заложения стены (**ленточный фундамент**, **свайный фундамент**) можно редактировать в рамке путём ввода соответствующих значений в поля ввода или на рабочем столе с помощью **активных отметок**.

Исходные данные заданные в эту рамку влияют на **расчёт стен** (проверка на перемещение) и дальше на **несущую способность грунта основания**.

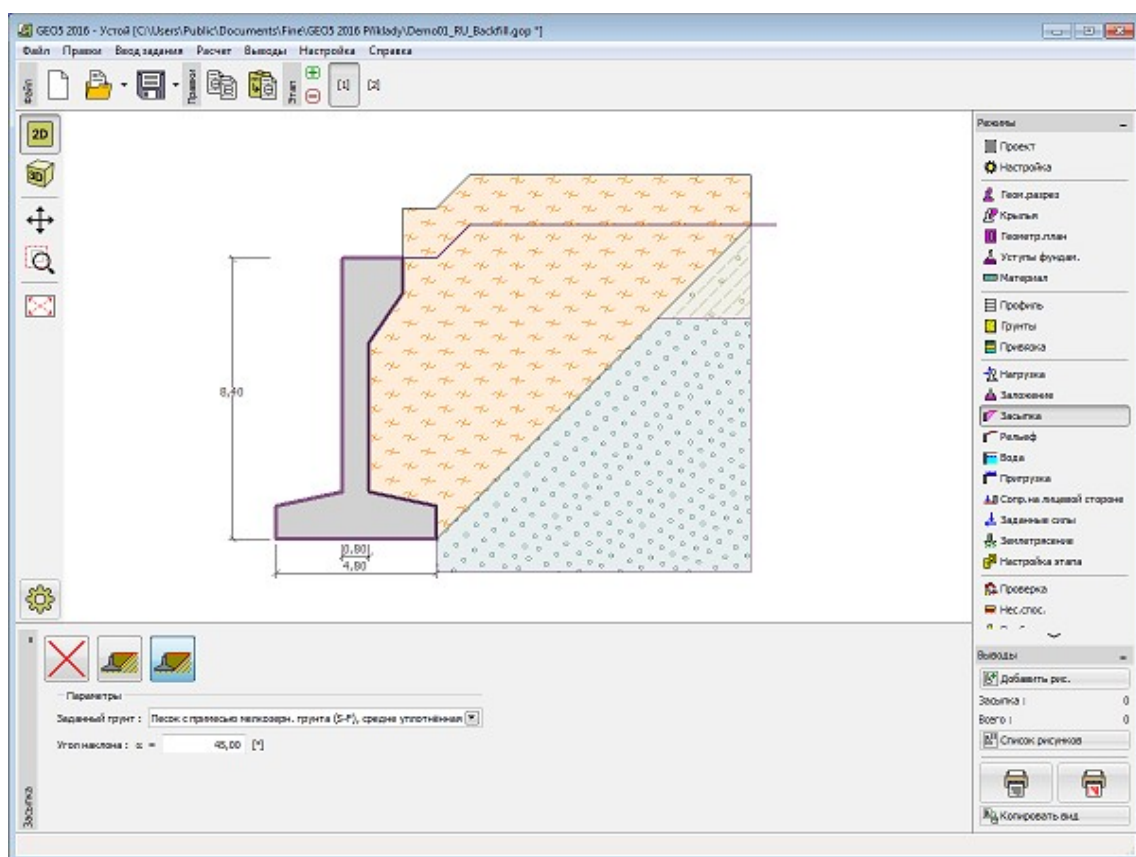


Рамка «Заложение»

## Засыпка

В **рамке «Засыпка»** нажатием кнопки выбираем вид засыпки.

В выпадающем списке задаём грунт присвоенный засыпке (его параметры определяются в рамке «Грунты»). Дальше задаём уклон засыпки.



Рамка «Засыпка»

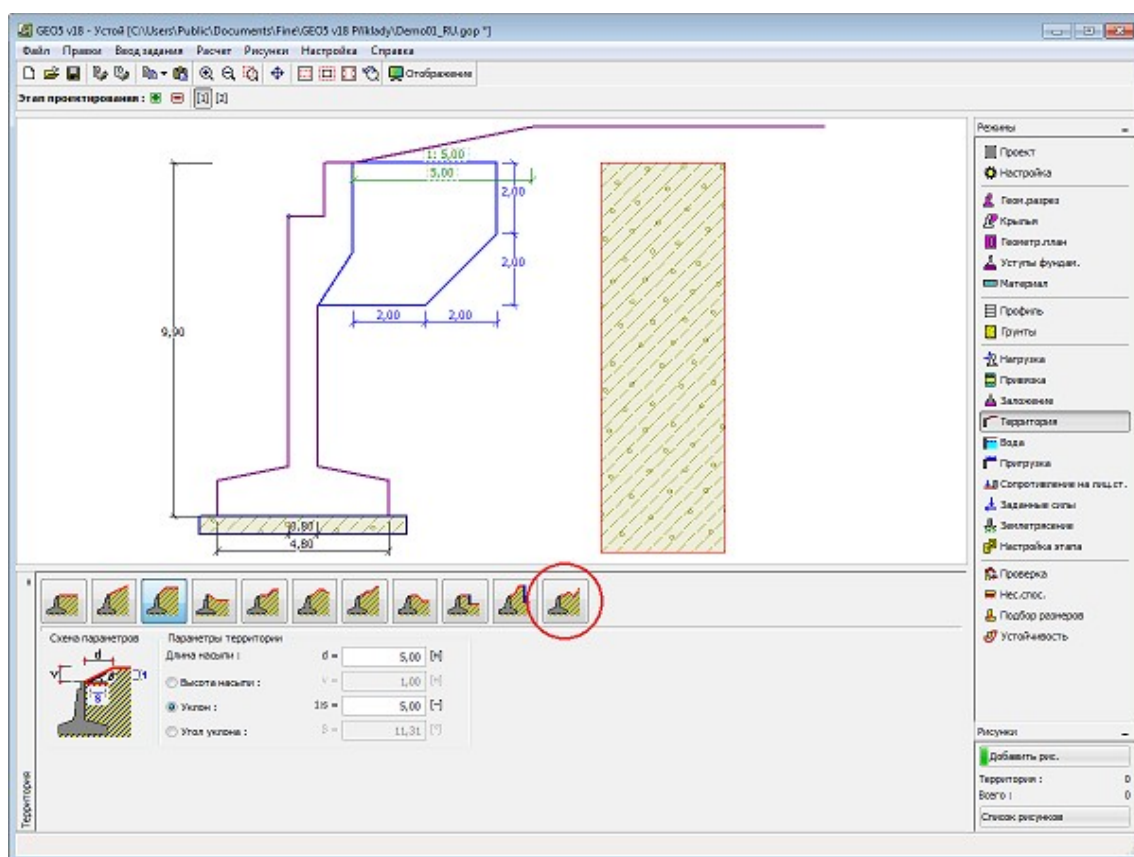
## Рельеф

В **рамке «Рельеф»** нажатием кнопки выбираем рельеф местности. Выбранный рельеф с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактировать можно или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

Последний выбор в меню - общая форма (рельеф) местности. Для этого есть в рамке таблица со списком точек (пунктов) на местности. Первый пункт местности с координатой [0,0] лежит на верхней точке конструкции.

Расчёт давлений грунта в случае наклонной местности описан в теоретической части подсказки «**Распределение давления грунта при пересечённой местности**».





Рамка «Рельеф»

## Вода

В **рамке «Вода»** нажатием кнопки выбираем тип воды. Выбранный тип с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Параметры воды ( $h_1$ ,  $h_2$ ...) можно редактировать или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

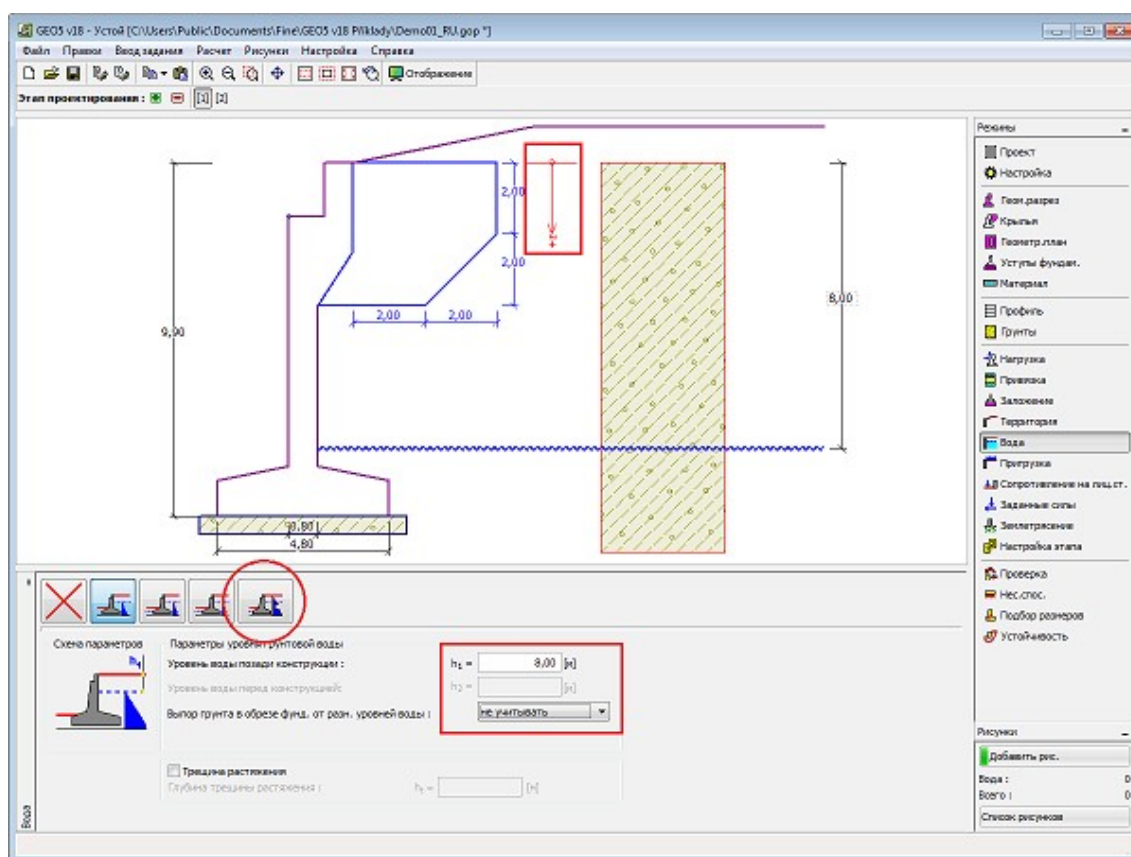
В выпадающем списке отмечаем, предполагается ли воздействие взвешивающей силы воды от разных уровней в подошве. Она может быть **линейной**, **параболической** или вообще не принимается во внимание. Взвешивающая сила в подошве от различной высоты уровней воды принимается как отдельная сила в анализе стены.

Последний выбор - это ручной ввод порового давления перед и за конструкцией. В рамке появляются две закладки «**Перед конструкцией**» и «**За конструкцией**» с таблицами. В **таблицы** вводят значения порового давления перед или за конструкцией на глубине « $z$ » (см. ось  $z$ )

Высоту уровня воды можно задавать также **над конструкцией** или над грунтовым профилем - в таком случае значению глубины воды присваивается отрицательный знак.

Расчёт давлений грунта с воздействием воды описан в теоретической части подсказки «**Воздействие воды**».

Программа позволяет задавать глубину **трещин растяжения** заполненных водой.



Рамка «Вода»

## Пригрузка

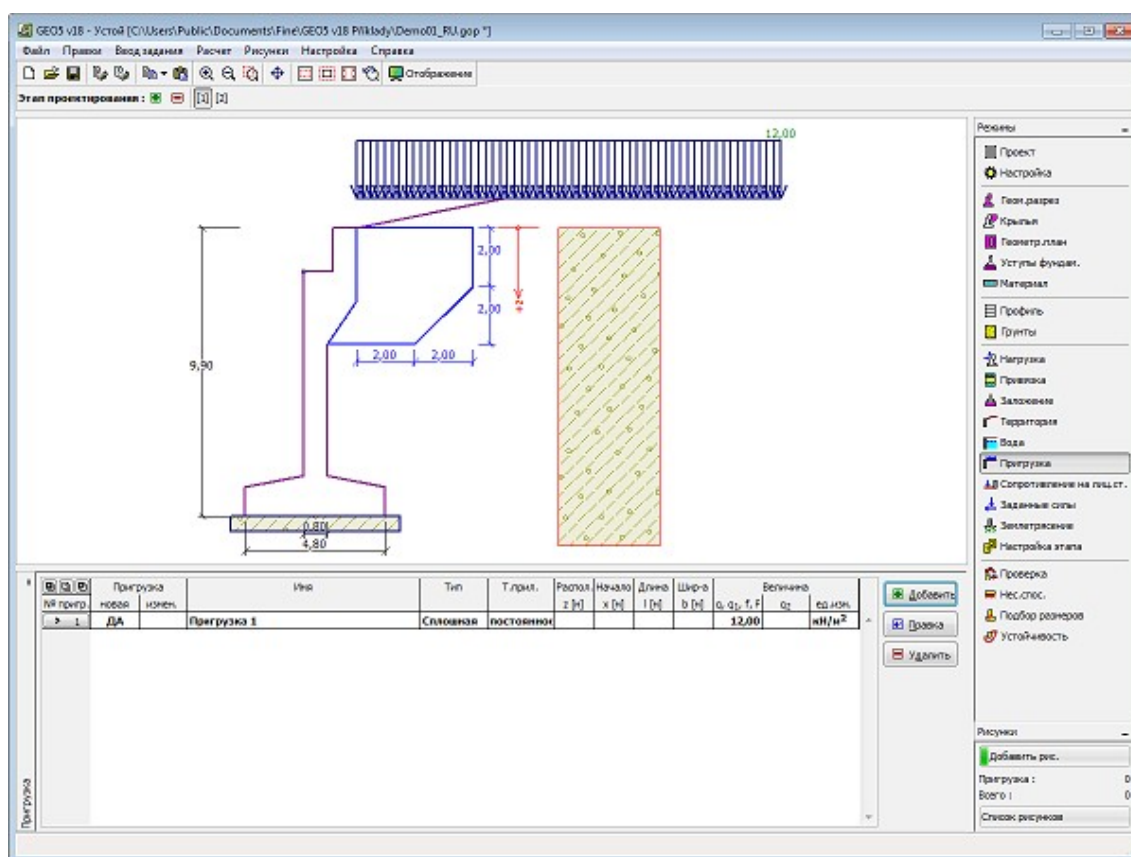
В **рамке «Пригрузка»** есть **таблица** со списком заданных пригрузок. **Добавление** пригрузки выполняется в **диалоговом окне «Создать пригрузку»**. Редактировать заданную пригрузку можно также на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

Вместе с вводом пригрузки на глубине нужно задать координату  $z$  от верхней точки конструкции, с положительным знаком в глубину. В случае, что пригрузка задана вне пределов местности, программа перед выполнением расчёта даст сообщение об ошибке.

Пригрузку можно задавать **постоянной, переменной** или **случайной**. В зависимости от типа воздействия пригрузки результирующее воздействие умножается на соответствующий расчётный коэффициент. Случайная пригрузка с положительным воздействием в расчёт не принимается.

Расчёт давлений грунта от пригрузки описан в теоретической части справки **«Воздействие пригрузки»**.





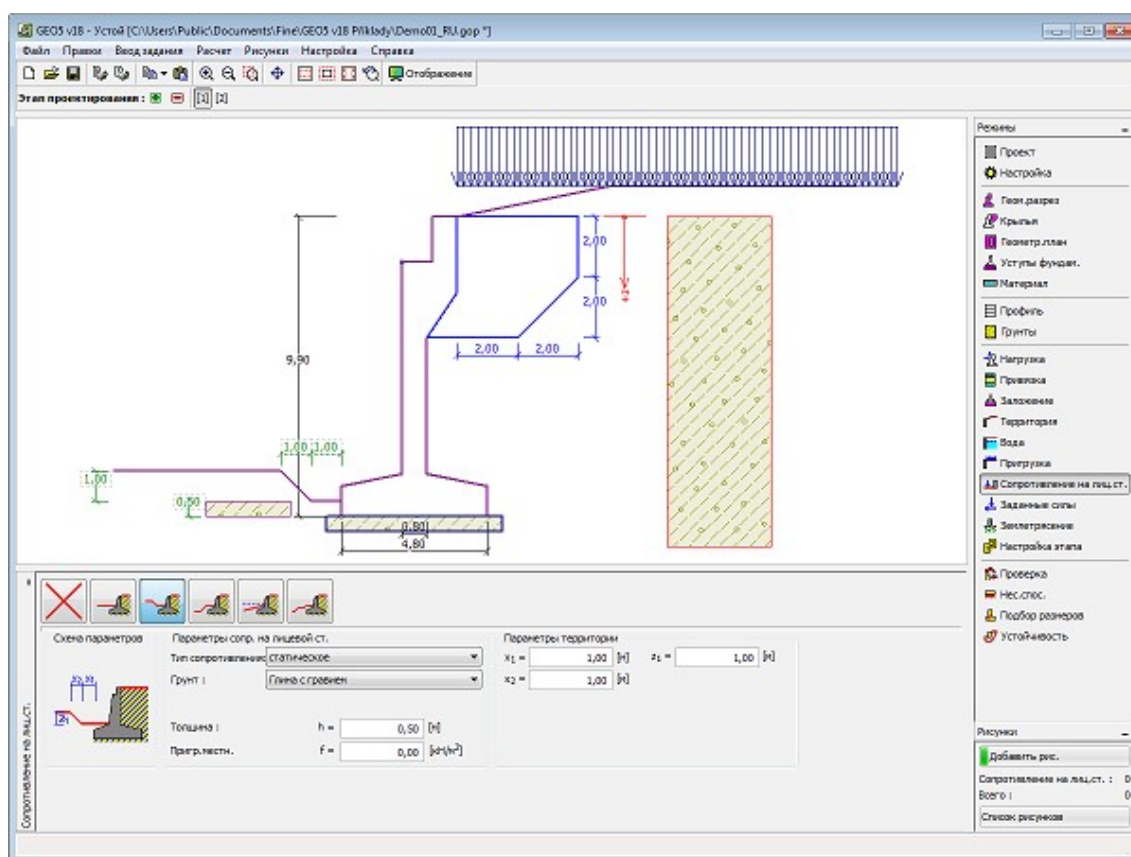
Рамка «Пригрузка»

## Сопротивление на лицевой стороне

В **рамке «Сопротивление на лицевой стороне»** нажатием кнопки выбирают форму (профиль) местности и параметры сопротивления на лицевой стороне стены. Выбранный рельеф с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактирование рельефа местности можно выполнять или в рамке путём ввода значений в поля ввода, или на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

В рамке в выпадающем списке выбирают тип сопротивления и грунт ( в списке находятся грунты, указанные в режиме «**Грунты**»). В рамку можно задавать величину пригрузки на местности перед стенкой, или толщину грунта над самой нижней точкой конструкции стены.

Сопротивление на лицевой стороне можно задать **статическим давлением**, **пассивным давлением** или **приведённым пассивным давлением**. Результирующая сила от приведённого пассивного давления принимается как равнодействующая сил от активного и пассивного давлений, умноженных на соответствующий коэффициент в соответствии с заданным типом приведённого пассивного давления.



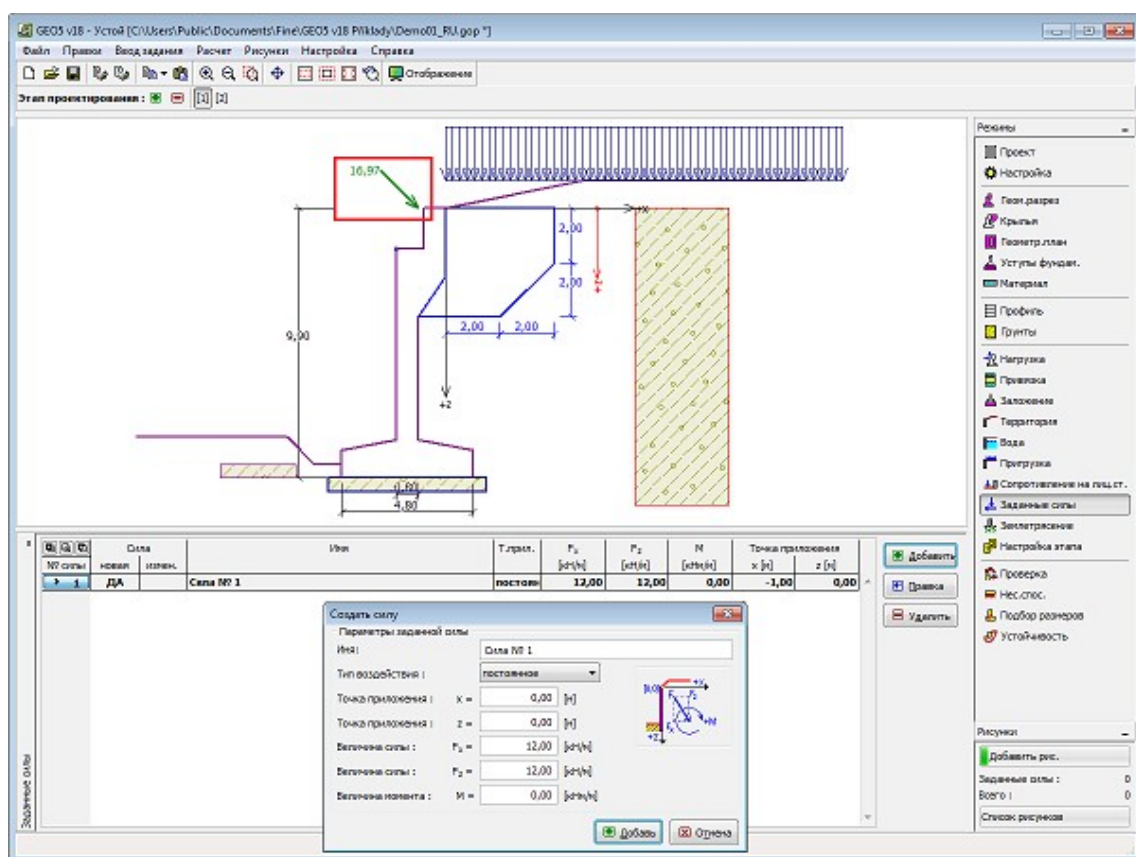
Рамка «Сопротивление на лицевой стороне»

## Заданные силы

В рамке «**Заданные силы**» есть таблица со списком заданных сил, действующих на конструкцию. Добавление сил выполняется в диалоговом окне «**Создать силу**». Редактирование заданных сил можно также выполнять на рабочем столе с помощью активных объектов.

**Заданными силами** разумеется дополнительная нагрузка действующая на конструкцию стены, ограждения, укрепленной (армированной) насыпи. Заданными силами можно моделировать, напр., заанкерование колёсоотбойных дорожных ограждений, удар транспортного средства, нагрузку от рекламных щитов (билбордов) и т.п. Программа заданные силы в расчёте дальше не меняет.

Наружную нагрузку приложенную к грунту или к поверхности территории нужно моделировать как **пригрузку**.



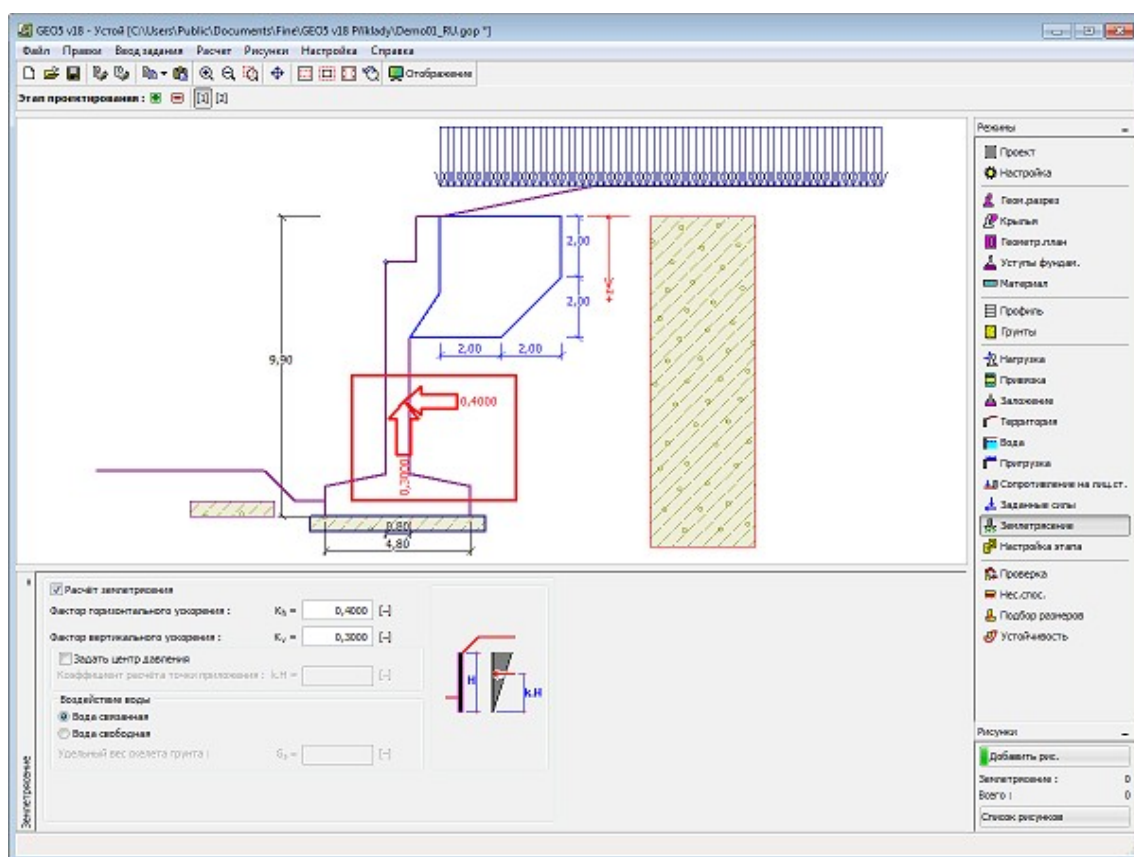
Рамка «Заданные силы»

## Землетрясение

В **рамку «Землетрясение»** задают параметры сеймики. Направления заданных сейсмических воздействий отображены на рабочем столе.

В случае отсутствия коэффициентов  $k_h$  и  $k_v$  полученных в результате измерений, проводят дополнительный расчёт способом указанным в EN 1998-5.

Расчёт давлений грунта с воздействием землетрясения описан в теоретической части подсказки «**Воздействие землетрясения**».



Рамка «Землетрясение»

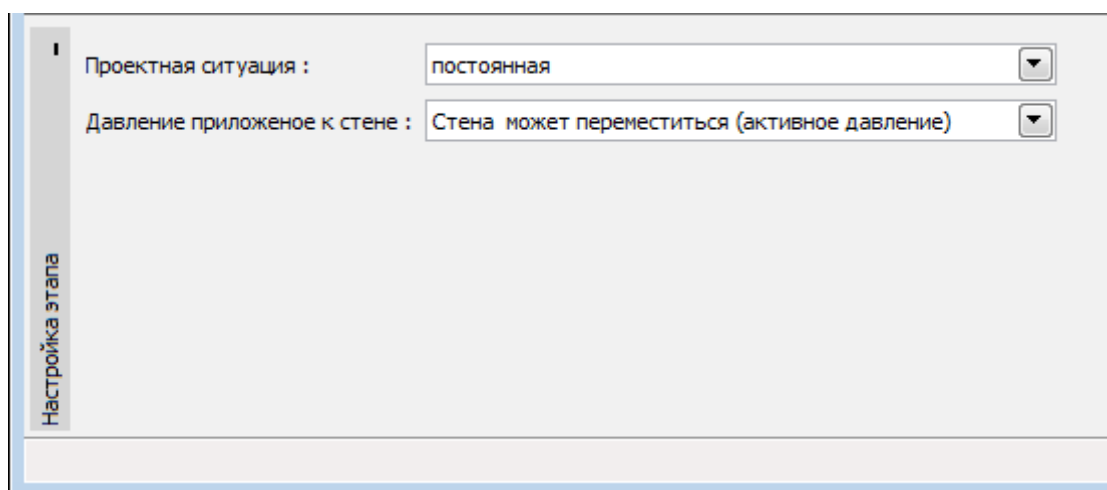
## Настройка этапа

В **рамку «Настройка этапа»** задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования.

Внешний вид рамки зависит от выбора **методики проверки**.

Далее выбирают тип давления, приложенного к стене с учётом допускаемой деформации стены. Для стены, у которой возможно перемещение в расчёт принимают нагрузку от **активного давления**, в обратном случае **статического давления**. Третий выбор позволяет нагрузить конструкцию стены **увеличенным активным давлением**.



Рамка «Настройка этапа»

## Проверка

В рамке «**Проверка**» отображены результаты расчёта. По одной задаче можно выполнить несколько расчётов.

Вид рамки меняется в зависимости от выбора методики проверки:

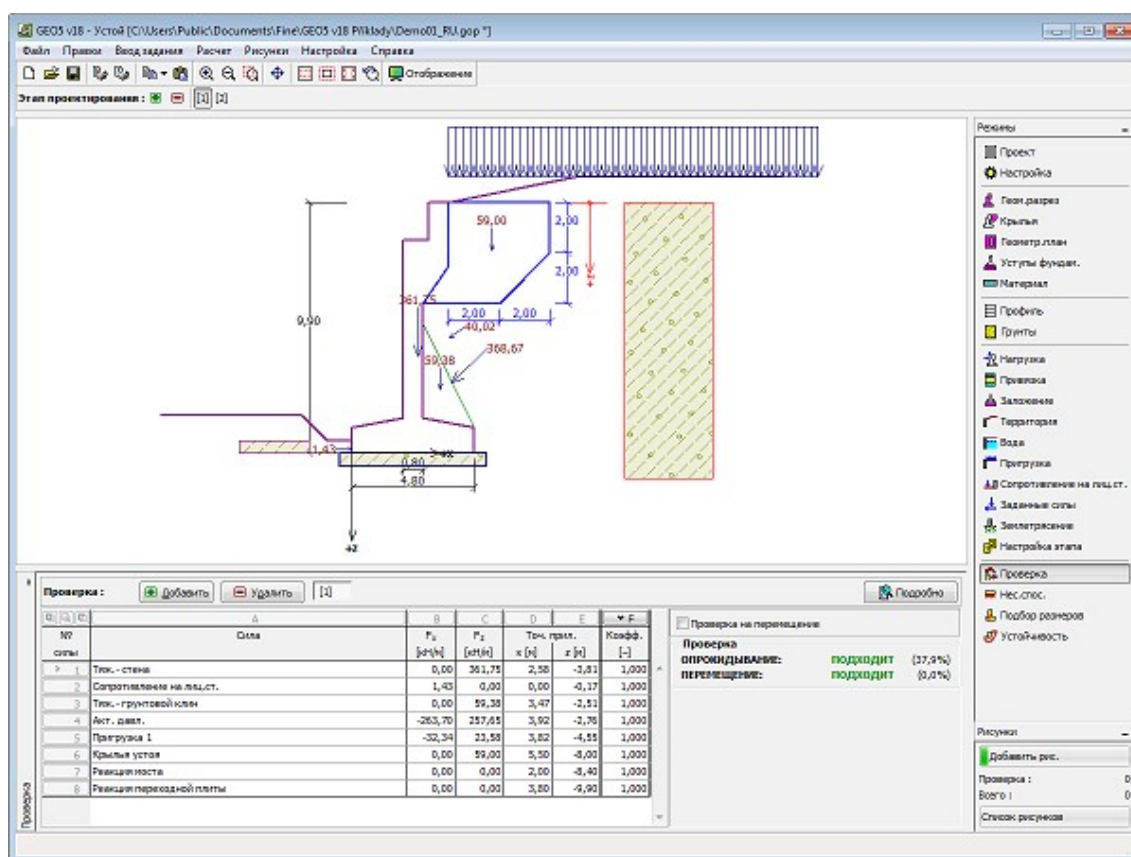
- Расчёт по коэффициенту безопасности или предельным состояниям - в таблице в последней колонке указывают расчётные коэффициенты, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.
- Расчёт по EN 1997 - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «Комбинация нагрузок».
- Расчёт по LRFD - в таком случае последняя колонка не отображена.

На стену действует или активное давление, или статическое давление в зависимости от задания в рамке «Настройка этапа».

Порядок собственного анализа стены описан в теоретической части подсказки.

Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. В правой части рамки отображается результат анализа стены на опрокидывание и перемещение. Кнопкой «**Подробнее**» открывается диалоговое окно с подробной выпиской результатов анализа.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».



Рамка «Проверка»

## Несущая способность

В рамке «Несущая способность» отображены результаты расчёта несущей способности грунта основания. Напряжение в подошве (принято постоянным) рассчитано на основе всех анализов выполненных в рамке «Проверка». В программу «Отдельные фундаменты» анализы будут переведены как сочетания нагрузок.

Рамка предлагает следующие опции расчётов:

- **Ввести несущую способность грунта основания**
- **Рассчитать несущую способность грунта основания в программе «Отдельные фундаменты»**

В вводное поле вводят несущую способность грунта основания. Результаты анализа стены на **эксцентриситет** и **несущую способность грунта** основания отображены в правой части рамки. Кнопка «**Подробнее**» открывает диалоговое окно с детальной выпиской результатов анализа несущей способности грунта.

Кнопкой «**Запуск программы Отдельные фундаменты**» **запустить программу «Отдельные фундаменты»**, в которой можно рассчитать несущую способность грунта основания, или осадку и поворот фундамента. После выполнения расчётов нажать кнопку «**ОК**» - результаты в т.ч. заданные изображения будут переданы в протокол расчёта программы «**Устой**». Если не установлена программа «**Отдельные фундаменты**», то кнопка недоступна. Задают общую длину фундамента



стены.

- **Рассчитать вертикальную несущую способность одиночной сваи с помощью программы «Сваи»**

Процедура расчёта идентична расчёту несущей способности грунта основания с помощью программы «Отдельные фундаменты». Кнопка **«Запуск программы Свая»** доступна в случае заложения стены на сваях (рамка **«Заложение»**). Задаём продольный шаг свай  $s$ .

- **Рассчитать вертикальную несущую способность куста свай с помощью программы «Куст сваи»**

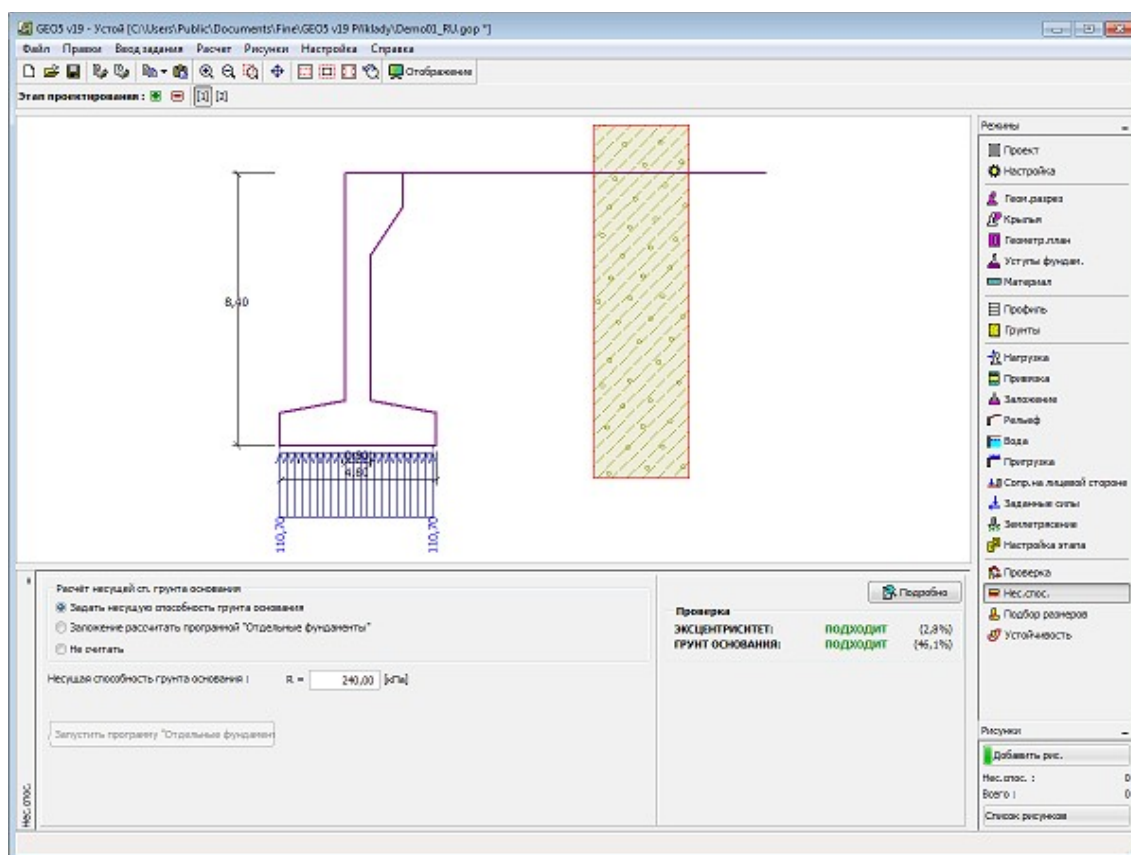
Процедура расчёта идентична расчёту несущей способности грунта основания с помощью программы «Отдельные фундаменты». Кнопка **«Запуск программы Куст сваи»** доступна в случае заложения стены на сваях (рамка **«Заложение»**). Задаём продольный шаг свай  $s$ , общее количество рядов свай  $n$  и длина нагружения  $l$ .

- **Не проводить расчёт (фундамент на сваях)**

Не производится расчёт несущей способности грунта основания.

Программа позволяет **форму напряжения в грунте основания**.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне **«Настройка рисования»**.



Рамка «Несущая способность»

## Подбор размеров

В **рамку «Подбор размеров»** можно вводить и проверять армировку сечений устоя -

сечение подбираем в выпадающем списке. В таблице показаны **силы, действующие на устой**.

Предложенные на проверку сечения между собой отличаются в зависимости от заданного **сочетания нагрузок** (строительные, рабочие).

Для строительных и рабочих сочетаний нагрузок можно проверять следующие сечения:

- **Анализ тела стены**
- **Анализ в рабочем шве** - задаём **глубину** рабочего шва от верхней грани конструкции
- **Анализ выступа стены**

Для рабочих нагрузок ещё также можно проверять:

- **Проверка шкафной стены**
- **Проверка крыло-устой** - задают пригрузку всей площади территории, подробное описание расчёта - см. Раздел «**Крылья**»

Вид рамки меняется в зависимости от выбора **методики проверки**:

- Расчёт по **коэффициенту безопасности** или **предельным состояниям** - в таблице в последней колонке указывают **расчётные коэффициенты**, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.
- **Расчёт по EN 1997** - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «**Комбинация нагрузок**».
- **Расчёт по LRFD** - в таком случае последняя колонка не отображена.

На устой действует нагрузка или **активным давлением грунта** или **статическим давлением** в зависимости от задания в рамке «**Настройка этапа**», при расчёте крыльев - **активным давлением грунта**.

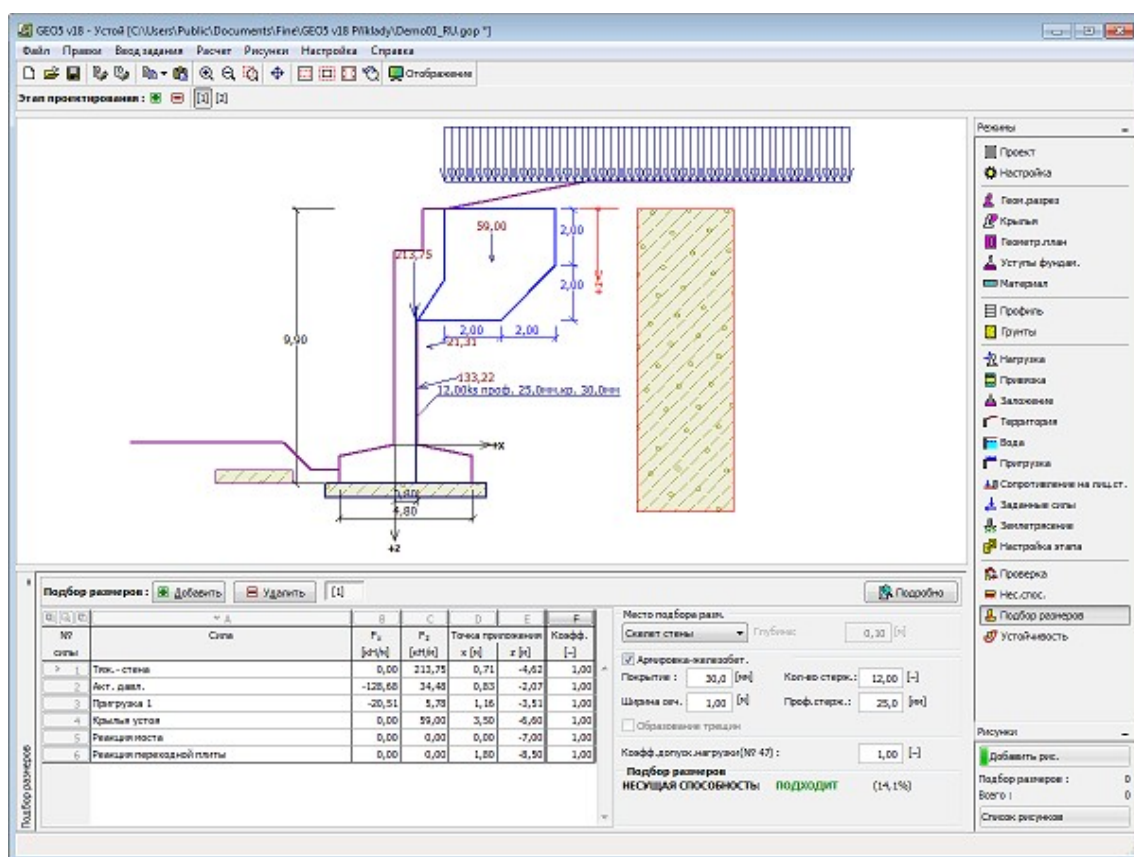
Порядок определения внутренних сил в отдельных сечениях описан в теоретической части справки.

Подбор размеров ж/б или бетонной конструкции выполняется в соответствии со стандартом, заданным в закладке «**Материалы и стандарты**». Проверка по **CSN 73 6206 «Проектирование бетонных и железобетонных мостовых конструкций»** описана [здесь](#).

В рамке можно выполнять **несколько расчётов** по разным сечениям, а также задавать различные **коэффициенты расчёта** отдельных сил. Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. Кнопка «**Подробнее**» открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов подбора размеров.

Стиль рисунка можно менять в рамке «**Настройка рисования**».



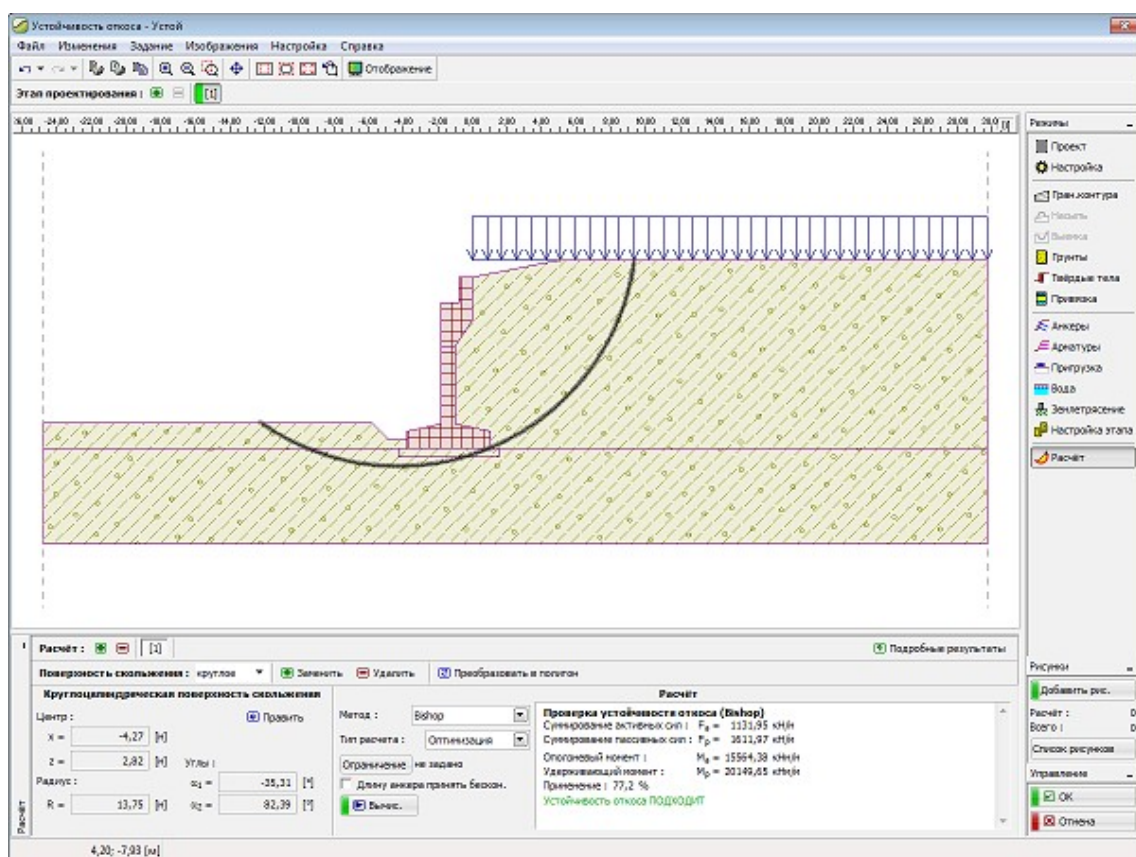


Рамка «Подбор размеров»

## Устойчивость

Нажатием на кнопку **«Устойчивость»** запускаются программа **«Устойчивость откоса»** и в программу передаются все необходимые данные. В программе Устойчивость откоса можно анализировать общую устойчивость конструкции стены. Кнопка недоступна, если программа **«Устойчивость откоса»** не установлена.

После выполнения расчёта нажатием кнопки **«ОК»** передаются результаты в т.ч. рисунки в протокол расчёта в программе **«Устой»**.



Рамка «Устойчивость»

## Программа Нагельное крепление

Программа предназначена для проектирования и анализа откосов с нагельным креплением.

**Справка для программы «Нагельное крепление» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Геометрия	Типы нагелей	Геометрия нагелей	Материал	Профиль
Грунты	Привязка	Рельеф	Вода	Пригрузка	Землетрясение	Настройка этапа
Внутренняя устойчивость	Проверка	Несущая способность	Подбор размеров	Устойчивость		

- Стандарты и методы расчёта

- Теория расчётов в программе «**Нагельное крепление**»:

Напряжение в  
массиве грунта

Давление грунта

Анализ опор

Анализ  
устойчивости  
основания

Измерение  
бетонных  
конструкций

- Справка относительно **результатов на выходе**
- Информация общего характера о работе в **пользовательской среде** программ GEO5
- **Общие операции** для всех программ

## Проект

В **рамку «Проект»** задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой **текстовой и графической информации**.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (**метрическую / дюймовую**). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «**Геобуфера**».

Рамка «Проект»

## Настройка

В **рамку «Настройка»** предназначена для ввода основных «**Настроек**» программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой «**Выбрать настройки**» выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из «**Перечня настроек**».

Кнопка «**Администратор настройки**» открывает диалоговое окно «**Администратор настройки**», в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

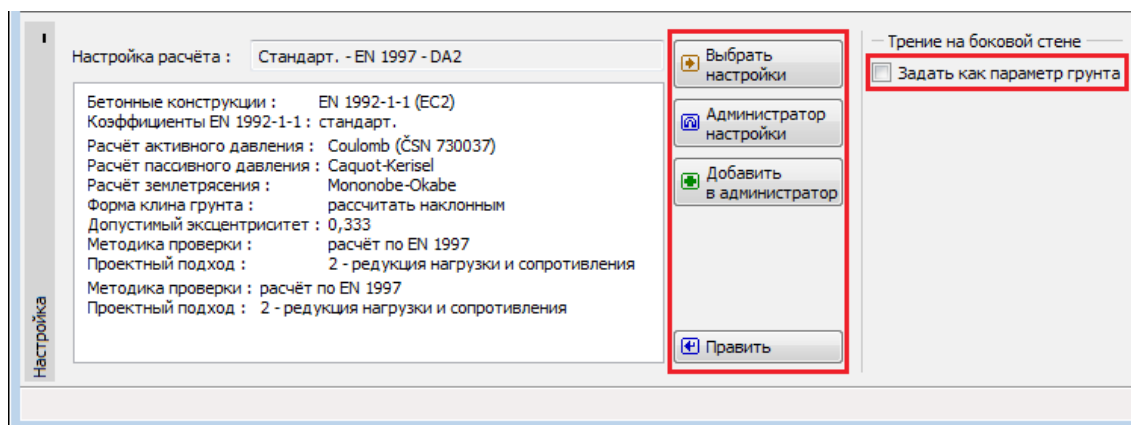
Кнопка «**Добавить в администратор**» позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка «**Править**» позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в «**Задано для текущей задачи**». После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку «**Добавить в администратор**» и добавляем настройку в «**Администратор настройки**».

Настройка «**Задано для текущей задачи**» обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладках «**Материалы и стандарты**», «**Расчёт стен**» и «**Расчёты на устойчивость**».

При расчёте несущей способности нагеля на вырывание из грунта можно задать как параметр грунта **трение на боковой поверхности**.



Рамка «Настройка»

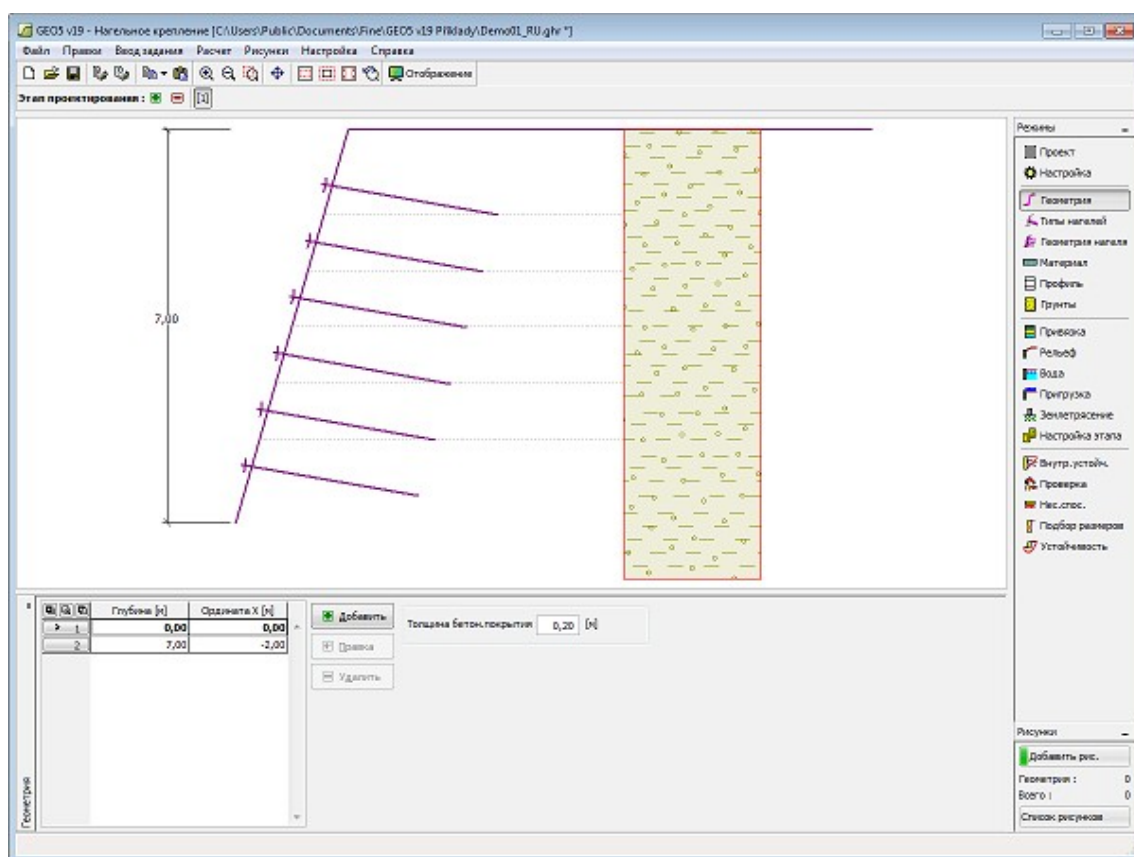
## Геометрия

В **рамке «Геометрия»** находится **таблица** со списком заданных точек передней лицевой стороны конструкции. **Добавление** точек выполняется в **диалоговом окне «Создать точку»**.

Заданные точки можно также править на рабочем столе с помощью **активных объектов** - двойным щелчком на точке открываем диалоговое окно с соответствующей точкой.

Задают глубину (координата  $z$  от верхней точки конструкции - по направлению вертикально вниз - положительное значение) и ордината  $x$  (отрицательное значение по направлению влево, в задании конструкции запрещено задавать свес).

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.

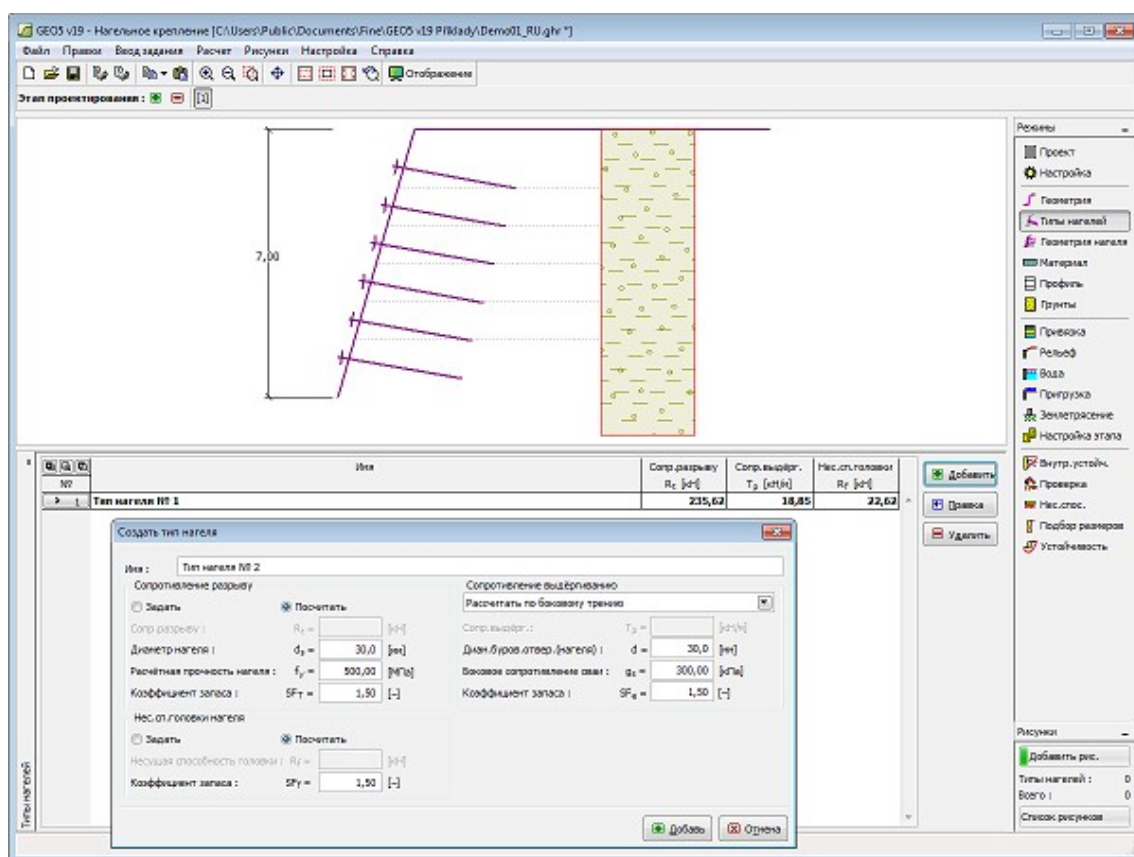


Рамка «Геометрия»

## Типы нагелей

В рамке «**Типы нагелей**» задают в таблице типы нагелей. Характеристики прочности нагелей можно **задавать или непосредственно**, или программа сама **сделает расчёт по заданным данным**.

В таблице находятся заданные или рассчитанные следующие входные данные, **несущие способность головок нагелей, сопротивление нагеля разрыву** и сопротивление  $1\text{ м}$  ( $1\text{ ft}$ ) нагеля **выдёргиванию из грунта**.



Рамка «Типы нагелей»

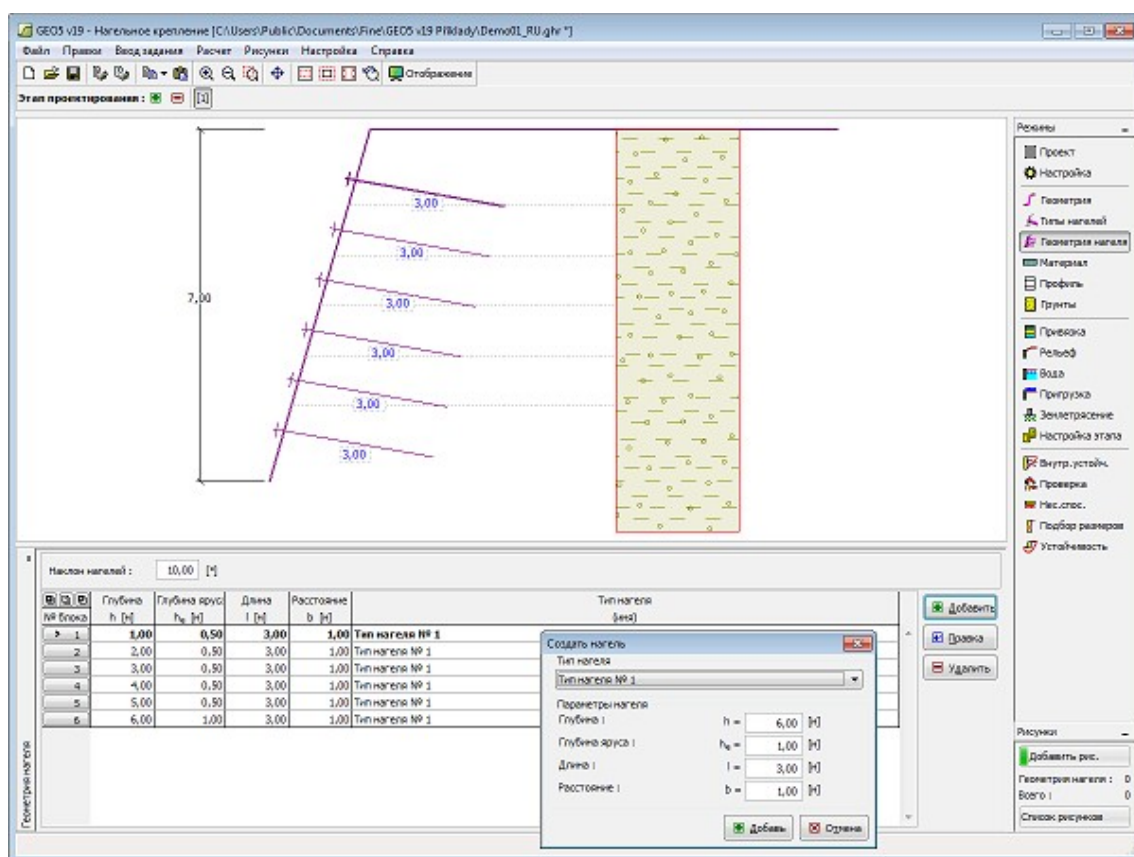
## Геометрия нагелей

В рамке «Геометрия нагелей» находится таблица со списком заданных нагелей. Добавление нагелей выполняется в диалоговом окне «Создать нагель». Заданные нагели можно редактировать также рабочем столе с помощью активных объектов.

Задают глубину нагеля, **глубину яруса от соответствующего нагеля** (следующий нагель должен быть расположен на такой глубине, чтобы лежал ниже яруса верхнего нагеля), длину нагеля, его диаметр и расстояние.

Наклон нагелей принимается от горизонтального по направлению часовых стрелок и единым для всех нагелей.





Рамка «Геометрия нагелей»

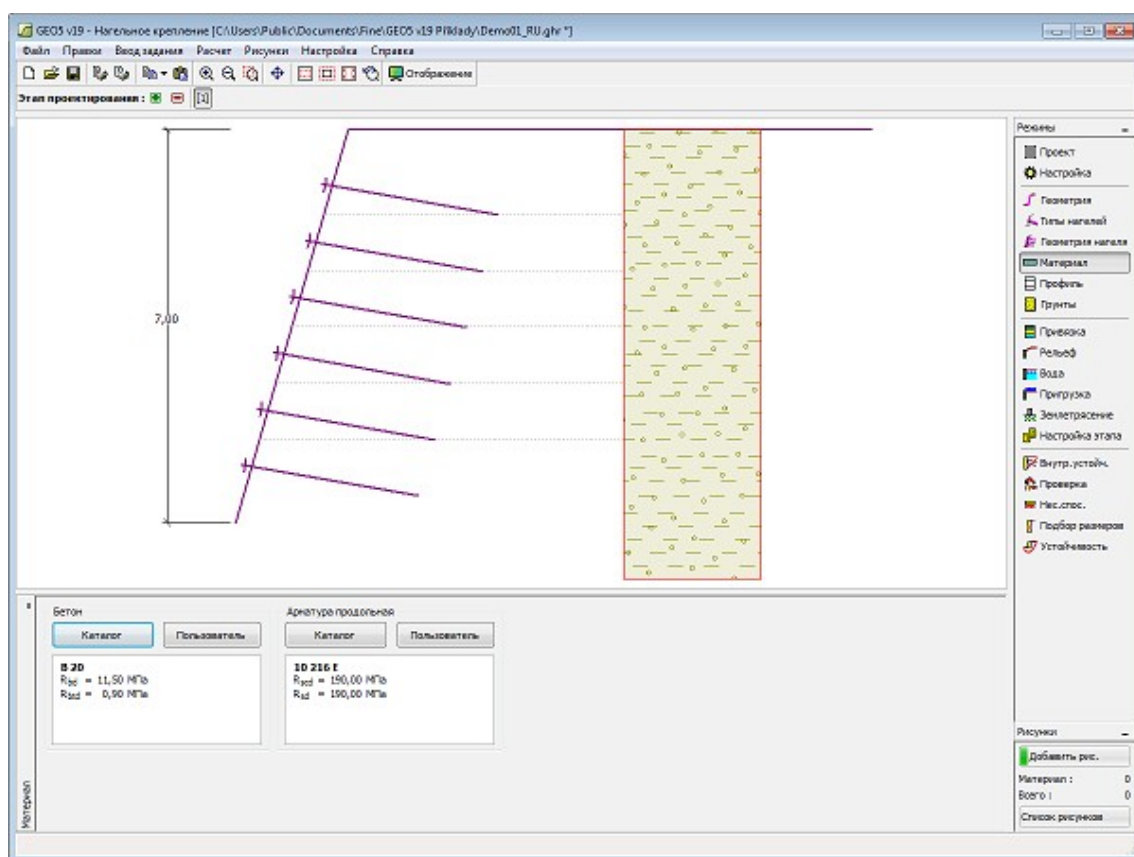
## Материал

В **рамке «Материал»** выбирают характеристики используемого бетона и продольной стальной армировки.

При выборе материала можно использовать две опции:

- кнопкой **«Каталог»** открыть диалоговое окно **«Каталог материалов»** (бетона или стальной армировки) и вручную ввести нужные характеристики материала
- кнопкой **«Пользователь»** открыть диалоговое окно **«Редактор материала - Бетон»** (для бетона) или диалоговое окно **«Редактор материала - Арматурная сталь»** (для продольной стальной арматуры) и ввести нужные характеристики материала вручную

Содержимое каталогов меняется в соответствии с выбранным стандартом по проектированию бетонных конструкций в закладке **«Материалы и стандарты»**. В поле ввода в верхней части рамки задают объёмную силу тяжести стены.



Рамка «Материал»

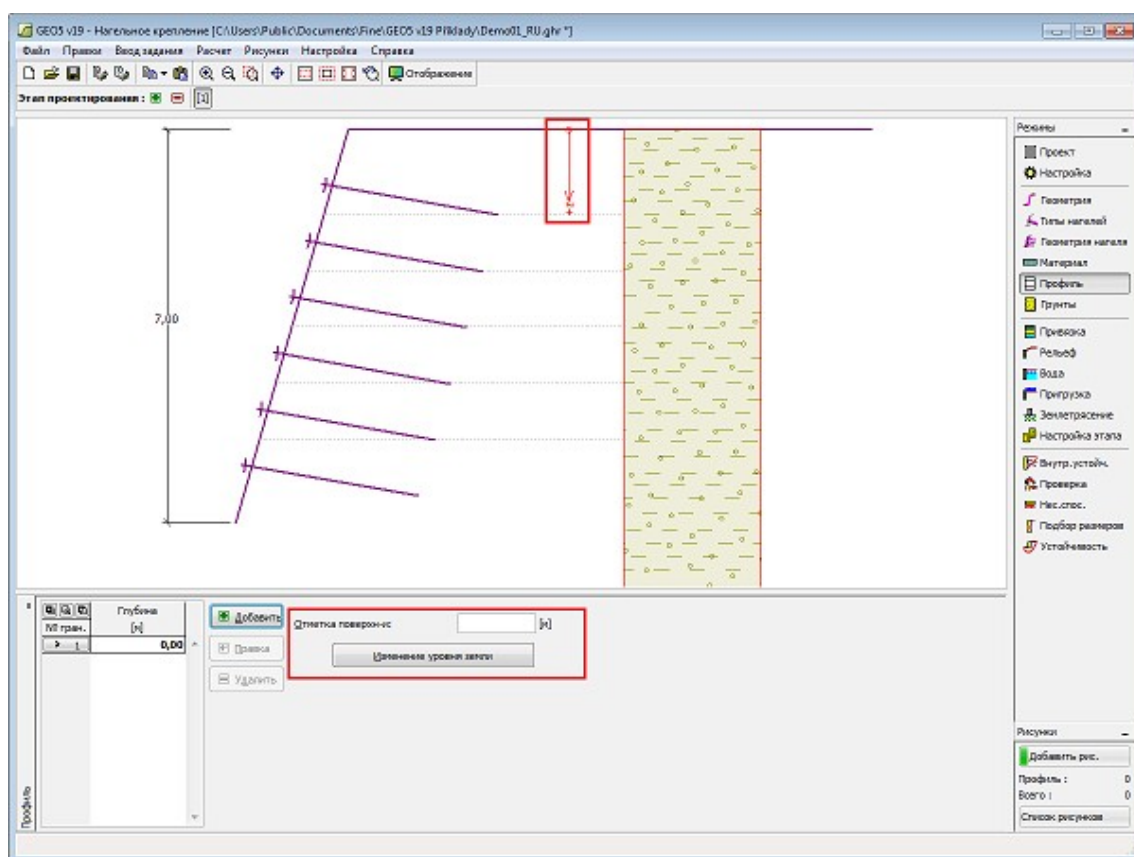
## Профиль

В рамке «Профиль» есть таблица со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи активных отметок (размерных чисел).

Добавление границы выполняется в диалоговом окне «Создать границу контура». Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне «Изменение уровня земли» и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы «Рельеф».





Рамка «Профиль»

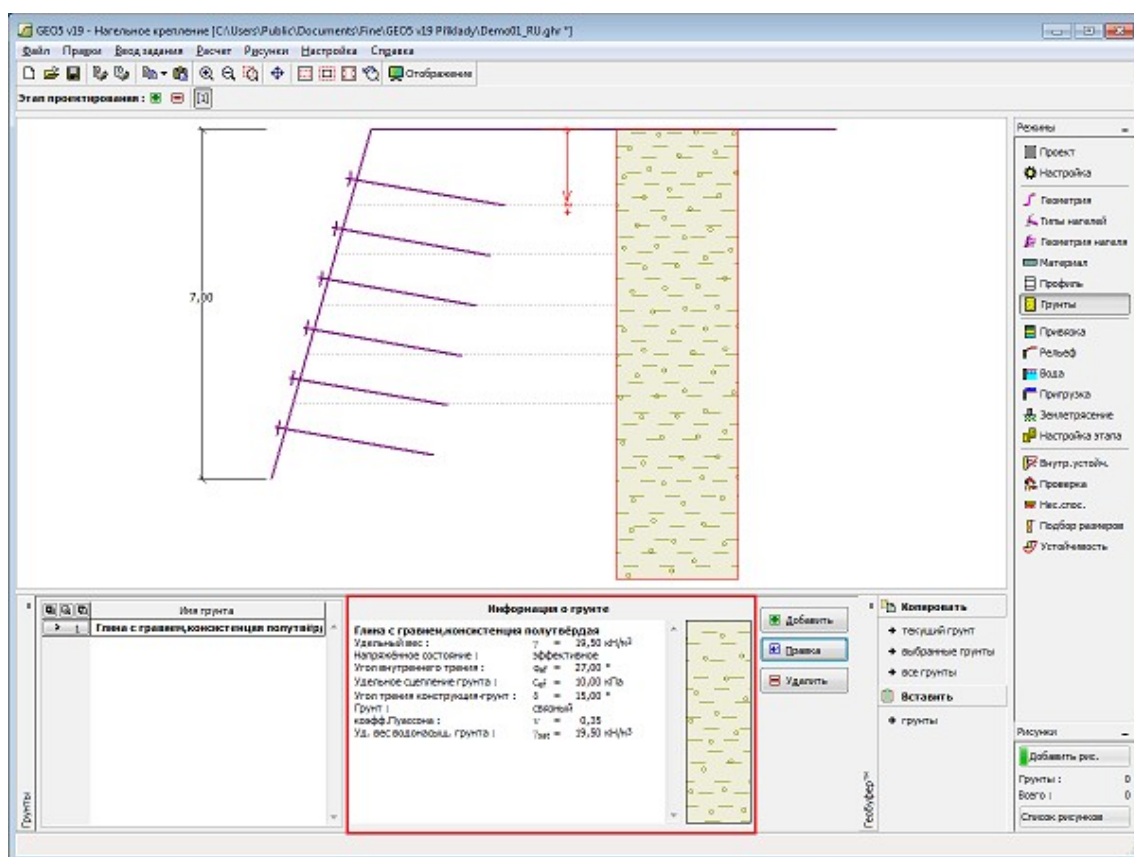
## Грунты

В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. В случае, что в таблице выбрано несколько грунтов, данные об отдельных грунтах расположены в последовательном порядке.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Базовые данные», «Статическое давление грунта», «Подъёмная сила» и «Трение на боковой поверхности» (см. рамку «Настройка»).

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать **базу данных грунтов** по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Угол внутреннего трения грунта и коэффициент сцепления задают **эффективным** или **полным** в зависимости от установки в выпадающем списке «**Напряжённость**». Выполнять расчёт в **эффективном или полном напряжённом** состоянии зависит прежде всего от типа грунта, характера нагрузки, долговечности конструкции и водного режима.

Для **эффективного напряжённого состояния** задают **угол трения между грунтом и конструкцией**, который зависит от материала конструкции и типа грунта. Ориентировочные значения угла трения между конструкцией и грунтом приводит **таблица рекомендуемых значений**.

Для **полного (тотального) напряжённого состояния** ещё задают **сцепление грунта со стеной строительной конструкции  $a$** .

Соответствующая теория подробно описана в разделе «**Давление грунта**».

The screenshot shows a software dialog box titled "Добавление новых грунтов" (Adding new soils). It has a tabbed interface with "Идентификация" (Identification) and "Базовые данные" (Basic data) tabs. The "Базовые данные" tab is active and highlighted with a red rectangle. The "Идентификация" tab shows the name "Глина с гравием, консистенция полутвёрдая" (Clay with gravel, semi-solid consistency). The "Базовые данные" tab contains several input fields and dropdown menus for soil properties, with some values highlighted in blue. The "Статическое давление" (Static pressure) section has a dropdown for "Грунт" (Soil) set to "связный" (cohesive). The "Подъёмная сила" (Buoyancy) section has a dropdown for "Расчёт взвешив. усилия" (Calculation of weighing force) set to "стандартный" (standard). The "Отображение" (Display) section on the right shows a color bar, a pattern category "GEO", and a pattern image labeled "Глина с гравием". The "Классификация" (Classification) section has buttons "Определи" (Determine), "Стереть" (Erase), "Добавить" (Add), and "Отмена" (Cancel).

Добавление новых грунтов

Идентификация

Имя : Глина с гравием, консистенция полутвёрдая

Глина с гравием, консистенция полутвёрдая

Базовые данные

Удельный вес :  $\gamma = 19,50$  [кН/м<sup>3</sup>] 19,5

Напряжённое состояние : эффективное

Угол внутреннего трения :  $\phi_{ef} = 27,00$  [°] 24-30

Удельное сцепление грунта :  $c_{ef} = 10,00$  [кПа] 6-14

Угол трения конструкция-грунт :  $\delta = 15,00$  [°]

Статическое давление

Грунт : связный

коэфф. Пуассона :  $\nu = 0,35$  [-] 0,35

Подъёмная сила

Расчёт взвешив. усилия : стандартный

Уд. вес водонасыщ. грунта :  $\gamma_{sat} = 19,50$  [кН/м<sup>3</sup>]

Отображение

Цвет

Категория узоров GEO

Узор

Глина с гравием

Классификация

Определи

Стереть

Добавить

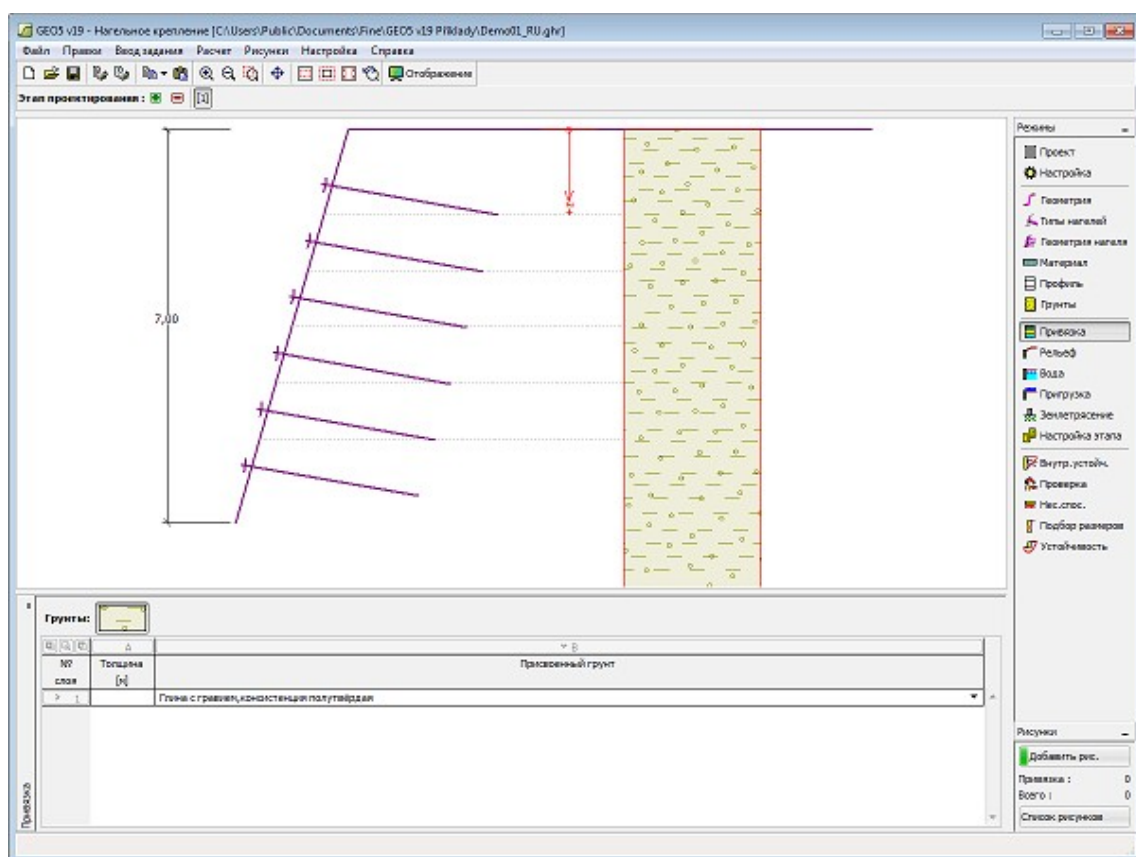
Отмена

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В рамке «Привязка» есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).



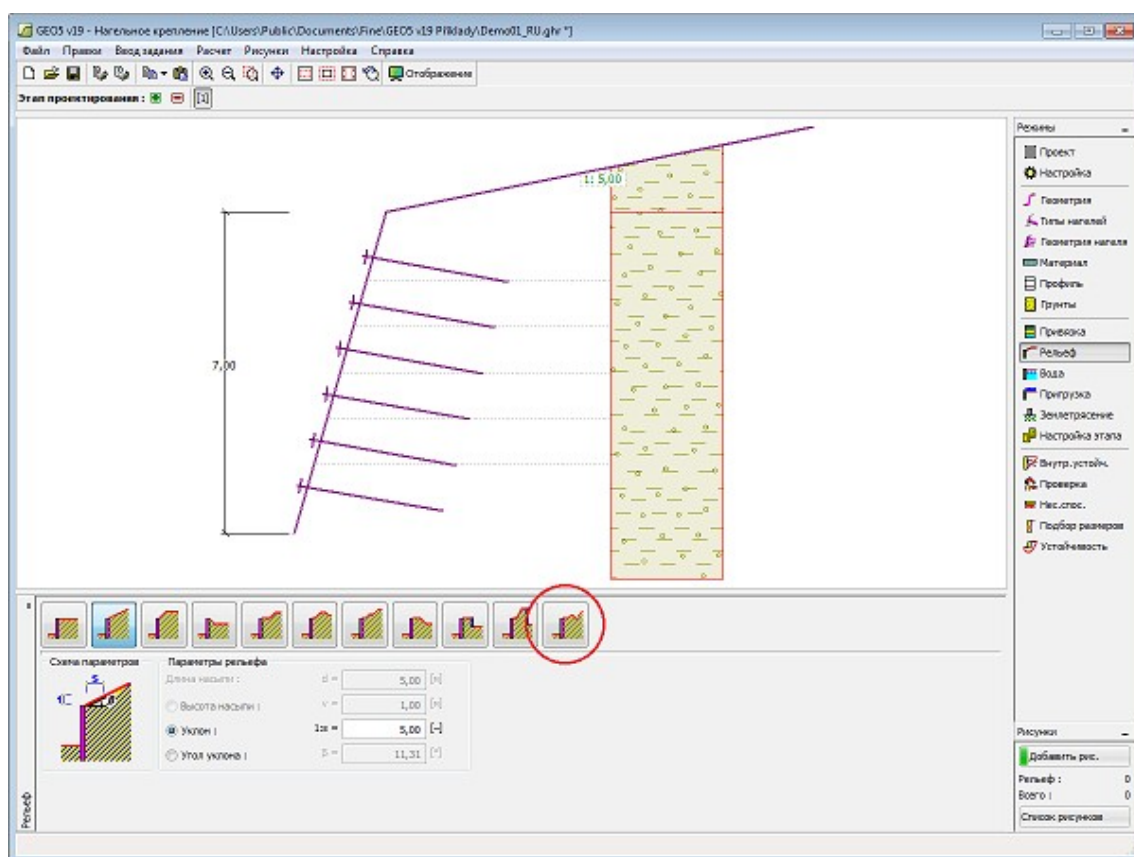
Рамка «Привязка»

## Рельеф

В **рамке «Рельеф»** нажатием кнопки выбираем форму рельефа. Выбранная форма с графической подсказкой («**Схема параметров**») заданных значений отображается в левой части рамки. Редактировать форму рельефа можно - или в рамке (вводим значения в поля ввода), или на рабочем столе (при помощи **активных отметок**).

Последний пункт выбора в меню - это общая форма рельефа: в рамке имеется таблица со списком пунктов (точек) на местности. Первый пункт рельефа с координатой [0,0] лежит на верхней точке конструкции.

Расчёт давлений грунта в случае наклонного участка местности описан в теоретической части подсказки «**Распределение давления грунта при пересечённой местности**».



Рамка «Рельеф»

## Вода

В **рамке «Вода»** нажатием кнопки выбираем тип воды. Выбранный тип с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Параметры воды ( $h_1$ ,  $h_2$ ...) можно редактировать или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

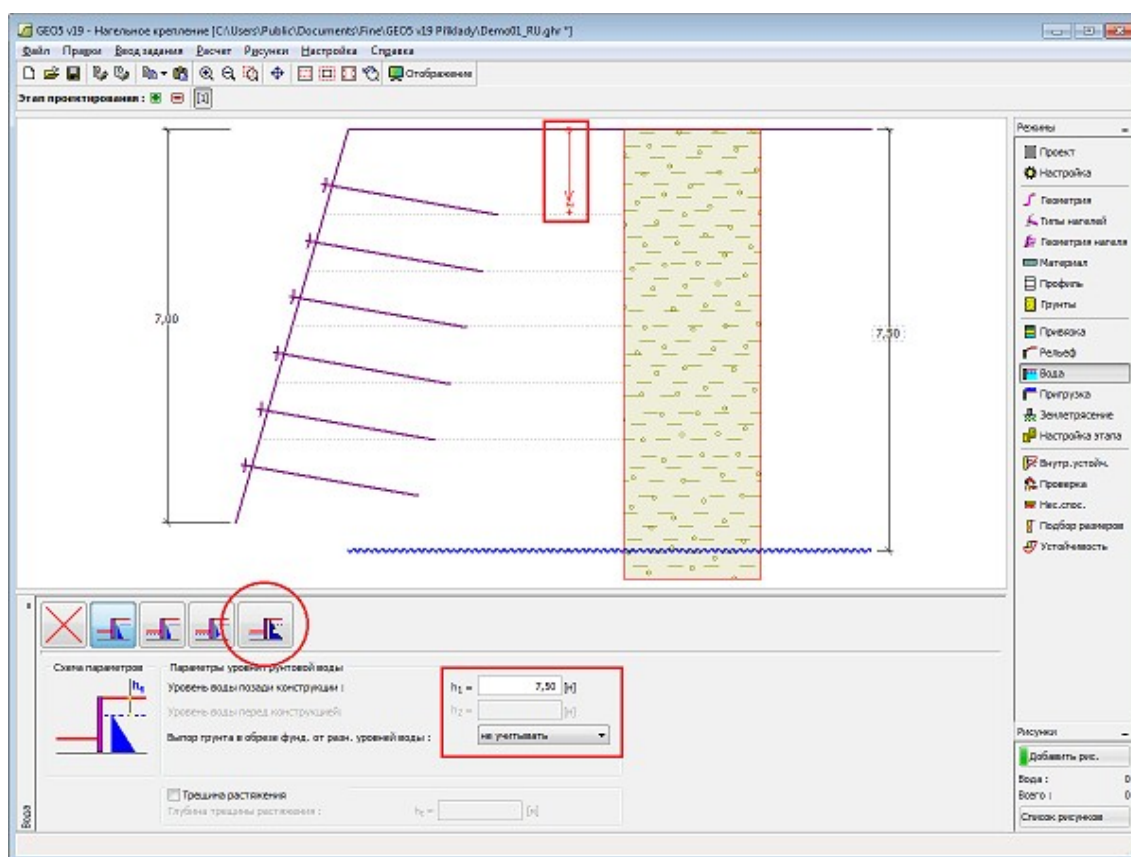
В выпадающем списке отмечаем, предполагается ли воздействие взвешивающей силы воды от разных уровней в подошве. Она может быть **линейной**, **параболической** или вообще не принимается во внимание. Взвешивающая сила в подошве от различной высоты уровней воды принимается как отдельная сила в анализе стены.

Последний выбор - это ручной ввод порового давления перед и за конструкцией. В рамке появляются две закладки «**Перед конструкцией**» и «**За конструкцией**» с таблицами. В **таблицы** вводят значения порового давления перед или за конструкцией на глубине « $z$ » (см. ось  $z$ )

Высоту уровня воды можно задавать также **над конструкцией** или над грунтовым профилем - в таком случае значению глубины воды присваивается отрицательный знак.

Расчёт давлений грунта с воздействием воды описан в теоретической части подсказки «**Воздействие воды**».

Программа позволяет задавать глубину **трещин растяжения** заполненных водой.



Рамка «Вода»

## Пригрузка

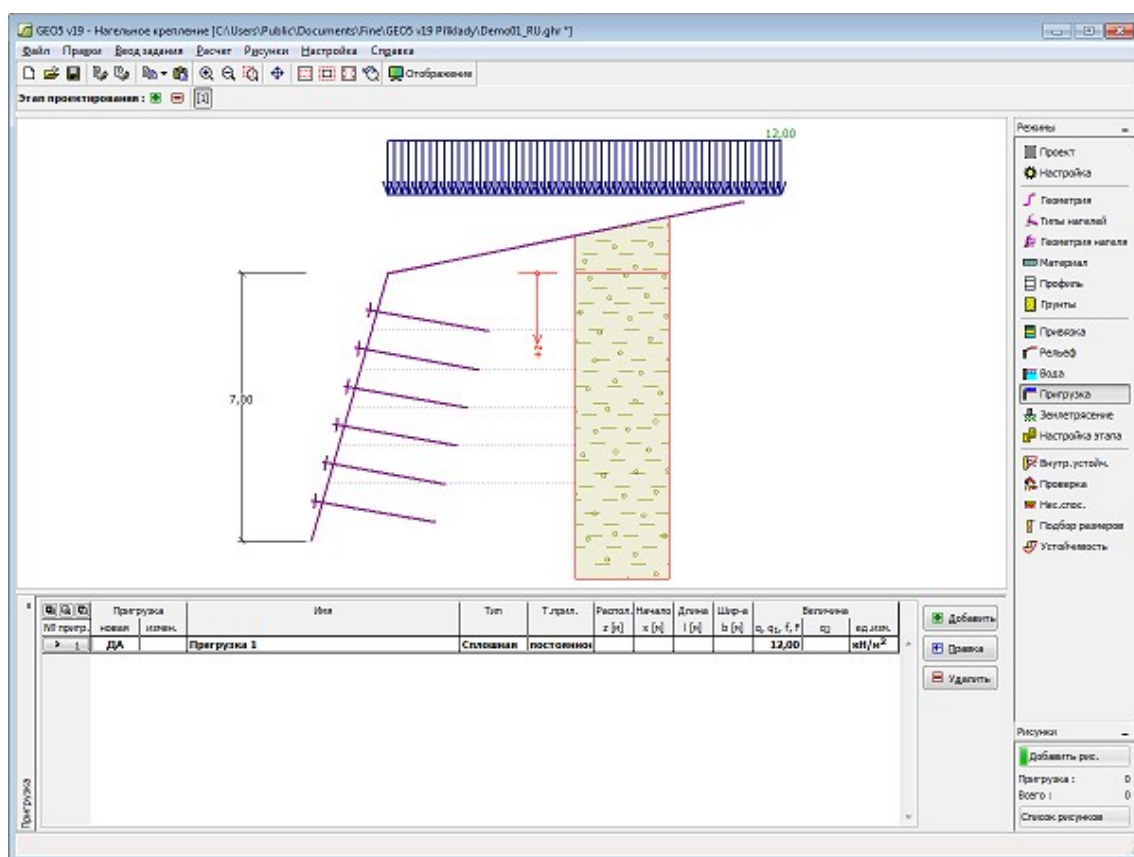
В рамке «**Пригрузка**» есть таблица со списком заданных пригрузок. Добавление пригрузки выполняется в диалоговом окне «**Создать пригрузку**». Редактировать заданную пригрузку можно также на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

Вместе с вводом пригрузки на глубине нужно задать координату  $z$  от верхней точки конструкции, с положительным знаком в глубину. В случае, что пригрузка задана вне пределов местности, программа перед выполнением расчёта даст сообщение об ошибке.

Пригрузку можно задавать **постоянной, переменной** или **случайной**. В зависимости от типа воздействия пригрузки результирующее воздействие умножается на соответствующий расчётный коэффициент. Случайная пригрузка с положительным воздействием в расчёт не принимается.

Расчёт давлений грунта от пригрузки описан в теоретической части справки «**Воздействие пригрузки**».





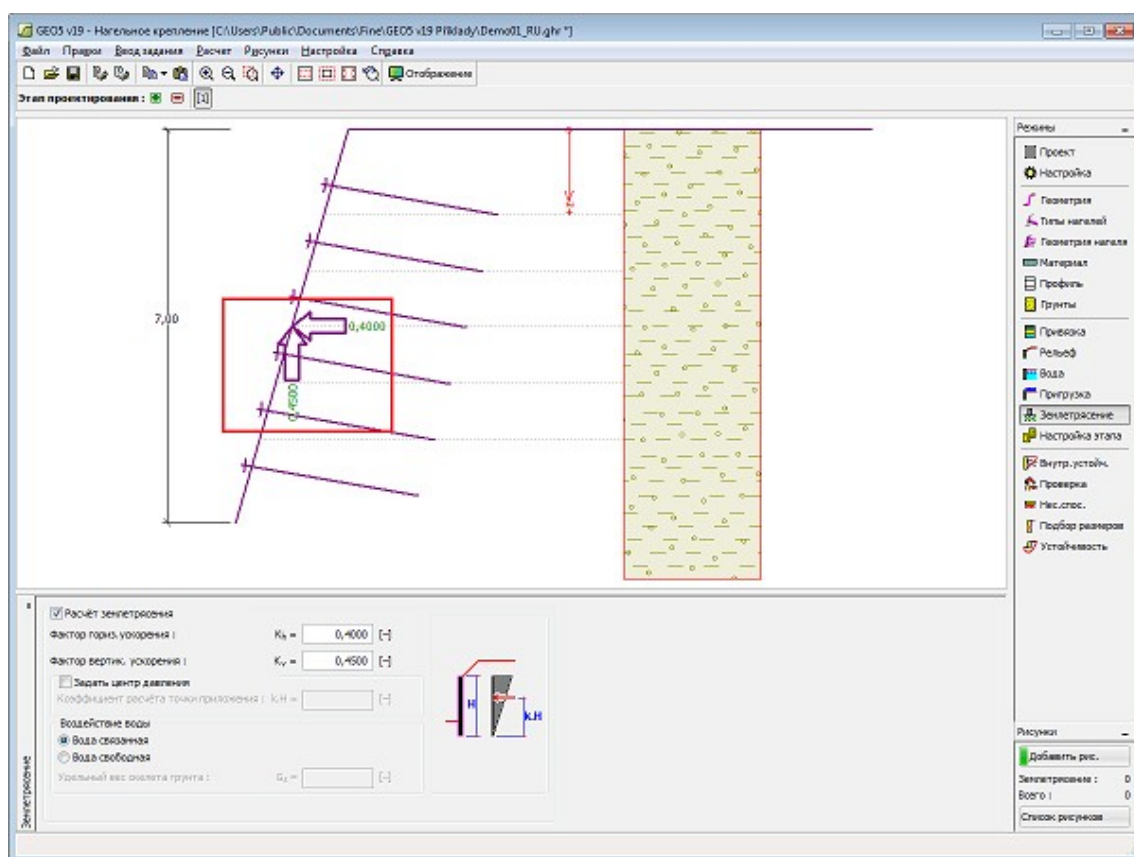
Рамка «Пригрузка»

## Землетрясение

В **рамку «Землетрясение»** задают параметры сеймики. Направления заданных сейсмических воздействий отображены на рабочем столе.

Расчёт давлений грунта с воздействием землетрясения описан в теоретической части подсказки «**Воздействие землетрясения**».





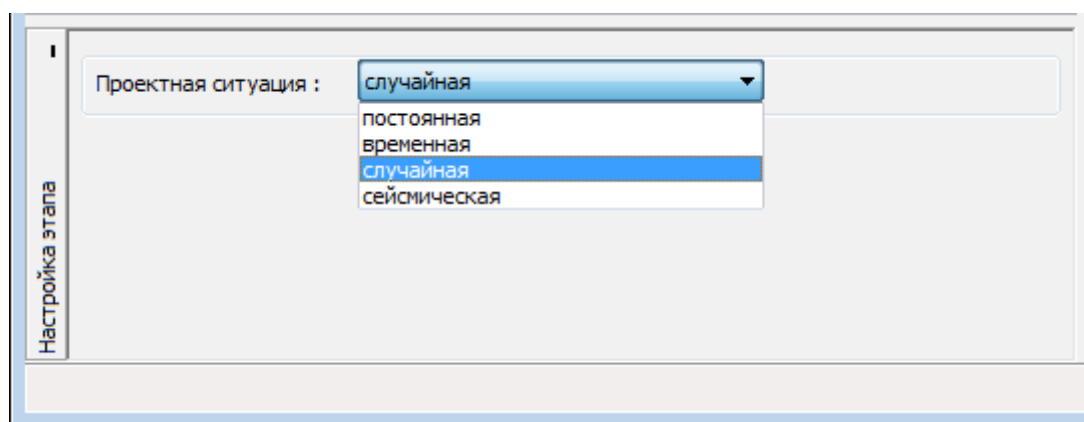
Рамка «Землетрясение»

## Настройка этапа

В **рамку «Настройка этапа»** задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования.

Внешний вид рамки зависит от выбора **методики проверки**.



Рамка «Настройка этапа»

## Внутренняя устойчивость

В **рамке** проверяют внутреннюю устойчивость конструкции на **ровной** или **ломаной поверхности скольжения**.

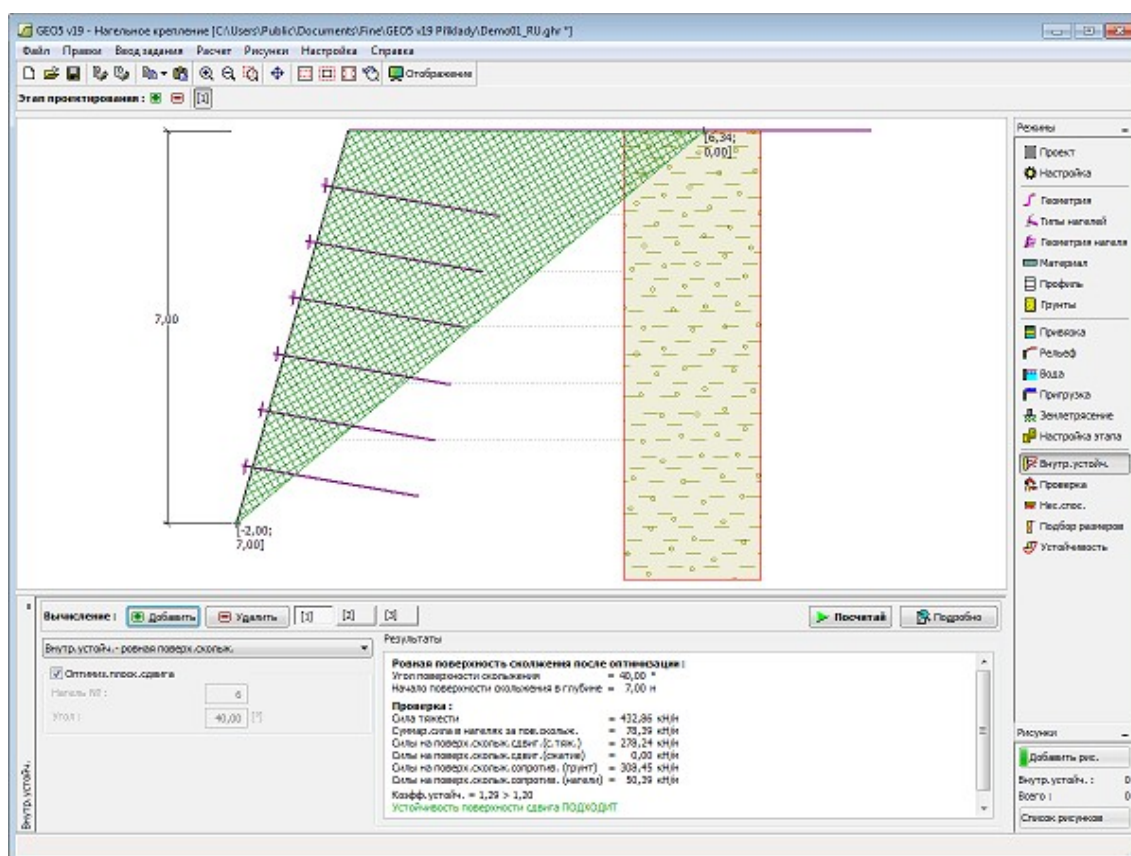
Проверка внутренней устойчивости выполнена в соответствии с:

- EN 1997 (сама проверка выполнена по теории **предельных состояний**),
- LRFD (сама проверка выполнена по теории **предельных состояний**),
- По **коэффициенту безопасности** или по теории **предельных состояний** (способ проверки выбирают в закладке «Расчёты на устойчивость»).

Порядок вычисления описан [здесь](#).

В этой рамке можно проверить тоже **несущую способность нагелей**.

Для определения **силы в нагеле** в рамку задают коэффициент редукции активного давления  $k_n$ .



Рамка «Внутренняя устойчивость»

## Проверка

В **рамке «Проверка»** отображены результаты расчёта. По одной задаче можно выполнить **несколько расчётов**.

Вид рамки меняется в зависимости от выбора **методики проверки**:

- Расчёт по **коэффициенту безопасности** или **предельным состояниям** - в таблице в

последней колонке указывают **расчётные коэффициенты**, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.

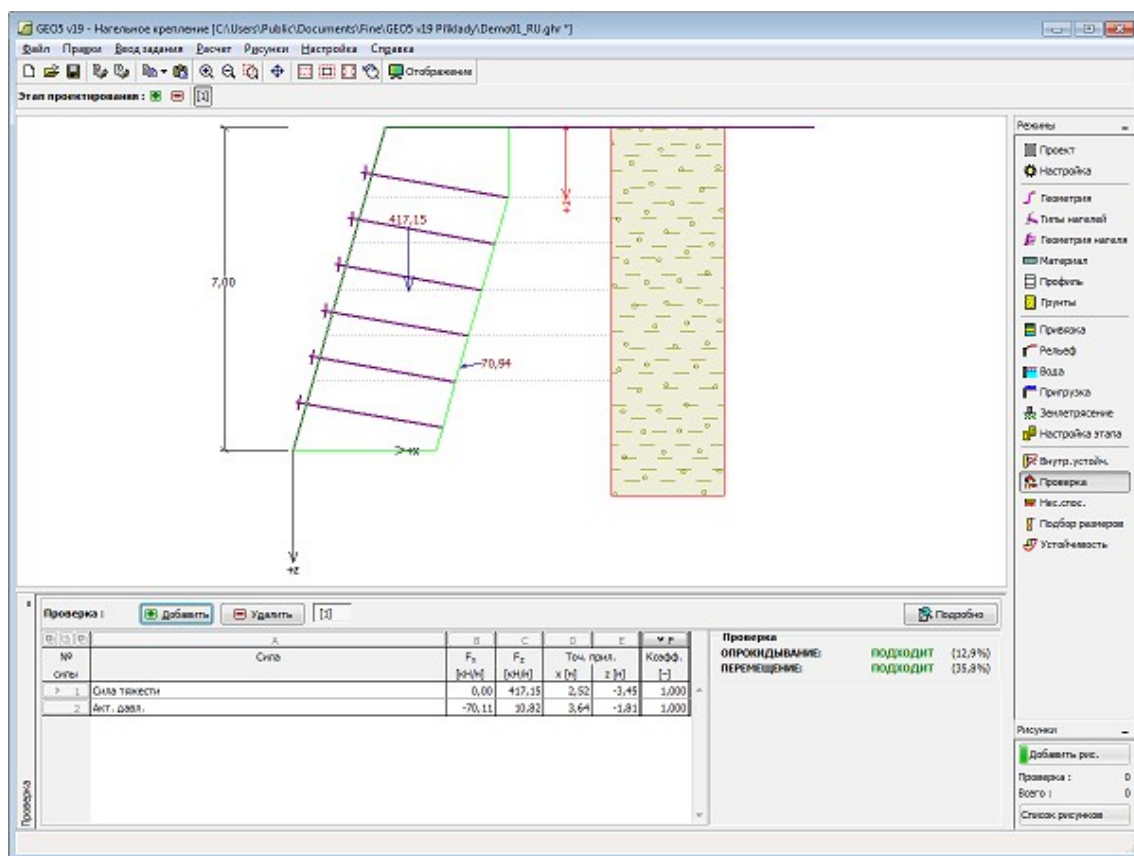
- **Расчёт по EN 1997** - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «**Комбинация нагрузок**».
- **Расчёт по LRFD** - в таком случае последняя колонка не отображена.

Для проверки внешней устойчивости создают **фиктивную конструкцию** - стену, на которой и будет выполняться проверка. Фиктивную стену образует лицевая сторона конструкции, соединяющие линии между концами отдельных нагелей, вертикальная прямая, проходящая от конца первого нагеля до уровня глубины территории и от конца последнего нагеля до уровня глубины конструкции (т.ч. нижнее ребро фиктивной стены всегда будет горизонтальным). Точки стены, которые вызывают вогнутое искривление изнаночной стороны конструкции программа автоматически опускает. Конструкция нагружена **активным давлением грунта**.

Процесс **самой проверки** описан в теоретической части справки.

Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. В правой части рамки отображается результат анализа стены на **опрокидывание и перемещение**. Кнопкой «**Подробнее**» открывается диалоговое окно с подробной выпиской результатов анализа.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».



Рамка «Проверка»

## Несущая способность

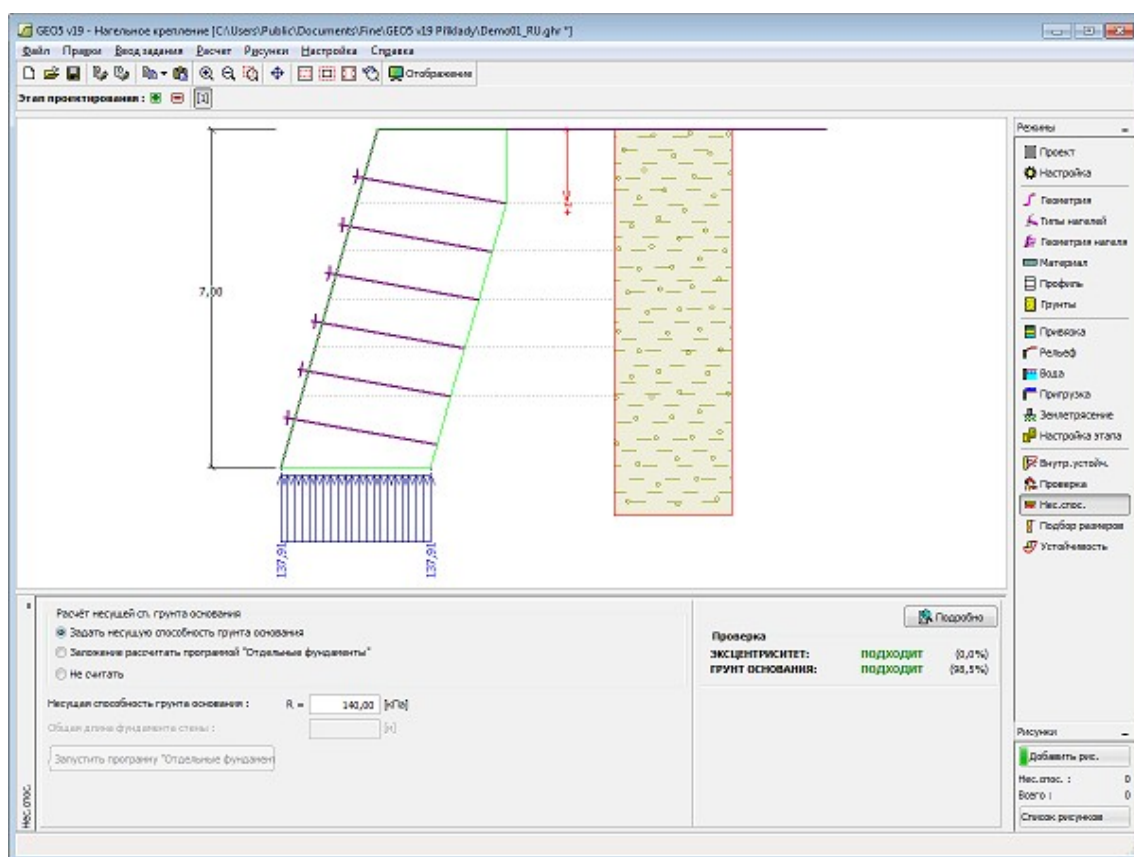
В рамке «Несущая способность» отображены результаты расчёта несущей способности грунта основания. Напряжение в подошве (принято постоянным) рассчитано на основе всех анализов выполненных в рамке «Проверка». В программу «Блоки фундамента» отдельные анализы будут переведены как нагружающие состояния.

Рамка предлагает следующие опции расчётов:

- **Ввести несущую способность грунта основания**  
В вводное поле вводят несущую способность грунта основания. Результаты анализа стены на эксцентриситет и несущую способность грунта основания отображены в правой части рамки. Кнопка «Подробно» открывает диалоговое окно с детальной выпиской результатов анализа несущей способности грунта.
- **Рассчитать несущую способность грунта основания в программе «Отдельные фундаменты»**  
Кнопкой «Запуск программы Отдельные фундаменты» запустить программу «Отдельные фундаменты», в которой можно рассчитать несущую способность грунта основания, или осадку и поворот фундамента. После выполнения расчётов нажать кнопку «ОК» - результаты в т.ч. заданные изображения будут переданы в протокол расчёта программы «Устой». Если не установлена программа «Отдельные фундаменты», то кнопка недоступна. Задают общую длину фундамента стены.
- **Не проводить расчёт (фундамент на сваях)**  
Не производится расчёт несущей способности грунта основания.

Программа позволяет задать форму напряжения в грунте основания.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».



Рамка «Несущая способность»

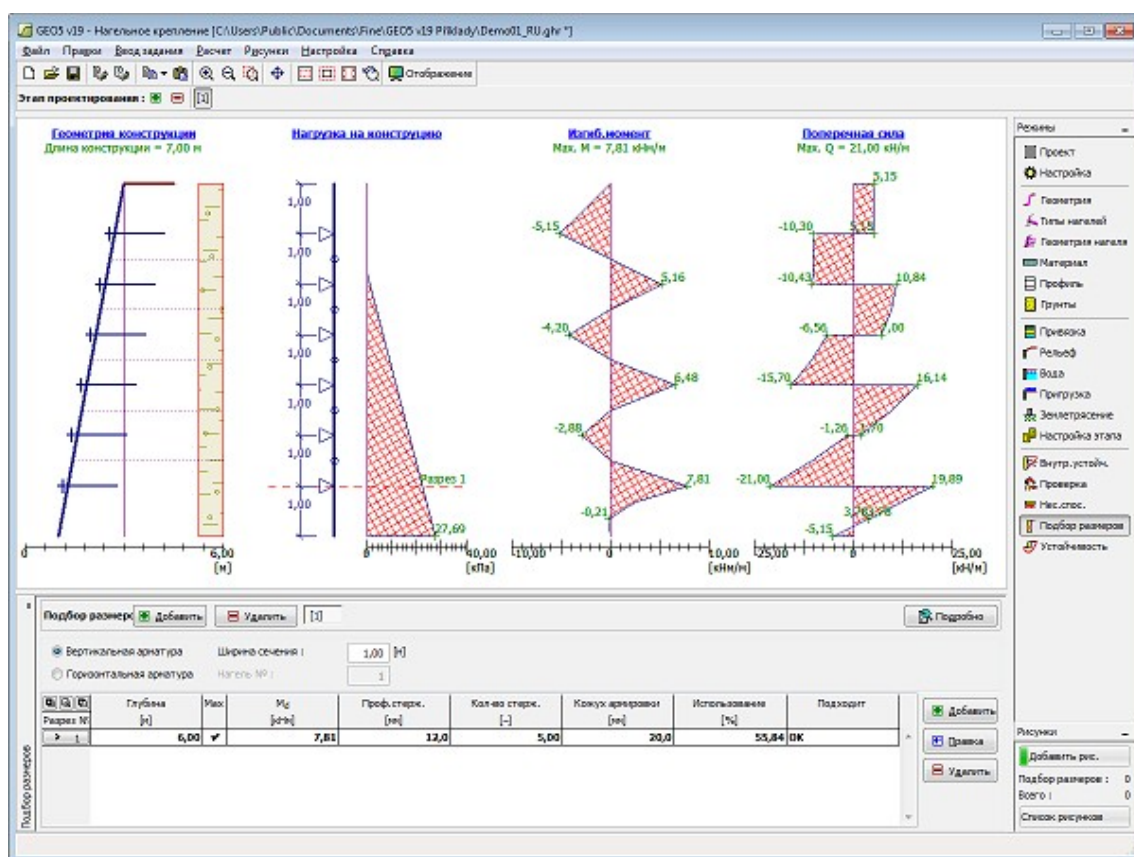
## Подбор размеров

В рамке «Подбор размеров» спроектировать и проверить армировку бетонной обшивки конструкции. В верхней части рамки выбирают на проверку **вертикальную или горизонтальную арматуру** и её расположение. Программа далее **рассчитывает внутренние силы** на выбранном сечении.

В **таблицу** в нижней части рамки можно задать места на которых будет проверяться проектная армировка в сечении в соответствии заданного стандарта для **подбора размеров железобетонных конструкций** (задаётся в закладке «Материалы и стандарты»). Сечение нагружается изгибающим моментом в данной точке. В сечение задают количество растягиваемой арматуры. При отрицательном моменте проектируется арматура, расположенная на лицевой стороне конструкции, при положительном - на изнаночной стороне конструкции. Сжимаемая арматура в расчёт не принимается.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».



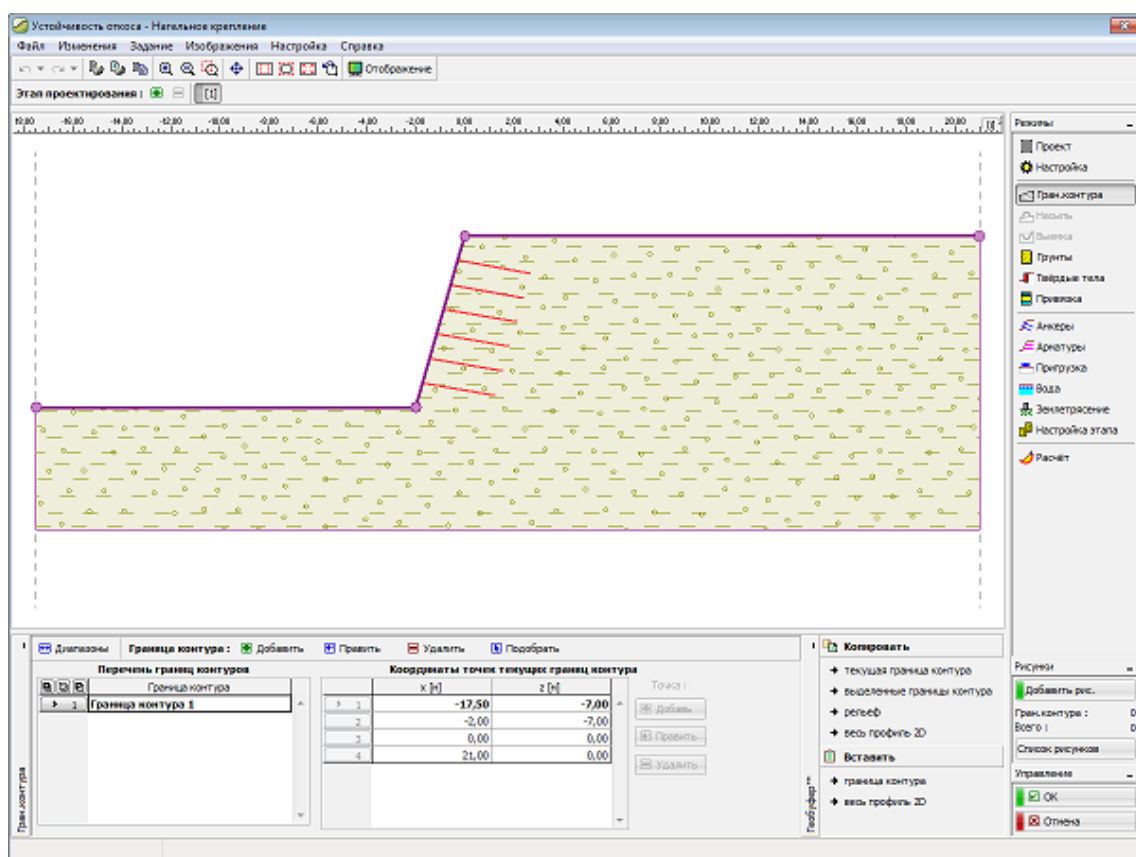


Рамка «Подбор размеров»

## Устойчивость

Нажатием на кнопку **«Устойчивость»** запускаются программа **«Устойчивость откоса»** и в программу передаются все необходимые данные. В программе Устойчивость откоса можно анализировать общую устойчивость конструкции стены. Кнопка недоступна, если программа **«Устойчивость откоса»** не установлена.

После выполнения расчёта нажатием кнопки **«ОК»** передаются результаты в т.ч. рисунки в протокол расчёта в программе **«Нагельное крепление»**.



Рамка «Устойчивость»

## Программа Стена Redi-Rock

Программа предназначена для проектирования и анализа опорных стен, откосов и насыпей, стабилизированных геоарматурами. Конструкция стены выполнена из промышленных блоков Redi-Rock.

**Справка для программы «Стена Redi-Rock» включает следующее:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Блоки	Геометрия	Фундамент	Профиль	Грунты
Привязка	Типы армир.элементов	Армир.элементы	Рельеф	Вода	Пригрузка	Сопротивление на лицевой стороне
Заданные силы	Землетрясение	Настройка этапа				

Расчёты -



Гравитационная стена

Проверка      Подбор размеров      Несущая способность

Расчёты - Армированная стена

Проверка      Подбор размеров      Несущая способность      Смещение по арматуре      Внутренняя устойчивость

Устойчивость

- Стандарты и методы расчёта

- Теория по расчётам в программе «**Стена Redi-Rock**»:

Напряжение в массиве грунта

Давление грунта

Расчёты стен

Подбор размеров ж-б конструкций

- Выходы
- Общая информация как работать в **пользовательской среде** программ GEO5
- **Общие операции ввода** для всех программ

## Проект

В **рамку «Проект»** задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации о проекте, описания проекта, даты и пр. Эти данные будут использованы в **текстовой и графической информации на выходе**.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (**метрическую / дюймовую**).

Кнопка **«Получить предложение» («Get a Quote»)** открывает сайты производителя блоков заводского изготовления (<https://www.redi-rock.com>).

Данные о проекте можно скопировать во все программы GEO5 с помощью **«Геобуфера»**.

Рамка «Проект»

## Настройка

В **рамку «Настройка»** предназначена для ввода основных **«Настроек»** программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой **«Выбрать настройки»** выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из **«Перечня настроек»**.

Кнопка **«Администратор настройки»** открывает диалоговое окно **«Администратор настройки»**, в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют, которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

Кнопка **«Добавить в администратор»** позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

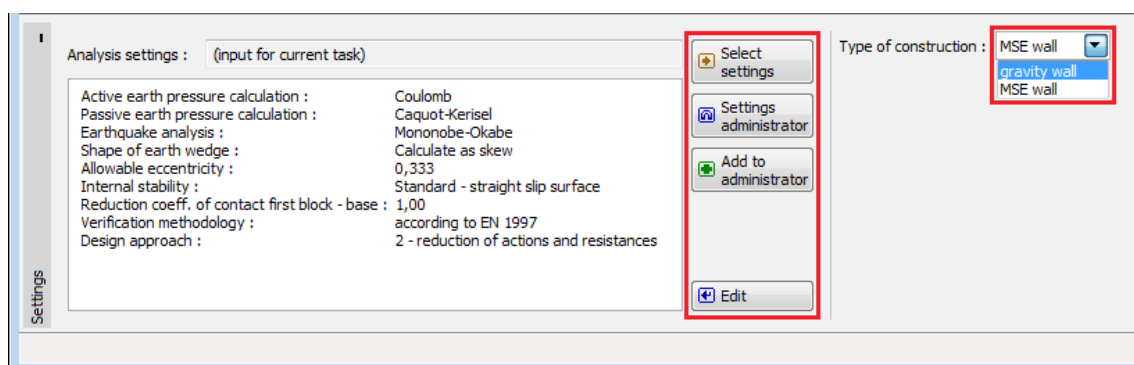
Кнопка **«Править»** позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в **«Задано для текущей задачи»**. После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку **«Добавить в администратор»** и добавляем настройку в **«Администратор настройки»**.

Настройка **«Задано для текущей задачи»** обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладках **«Материалы и стандарты»**, **«Расчёт стен»**.

В этой рамке выбираем тип конструкции:

- **гравитационная стена**
- **армированные насыпи**

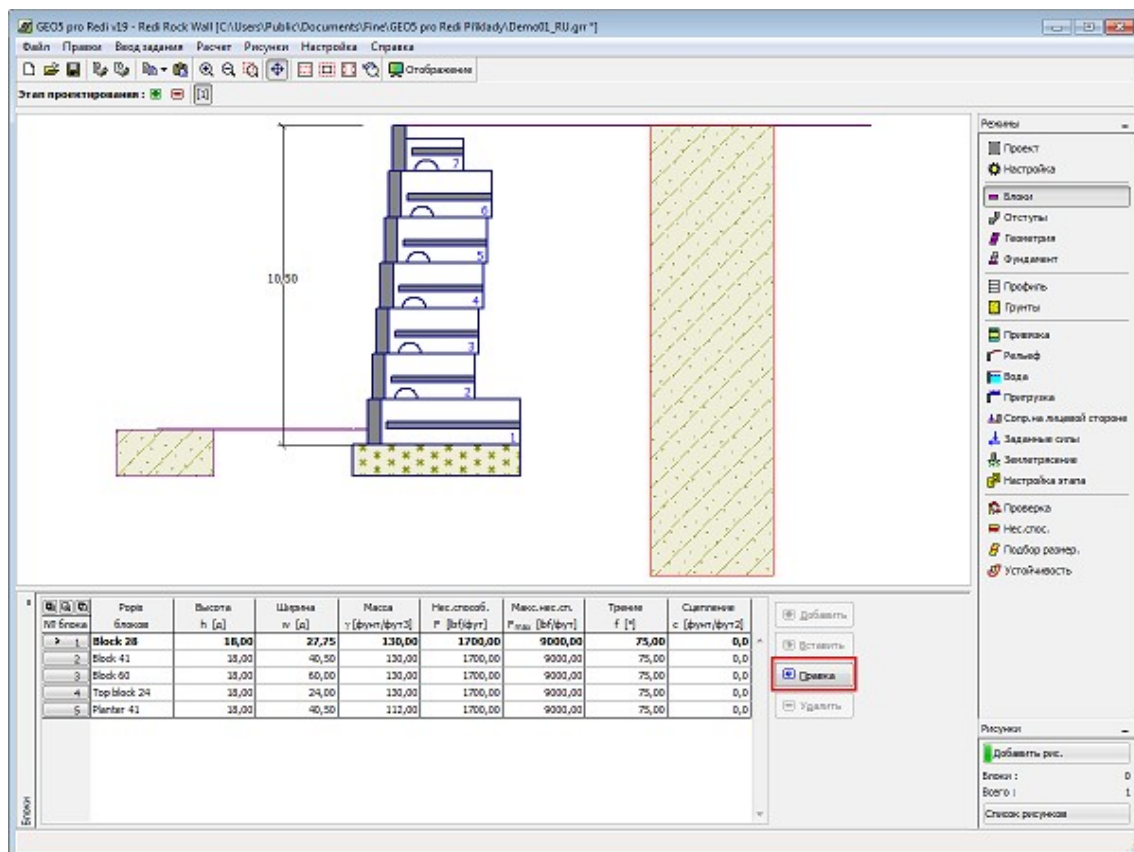


Рамка «Настройка»

## Блоки

В рамке «Блоки» в таблице показаны блоки индустриального изготовления производителя.

Некоторые из параметров блоков можно редактировать (удельный вес, минимальная/максимальная несущие способности, межблочное трение), но размеры блоков менять нельзя.



Рамка «Блоки»

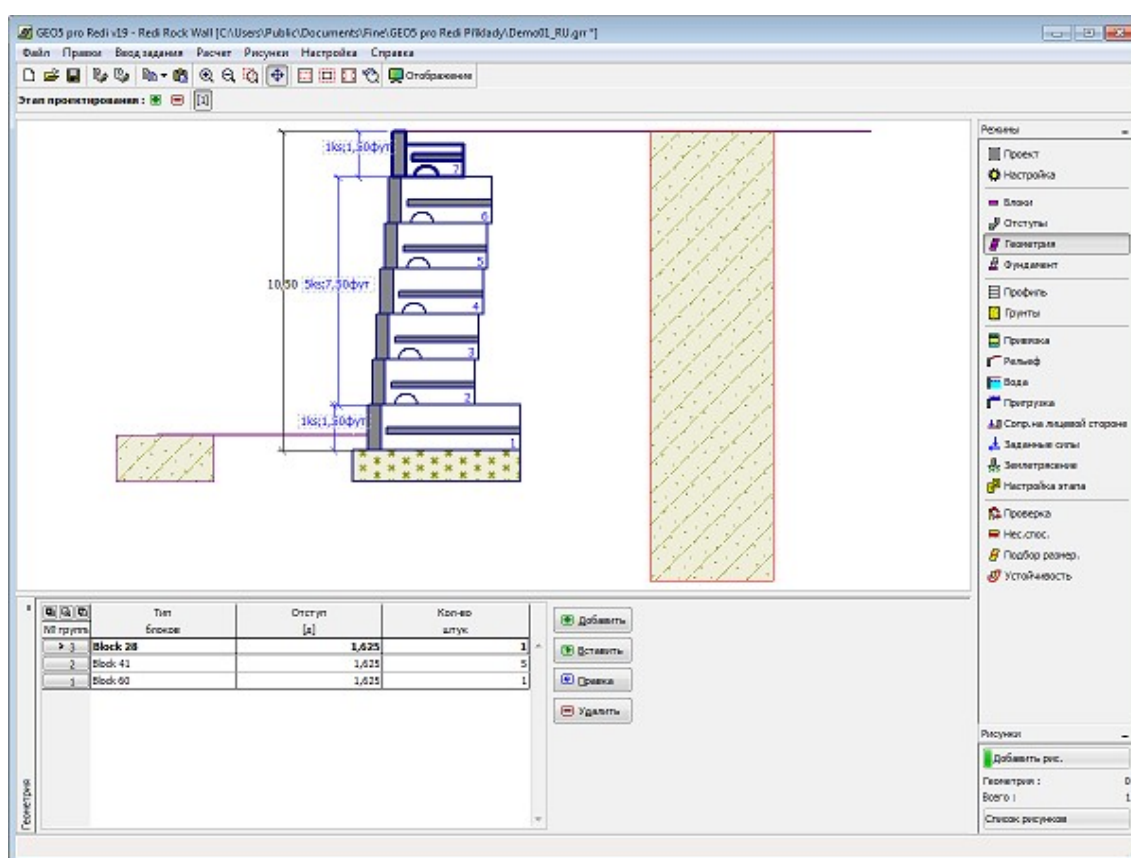
## Геометрия

Рамка «**Геометрия**» содержит **таблицу** со списком заданных блоков **заводского изготовления**. **Добавление** группы блоков выполняется в **диалоговом окне «Создать группу»**.

Группа блоков, характеризованная количеством **блоков** и отступами между ними, задаётся в один раз.

Программа позволяет вложить (вставить) группу блоков между уже заданными блоками конструкции. Вставка группы блоков выполняется в диалоговом окне «**Вставленная группа**», идентичном с диалоговым окном «**Создать группу**». Созданная вновь группа выстраивается **под** текущей выбранной группой блоков.

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.



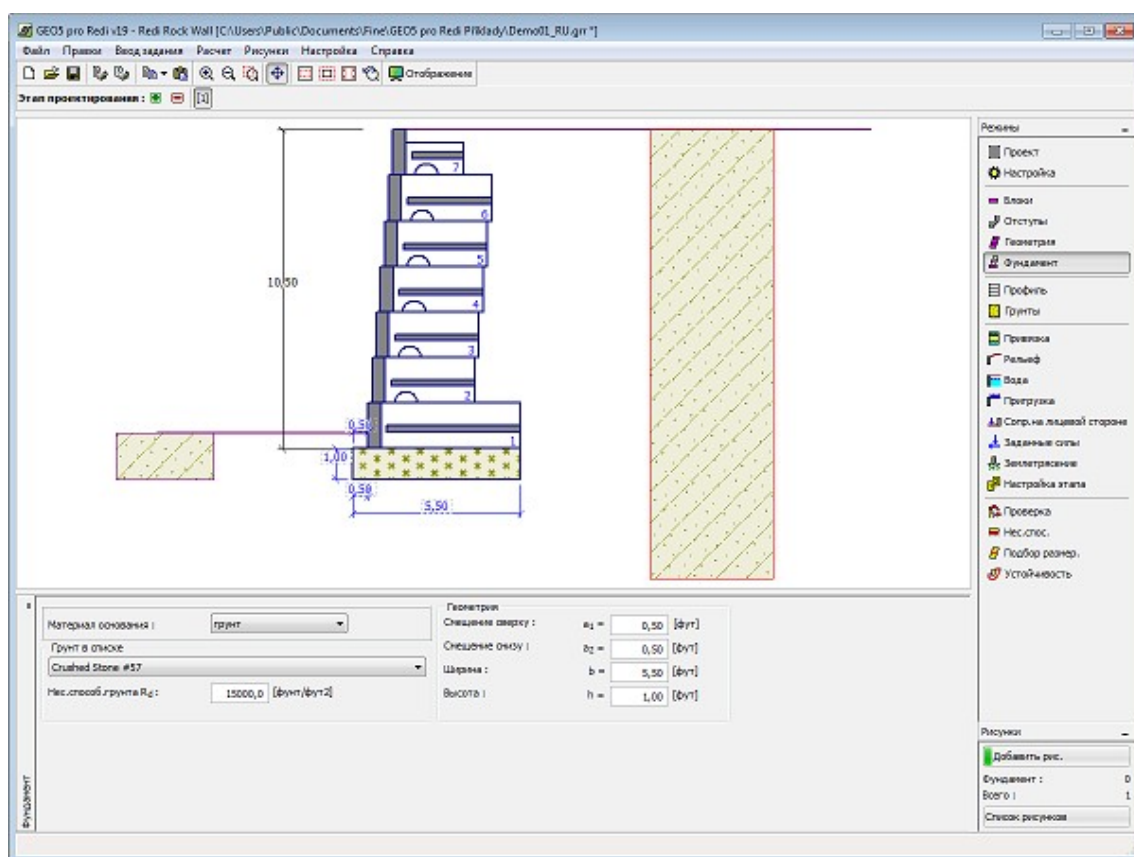
Рамка «Геометрия»

## Фундамент

В **рамку «Фундамент»** необходимо задать материал (грунт, бетон) и размеры фундамента. В случае бетонного фундамента нужно задать удельный вес, кубиковую прочность и угол трения между фундаментом и первым блоком (бетон-бетон).

**Ограничение на рис. 4-4, на стр. 73 Руководства NSMA программа не контролирует.**

Программа автоматически проверяет соответствие заданного фундамента с принципами конструирования.



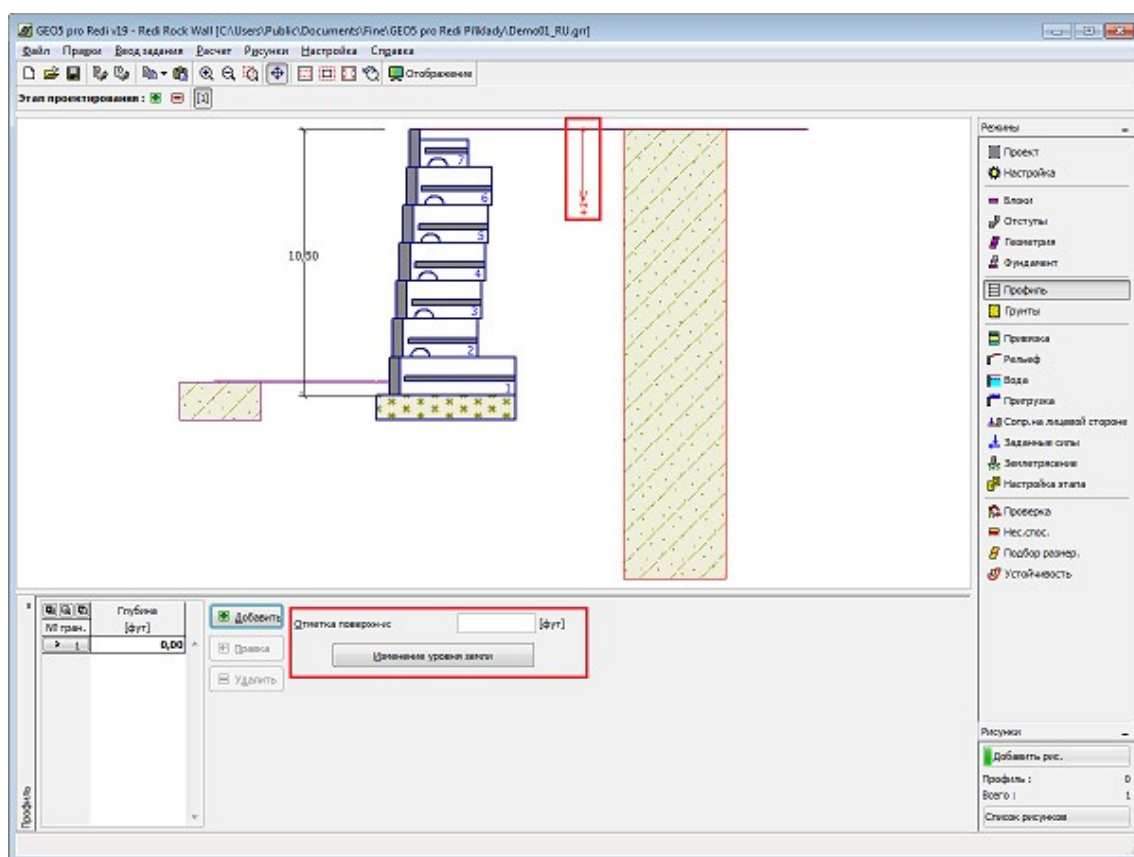
Рамка «Фундамент»

## Профиль

В рамке «Профиль» есть таблица со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи активных отметок (размерных чисел).

Добавление границы выполняется в диалоговом окне «Создать границу контура». Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне «Изменение уровня земли» и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы «Рельеф».



Рамка «Профиль»

## Грунты

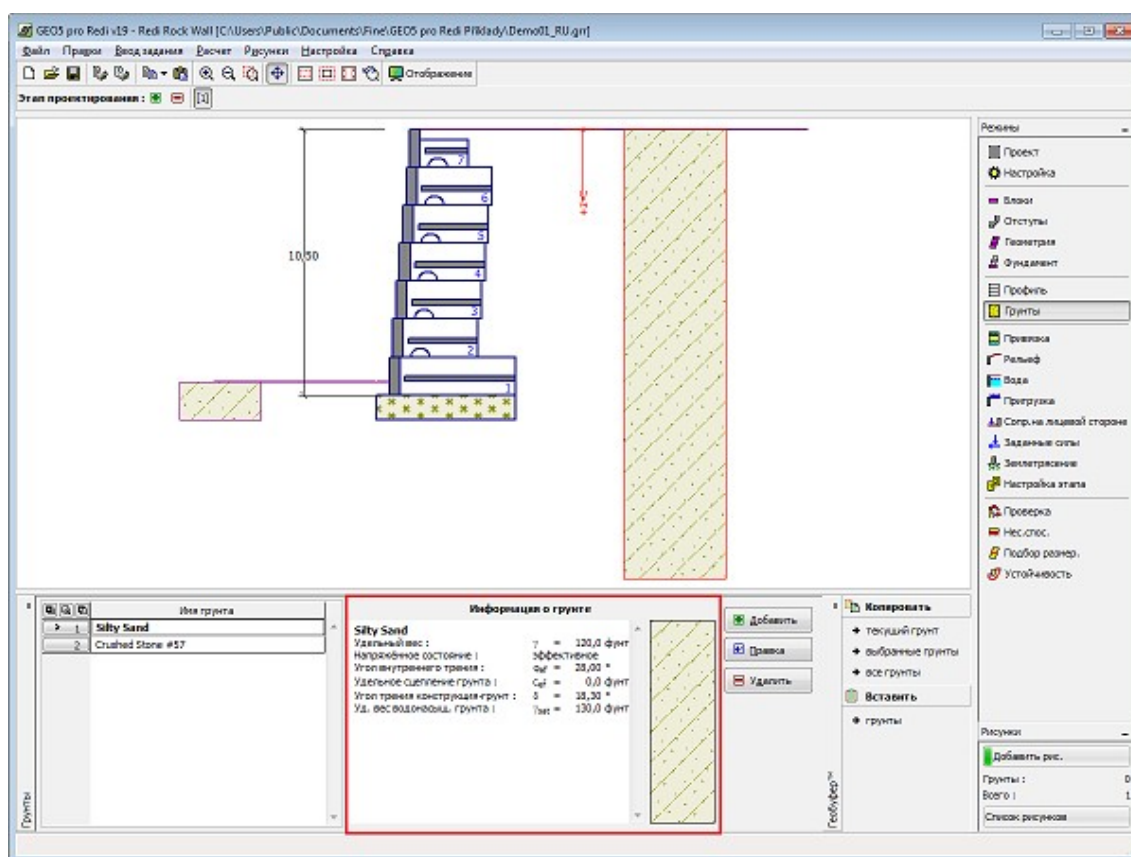
В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Базовые данные», «Статическое давление грунта» и «Подъёмная сила».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».





Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать **базу данных грунтов** по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Угол внутреннего трения грунта и коэффициент сцепления задают **эффективным или полным** в зависимости от установки в выпадающем списке «**Напряжённость**». Выполнять расчёт в **эффективном или полном напряжённом** состоянии зависит прежде всего от типа грунта, характера нагрузки, долговечности конструкции и водного режима.

Для **эффективного напряжённого состояния** задают **угол трения между грунтом и конструкцией**, который зависит от материала конструкции и типа грунта. Ориентировочные значения угла трения между конструкцией и грунтом приводит **таблица рекомендуемых значений**.

Соответствующая теория подробно описана в разделе «**Давление грунта**».



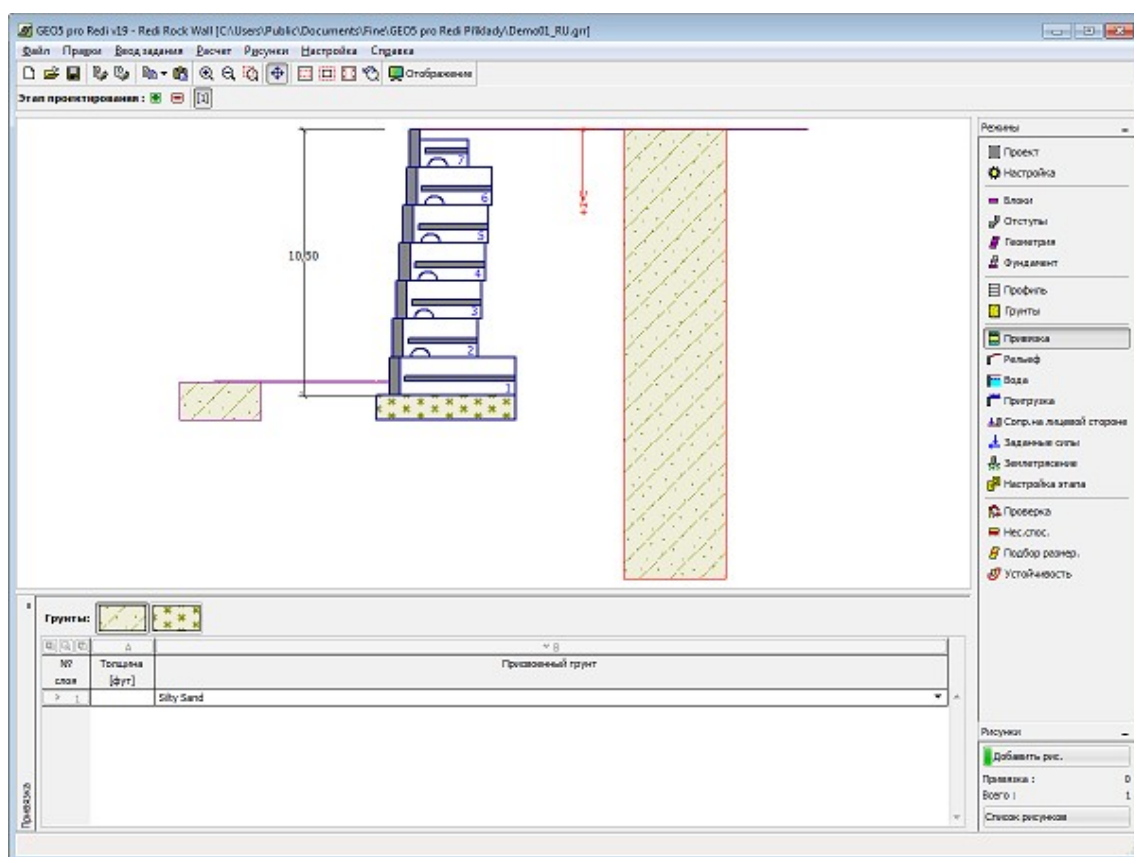
The screenshot shows a software dialog box titled "Добавление новых грунтов" (Adding new soils). It has a tabbed interface with "Идентификация" (Identification) and "Базовые данные" (Basic data) tabs. The "Базовые данные" tab is active and highlighted with a red rectangle. The "Идентификация" tab shows the name "Глина с гравием, консистенция полутвёрдая" (Clay with gravel, semi-rigid consistency). The "Базовые данные" tab contains several input fields for soil properties: Unit weight ( $\gamma = 121,0$  [фунт/ф]), Stress state (effective), Internal friction angle ( $\phi_{ef} = 29,00$  [°]), Cohesion ( $c_{ef} = 160,0$  [фунт/ф]), Friction angle construction-soil ( $\delta = 18,30$  [°]), and Saturated unit weight ( $\gamma_{sat} = 130,0$  [фунт/ф]). On the right, the "Отображение" (Display) section shows a color bar, a pattern category "GEO", and a pattern preview labeled "Суглинок с гравием" (Silt with gravel). The "Классификация" (Classification) section has buttons "Определи" (Determine), "Стереть" (Erase), "Добавить" (Add), and "Отмена" (Cancel).

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В рамке «Привязка» есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).

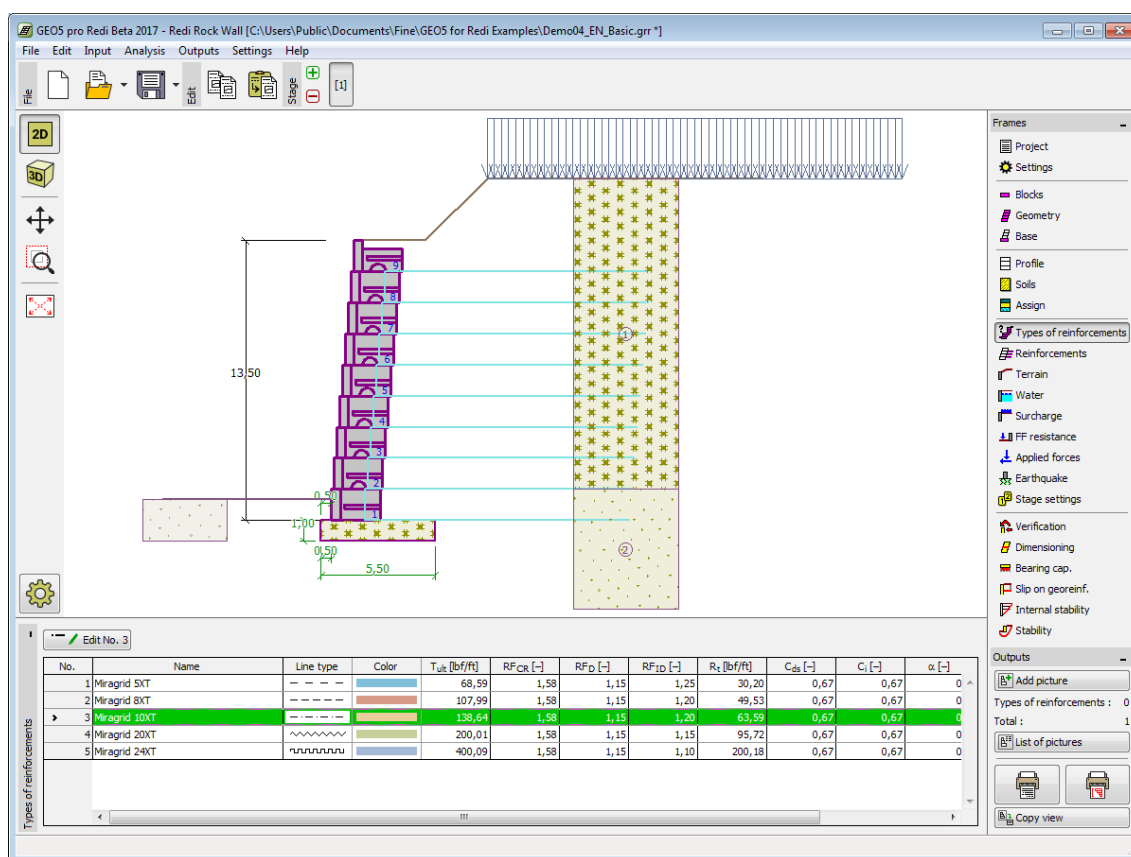


Рамка «Привязка»

## Типы армирующих элементов

В рамке «**Типы арм.элементов**» находится **таблица** со списком заданных геоарматур и их **параметров** (кратковременная характерная прочность, долговременная прочность арм.элемента и коэффициент взаимодействия). **Правку** элемента армировки выполняем с помощью кнопки «**Править**».

Рамка «**Типы арм.элементов**» доступна только при выборе типа конструкции Армированная стена. Тип конструкции выбираем в рамке «**Настройка**».



Рамка «Типы армирующих элементов»

## Армирующие элементы

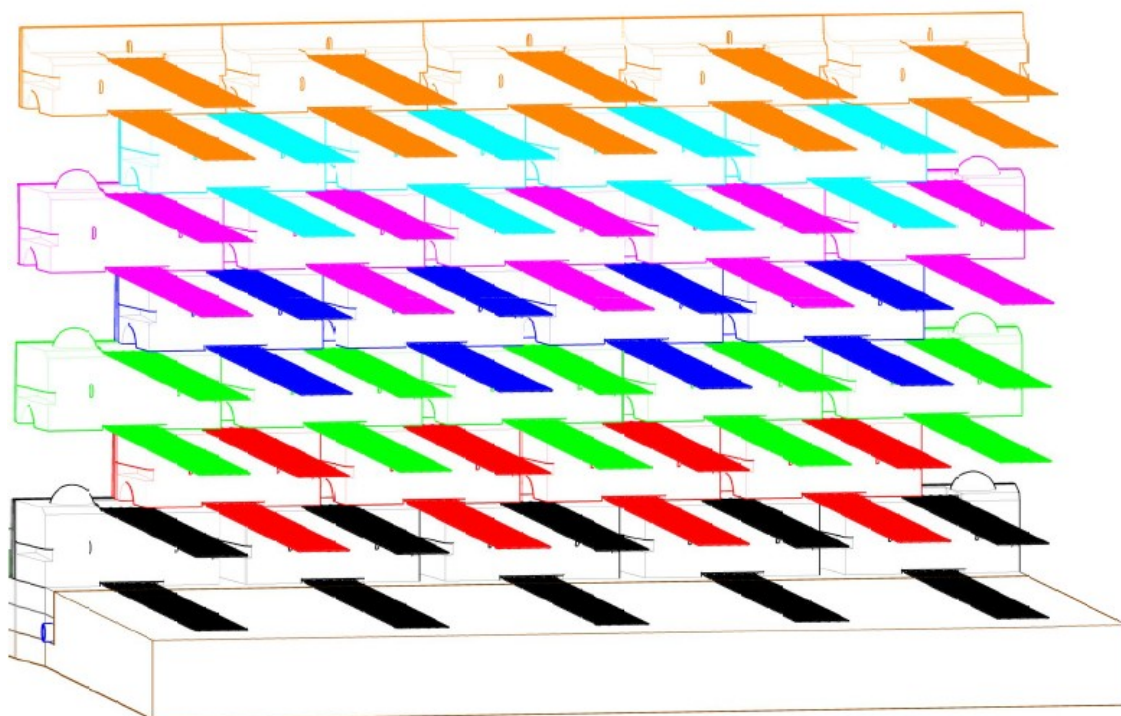
В рамке «Армирование» выбираем параметры армирования:

### Способ задания

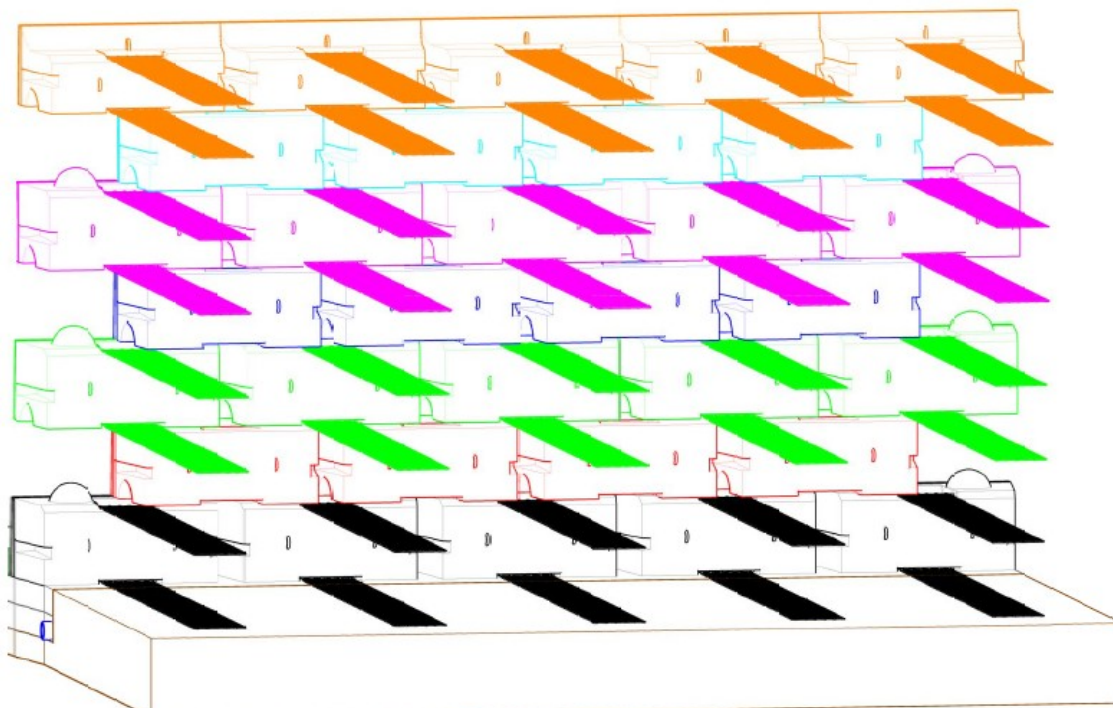
- 1 тип армирующего элемента - стена армирована арм. элементами одного типа, который выбираем в выпадающем списке «Тип арм. элемента». Генерирование арм. элементов идёт от нижнего ряда блоков до уровня ряда блоков, выбранного в выпадающем списке.
- 2 типа армирующего элемента - стена армирована арм. элементами двух типов. Армирование верхней части стены отличается от нижней части. Способ задания тот же, как при 1 типе арм.эл. (выбираем тип арм.элемента и ряд, в котором генерируем армирование).
- таблица арм.элементов - арм. эл-ы задаём для каждого блока в отдельности

### Установка арм.элементов

- в каждом ряду блоков (50%) - арм.эл. установлены в каждом из блоков



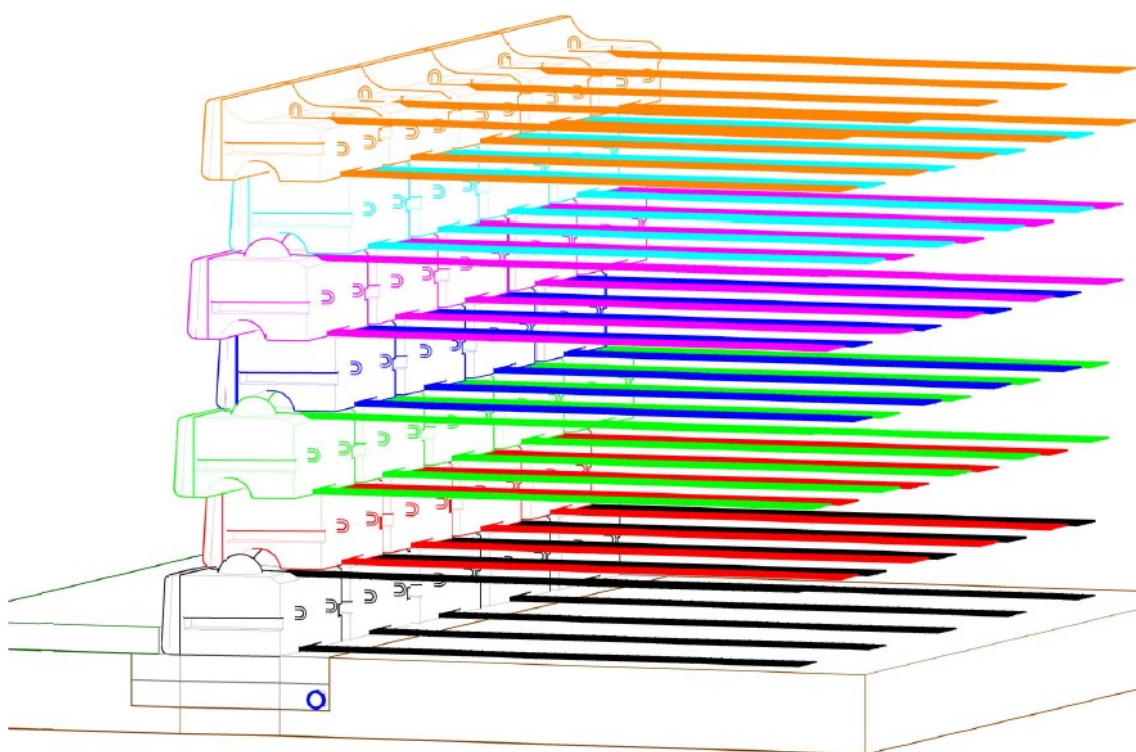
- через 1 ряд блоков (25%) - арм.элементы установлены через 1 блок



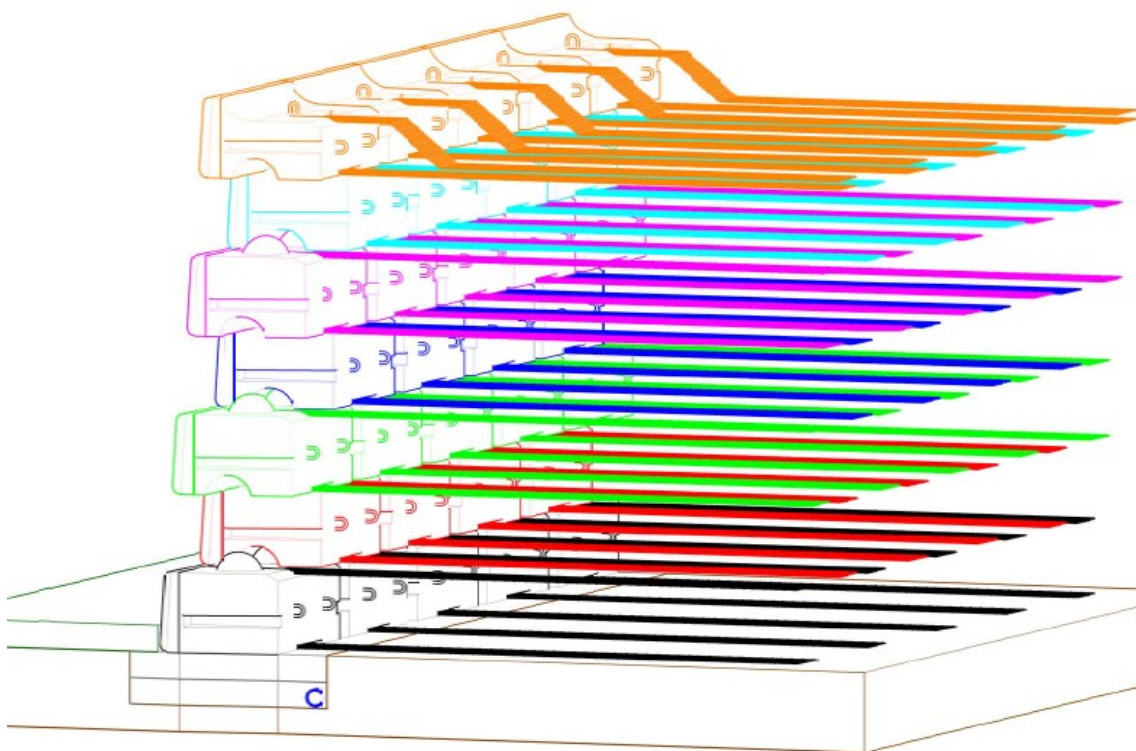
#### **Верхний ряд**

- прямой (25%) - арм.элементы установлены в верхнем ряду через 1 блок





- закрепление конца - верхняя часть арм.элементов в верхнем ряду направлена под углом к своей нижней части



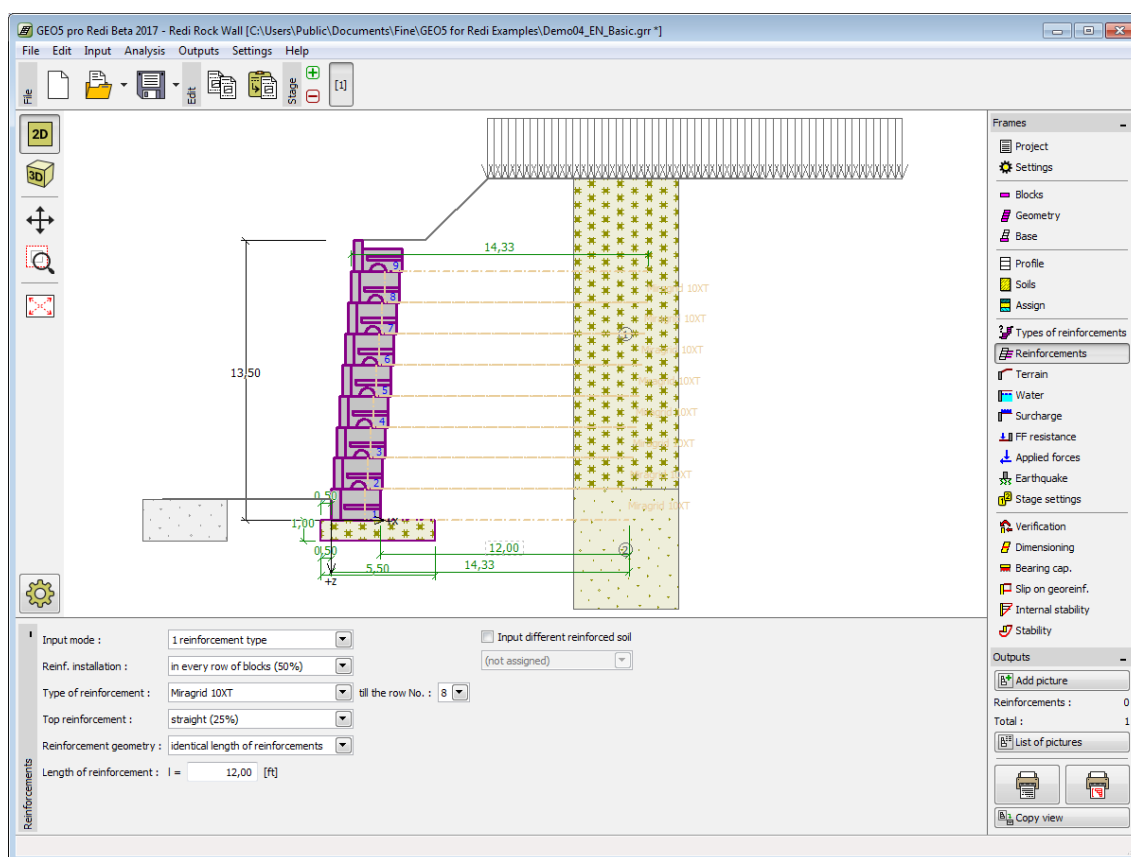
### Геометрия армирующих элементов

одинаковая длина арм.элементов-все элементы одной длины, задаём длину элемента  $l$

- одинаковое окончание элементов-все элементы заканчиваются на одном уровне, задаём ординату конца элементов  $l_k$

В случае, что грунт между арм.элементами отличается от грунта присвоенного в геологическом профиле, то этот грунт можно задать, выбрав команду **«Другой грунт (заполнитель) между арм. элементами»**. В выпадающем списке выбираем данный тип грунта, (в выпадающем списке находятся грунты, заданные в режиме **«Грунты»**).

Рамка **«Армирующие элементы»** доступна только если выбран тип конструкции **Армированная стена**. Тип конструкции выбираем в рамке **«Настройка»**.



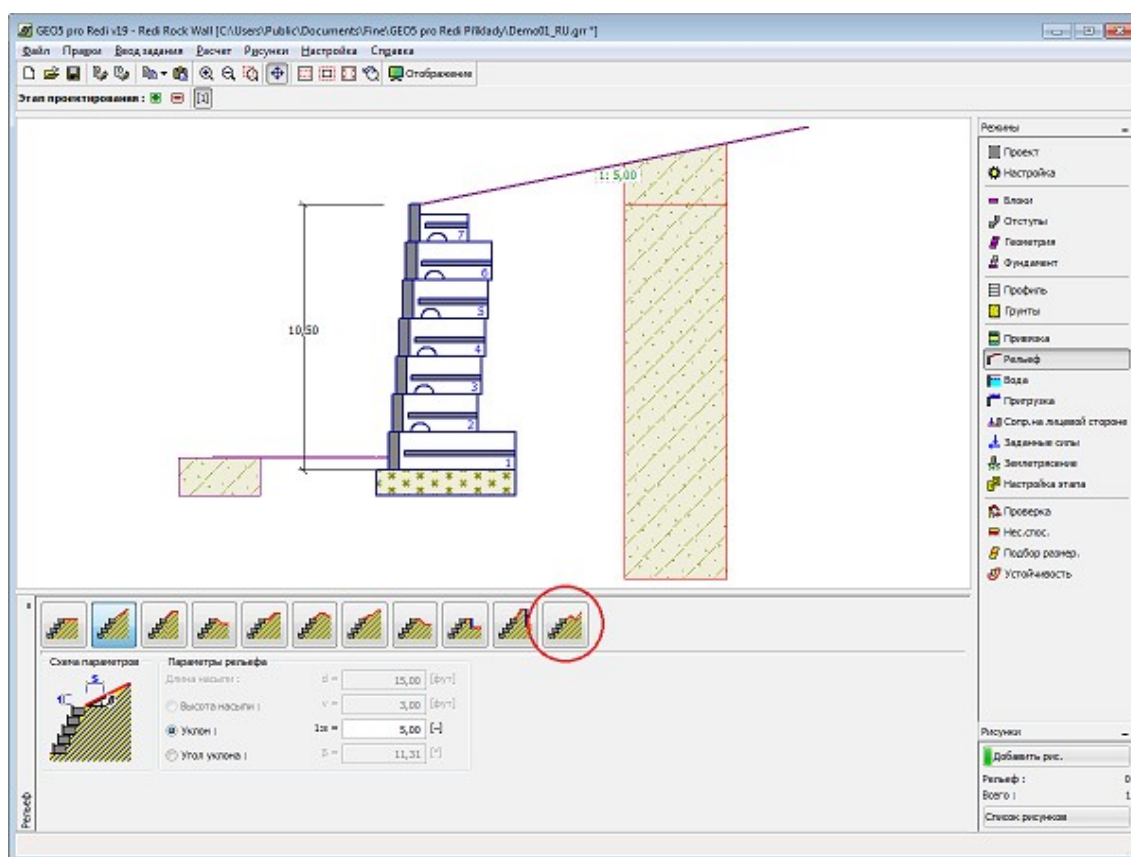
Рамка «Армирующие элементы»

## Рельеф

В рамке **«Рельеф»** нажатием кнопки выбираем рельеф местности. Выбранный рельеф с графической подсказкой (**«Схема параметров»**) задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактировать можно или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

Последний выбор в меню - общая форма (рельеф) местности. Для этого есть в рамке таблица со списком точек (пунктов) на местности. Первый пункт местности с координатой  $[0,0]$  лежит на верхней точке конструкции.

Расчёт давлений грунта в случае наклонной местности описан в теоретической части подсказки **«Распределение давления грунта при пересечённой местности»**.



Рамка «Рельеф»

## Вода

В **рамке «Вода»** нажатием кнопки выбираем тип воды. Выбранный тип с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Параметры воды ( $h_1$ ,  $h_2$ ...) можно редактировать или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

В выпадающем списке отмечаем, предполагается ли воздействие взвешивающей силы воды от разных уровней в подошве. Она может быть **линейной**, **параболической** или вообще не принимается во внимание. Взвешивающая сила в подошве от различной высоты уровней воды принимается как отдельная сила в анализе стены.

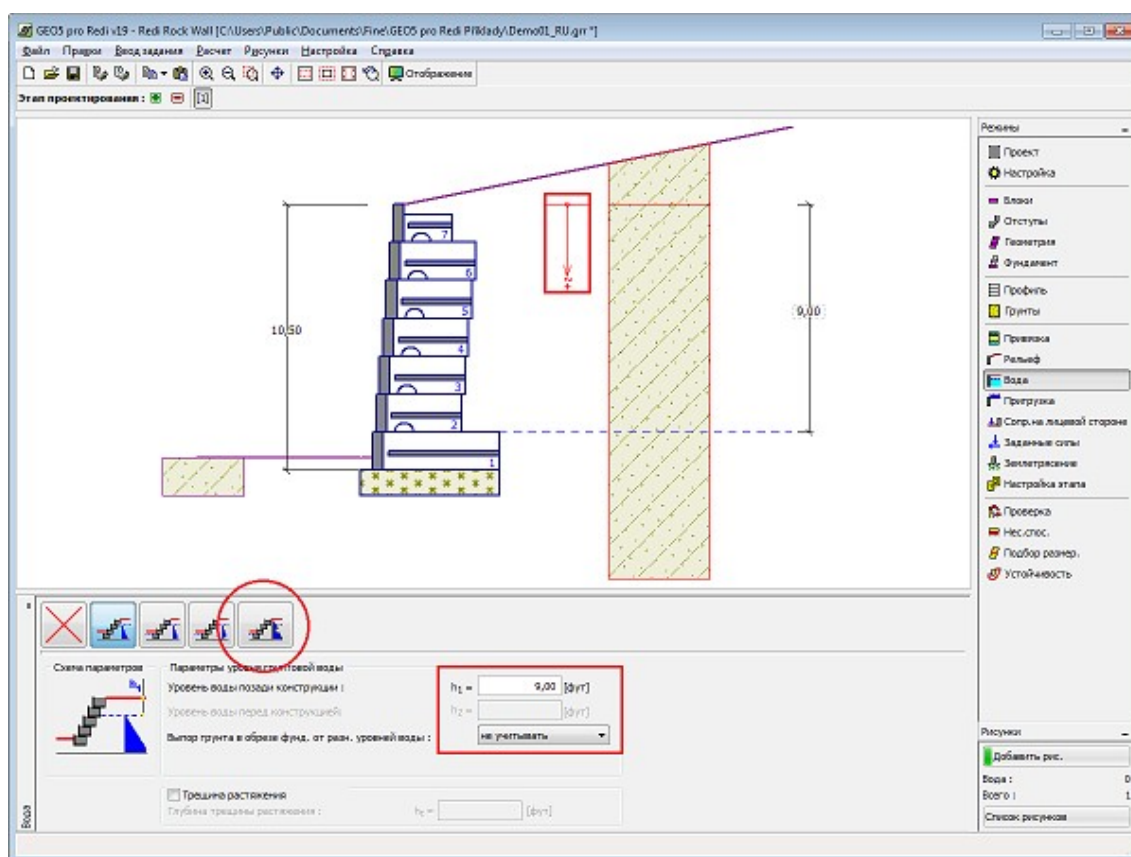
Последний выбор - это ручной ввод порового давления перед и за конструкцией. В рамке появляются две закладки «**Перед конструкцией**» и «**За конструкцией**» с таблицами. В **таблицы** вводят значения порового давления перед или за конструкцией на глубине « $z$ » (см. ось  $z$ )

Высоту уровня воды можно задавать также **над конструкцией** или над грунтовым профилем - в таком случае значению глубины воды присваивается отрицательный знак.

Расчёт давлений грунта с воздействием воды описан в теоретической части подсказки «**Воздействие воды**».

Программа позволяет задавать глубину **трещин растяжения** заполненных водой.





Рамка «Вода»

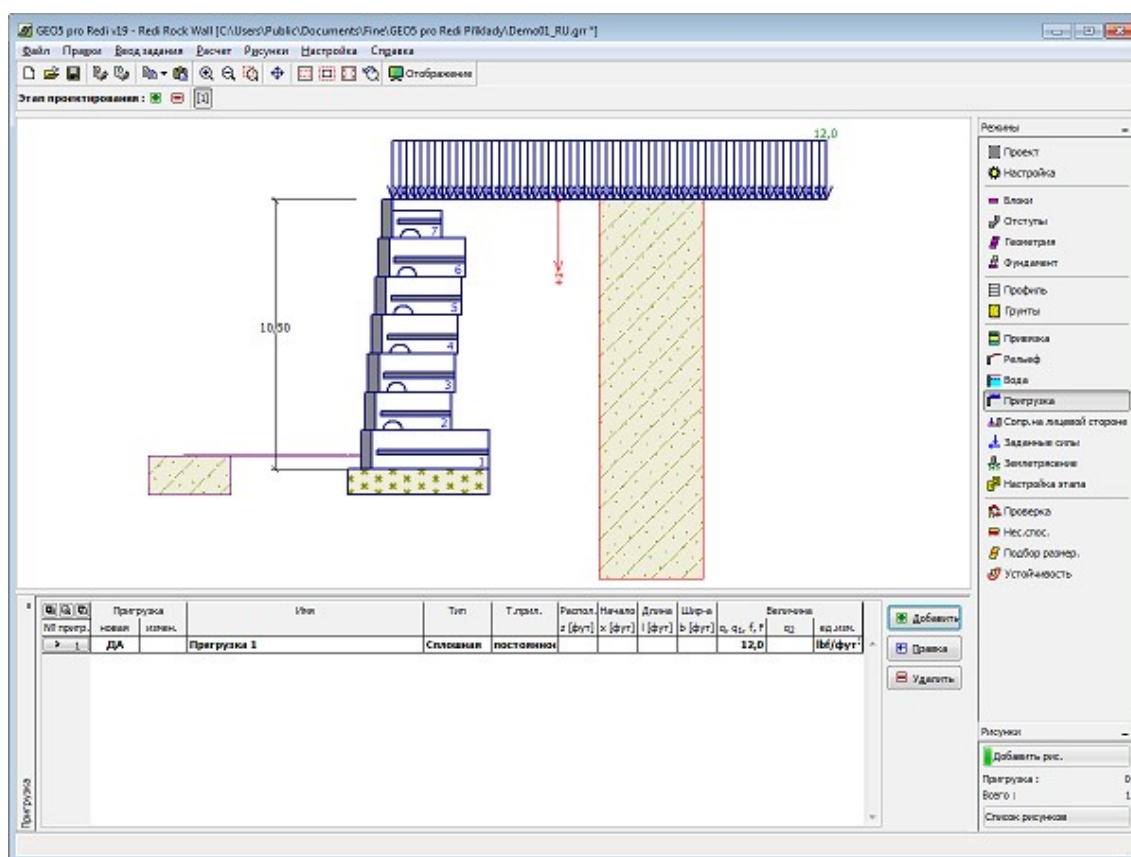
## Пригрузка

В рамке «**Пригрузка**» есть таблица со списком заданных пригрузок. Добавление пригрузки выполняется в диалоговом окне «**Создать пригрузку**». Редактировать заданную пригрузку можно также на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

Вместе с вводом пригрузки на глубине нужно задать координату  $z$  от верхней точки конструкции, с положительным знаком в глубину. В случае, что пригрузка задана вне пределов местности, программа перед выполнением расчёта даст сообщение об ошибке.

Пригрузку можно задавать **постоянной**, **переменной** или **случайной**. В зависимости от типа воздействия пригрузки результирующее воздействие умножается на соответствующий расчётный коэффициент. Случайная пригрузка с положительным воздействием в расчёт не принимается.

Расчёт давлений грунта от пригрузки описан в теоретической части справки «**Воздействие пригрузки**».



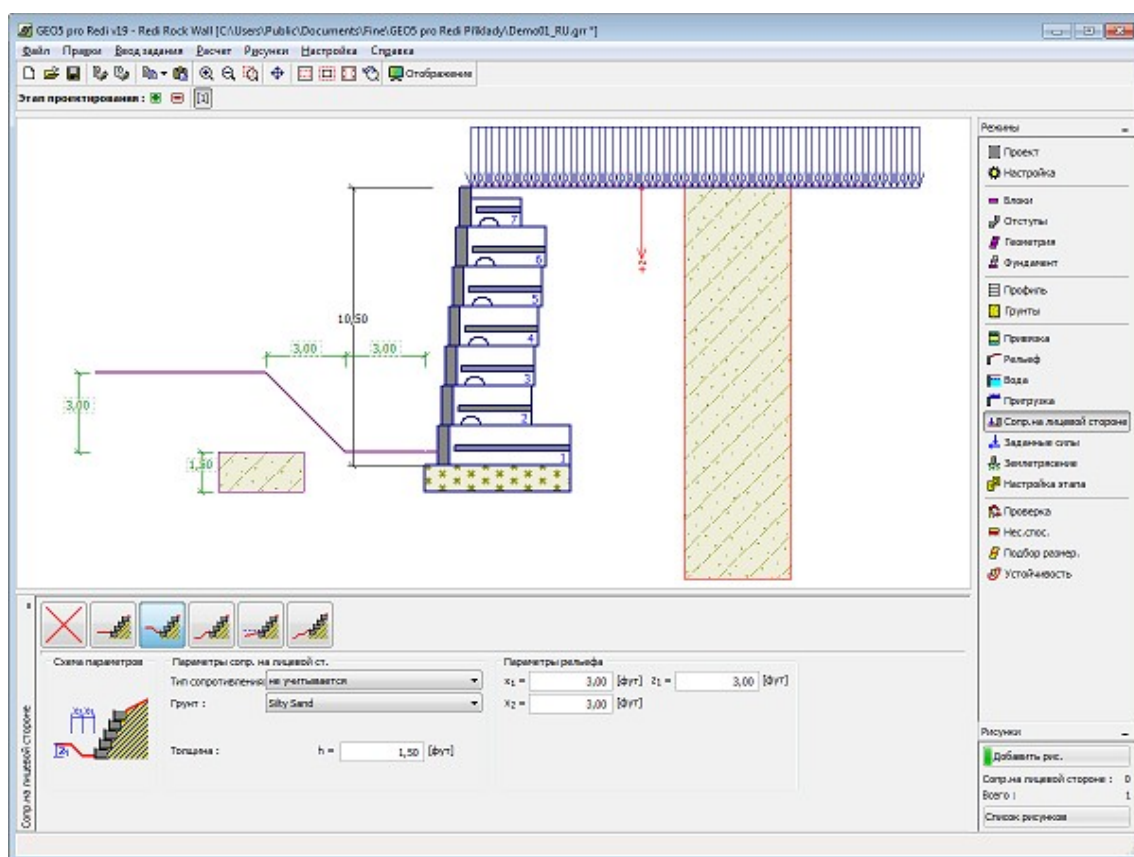
Рамка «Пригрузка»

## Соппротивление на лицевой стороне

В рамке «Соппротивление на лицевой стороне» нажатием кнопки выбирают форму (профиль) местности и параметры сопротивления на лицевой стороне стены. Выбранный рельеф с графической подсказкой («Схема параметров») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактирование рельефа местности можно выполнять или в рамке путём ввода значений в поля ввода, или на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

В рамке в выпадающем списке выбирают тип сопротивления и грунт ( в списке находятся грунты, указанные в режиме «Грунты»). В рамку можно задавать величину пригрузки на местности перед стенкой, или толщину грунта над самой нижней точкой конструкции стены.

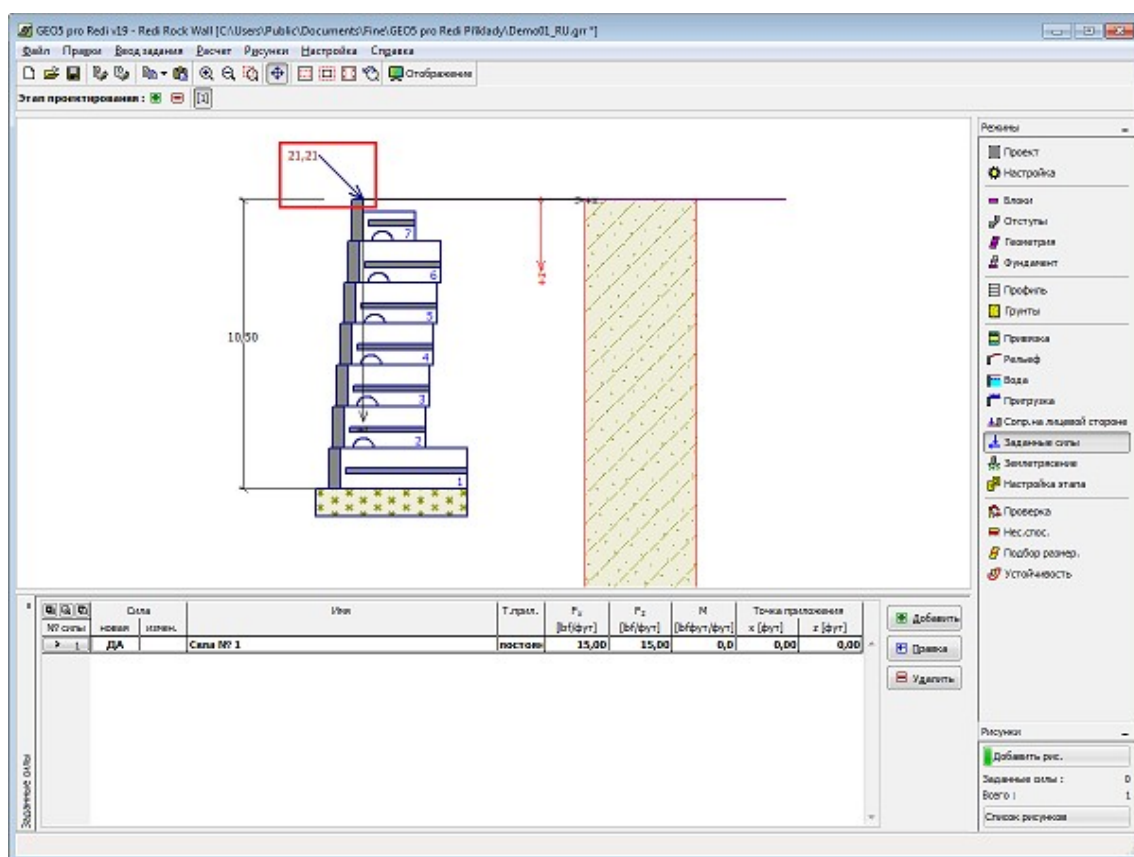
Соппротивление на лицевой стороне можно задать **статическим давлением**, **пассивным давлением** или **приведённым пассивным давлением**. Результирующая сила от приведённого пассивного давления принимается как равнодействующая сил от активного и пассивного давлений, умноженных на соответствующий коэффициент в соответствии с заданным типом приведённого пассивного давления.



Рамка «Сопротивление на лицевой стороне»

## Заданные силы

В рамке «Заданные силы» есть таблица со списком заданных сил, действующих на конструкцию. Добавление сил выполняется в диалоговом окне «Создать силу». Редактирование заданных сил можно также выполнять на рабочем столе с помощью активных объектов.



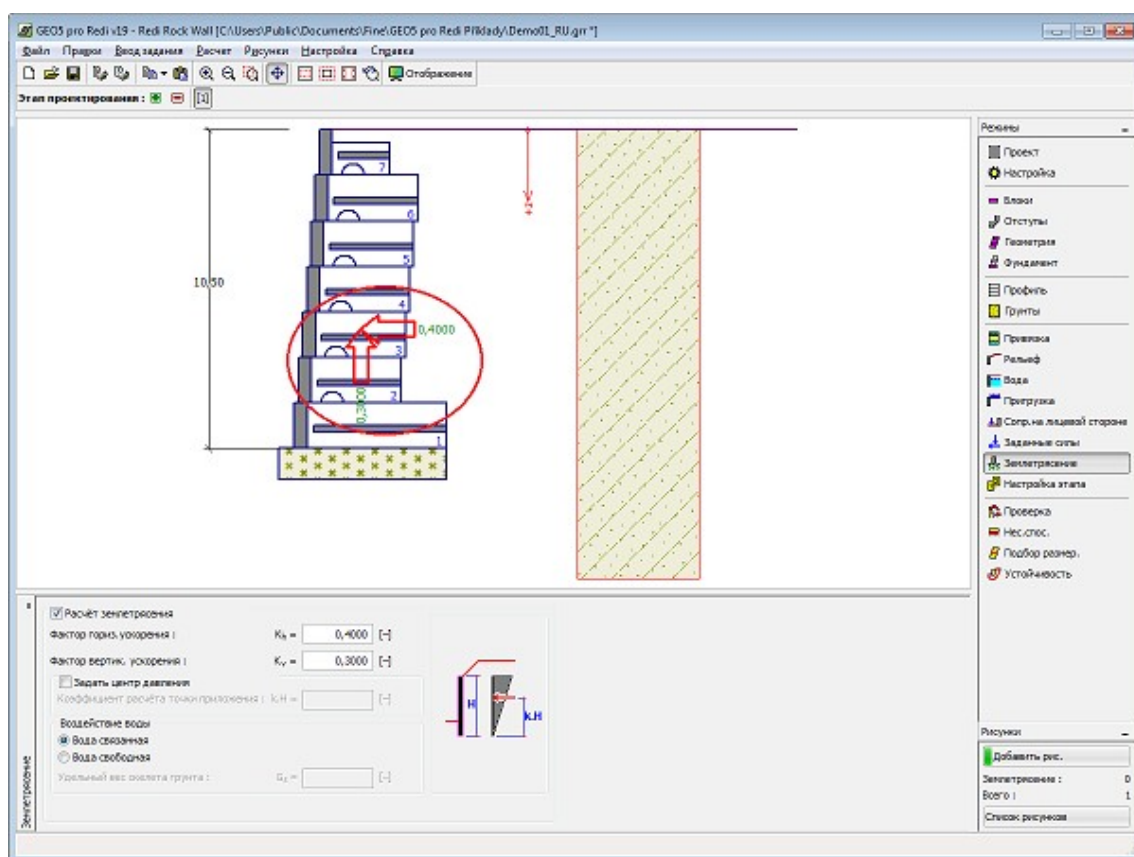
Рамка «Заданные силы»

## Землетрясение

В **рамку «Землетрясение»** задают параметры сеймики. Направления заданных сейсмических воздействий отображены на рабочем столе.

В случае отсутствия коэффициентов  $k_h$  и  $k_v$  полученных в результате измерений, проводят дополнительный расчёт способом указанным в **EN 1998-5**.

Расчёт давлений грунта с воздействием землетрясения описан в теоретической части подсказки **«Воздействие землетрясения»**.



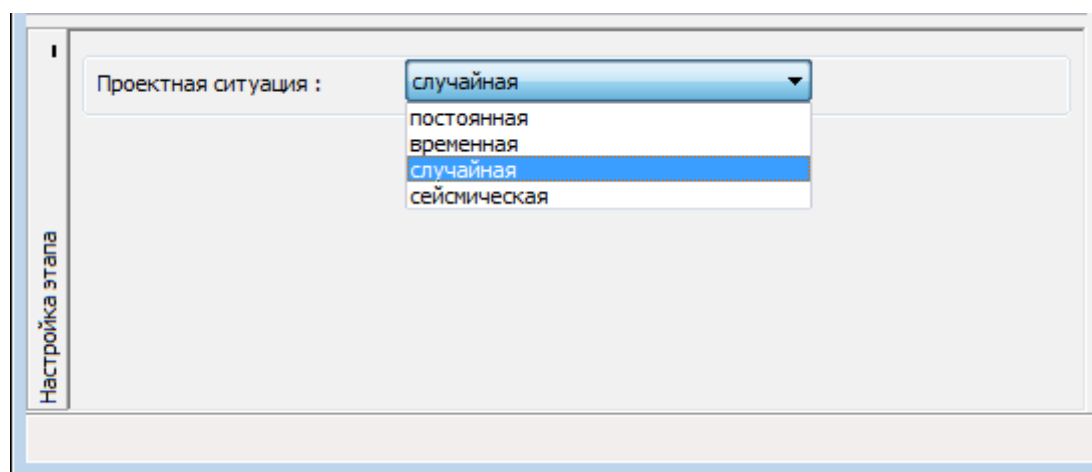
Рамка «Землетрясение»

## Настройка этапа

В **рамку «Настройка этапа»** задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования.

Внешний вид рамки зависит от выбора **методики проверки**.

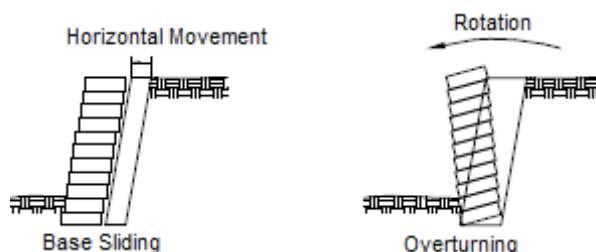


Рамка «Настройка этапа»

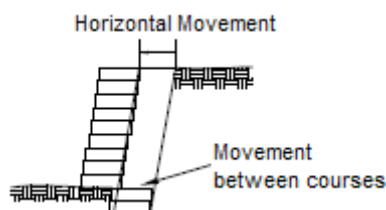
## Расчёты - Гравитационная стена

Проверка **гравитационной стены**, созданной из блоков RediRock выполняется в следующих рамках:

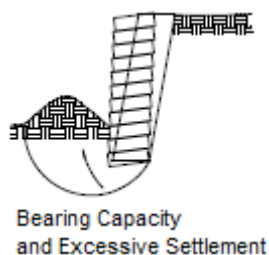
- **Проверка** - контроль стены на **смещение и крен**



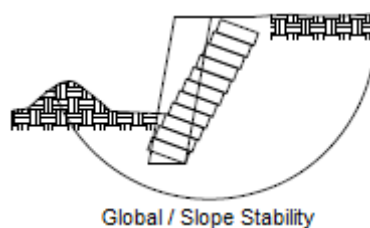
- **Подбор размеров** - проверка отдельных швов между блоками опорной стены на **крен и смещение**



- **Несущая способность** - проверка несущей способности грунта основания



- **Устойчивость** - проверка общей устойчивости конструкции



Рисунки переняты из: *Design Manual for Segmental Retaining Walls (NCMA, 3rd Edition)*

## Проверка

В **рамке «Проверка»** отображены результаты расчёта. По одной задаче можно выполнить **несколько расчётов**.

Вид рамки меняется в зависимости от выбора **методики проверки**:

- Расчёт по **коэффициенту безопасности** или **предельным состояниям** - в таблице в последней колонке указаны **расчётные коэффициенты**, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.

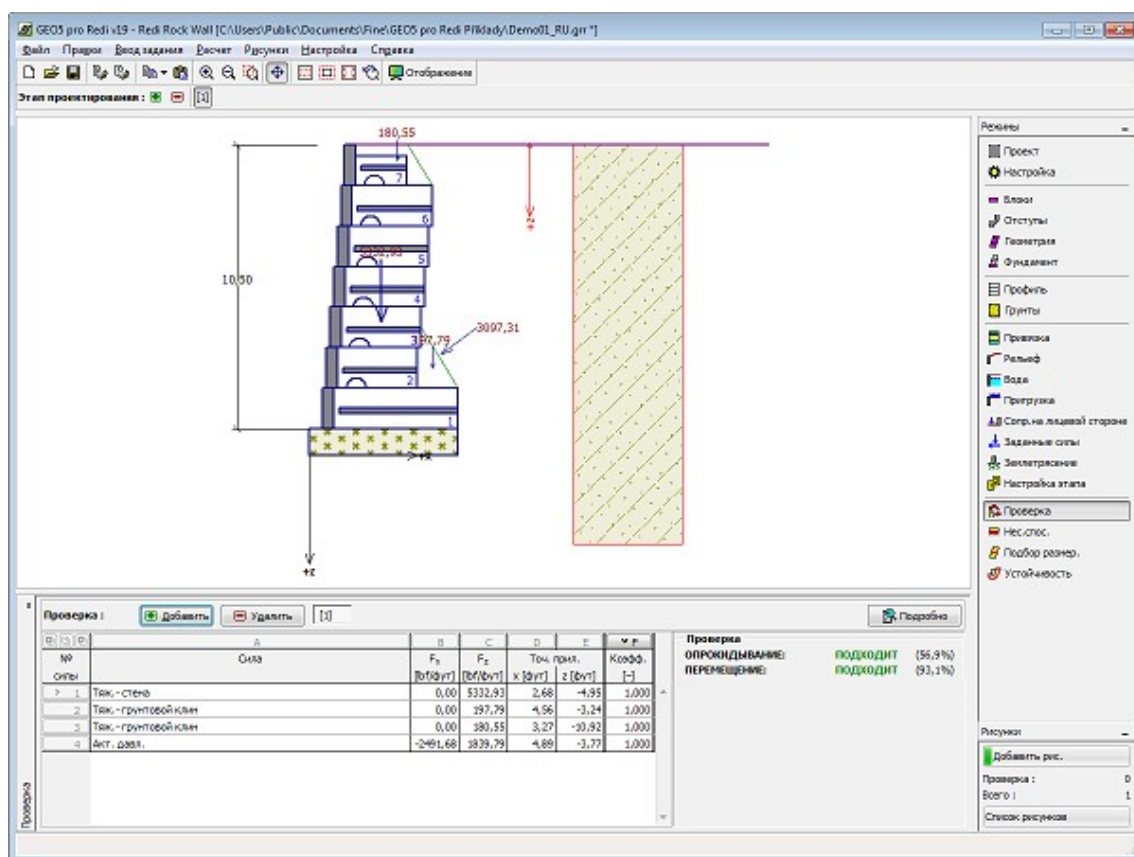


- **Расчёт по EN 1997** - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «Комбинация нагрузок».
- **Расчёт по LRFD** - в таком случае последняя колонка не отображена.

Порядок **собственного анализа стены** описан в теоретической части справки.

Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. В правой части рамки отображается результат анализа стены на **опрокидывание** и **перемещение**. Кнопкой «**Подробнее**» открывается диалоговое окно с подробной выпиской результатов анализа.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».



Рамка «Проверка»

## Подбор размеров

В **рамке «Подбор размеров»** можно **проверить** отдельные швы между блоками опорной стены на **опрокидывание** и **сдвиг**. При выборе «**Автоматическая проверка**» проверяется самый критический шов над блоком. Возможна и команда «**Шов над блоком №**», по которой программа выполняет расчёт только для отдельного шва.

Вид рамки меняется в зависимости от выбора **методики проверки**:

- Расчёт по **коэффициенту безопасности** или **предельным состояниям** - в таблице в последней колонке указывают **расчётные коэффициенты**, на которые умножаются рассчитанные силы.
- **Расчёт по EN 1997** - в последней колонке таблицы можно задать, является ли

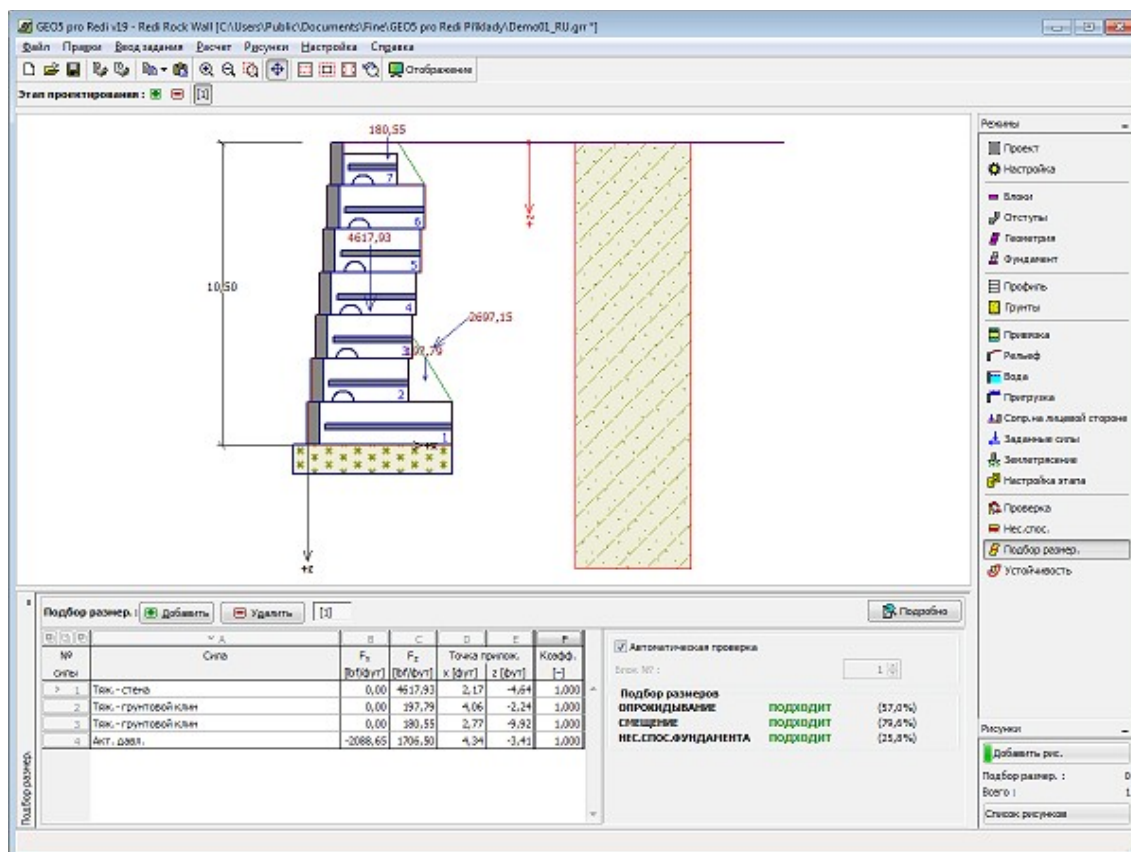


переменная нагрузка, действующая на конструкцию, вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «Комбинация нагрузок».

- **Расчёт по LRFD** - в таком случае последняя колонка не отображена.

В рамке можно выполнять **несколько расчётов** по отдельным швам блоков стены. Можно задавать тоже разные **коэффициенты расчёта** отдельных сил. Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных. Кнопка «**Подробнее**» открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов подбора размеров.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».



Рамка «Подбор размеров»

## Несущая способность

В **рамке «Несущая способность»** отображены результаты расчёта несущей способности грунта основания. Напряжение в подошве рассчитано на основе всех анализов выполненных в рамке «**Проверка**». В программу «**Отдельные фундаменты**» анализы будут переданы как сочетания нагрузок.

**Ограничение на рис. 4-4, на стр. 73 руководства NCMA программа не контролирует.** Программа автоматически проверяет соответствие задания грунта основания принципам конструирования.

Рамка предлагает следующие опции расчётов:

- **Ввести несущую способность грунта**

В вводное поле вводят несущую способность грунта основания. Результаты анализа стены на

**основания**

- **Рассчитать несущую способность грунта основания в программе «Отдельные фундаменты»**

**эксцентриситет** и **несущую способность грунта основания** отображены в правой части рамки. Кнопка **«Подробнее»** открывает диалоговое окно с детальной выпиской результатов анализа несущей способности грунта.

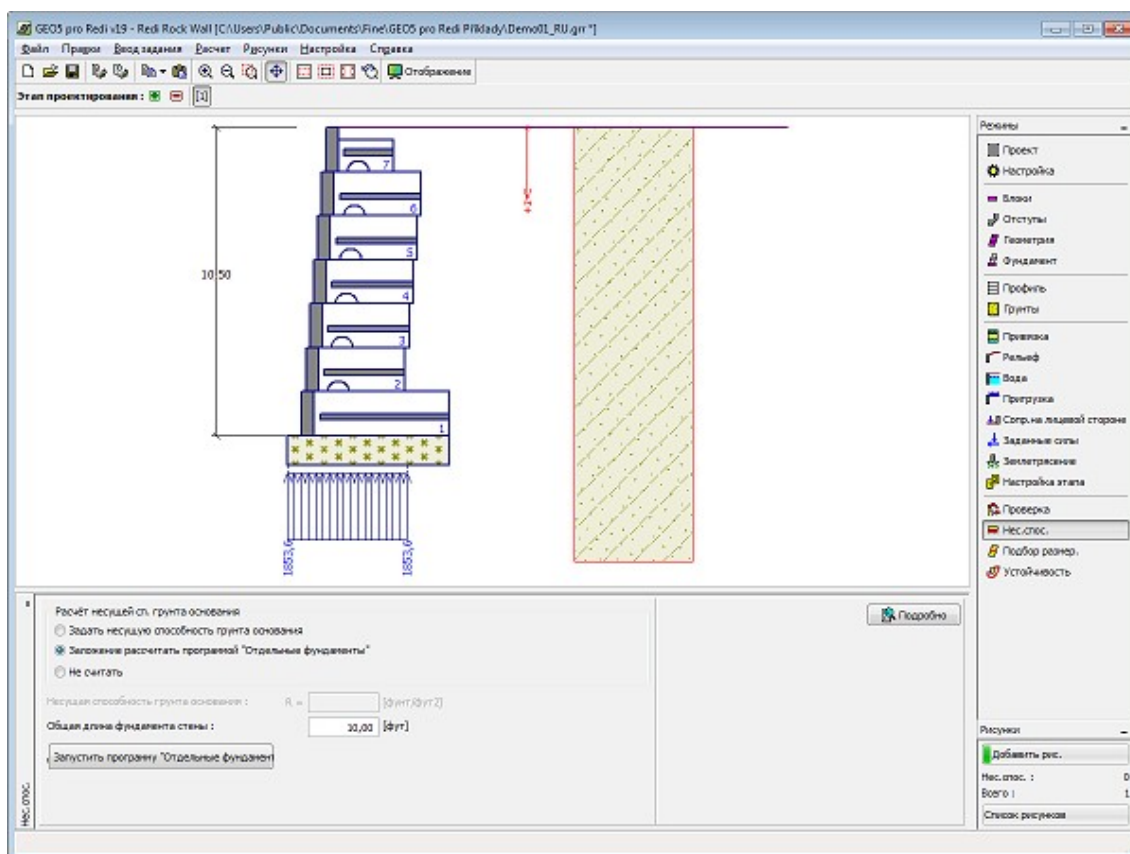
Кнопкой **«Запуск программы Отдельные фундаменты»** **запустить программу «Отдельные фундаменты»**, в которой можно рассчитать несущую способность грунта основания, или осадку и поворот фундамента. После выполнения расчётов нажать кнопку **«ОК»** - результаты в т.ч. заданные изображения будут переданы в протокол расчёта программы **«Стена Redi-Rock»**. Если не установлена программа **«Отдельные фундаменты»**, то кнопка недоступна. Задают общую длину фундамента стены.

- **Не проводить расчёт (фундамент на сваях)**

Не производится расчёт несущей способности грунта основания.

Программа позволяет задать **форму напряжения в грунте основания**.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне **«Настройка рисования»**.

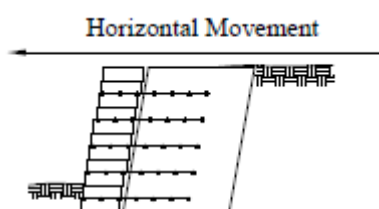


Рамка «Несущая способность»

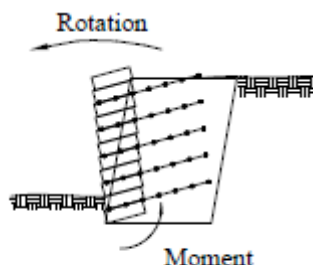
## Расчёты - Армированная стена

Проверка **армированной опорной стены**, возведенной из блоков Redi-Rock с армирующими элементами «Miraf» выполняется в следующих рамках:

- **Проверка** - контроль стены на **сдвиг** и **опрокидывание**

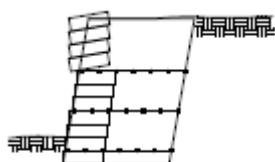


Base Sliding



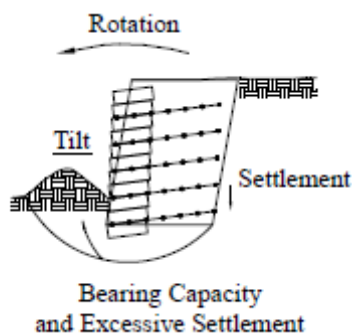
Overturning

- **Подбор размеров** - анализ отдельных швов между **неармированными** блоками опорной стены на **сдвиг** и **опрокидывание**

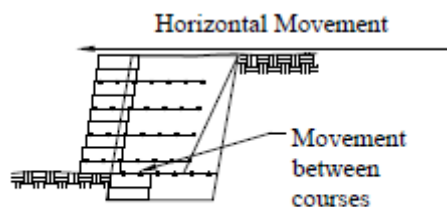


Crest Toppling

- **Несущая способность** - проверка несущей способности грунта основания

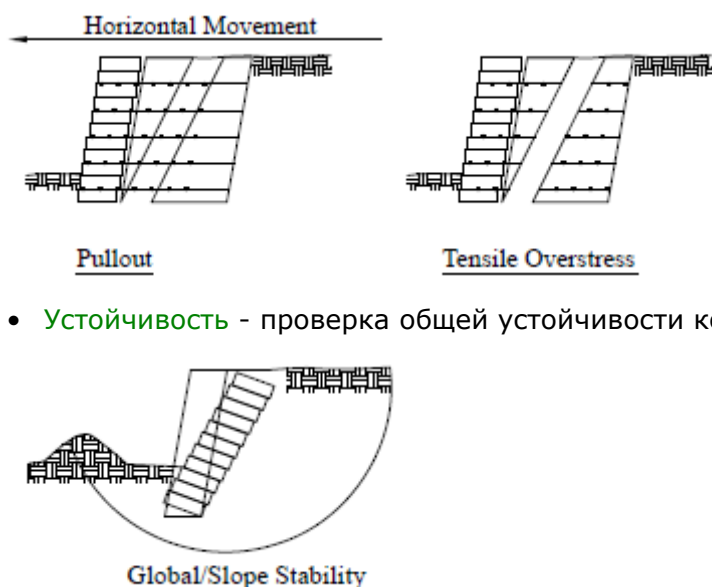


- **Сдвиг по геоармировке** - проверка смещения армированного блока грунта по геоармировке



Internal Sliding

- **Внутренняя устойчивость** - проверка несущей способности геоармировки на разрыв и выдёргивание из грунтового массива



- **Устойчивость** - проверка общей устойчивости конструкции

Рисунки взяты из: *Design Manual for Segmental Retaining Walls (NCMA, 3rd Edition)*

## Проверка

В рамке «**Проверка**» отображены результаты расчёта. По одной задаче можно выполнить несколько расчётов.

Вид рамки меняется в зависимости от выбора методики проверки:

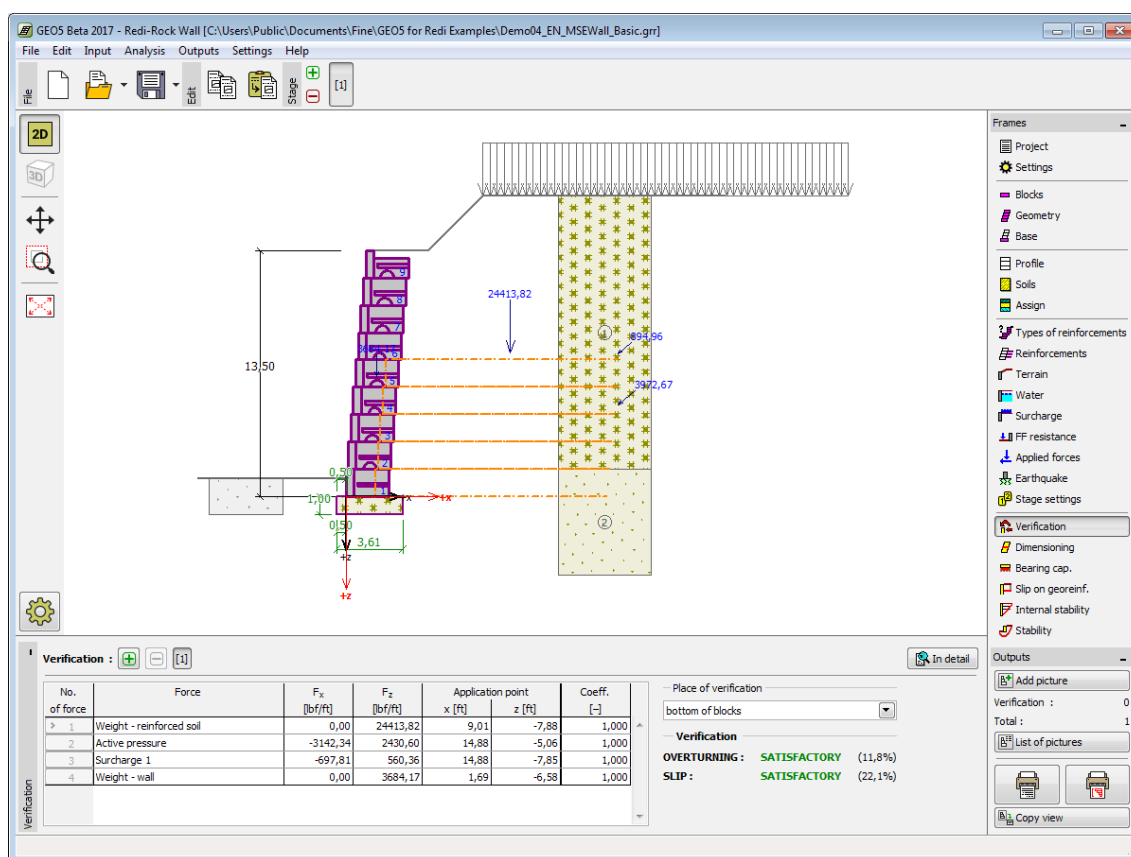
- Расчёт по коэффициенту безопасности или предельным состояниям - в таблице в последней колонке задают расчётные коэффициенты, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке
- Расчёт по EN 1997 - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка действующая на конструкцию, вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «Комбинация нагрузок». Расчёт по LRFD - в таком случае последняя колонка не отображена.

Порядок собственного анализа стены описан в теоретической части справки.

Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. В правой части рамки отображается результат анализа стены на **опрокидывание и перемещение**. Кнопкой «**Подробнее**» открывается диалоговое окно с подробной выпиской результатов анализа.

Анализ можно выполнить в месте под фундаментом или под армированным телом.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».



Рамка «Проверка»

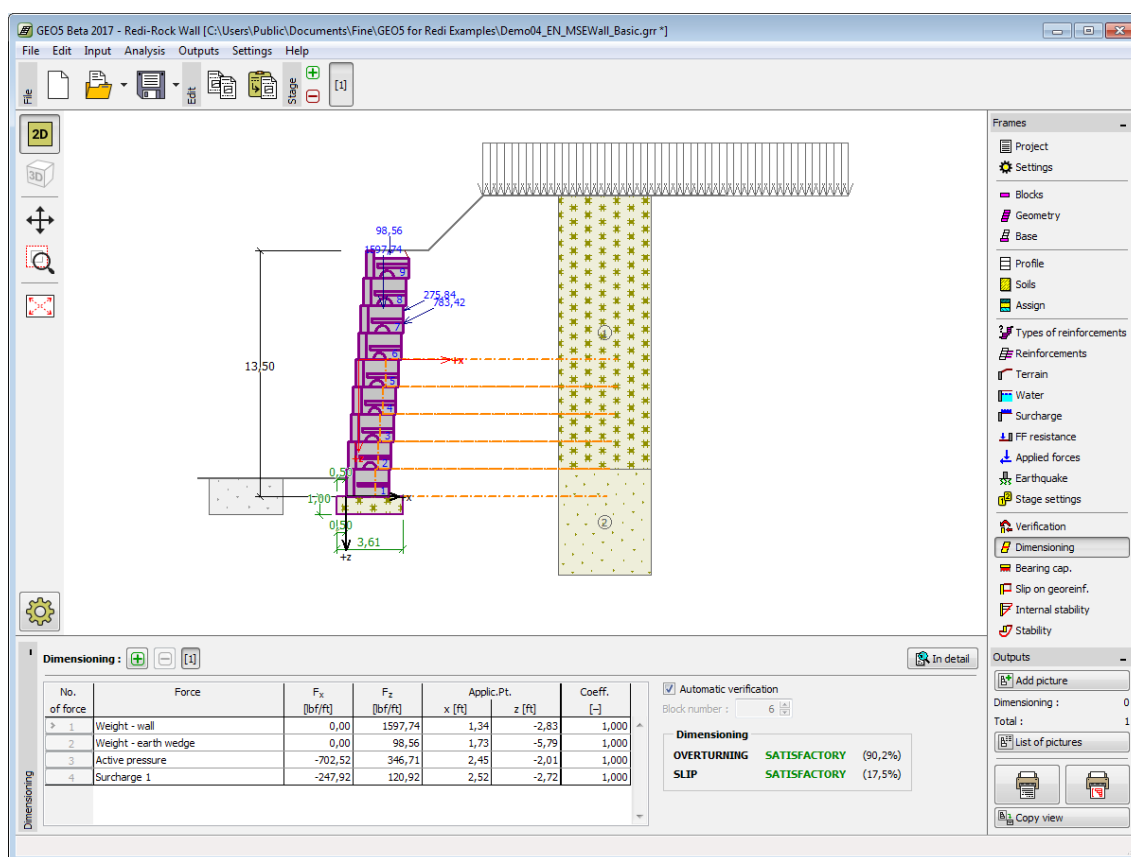
## Подбор размеров

В рамке «Подбор размеров» можно проверить отдельные швы между блоками опорной стены на опрокидывание и сдвиг - за исключением тех швов, которые армированы геоарматурами. При выборе «Автоматическая проверка» проверяется самый критический шов над блоком. Возможна тоже команда «Шов над блоком №», по которой программа выполняет расчёт только для отдельного шва. Вид рамки меняется в зависимости от выбора методики проверки

- Расчёт по коэффициенту безопасности или предельным состояниям - в таблице в последней колонке задаём расчётные коэффициенты, на которые умножаются рассчитанные силы.
- Расчёт по EN 1997 - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию, вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «Комбинация нагрузок».
- Расчёт по LRFD - в таком случае последняя колонка не отображена.

В рамке можно выполнять несколько расчётов по отдельным швам блоков стены. Можно задавать тоже разные коэффициенты расчёта отдельных сил. Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных. Кнопка «Подробно» открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов подбора размеров.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».



Рамка «Подбор размеров»

## Несущая способность

В рамке **«Несущая способность»** отображены результаты расчёта несущей способности грунта основания. Напряжение в подошве фундамента (предполагается постоянным) рассчитано на основе всех анализов выполненных в рамке **«Проверка»**. В программу **«Отдельные фундаменты»** анализы будут переданы как сочетания нагрузок.

**Ограничение на рис. 4-4, на стр. 73 руководства NSMA программа не контролирует.** Программа автоматически проверяет соответствие задания грунта основания принципам конструирования.

Рамка предлагает следующие опции расчётов:

- **Ввести несущую способность грунта основания**
- **Рассчитать несущую способность грунта основания в программе «Отдельные фундаменты»**

В вводное поле вводят несущую способность грунта основания. Результаты анализа стены на **эксцентриситет** и **несущую способность грунта основания** отображены в правой части рамки. Кнопка **«Подробнее»** открывает диалоговое окно с детальной выпиской результатов анализа несущей способности грунта.

Кнопкой **«Запуск программы Отдельные фундаменты»** запустить программу **«Отдельные фундаменты»**, в которой можно рассчитать несущую способность грунта основания, или осадку и поворот фундамента. После выполнения расчётов нажать кнопку



«ОК» - результаты в т.ч. заданные изображения будут переданы в протокол расчёта программы «Стена Redi-Rock». Если не установлена программа «Отдельные фундаменты», то кнопка недоступна. Задает общую длину фундамента стены.

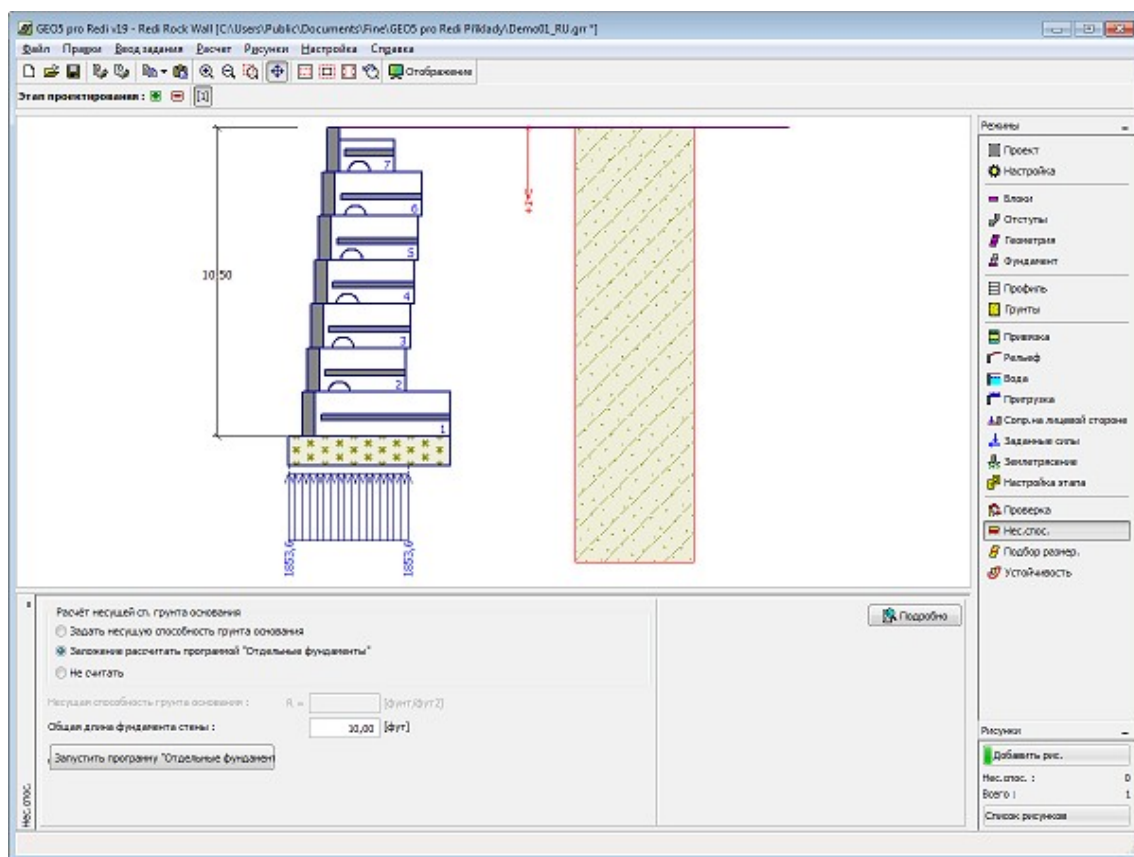
- **Не проводить расчёт (фундамент на сваях)**

Не производится расчёт несущей способности грунта основания.

Программа позволяет задать **форму напряжения в грунте основания**.

Проверка выполняется в месте под фундаментом или под армированным телом.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».



Рамка «Несущая способность»

## Сдвиг по геоармировке

В **рамке «Сдвиг по геоармировке»** можно проверить сдвиг армированного блока грунта по геоармировке с помощью поля **«Армир.элемент №»**. После выбора **«Автоматическая проверка»** будет проверен наиболее критический армирующий элемент. **Армированный блок грунта** ограничен лицевой стороной стены, проверяемым армирующим элементом, отвесной линией, проходящей концевой точкой армир.элемента и рельефом. Армированный блок грунта нагружен **активным давлением грунта** и стабилизирующими силами от геоармировок, выходящих за пределы армированного блока.

Процедура расчёта **сдвига по геоармировке** описана в теоретической части справки.

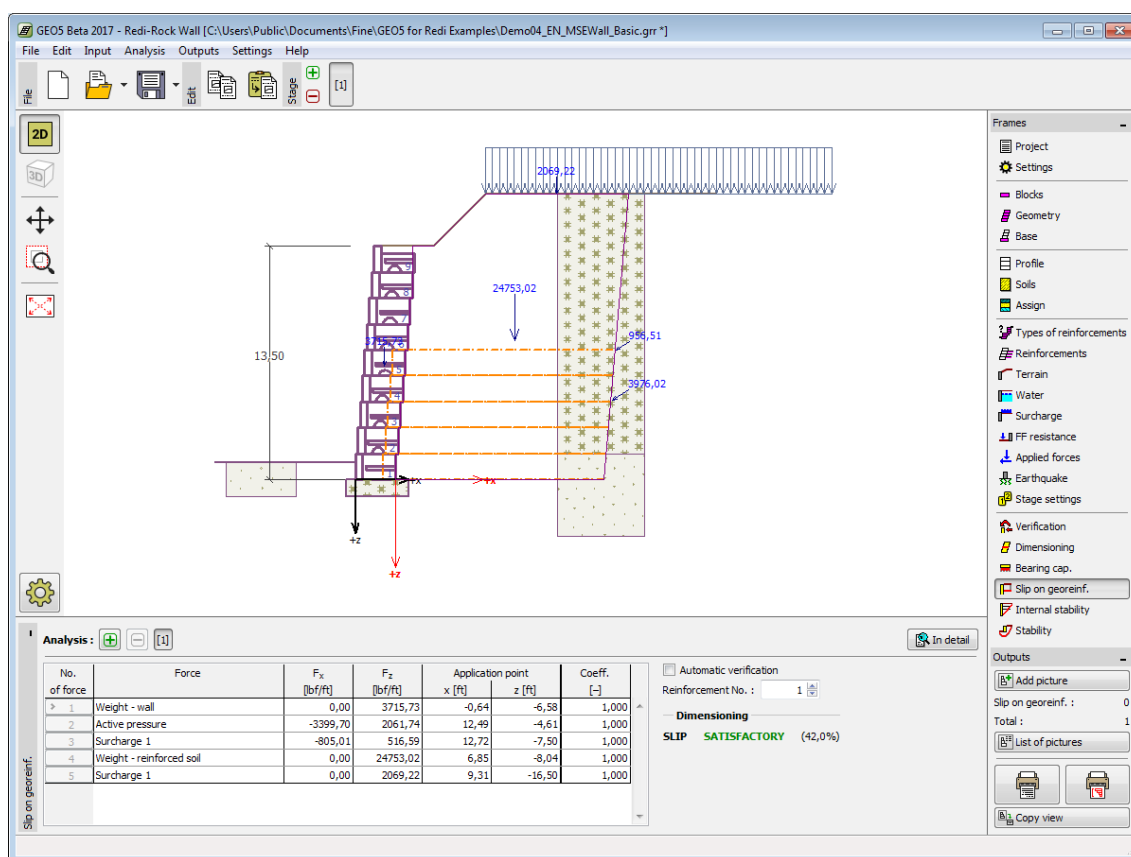


Вид рамки меняется в зависимости от выбора методики проверки:

- Расчёт по коэффициенту безопасности или предельным состояниям - в таблице в последней колонке задают расчётные коэффициенты, на которые умножаются рассчитанные силы.
- Расчёт по EN 1997 - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка действующая на конструкцию, вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «Комбинация нагрузок».
- Расчёт по LRFD - в таком случае последняя колонка не отображена.

В рамке можно выполнять несколько расчётов относительно сдвигов по отдельным геоарматурам. Можно тоже задавать разные коэффициенты расчёта отдельных сил. Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных. Кнопка «**Подробнее**» открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов по внутренней устойчивости.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».



Рамка «Сдвиг по геоармировке»

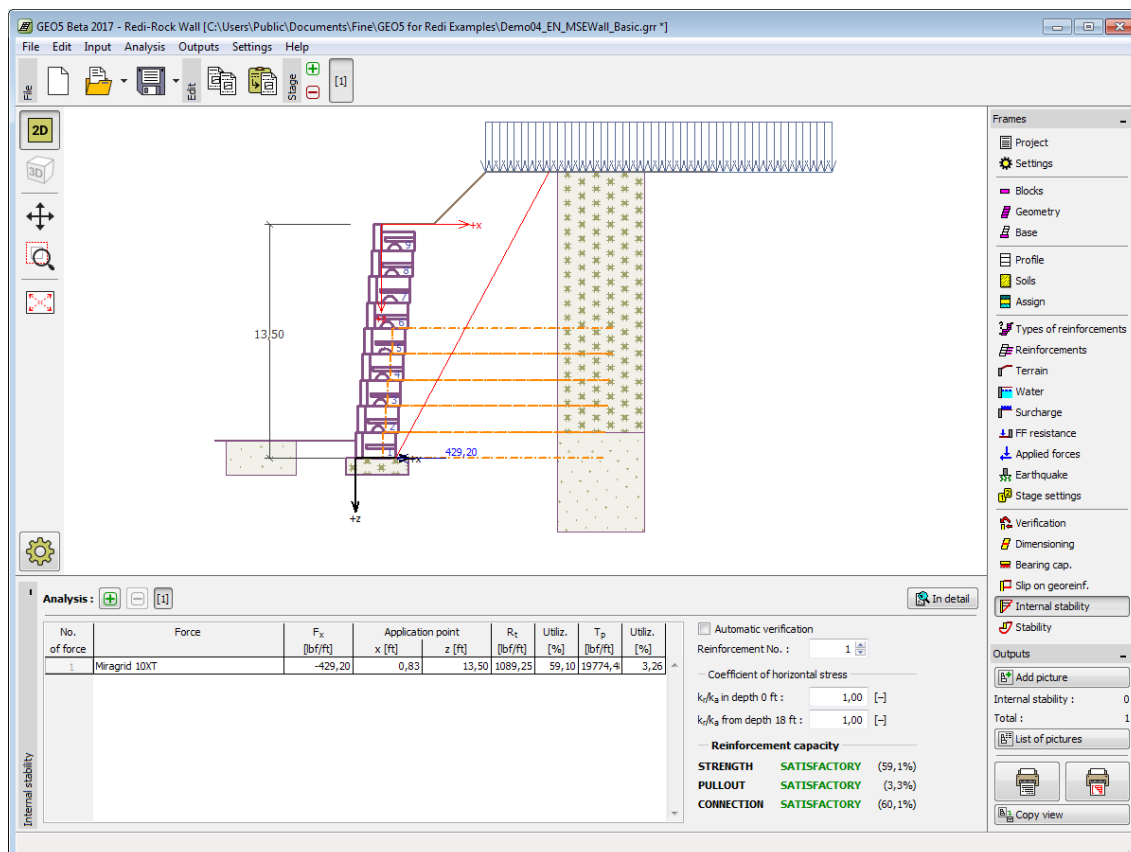
## Внутренняя устойчивость

В рамке «**Внутренняя устойчивость**» можно проверить армирующие элементы на разрыв и выдёргивание из грунтового массива. Задаём в поле «**Армир.элемент №**» и проверка будет выполнена только по отдельным армир.элементам. Выбор опции «**Автоматическая проверка**» вызывает проверку всех армир.элементов. На рабочем столе вправо отображён результат проверки наиболее критического арм.элемента. Процедура расчёта внутренней устойчивости описана в теоретическом разделе справки.

В таблице отображены силы от **активного давления грунта**, действующие на лицевой стороне стены в отдельных арм.элементах. Далее, показана несущая способность арм.элемента на **разрыв  $R_t$** , на **выдёргивание** из грунтового массива  $T_p$ , несущая способность стыка  $R_{con}$  отдачи каждого из арм. элементов в процентном выражении.

В рамке можно выполнять **несколько расчётов** по проверке отдельных армирующих элементов. Вычисленные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных. Кнопка **«Подробно»** открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов по несущей способности армирующего элемента.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне **«Настройка рисования»**

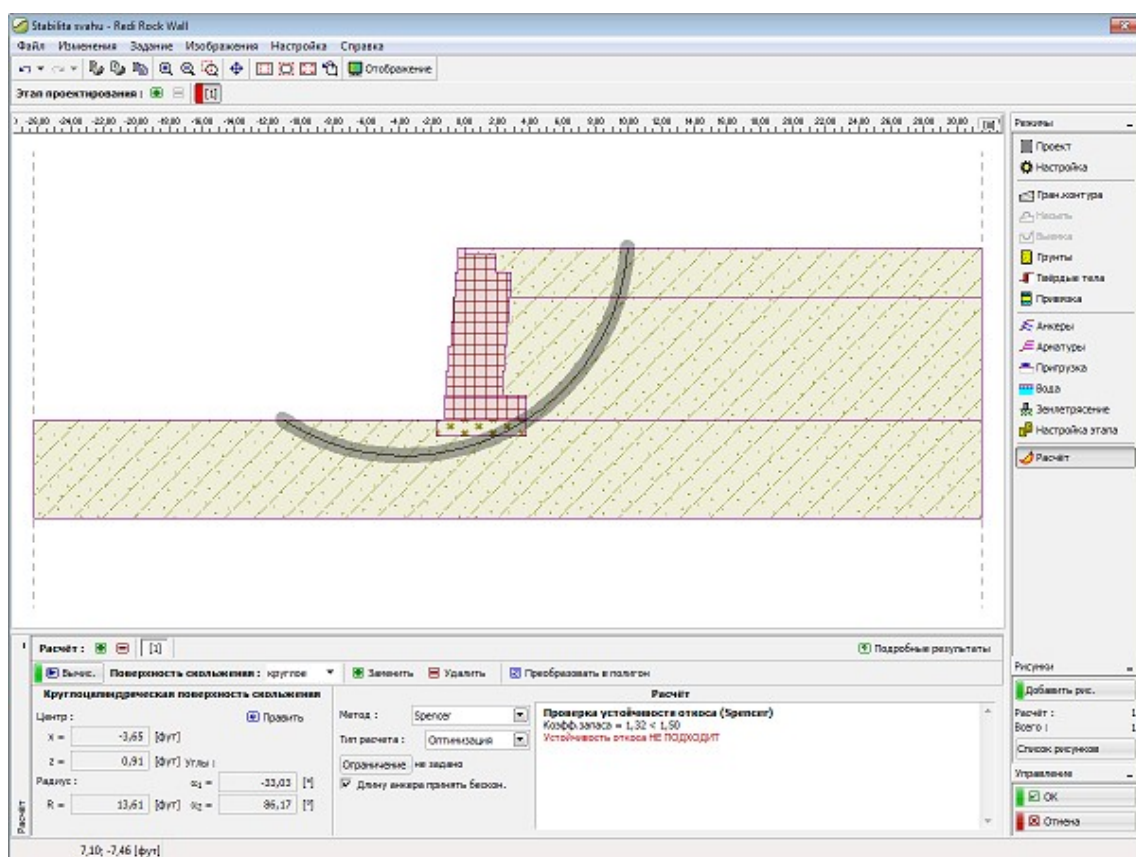


Рамка «Внутренняя устойчивость»

## Устойчивость

Нажатием на кнопку **«Устойчивость»** **запускается** программа **«Устойчивость откоса»** и в программу передаются все необходимые данные. В программе Устойчивость откоса можно анализировать общую устойчивость конструкции стены. Кнопка недоступна, если программа **«Устойчивость откоса»** не установлена.

После выполнения расчёта нажатием кнопки **«OK»** передаются результаты в т.ч. рисунки в протокол расчёта в программе **«Стена RediRock»**.



Рамка «Устойчивость»

## Программа Ограждения котлованов - проект

Программа предназначена для проектирования ограждающих, анкерowanych и неанкерowanych конструкций (шпунтовых, с заборкой, подземных и свайных стен). В результате расчётов получаем необходимую длину конструкции в грунте (при заделке или свободной посадке), силы в анкерах и эпюру внутренних сил на конструкции. Программа «**Ограждение котлованов-проект**» даёт предварительную оценку поведения ограждающей конструкции.

Комплексное решение многократной анкерования стен и крепящих конструкций в т.ч. их анализ и подбор размеров выполняет программа «**Ограждение котлованов-анализ**».

**Справка для программы «Ограждения котлованов - проект» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Профиль	Грунты	Привязка	Геометрия	Материал
Анкеры	Распорки	Опоры	Определени е давления	Рельеф	Вода	Пригрузка
Заданные силы	Землетрясе ние	Настройка этапа	Расчёт	Подбор размеров	Устойчивост ь	

- **Стандарты и методы расчёта**
- Теория расчётов в программе **«Ограждения котлованов - проект»**:  

Напряжение в массиве грунта	Давление грунта	Расчет обшивки	Сцепленная обшивка
--------------------------------	-----------------	----------------	-----------------------
- Справка относительно **результатов на выходе**
- Информация общего характера о работе в **пользовательской среде** программ GEO5
- **Общие операции** для всех программ

## Проект

В **рамку «Проект»** задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой **текстовой и графической информации**.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (**метрическую / дюймовую**). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью **«Геобуфера»**.

Рамка «Проект»

## Настройка

В **рамку «Настройка»** предназначена для ввода основных **«Настроек»** программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой **«Выбрать настройки»** выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из **«Перечня настроек»**.

Кнопка **«Администратор настройки»** открывает диалоговое окно **«Администратор**

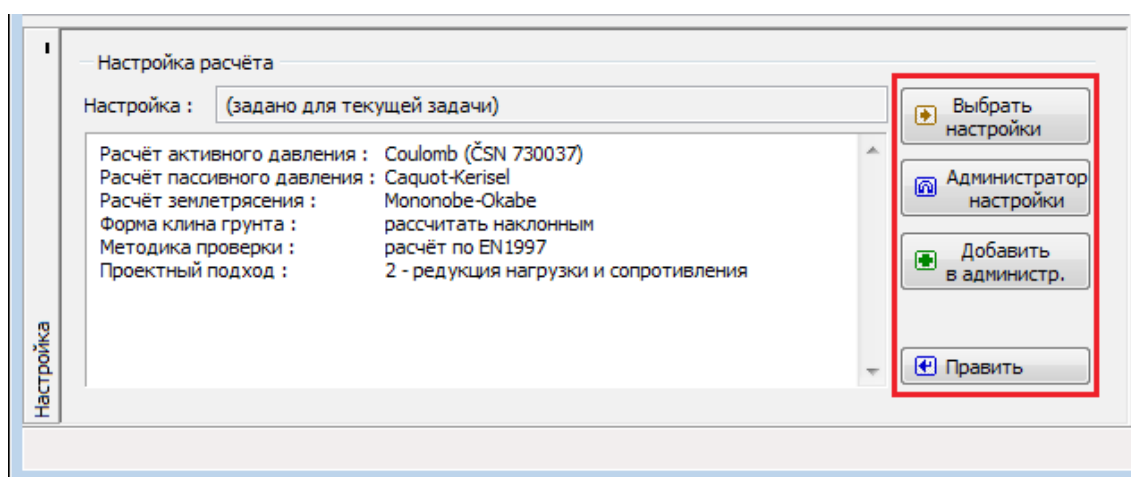
**настройки**», в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют, которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

Кнопка **«Добавить в администратор»** позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка **«Править»** позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в **«Задано для текущей задачи»**. После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку **«Добавить в администратор»** и добавляем настройку в **«Администратор настройки»**.

Настройка **«Задано для текущей задачи»** обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладках **«Материалы и стандарты»**, **«Расчёт давлений»**.



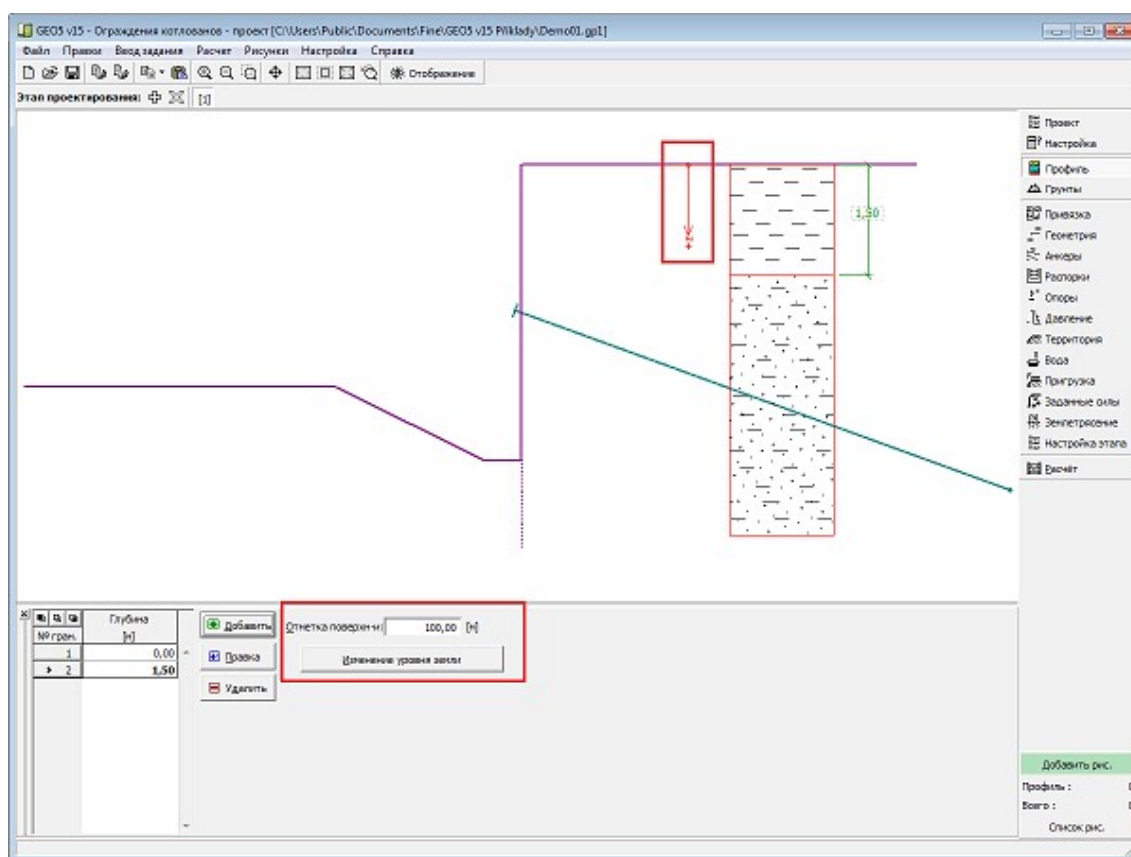
Рамка «Настройка»

## Профиль

В **рамке «Профиль»** есть **таблица** со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи **активных отметок**.

**Добавление** границы выполняется в **диалоговом окне «Создать границу контура»**. Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет **увеличить или уменьшить** высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне **«Изменение уровня земли»** и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы **«Рельеф»**.



Рамка «Профиль»

## Грунты

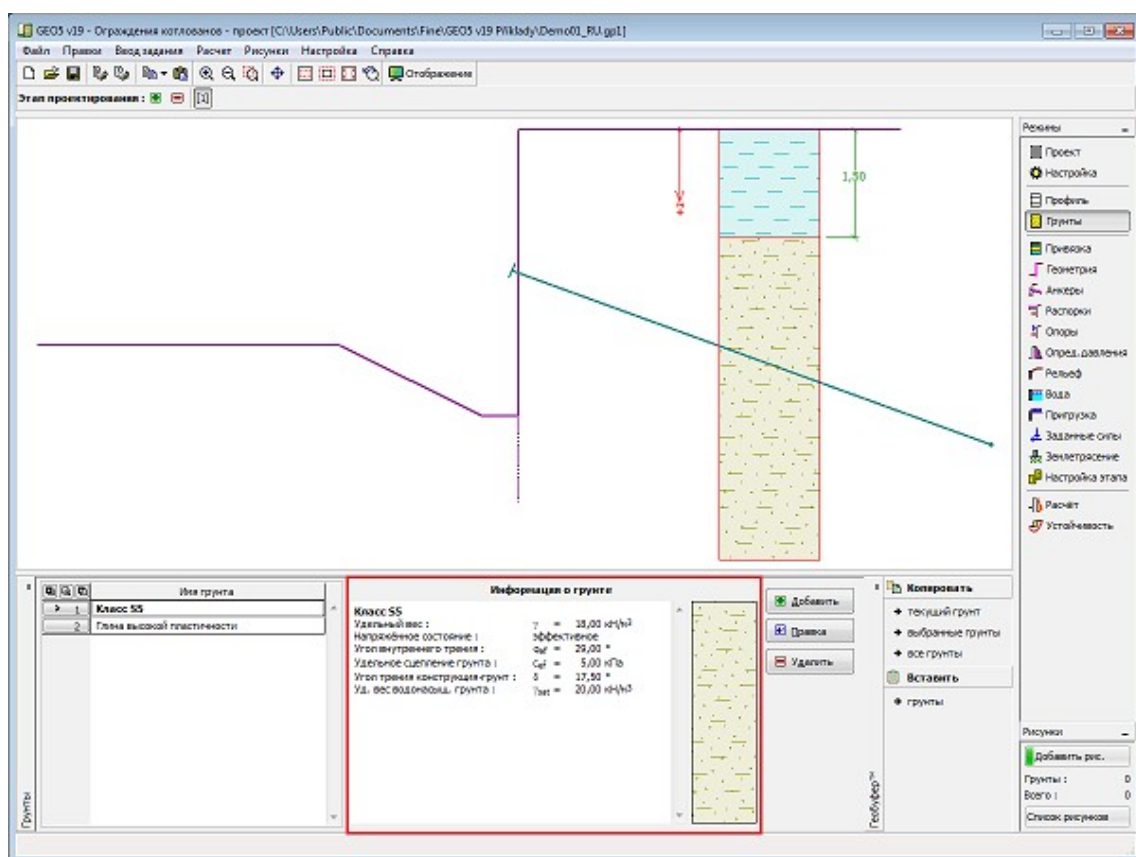
В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. В случае, что в таблице выбрано несколько грунтов, данные об отдельных грунтах расположены в последовательном порядке.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Базовые данные», «Статическое давление грунта» и «Подъёмная сила».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».





Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать **базу данных грунтов** по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Угол внутреннего трения грунта и коэффициент сцепления задают **эффективным** или **полным** в зависимости от установки в выпадающем списке «**Напряжённость**». Выполнять расчёт в **эффективном или полном напряжённом** состоянии зависит прежде всего от типа грунта, характера нагрузки, долговечности конструкции и водного режима.

Для **эффективного напряжённого состояния** задают **угол трения между грунтом и конструкцией**, который зависит от материала конструкции и типа грунта. Ориентировочные значения угла трения между конструкцией и грунтом приводит **таблица рекомендуемых значений**.

Для **полного (тотального) напряжённого состояния** ещё задают **сцепление грунта со стеной строительной конструкции**  $a$ .

Соответствующая теория подробно описана в разделе «**Давление грунта**».



**Добавление новых грунтов**

**Идентификация**

Имя : Глина с гравием, консистенция полутвёрдая  
Глина с гравием, консистенция полутвёрдая

**Базовые данные**

Удельный вес :  $\gamma =$  19,00 [кН/м³] 19,0

Напряжённое состояние : эффективное

Угол внутреннего трения :  $\varphi_{ef} =$  29,00 [°] 26-32

Удельное сцепление грунта :  $c_{ef} =$  8,00 [кПа] 4-12

Угол трения конструкция-грунт :  $\delta =$  12,00 [°]

**Статическое давление**

Грунт : несвязный

**Противодавление**

Расчёт взвешивающего усилия: стандартный

Удельный вес водонасыщенный :  $\gamma_{sat} =$  19,00 [кН/м³]

**Отображение**

Цвет

Категория узоров : GEO

Узор : Суглинок с гравием

**Классификация**

Определи

Стереть

Добавить

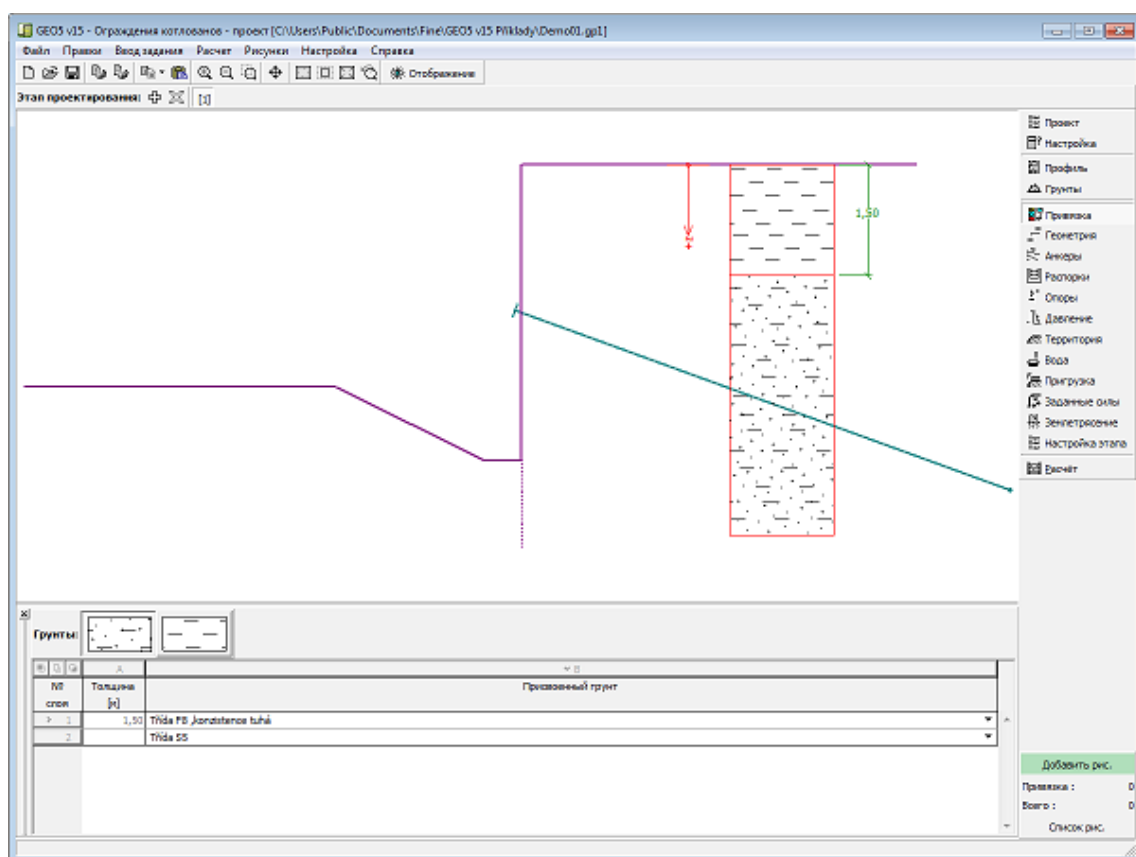
Отмена

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В рамке «Привязка» есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).



Рамка «Привязка»

## Геометрия

В **рамке «Геометрия»** задают глубину котлована и нажатием кнопки выбирают форму рельефа дна. Форма с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Размеры конструкции можно редактировать или в рамке, вводя значения в поля ввода, или на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

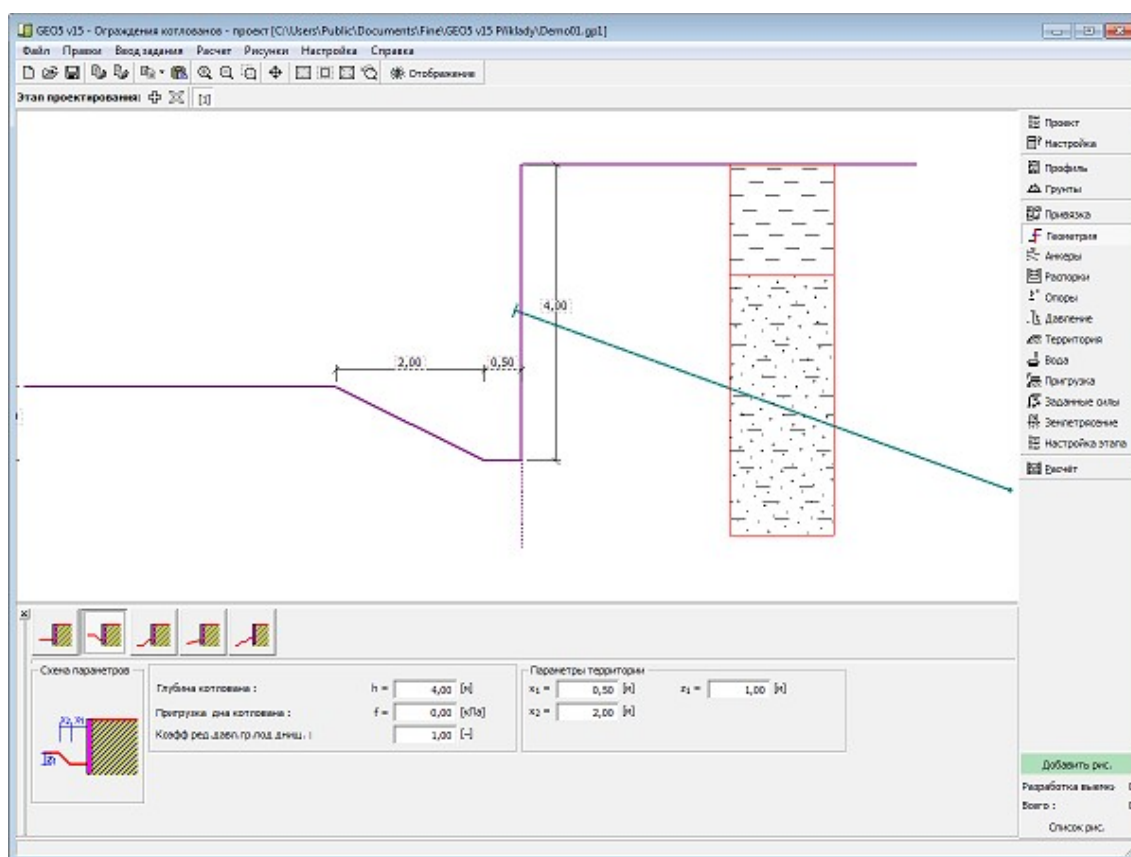
В рамку также можно задавать пригрузки дна котлована.

В эту же рамку можно задавать тип **сечения конструкции ограждения**. При загрузке данных в прежних версиях программы «**Ограждение котлованов-проект**» не задаётся сечение. Редактирование сечения выполняется с помощью кнопки «**Править**».

Тип сечения не имеет значения на **расчёт** внутренних сил.

Результаты проверки сечения показаны в **рамке «Подбор размеров»**.

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.



Рамка «Геометрия»

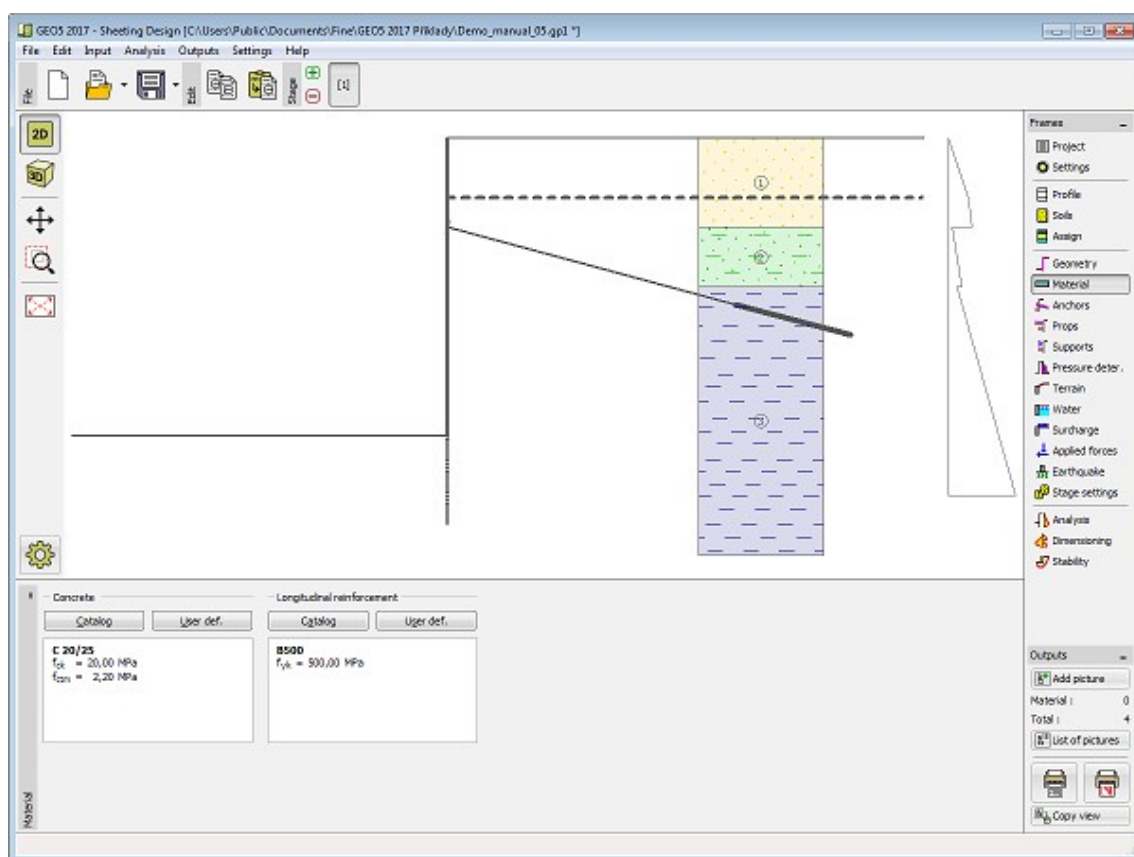
## Материал

В **рамке «Материал»** задают характеристики используемого материала. Вид рамки меняется в соответствии с выбранным материалом (**бетон, сталь, древесина, пластмасса**) в рамке «Геометрия».

Для установки параметров материала можно использовать две опции

- кнопкой «**Каталог**» открыть диалоговое окно «**Каталог материалов**» и из списка выбрать нужный материал.
- кнопкой «**Пользователь**» открыть диалоговое окно «**Редактор материала**» и ввести нужные характеристики материала вручную.

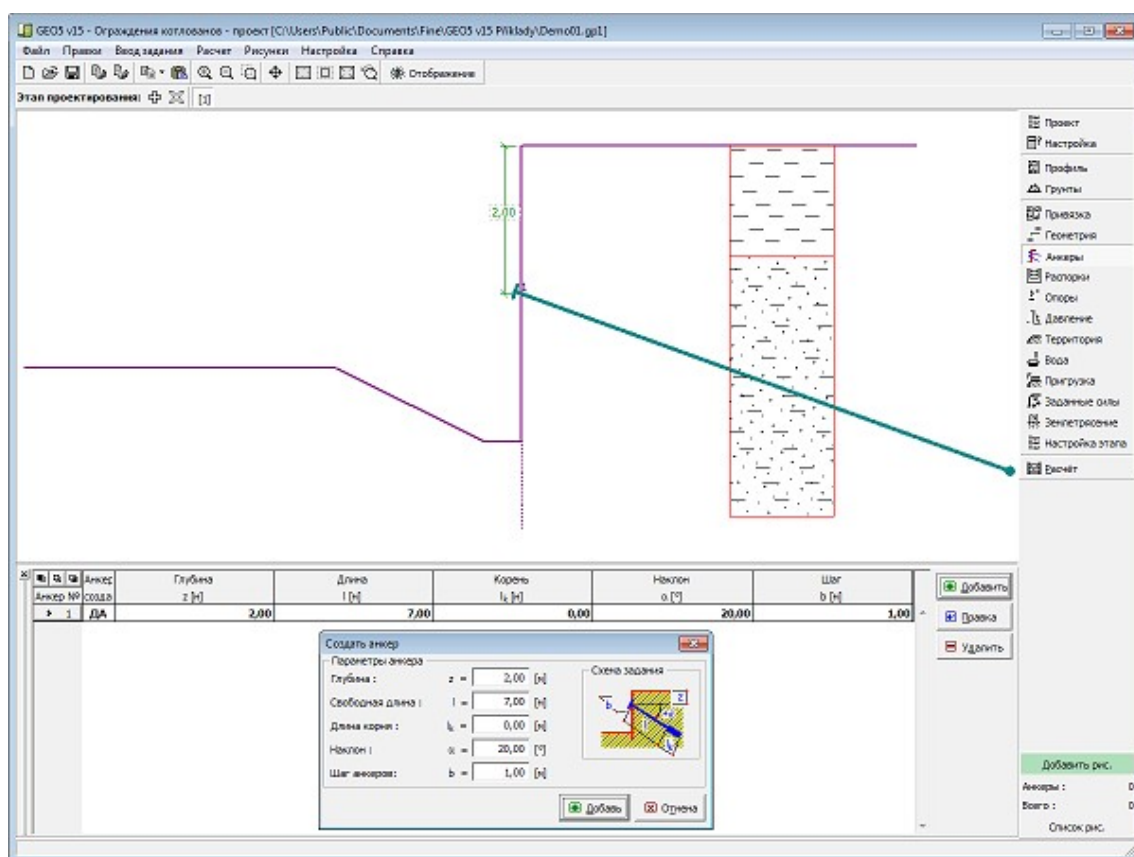
Содержимое каталогов меняется в соответствии с настройкой соответствующего стандарта по проектированию **бетонных, стальных, деревянных** или **пластмассовых** конструкций в закладке «**Материалы и стандарты**».



Рамка «Материал»

## Анкеры

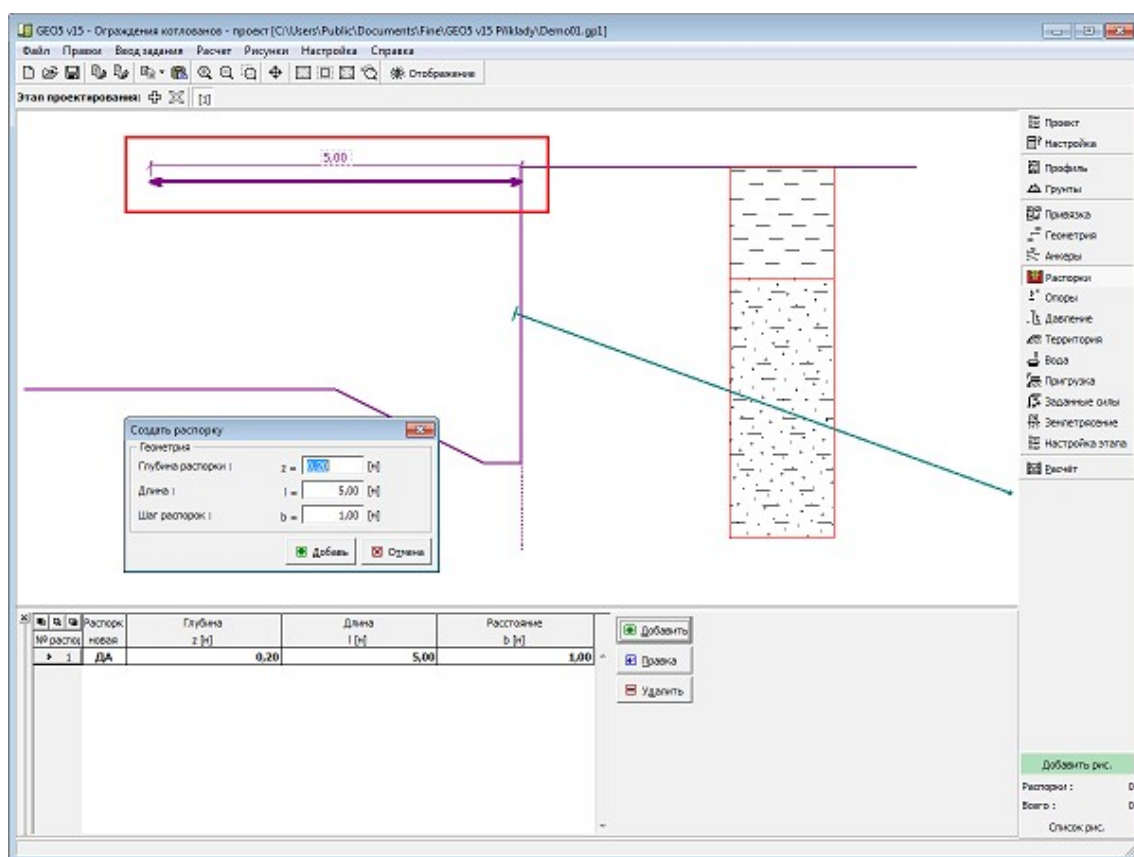
В рамке «Анкеры» находится таблица со списком заданных анкеров. Добавление анкеров производится в диалоговом окне «Создать анкер». Заданные анкеры можно редактировать на рабочем столе с помощью активных объектов.



Рамка «Анкеры»

## Распорки

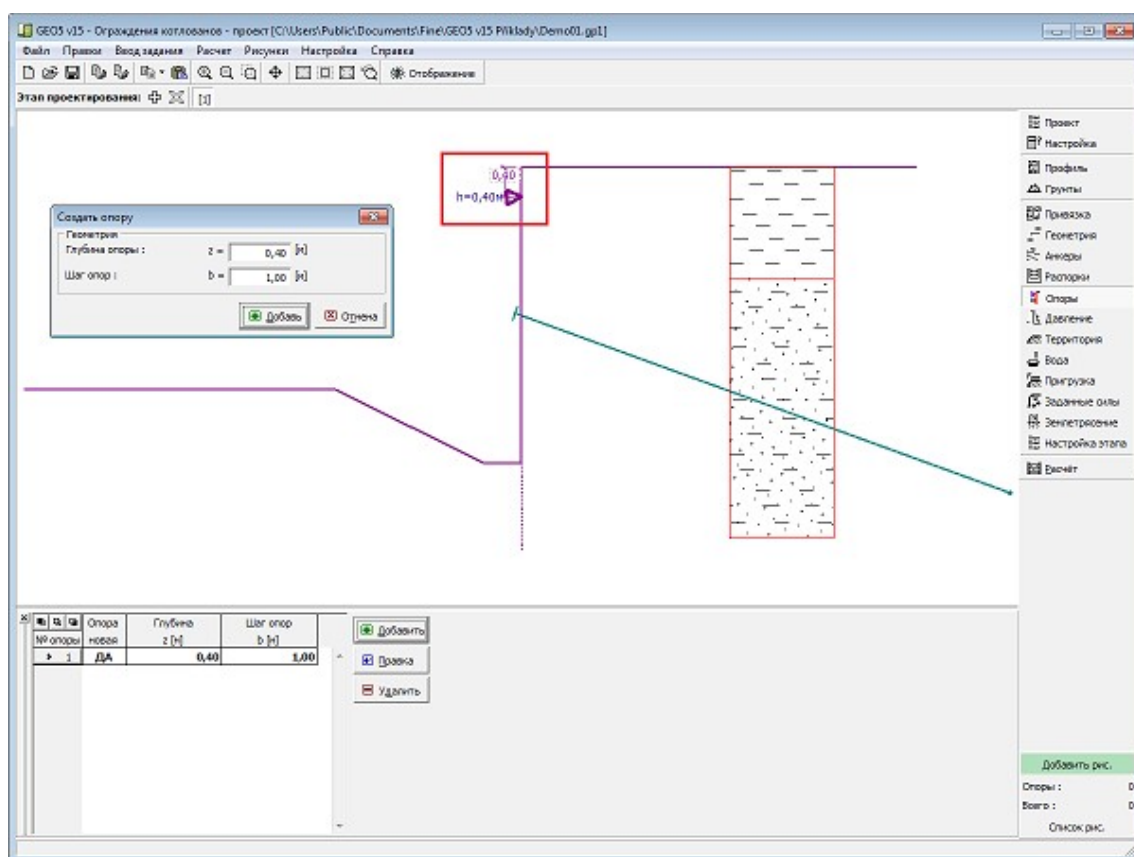
В рамке «**Распорки**» находится таблица со списком заданных распорок. Добавление распорок производится в диалоговом окне «**Создать распорку**». Заданные распорки можно редактировать также на рабочем столе с помощью активных объектов (размерных чисел).



Рамка «Распорки»

## Опоры

В рамке «**Опоры**» находится таблица со списком заданных опор. Добавление опор производится в диалоговом окне «**Создать опору**». Заданные опоры можно редактировать также на рабочем столе с помощью активных объектов (размерных чисел).

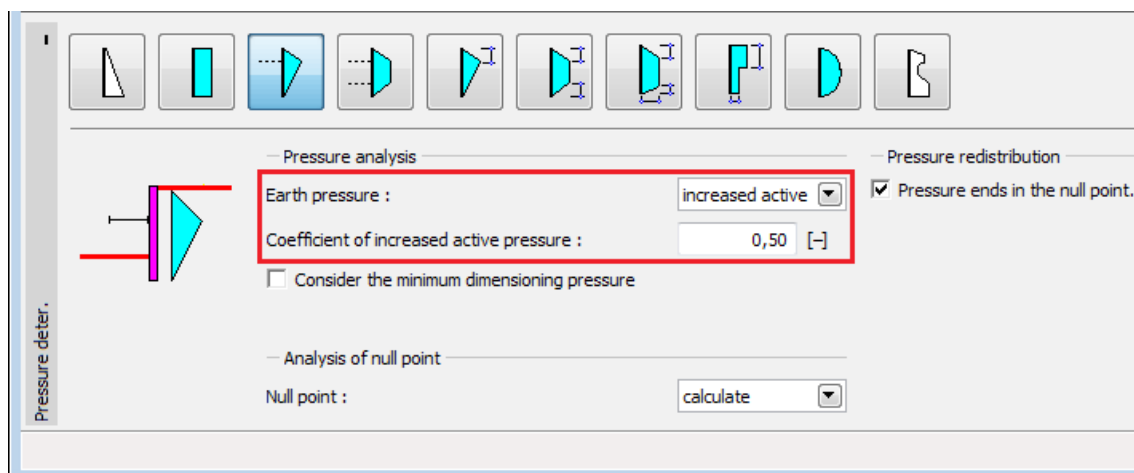


Рамка «Опоры»

## Определение давления

В рамку «**Определение давления**» задают воздействие давлений грунта на стену.

Давление на стену можно задавать **активным**, **статическим**, или **повышенным активным** - в зависимости от предполагаемой допускаемой деформации стены. Можно также определить **минимальное давление для подбора размеров**, - такое требование встречается в многих стандартах.




Задание коэффициента для повышенного активного давления




Верхняя панель с кнопками определяет будет ли рассчитанное давление грунта перераспределено.



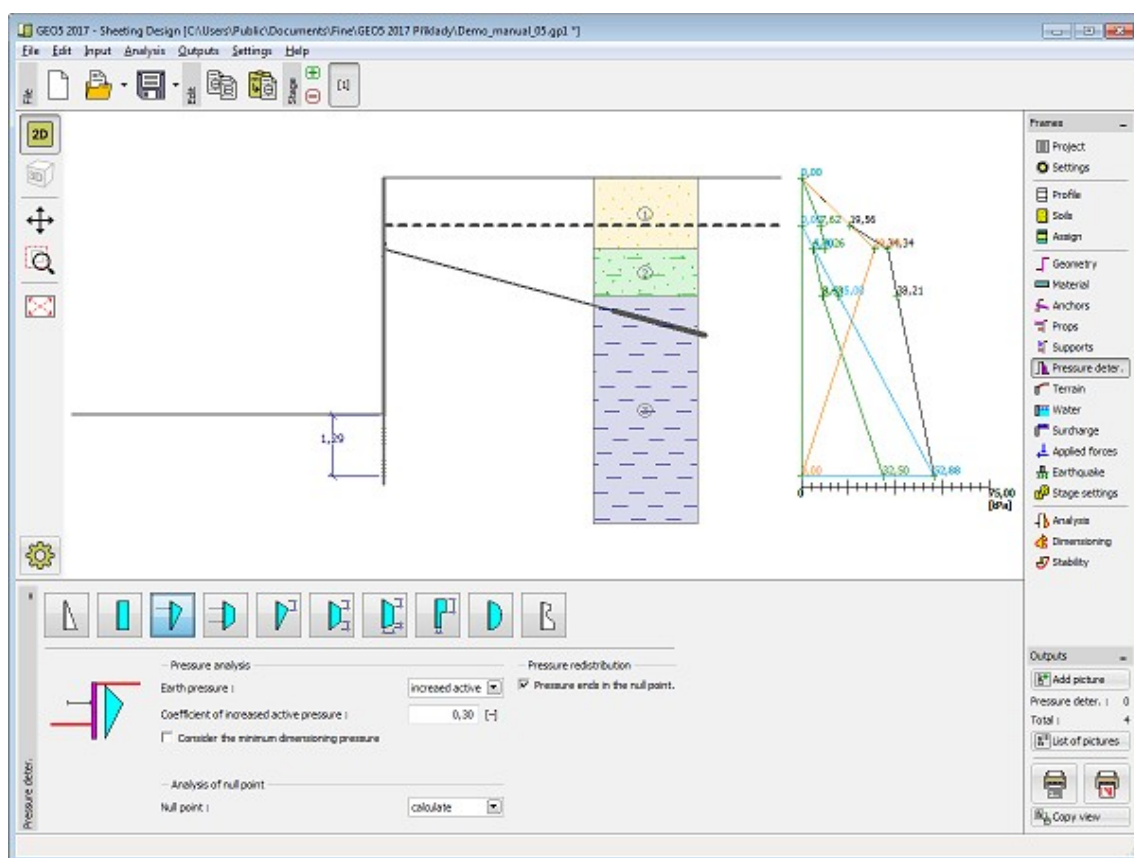
Для **неанкерированной стены** предназначен вариант 1 (  ) - перераспределение давления не происходит.

Для **анкерированных стен и стен с распорками** целесообразно задать **перераспределение грунтовых давлений**. Следующие варианты (кнопки) показывают разные варианты перераспределения при расчёте анкерированных и стен с распорками.



Последний вариант (  ) задания давления грунта позволяет **задать любую эпюру** перераспределённого давления непосредственно самим пользователем - это давление не зависит от заданного геологического разреза.

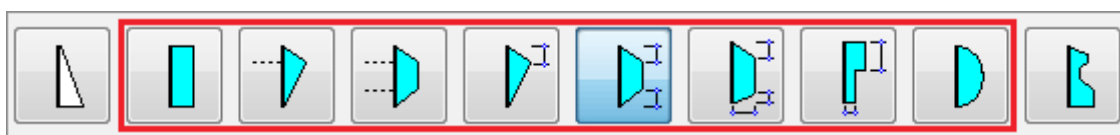
Программа позволяет задавать **местоположение нулевой точки**, однако рекомендуется оставить автоматическое вычисление этой точки.



Рамка «Определение давления»

## Перераспределение давления

Программа позволяет выбрать наиболее частые **формы перераспределённого давления**.


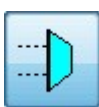


### Выбор формы перераспределённого давления





Принятая практика сильно отличается в разных отдельных странах. Программа содержит классические схемы перераспределения, а также схемы в соответствии со стандартами EAB, AASHTO.

Программа была построена таким образом, чтобы быть универсальной и пользователь мог перераспределять давление привычным ему способом.



Для формы: ,  программа автоматически рассчитает место нахождения максимального давления с учётом размещения заданных анкеров или распорок. Это наиболее простой вариант ввода задания и рекомендован авторами программы.



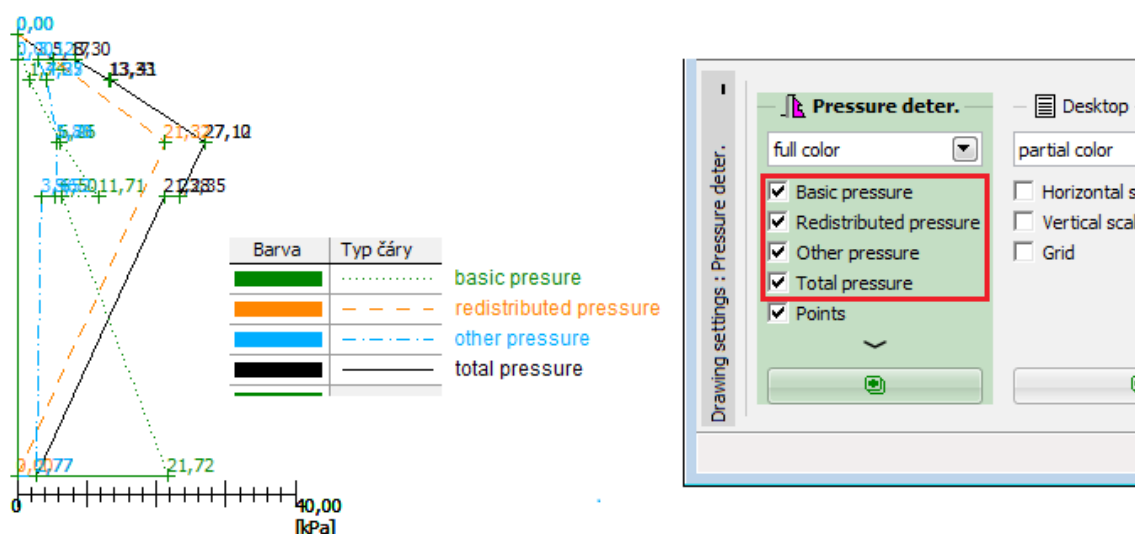
Для формы: , , ,  нужно задавать коэффициенты перераспределения ( $x_1$  по  $x_6$ ), которые решают об окончательной виде перераспределённого давления.

Программа также позволяет определить **куда действует** перераспределённое **давление** - **в нулевую точку** (классический метод) или на дно котлована (EAB).

### Порядок расчёта давления на конструкцию:

- рассчитываем место нахождения **нулевой точки** (т.е. точки, в которой величина пассивного давления на лицевой стороне конструкции такая же как величина давления грунта за конструкцией - т.е. общая сумма давлений в данной точке равна нулю)
- рассчитываем **основное давление** за конструкцией (**активное, статическое, повышенное активное**) до глубины нулевой точки. У расчёта активного давления можно также учесть **минимальное определяемое давление**.
- рассчитываем **перераспределённое давление** выбранной формы такого же размера площади, как площадь основного давления. Перераспределению подлежит всегда только основное давление, рассчитанное из геологического профиля. Давление грунта от воздействия грунтовой воды или пригрузки не перераспределяется.
- к вычисленному перераспределённому давлению добавляем давление от пригрузки или землетрясения (**общее давление**)

Все давления вырисовываются на рабочий стол:



Графическое представление эпюр давлений

Изображение эпюр отдельных давлений включается в рамке «**Настройка рисования**». Настройку цвета и типа линии выполняем в диалоговом окне «**Администратор стилей изображения**».

Литература:

EAB - 2012 Ernst & Sohn A Wiley Company, 5.Auflage, Empfehlungen des Arbeitskreises "Baugruben".

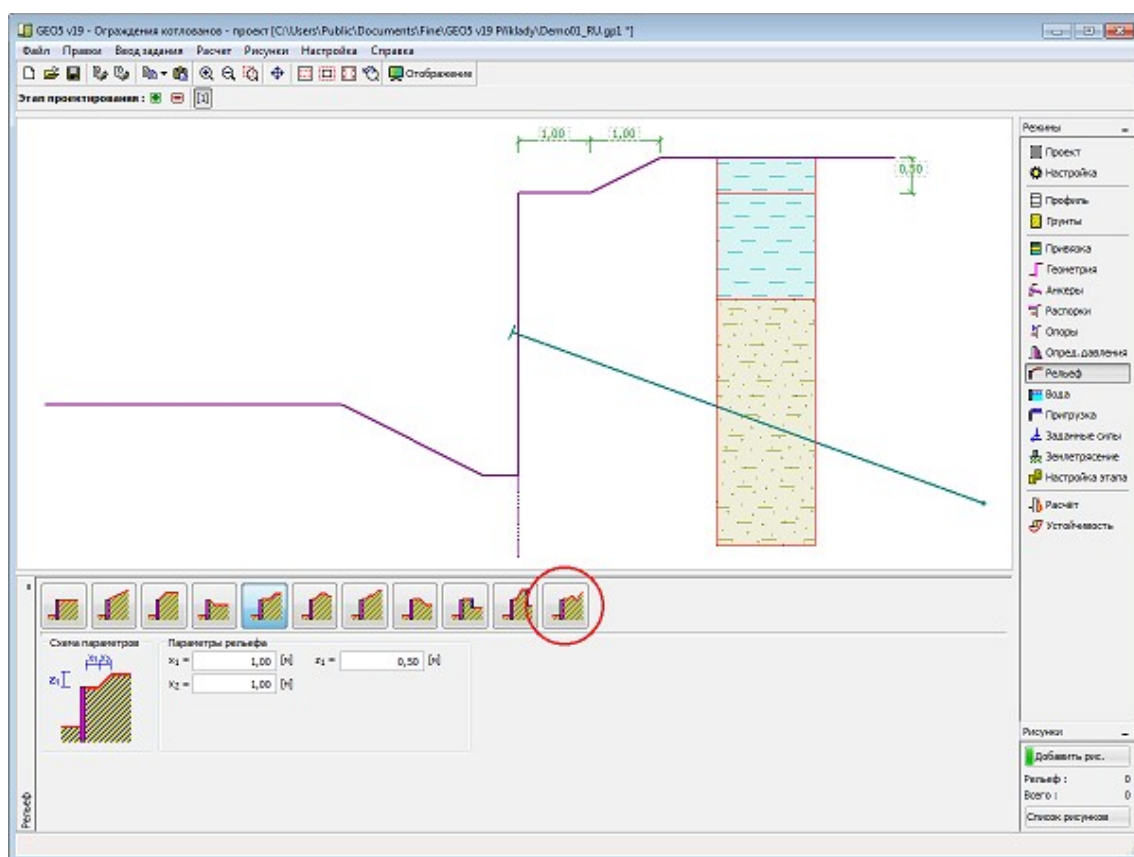
AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Seventh Edition, 2014.

## Рельеф

В рамке «**Рельеф**» нажатием кнопки выбираем форму рельефа. Выбранная форма с графической подсказкой («**Схема параметров**») заданных значений отображается в левой части рамки. Редактировать форму рельефа можно - или в рамке (вводим значения в поля ввода), или на рабочем столе (при помощи **активных отметок**).

Последний пункт выбора в меню - это общая форма рельефа: в рамке имеется таблица со списком пунктов (точек) на местности. Первый пункт рельефа с координатой [0,0] лежит на верхней точке конструкции.

Расчёт давлений грунта в случае наклонного участка местности описан в теоретической части подсказки «**Распределение давления грунта при пересечённой местности**».



Рамка «Рельеф»

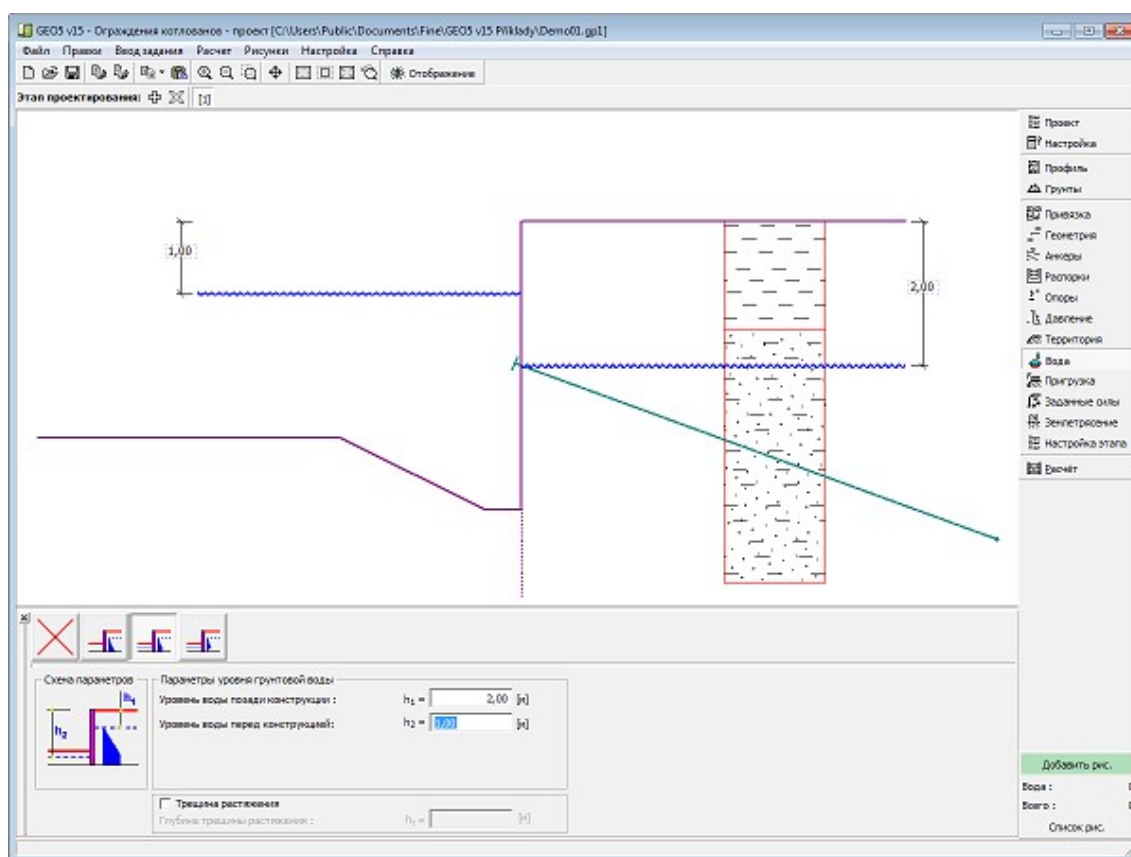
## Вода

В **рамке «Вода»** нажатием кнопки выбираем тип воды. Выбранный тип с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Параметры воды ( $h_1$ ,  $h_2$ ...) можно редактировать или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

Уровень воды можно задавать тоже **над конструкцией** или над земным профилем - в таком случае глубину воды задают отрицательным значением.

Расчёт давлений грунта с воздействием воды описан в теоретической части подсказки «**Воздействие воды**».

Программа позволяет задавать глубину **трещин растяжения** заполненных водой.



Рамка «Вода»

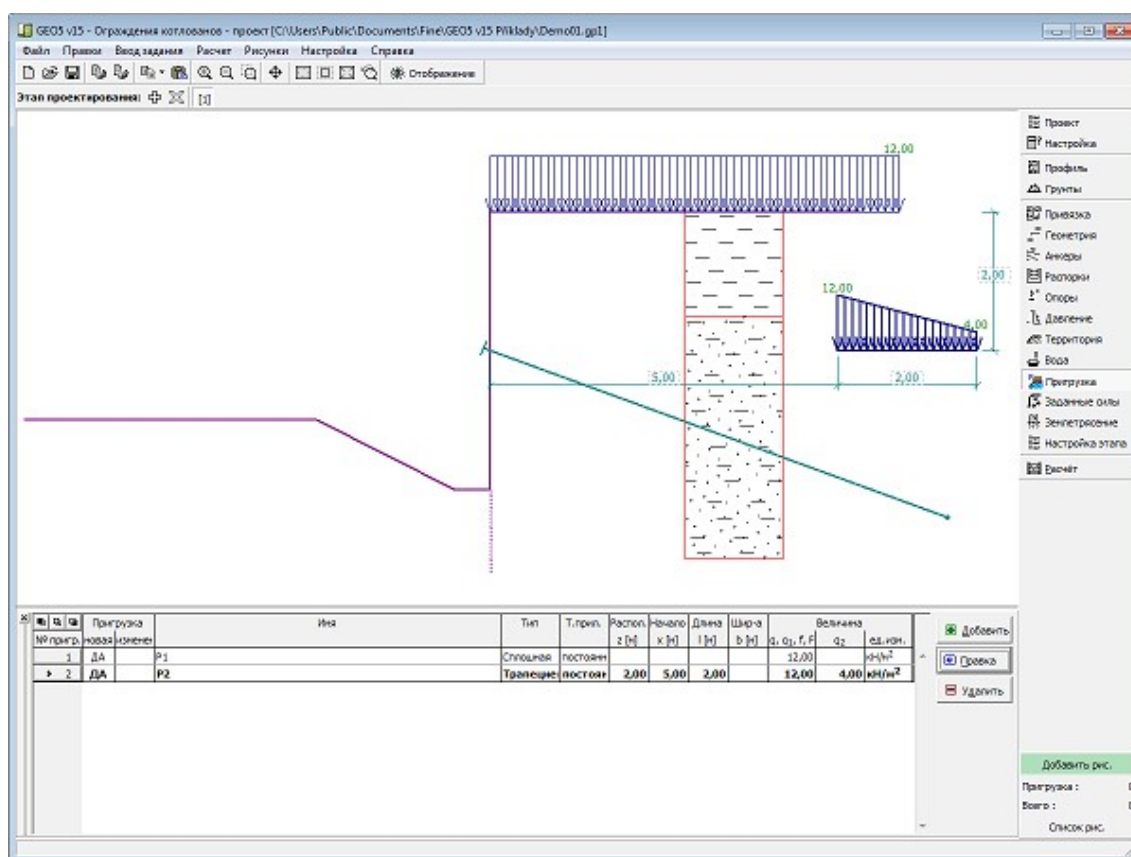
## Пригрузка

В рамке «**Пригрузка**» есть таблица со списком заданных пригрузок. Добавление пригрузки выполняется в диалоговом окне «**Создать пригрузку**». Редактировать заданную пригрузку можно также на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

Вместе с вводом пригрузки на глубине нужно задать координату  $z$  от верхней точки конструкции, с положительным знаком в глубину. В случае, что пригрузка задана вне пределов местности, программа перед выполнением расчёта даст сообщение об ошибке.

Пригрузку можно задавать **постоянной**, **переменной** или **случайной**. В зависимости от типа воздействия пригрузки результирующее воздействие умножается на соответствующий расчётный коэффициент. Случайная пригрузка с положительным воздействием в расчёт не принимается.

Расчёт давлений грунта от пригрузки описан в теоретической части справки «**Воздействие пригрузки**».



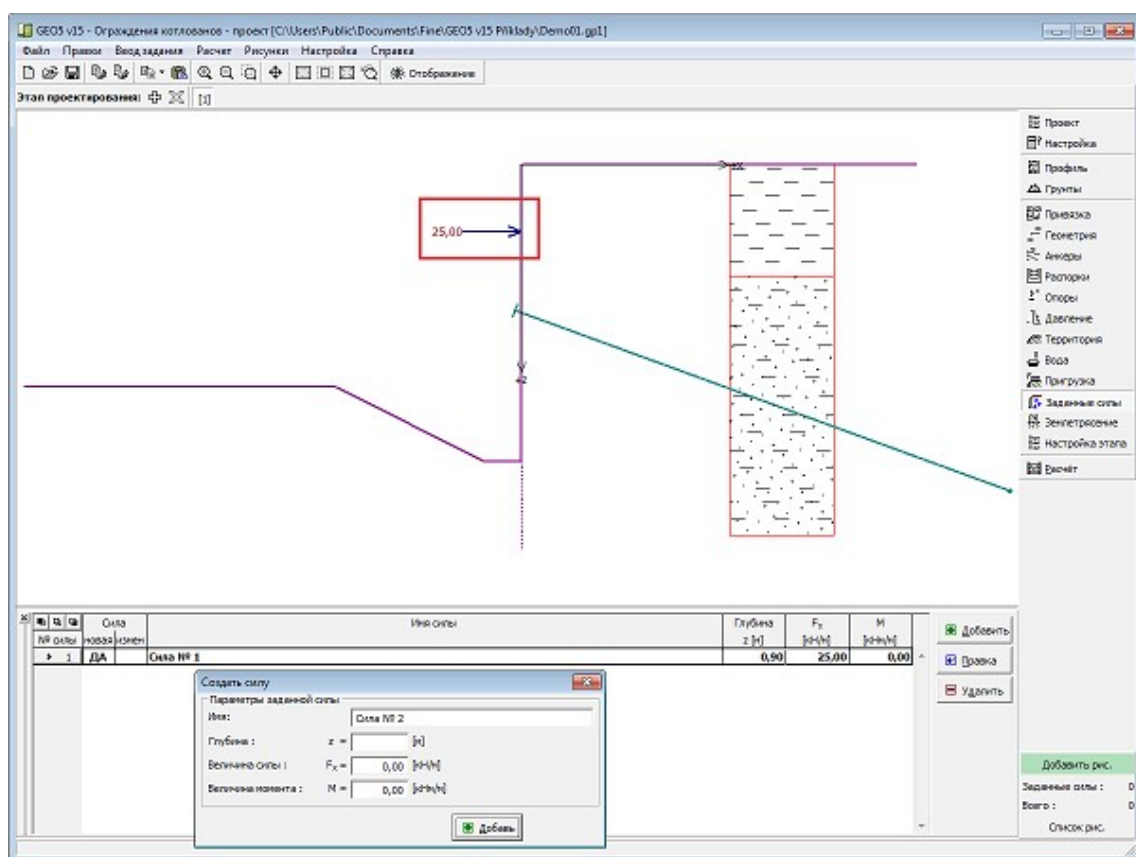
Рамка «Пригрузка»

## Заданные силы

В рамке «Заданные силы» есть таблица со списком заданных сил, действующих на конструкцию. Добавление сил выполняется в диалоговом окне «Создать силу». Редактирование заданных сил можно также выполнять на рабочем столе с помощью активных объектов.

**Заданными силами** разумеется дополнительная нагрузка действующая на конструкцию стены, ограждения, укрепленной (армированной) насыпи. Заданными силами можно моделировать, напр., заанкерование колёсоотбойных дорожных ограждений, удар транспортного средства, нагрузку от рекламных щитов (билбордов) и т.п. Программа заданные силы в расчёте дальше не меняет.

Наружную нагрузку приложенную к грунту или к поверхности территории нужно моделировать как **пригрузку**.



Рамка «Заданные силы»

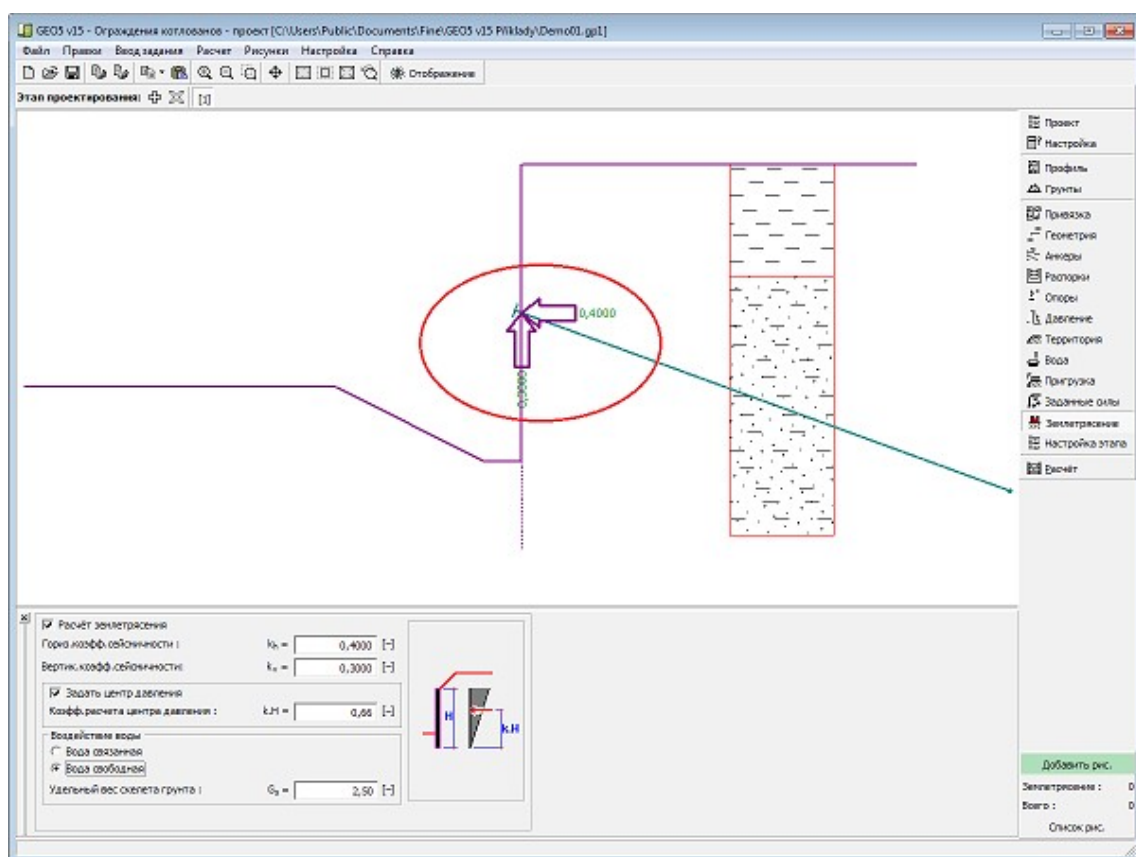
## Землетрясение

В **рамку «Землетрясение»** задают параметры сеймики. Направления заданных сейсмических воздействий отображены на рабочем столе.

В случае отсутствия коэффициентов  $k_h$  и  $k_v$  полученных в результате измерений, проводят дополнительный расчёт способом указанным в EN 1998-5.

Расчёт давлений грунта с воздействием землетрясения описан в теоретической части подсказки «**Воздействие землетрясения**».





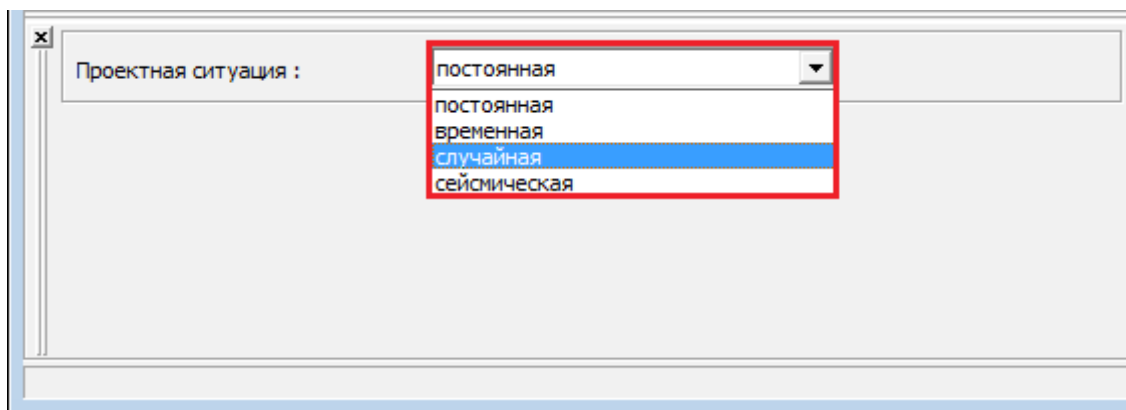
Рамка «Землетрясение»

## Настройка этапа

В **рамку «Настройка этапа»** задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования.

Внешний вид рамки зависит от выбора **методики проверки**.



Рамка «Настройка этапа»

## Расчёт

В рамке «Расчёт» отображены результаты расчёта.

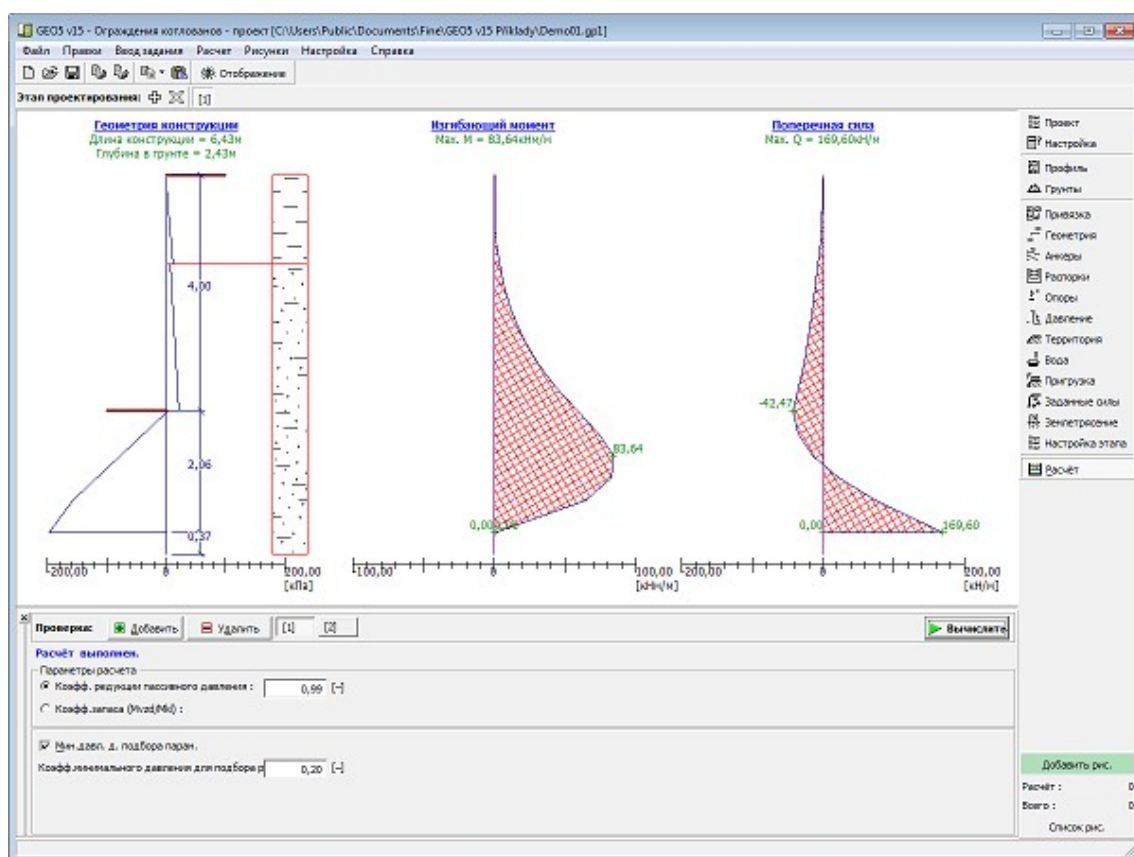
В рамке даны два варианта. Один для неанкерованной (шпунтовой) стены, другой для заанкерованной (с распирением) стены.

Для расчёта по методике **предельных состояний** или **коэффициентов запаса** у **неанкерованной стены** задают коэффициент редукции пассивного давления или коэффициент запаса.

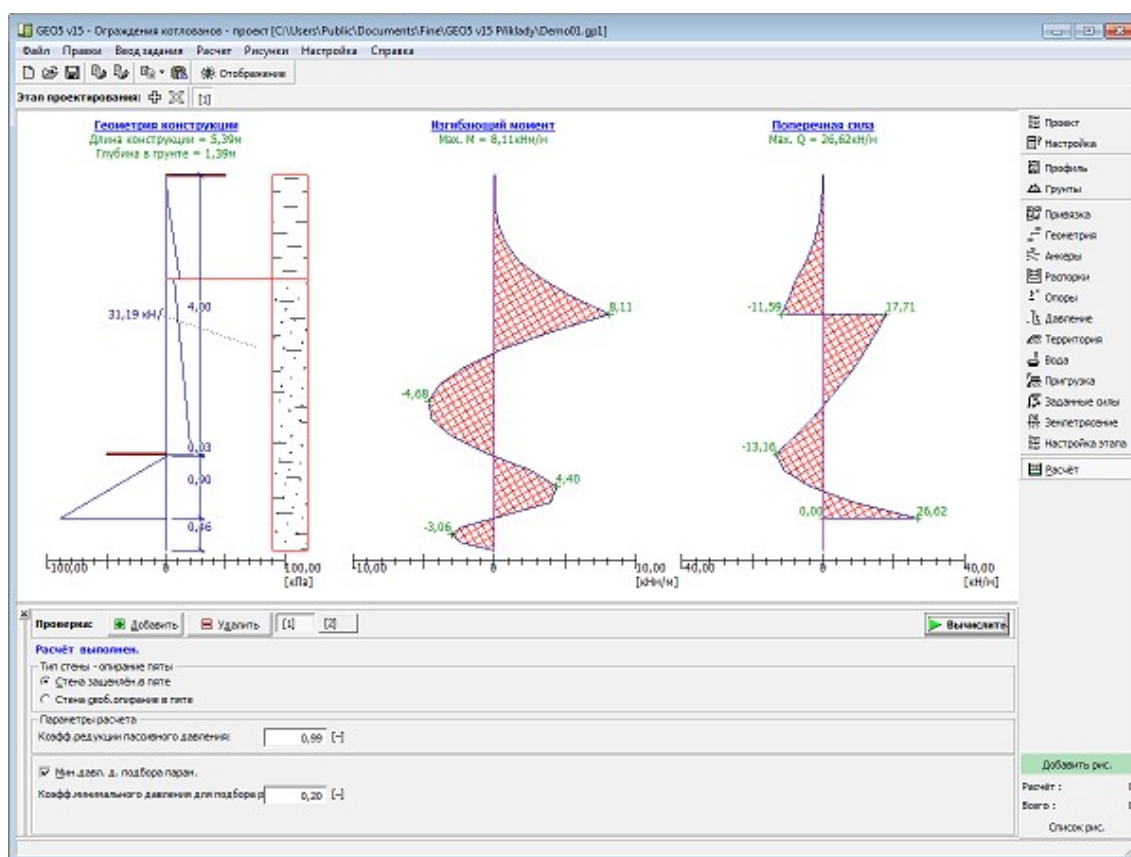
Для **анкероанной** стены выбирают тип опирания в пите (**защемлённая, свободное опирание**), и параметры расчёта (коэффициент редукции пассивного давления).

При расчёте по **EN 1997** или **LRFD** коэффициенты расчёта задают в закладке «Расчёт давлений». При расчёте по **проектному подходу 1** в рамку нужно задать номер комбинации.

Результаты расчёта отображены на рабочем столе. Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».



Рамка «Расчёт» - неанкерованная стена



Рамка «Расчёт» - анкерованная стена

## Подбор размеров

В рамке «Подбор размеров» можно показать огибающую внутренних сил сквозь все расчёты (этапы проектирования). Огибающая стандартно составлена из всех этапов проектирования, но её тоже можно составить только по выбранным этапам. Кнопка «Изменить» открывает диалоговое окно «Выбор этапов», в котором кнопками выбираем отдельные этапы проектирования для составления текущей огибающей.

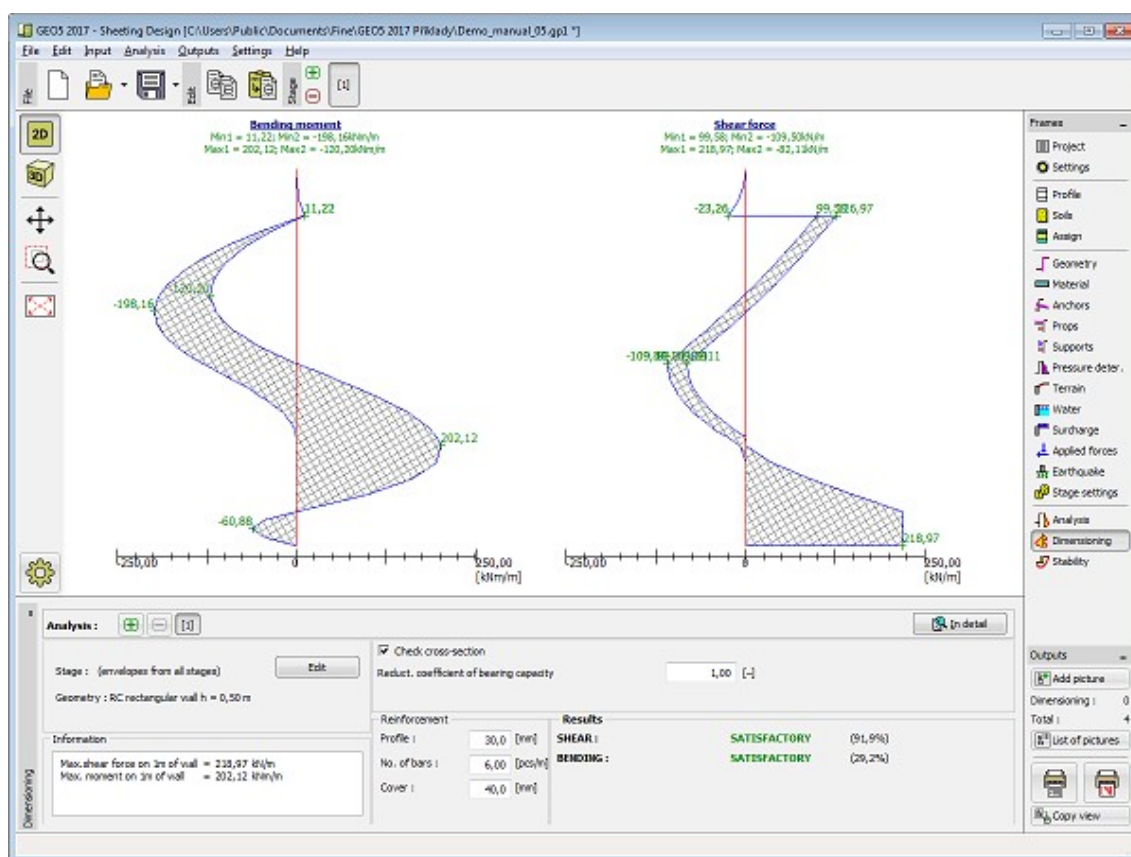
Максимальные значения расчётных внутренних сил (изгибающих моментов и сдвигающих сил) показаны в нижней части рамки.

Программа позволяет подбирать размеры железобетонных, стальных, деревянных или пластмассовых сечений (галочкой отмечаем пункт «Проверить сечение»).

При проверке сечения можно ввести расчётный коэффициент нагрузки сечения, который перемножает значения внутренних сил.

При подборе размеров стальных сечений можно учесть также влияние нормальной силы следующим образом:

- **нормальные силы - не учитывать:** программа не учитывает влияние нормальной силы в расчёте
- **нормальные силы - задать:** задано пользовательское значение нормальной силы  $N$  [ $kN/m$ ,  $lbf/ft$ ]



Рамка «Подбор размеров»

## Устойчивость

Рамка «**Устойчивость**» предназначена для **экспорта спроектированной ограждающей конструкции** в другие программы - «**Устойчивость откоса**» (проверка глобальной устойчивости) и «**Ограждения котлованов-анализ**» (расчёт деформаций и моделирование реального поведения конструкции, или проверка анкеров и анкерной системы).

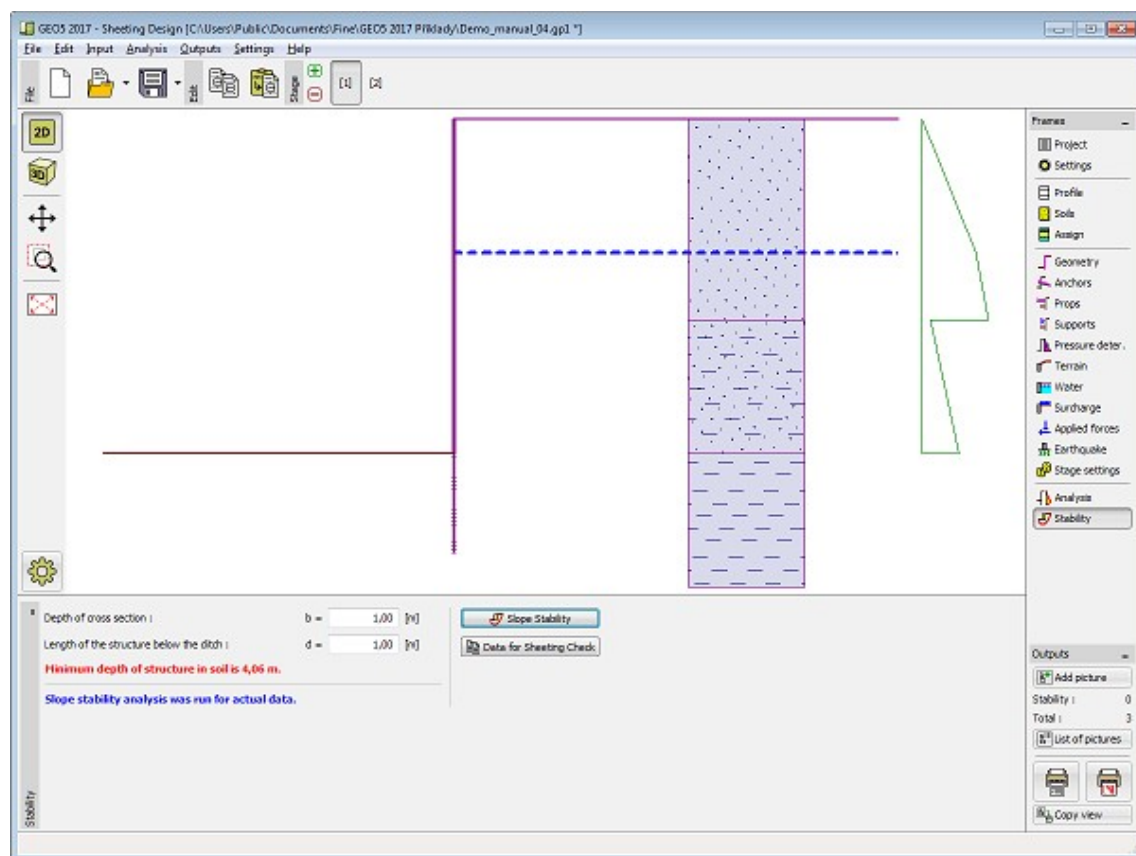
В рамку задаём **глубину конструкции ниже дна котлована** - она одинаковая на всех этапах проектирования. У анкерowanych стен задают также предполагаемые силы в анкерах.

Программа показывает **необходимую или рекомендованную глубину конструкции в грунте** - обусловленную всеми выполненными расчётами на всех этапах проектирования. В случае, что была задана глубина больше, чем вычисленная необходимая - сообщение будет изображено зелёным цветом, в обратном случае - красным.

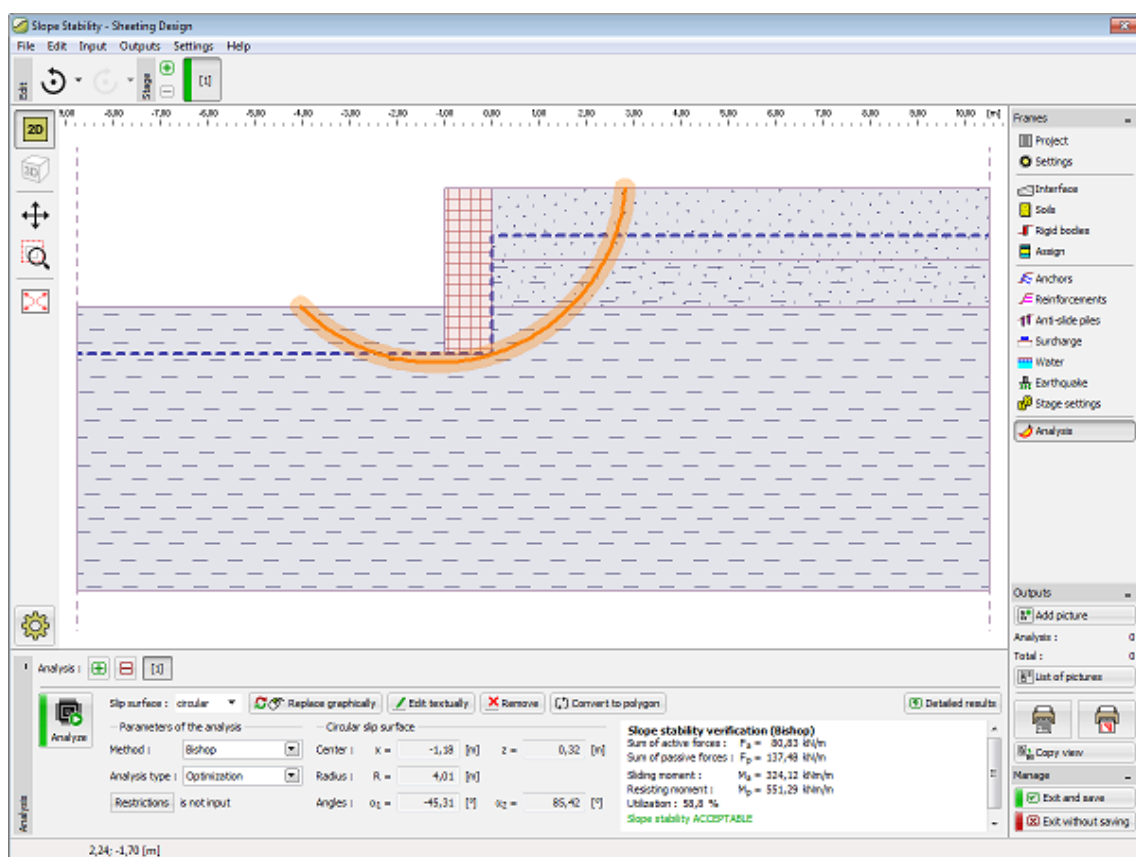
Нажатием кнопки «**Устойчивость откоса**» **запускается программа «Устойчивость откоса»** и в программу передаются все необходимые данные. В программе «**Устойчивость откоса**» можно анализировать **общую устойчивость конструкции**. Кнопка недоступна в случае, что программа «**Устойчивость откоса**» не установлена. После выполнения расчётов нажатием кнопки «**ОК**» передаются результаты в протокол расчёта в программе «**Ограждения котлованов-проект**».

После нажатия кнопки «**Данные для Ограждения котлованов-анализ**» все данные копируются в буфер а оттуда их можно скачать в программу Ограждения котлованов-

анализ как новое задание.



Рамка «Устойчивость»



Программа «Устойчивость откоса»

## Программа Ограждения котлованов - анализ

Программа предназначена для расчёта ограждающих конструкций методом зависимых давлений. Нагружение конструкции от давления грунтом программа перераспределяет в зависимости от фактической деформации, что позволяет получать экономные проекты. Программа позволяет моделировать все виды применяемых ограждений (стена в грунте, свайные стены, шпунтовые стены, ограждения с забиркой), в т.ч. задавать анкеры или распорки. Помимо расчёта внутренних сил и деформаций программа позволяет проверять устойчивость анкерочной системы и несущую способность стального или бетонного сечения.

Предварительное предложение размеров, или глубины заложения ограждающей конструкции и расчёт сил в анкерах можно выполнить в программе «Ограждения котлованов-проект».

**Справка для программы «Ограждения котлованов - анализ» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект      Настройка      Профиль      Модуль Kh      Прессиометрические испытания      Грунты  
DMT



Геометрия	Материал	Определение давления	Привязка	Разработка выемки	Рельеф	Вода
Пригрузка	Заданные силы	Анкеры	Распорки	Опоры	Землетрясение	Настройка этапа
Расчёт	Внутренняя устойчивость	Внешняя устойчивость	Гидравлический подъём	Подбор размеров	Несущая способность анкеров	

- Стандарты и методы расчёта
- Теория расчётов в программе **«Ограждения котлованов - анализ»**:
 

Напряжение в массиве грунта	Давление грунта	Проверка обшивки	Измерение бетонных конструкций	Подбор размеров стальных сечений
-----------------------------	-----------------	------------------	--------------------------------	----------------------------------
- Справка относительно результатов на выходе
- Информация общего характера о работе в пользовательской среде программ GEO5
- Общие операции для всех программ

## Проект

В рамку «Проект» задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой текстовой и графической информации.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (метрическую / дюймовую). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «Геобуфера».

Рамка «Проект»



## Настройка

В **рамку «Настройка»** предназначена для ввода основных **«Настроек»** программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой **«Выбрать настройки»** выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из **«Перечня настроек»**.

Кнопка **«Администратор настроек»** открывает диалоговое окно **«Администратор настроек»**, в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

Кнопка **«Добавить в администратор»** позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

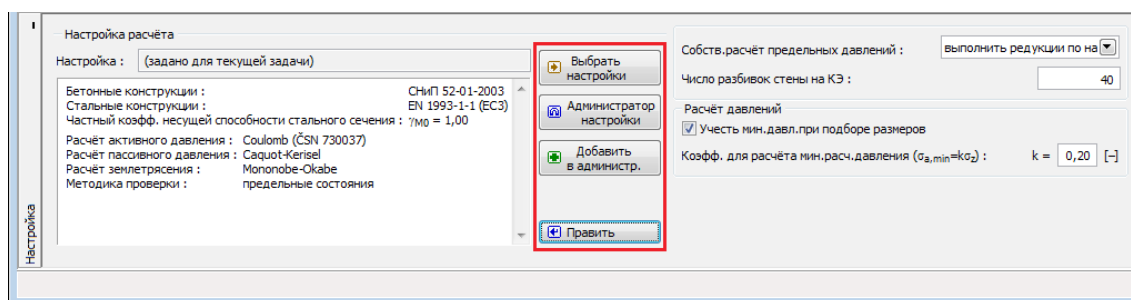
Кнопка **«Править»** позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в **«Задано для текущей задачи»**. После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку **«Добавить в администратор»** и добавляем настройку в **«Администратор настроек»**.

Настройка **«Задано для текущей задачи»** обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладках **«Материалы и стандарты»**, **«Расчёт давлений»**.

Для расчётов по **EN 1997** или по **предельным состояниям** программа позволяет настройку расчёта параметров грунтов с редуцией или без неё для собственно расчёта предельных давлений. Для создания модели реального поведения конструкции рекомендуется не применять редуцию этих давлений.

В рамке можно задать также количество разбивок стены на конечные элементы (стандартная настройка - 40 элементов) и будет ли к конструкции приложено **минимальное давление** для подбора размеров.



Рамка «Настройка»

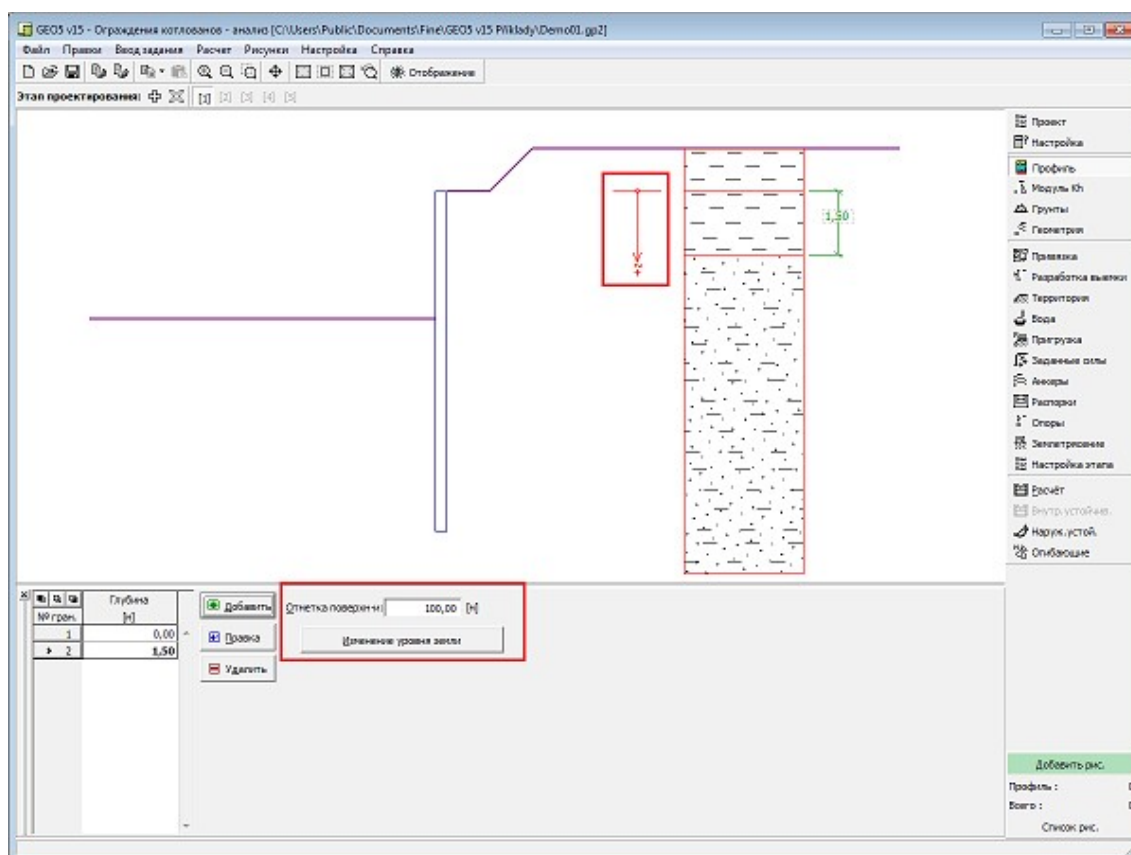
## Профиль

В **рамке «Профиль»** есть **таблица** со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи

активных отметок (размерных чисел).

Добавление границы выполняется в диалоговом окне «Создать границу контура». Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне «Изменение уровня земли» и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы «Рельеф».



Рамка «Профиль»

## Модуль $K_h$

В рамку задают дополнительные данные для выбранного метода расчёта модуля реакции подстилающего слоя - важного исходного параметра при расчёте ограждающей конструкции по методу зависимых давлений.

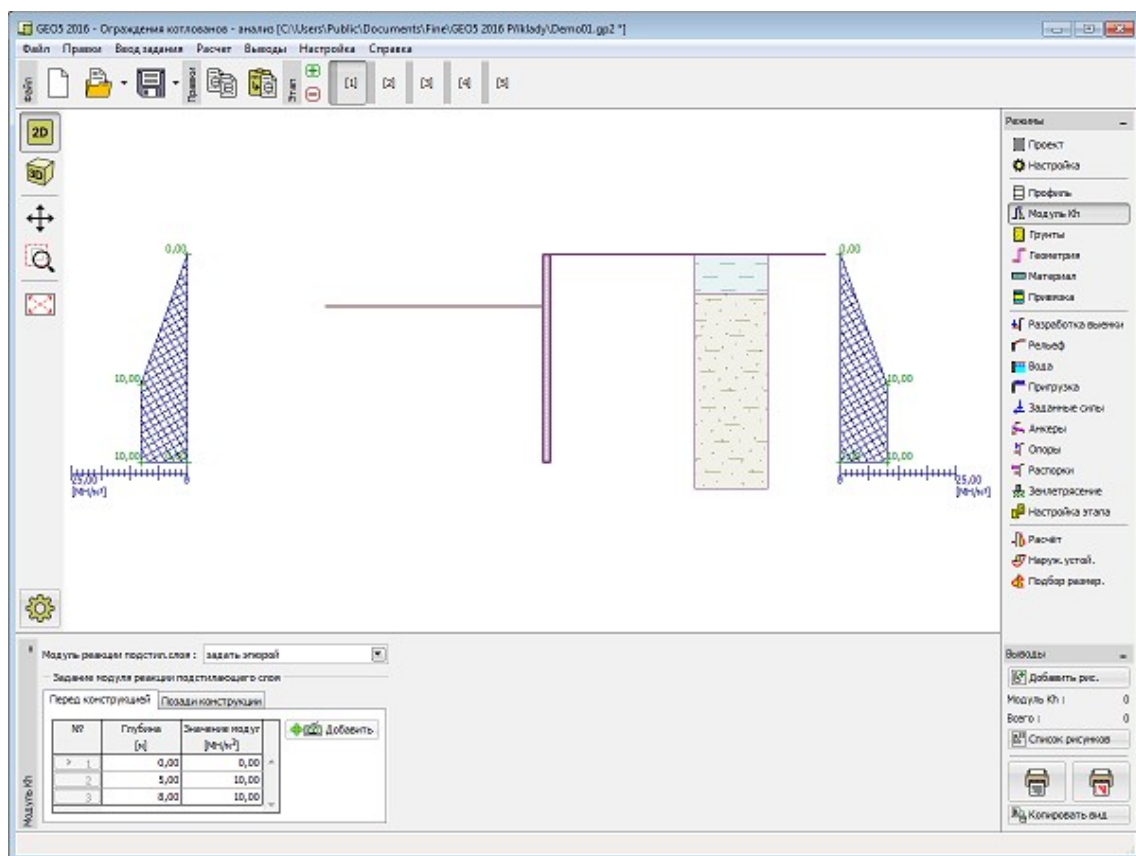
Способ расчёта модуля реакции подстилающего слоя  $k_h$  выбирают в рамке «Настройка» (в диалоговом окне «Правка настройки для текущей задачи» в закладке «Расчёт давлений»).

Рамка может иметь разный вид в зависимости от метода расчёта:

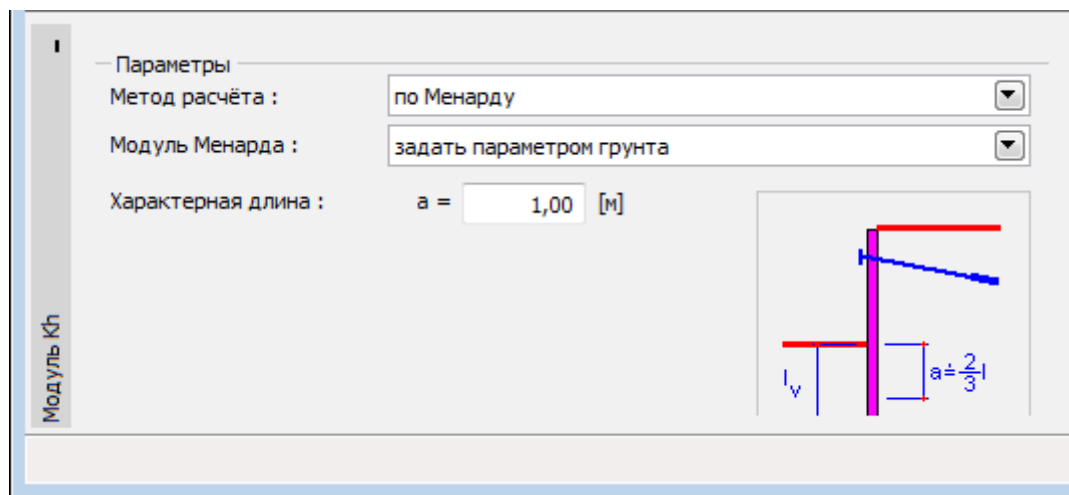
- **стандартный** (выбор «считать – Schmitt», «считать – Chadeisson», «ручная итерация» или «автоматическая итерация»)
- **задать** (при выборе «задать» в таблице для опции «задать эпюрой» задают значения модуля реакции подстилающего слоя  $k_h$  перед и за конструкцией. Для опции «задать параметром грунта» модуль  $k_h$  задают в рамке «Грунты», в котором модуль

реакции подстилающего слоя можно принимать или как **линейный**, или как **нелинейный - кривая**)

- **прессиометр РМТ** (модуль реакции подстилающего слоя  $k_h$  задают или с помощью **прессиометрического испытания**, или как параметр грунта в рамке «Грунты». Далее задают метод расчёта - по NF P 94-282 или по Менарду)
- **китайские стандарты** (метод «т» - задают **горизонтальную деформацию** возле дна котлована  $v_b$  [mm] и величину модуля возле дна котлована  $A$  [ $MN/m^3$ ], выбор **задать** как параметр **грунта** - метод «с», «к» или «т»)



Рамка «Модуль  $k_h$ » - выбор «задать эпюрой»



Рамка «Модуль  $k_h$ » - выбор «прессиометр Менард»

Метод расчёта модуля : метод "m"

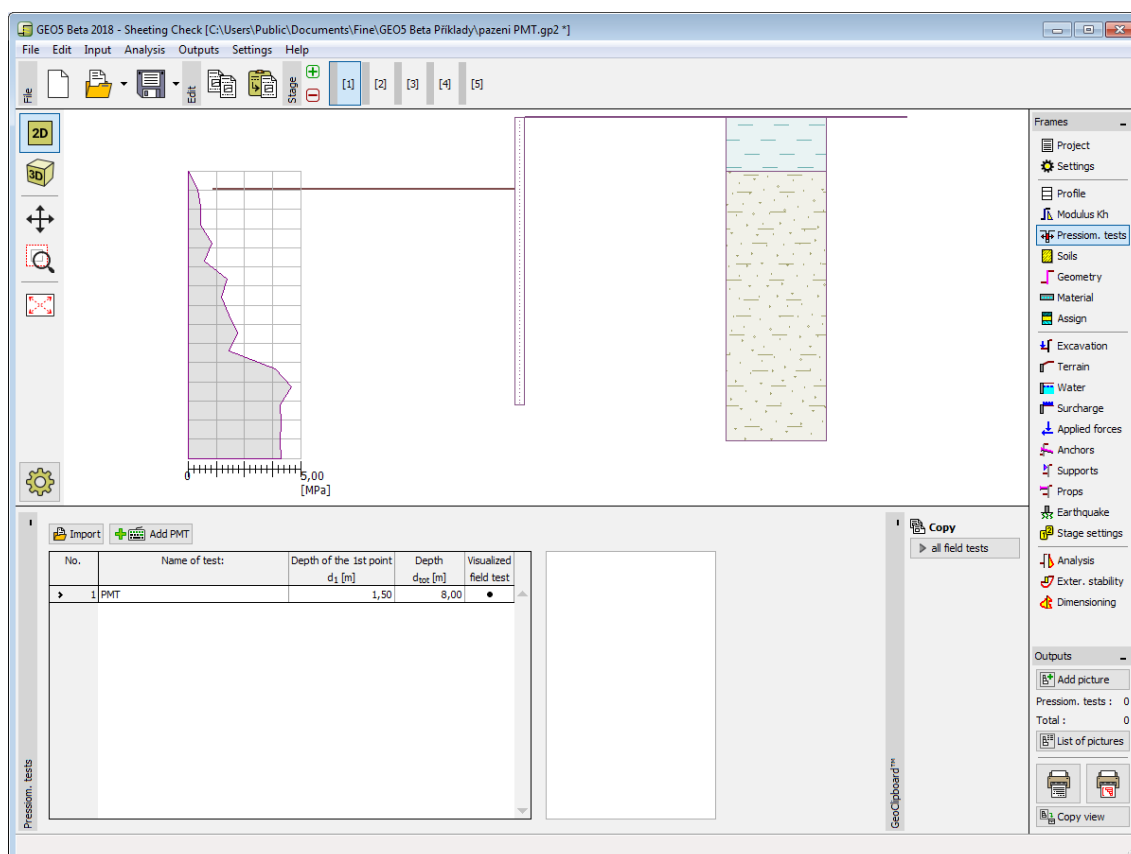
Деформация возле дна котлована :  $v_b = 0,00$  [мм]

Величина модуля возле дна котлована :  $A = 0,00$  [МН/м<sup>3</sup>]

Рамка «Модуль  $k_h$ » - выбор «китайские стандарты»

## Испытания прессиометр

В рамке «Испытания прессиометр» находится таблица со списком заданных прессиометрических испытаний (PMT).



Рамка Испытания прессиометр

Результаты прессиометрических испытаний (PMT) можно в программу **импортировать** с помощью файлов в разных форматах (напр., \*.TXT, \*.CSV, \*.XLSX, \*.ODS).

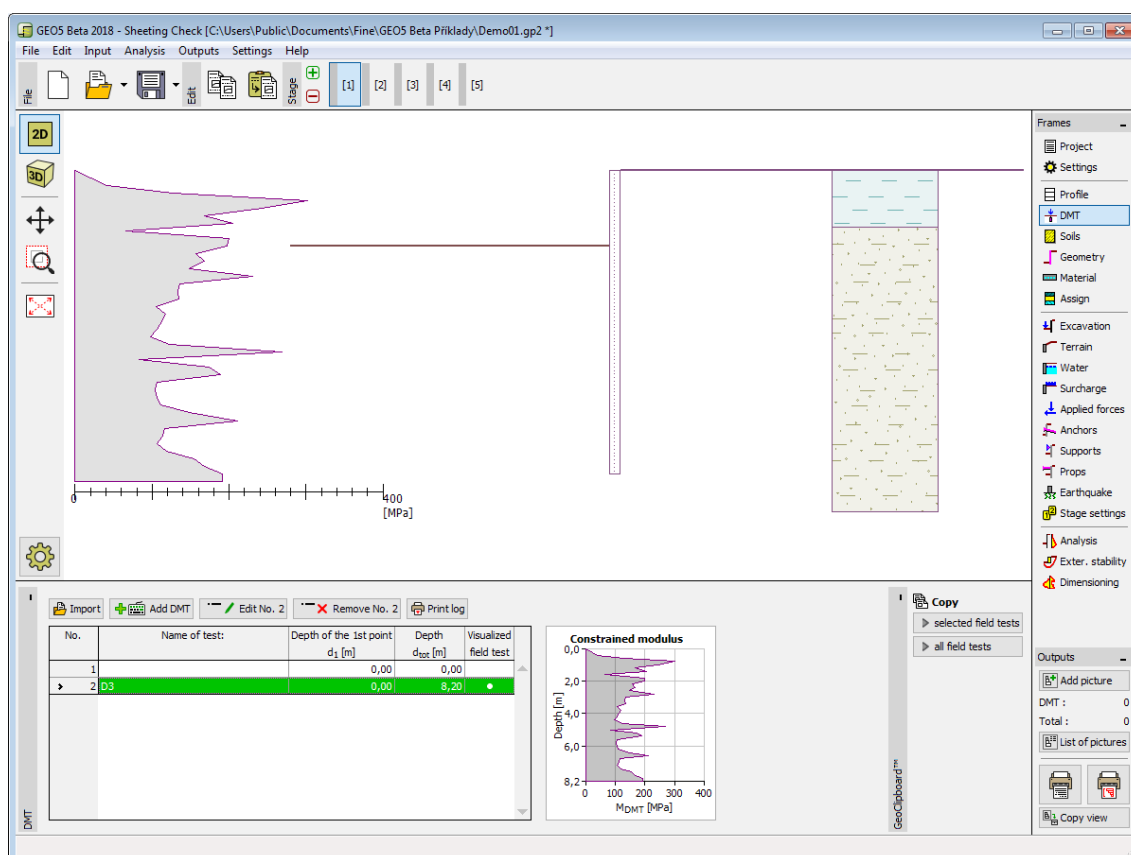
Данные испытаний PMT можно передавать в рамках программ «Микросвая», «Ограждения котлованов-анализ», «Стабилизирующая свая» и «Стратиграфия» с помощью «Геобуфера».

**Примечание:** Рамка доступна только при условии, что в рамке «Настройка» для модуля реакция подстилающего слоя выбрана опция «прессиометр PMT» (закладка «Расчёт давлений»).

## Испытания DMT

В рамке «Испытания DMT» задаём способ ввода дилатометрического модуля в программу - или в виде параметра грунта («Задавать  $M_{DMT}$  как параметр грунта»), или загрузкой дилатометрического испытания (DMT).

При загрузке испытаний отображена таблица со списком заданных дилатометрических испытаний (DMT).



Рамка «Испытания DMT»

Если при обработке дилатометрического испытания будут замерены нулевые значения дилатометрического модуля  $M_{DMT}$ , программа позволяет автоматическую корректировку ошибки измерения - взамен нулевого значения в расчёт принимается арифметическое среднее ближайших нижнего и верхнего ненулевых значений  $M_{DMT}$ .

Дальше нужно в рамку задать коэффициент редукции  $B$ .

Результаты дилатометрического испытания (DMT) можно импортировать с помощью кнопки «Импорт» в формате UNI (\*.uni).

Данные испытаний (DMT) можно передавать в программы «Отдельные фундаменты», «Ограждения котлованов-анализ», «Стабилизирующая свая» и «Стартиграфия» с помощью «Геобуфера».

**Примечание:** Рамка доступна только при условии, что в рамке «Настройка» для модуля

реакция подстилающего слоя выбрана опция «дилатометр DMT» (закладка «Расчёт давлений»).

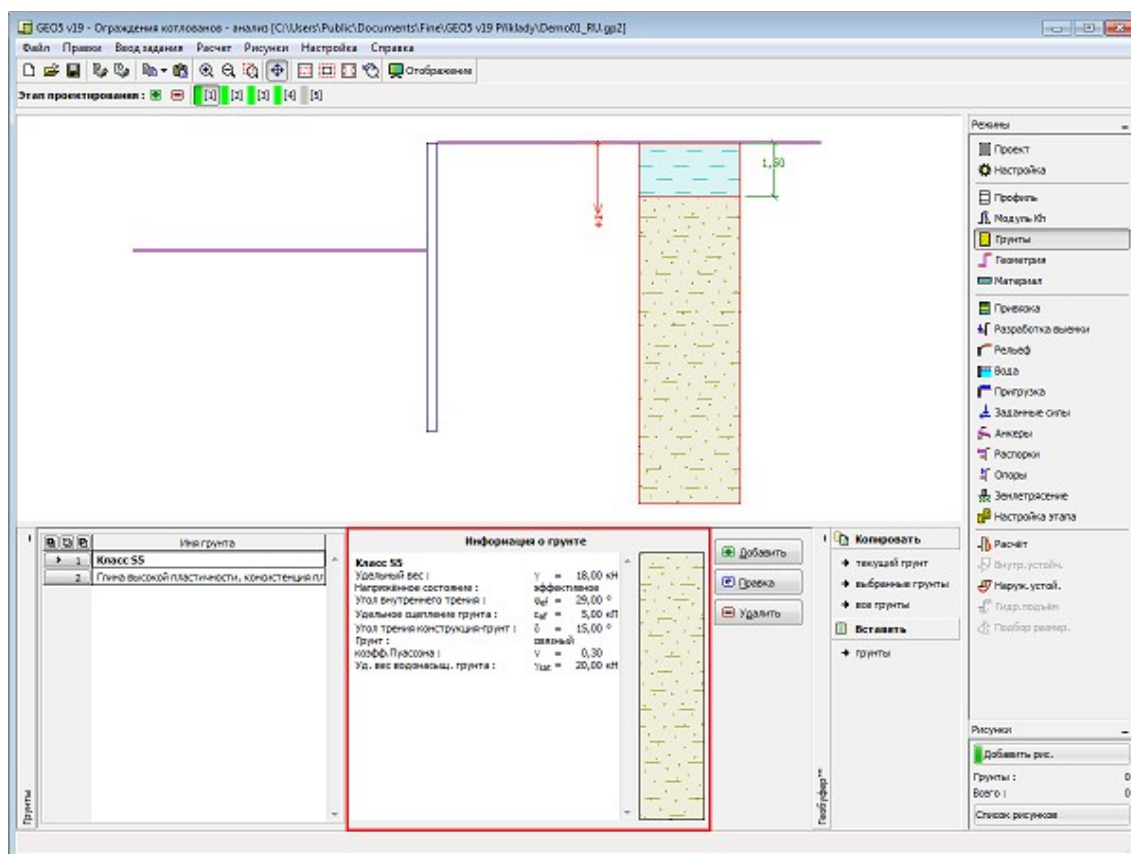
## Грунты

В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. Если в таблице выбрано несколько грунтов, то информация по отдельным грунтам упорядочена в последовательном порядке.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Базовые данные», «Статическое давление грунта», «Подъёмная сила» и «Модуль реакции подстилающего слоя».

Данные заданных грунтов можно копировать во всех программах GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать **базу данных грунтов** по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных

базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Угол внутреннего трения грунта и коэффициент сцепления задают **эффективным** или **полным** в зависимости от установки в выпадающем списке «**Напряжённость**». Выполнять расчёт в **эффективном** или **полном напряжённом** состоянии зависит прежде всего от типа грунта, характера нагрузки, долговечности конструкции и водного режима.

Для **эффективного напряжённого состояния** задают **угол трения между грунтом и конструкцией**, который зависит от материала конструкции и типа грунта.

Ориентировочные значения угла трения между конструкцией и грунтом приводит [таблица рекомендуемых значений](#).

Для **полного (тотального) напряжённого состояния** ещё задают **сцепление грунта со стеной строительной конструкции  $a$** .

Соответствующая теория подробно описана в разделе «[Давление грунта](#)».

Добавление новых грунтов

Идентификация

Имя : Глина с гравием, консистенция полутвёрдая

Глина с гравием, консистенция полутвёрдая

**Базовые данные**

Удельный вес :  $\gamma = 19,00$  [кН/м<sup>3</sup>] 19,0

Напряжённое состояние : эффективное

Угол внутреннего трения :  $\phi_{ef} = 29,00$  [°] 26-32

Удельное сцепление грунта :  $c_{ef} = 8,00$  [кПа] 4-12

Угол трения конструкция-грунт :  $\delta =$  [°]

Статическое давление

Грунт : несвязный

Подъёмная сила

Расчёт взвешив. усилия : стандартный

Уд. вес водонасыщ. грунта :  $\gamma_{sat} =$  [кН/м<sup>3</sup>]

Расчёт модуля реакции подстилающего слоя

коэфф. Пуассона :  $\nu = 0,35$  [-] 0,35

Расчёт осадки : задать E<sub>oed</sub>

Эдометрический модуль : E<sub>oed</sub> = 24,00 [МПа] 16 - 32

Отображение

Цвет

Категория узоров

GEO

Узор

Суглинок с гравием

Классификация

Определить

Стереть

Добавить

Отмена

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»



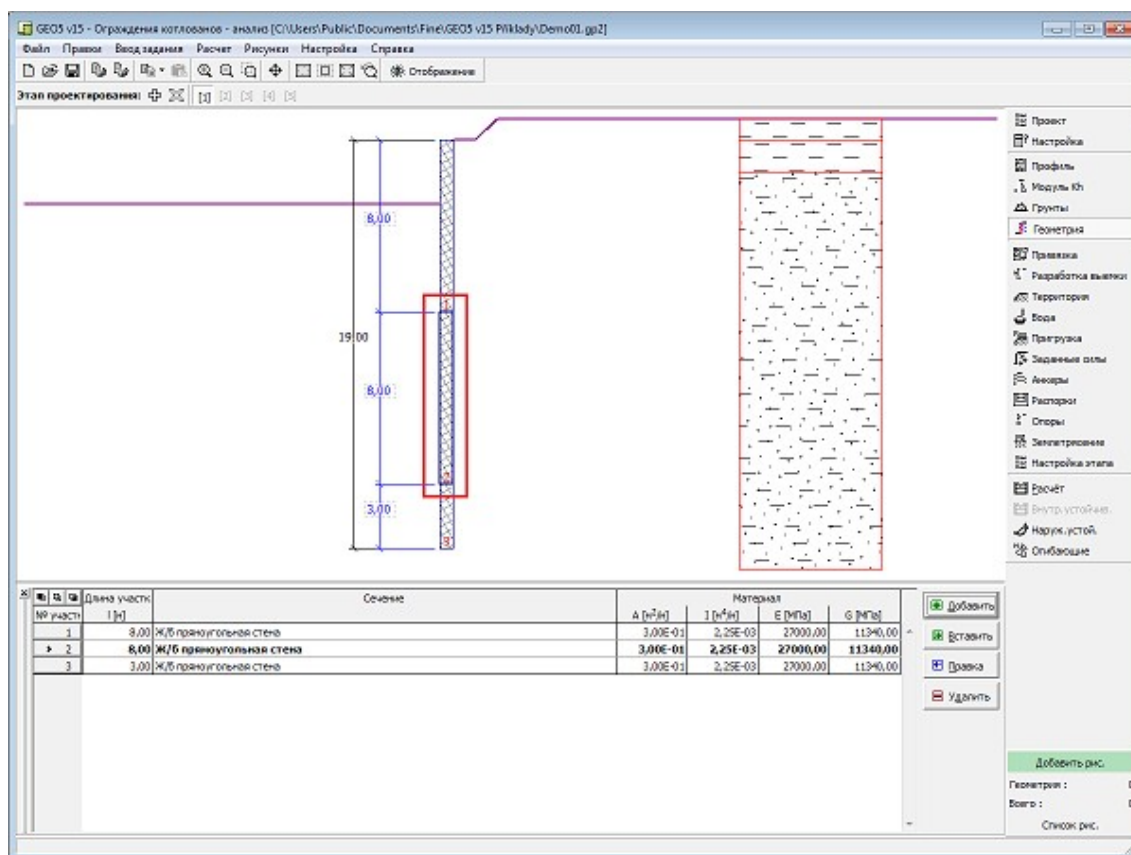
## Геометрия

В рамке «**Геометрия**» есть **таблица** со списком заданных участков конструкции **ограждающей стены**. Для каждого участка в таблице прописаны характеристики его сечения ( $A$  - Площадь,  $I$  - Момент инерции) и характеристики материала ( $E$  - Модуль упругости,  $G$  - Модуль упругости при сдвиге - у этих величин дан перерасчёт на погонный метр конструкции).

**Добавление** участков выполняется в **диалоговом окне «Создать участок»**.

Заданные участки можно редактировать на рабочем столе с помощью **активных объектов** - двойным щелчком на конструкции откроем диалоговое окно с соответствующим участком.

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.



Рамка «Геометрия»

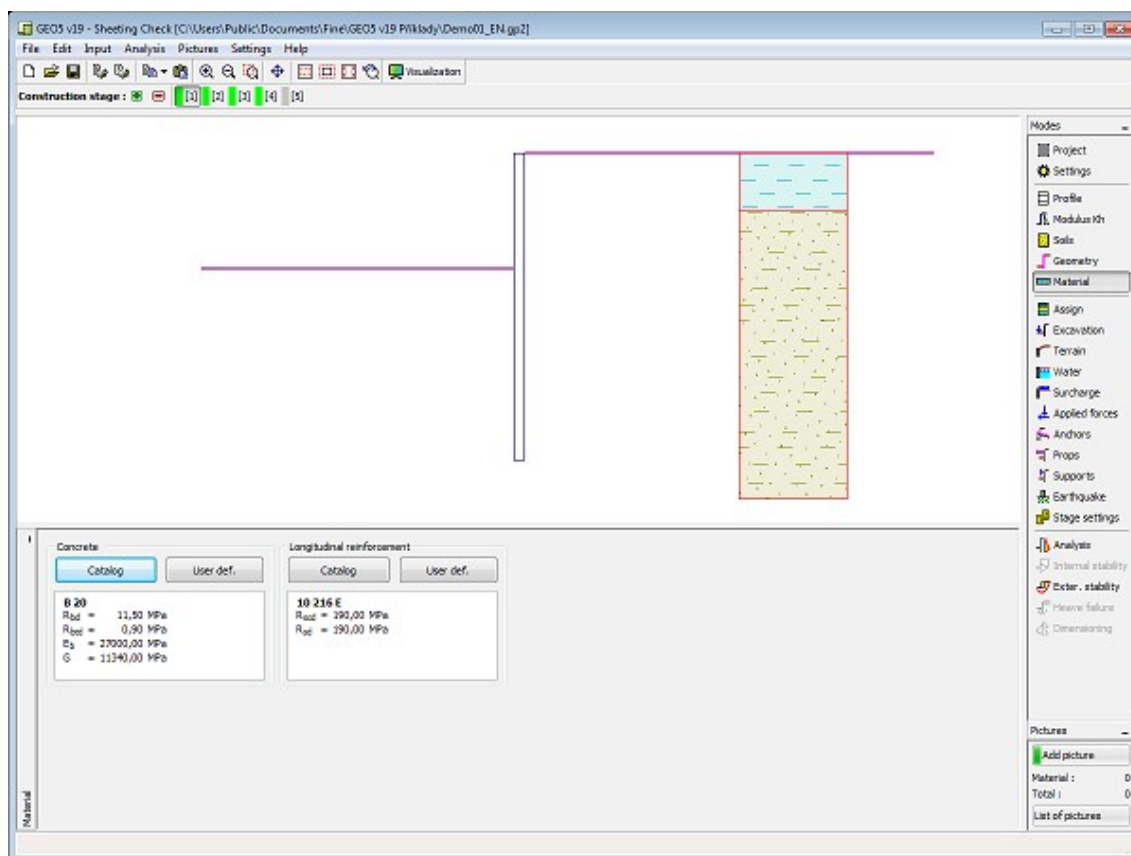
## Материал

В рамке «**Материал**» задают характеристики используемого материала. Вид рамки меняется в соответствии с выбранным материалом (**бетон, сталь, древесина, пластмасса**) в рамке «**Геометрия**».

При установке параметров материала можно использовать две опции:

- кнопкой «**Каталог**» открыть диалоговое окно «**Каталог материалов**» и из списка выбрать нужный материал.
- кнопкой «**Пользователь**» открыть диалоговое окно «**Редактор материала**» и ввести нужные характеристики материала вручную.

Содержимое каталогов меняется в соответствии с настройкой соответствующего стандарта по проектированию **бетонных, стальных, деревянных** или **пластмассовых** конструкций в закладке «Материалы и стандарты».



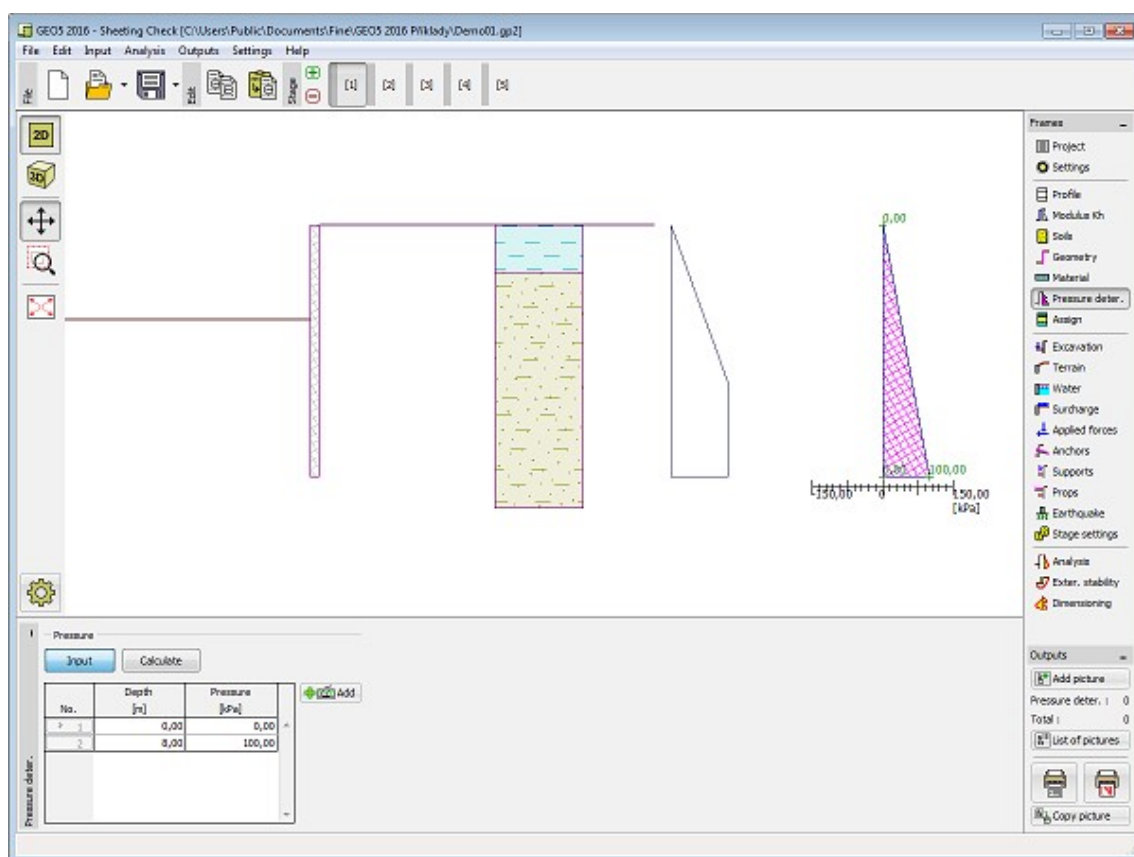
Рамка «Материал»

## Определение давления

В **рамке «Определение давления»** можно вручную задавать значения давления грунта позади **ограждающей конструкции** (кнопка «**Задать**» ). Рамка доступна только при условии, что в рамке «**Настройка**» выбрана для метода расчёта опция «**JGJ 120-2012**» (закладка «**Расчёт давлений**»).

В рамке находится **таблица** со списком заданных значений **давления грунта**. **Добавление** значений давления выполняется в **диалоговом окне «Создать точку»**, в котором задают глубину точки [м] и значение давления [кПа].

Значения **активного давления грунта**, или **статического давления грунта** можно тоже вычислять автоматически (нажав кнопку «**Считать**»).

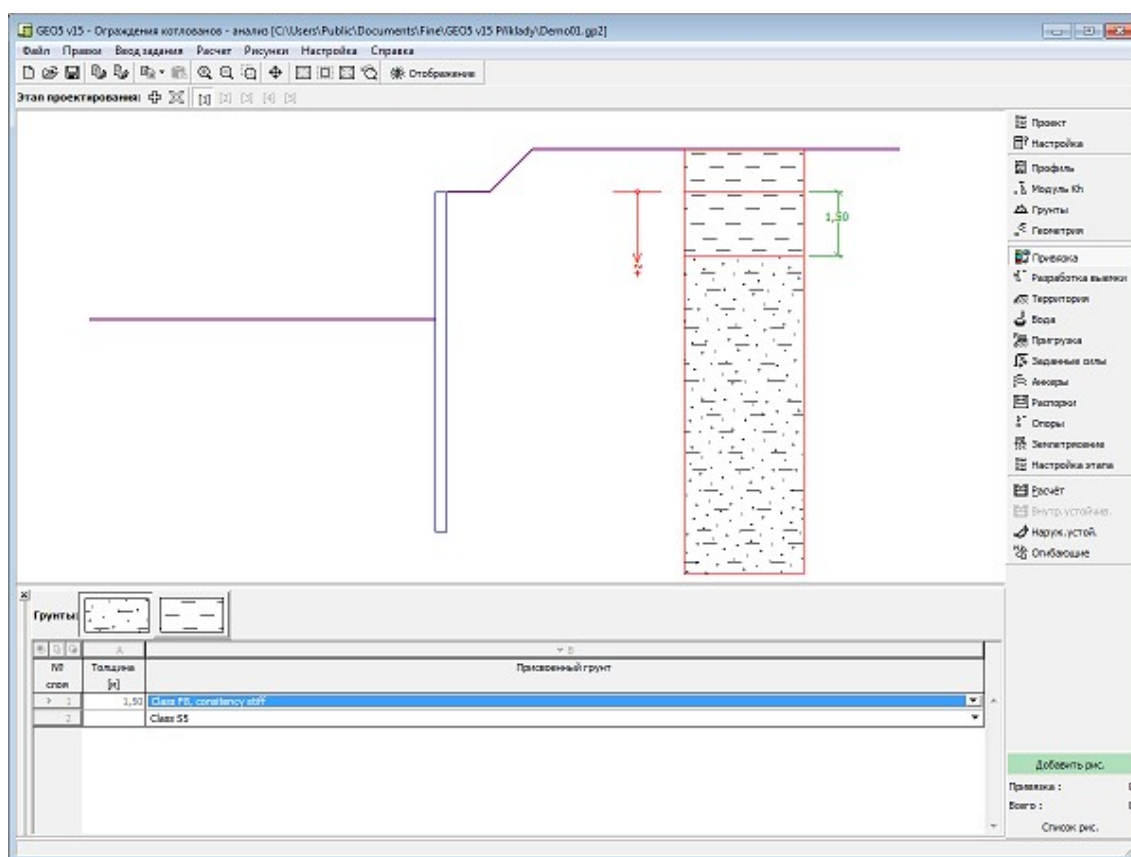


Рамка «Определение давления»

## Привязка

В рамке «Привязка» есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).



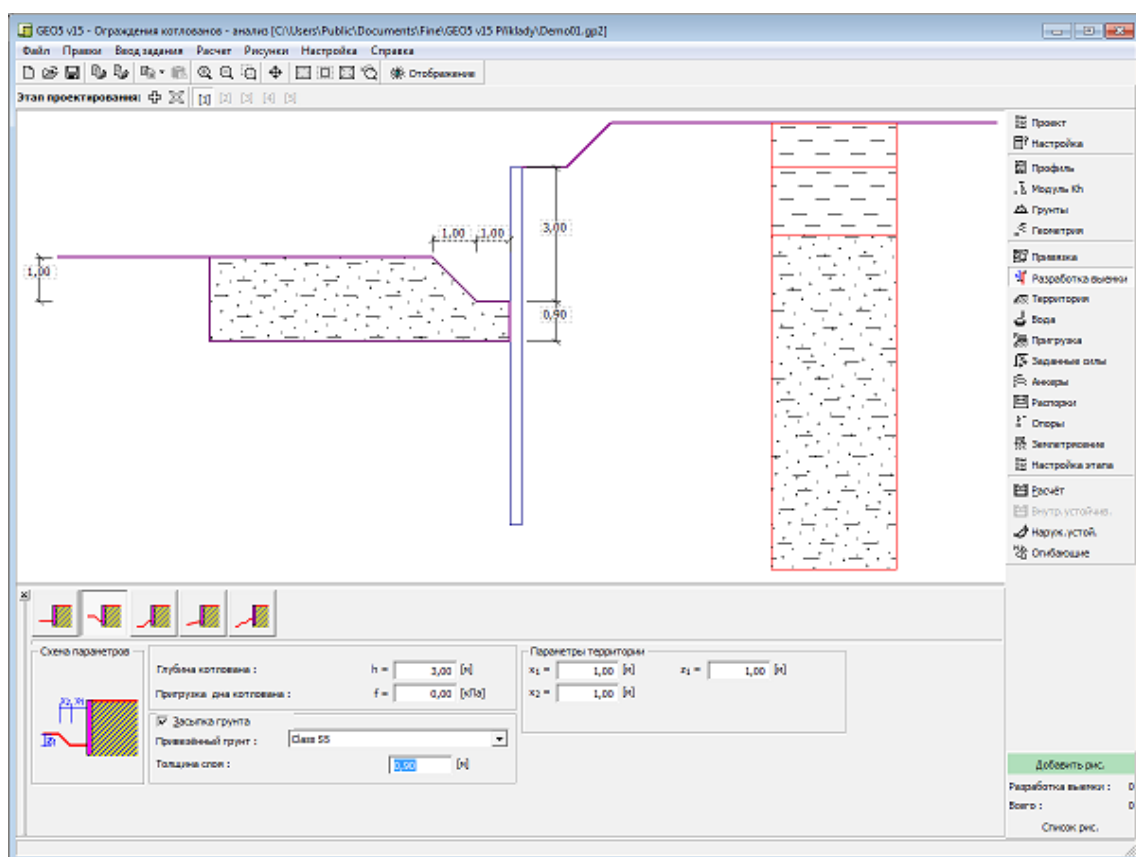
Рамка «Привязка»

## Разработка выемки

В **рамке «Разработка выемки»** задают глубину котлована  $h$  [м] и, нажимая кнопку, выбирают форму поверхности дна перед лицевой стороной **ограждающей конструкции**. Выбранная форма с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отобразится в левой части рамки. Размеры конструкции можно редактировать или в рамке (вводим значения в поля ввода данных), или на рабочем столе с помощью **активных отметок**.

В рамке можно задавать величину **пригрузки** дна котлована  $f$  [кПа] или тоже толщину слоя засыпки нового грунта под дно (грунт выбираем в выпадающем списке грунтов, заданных в режиме («**Грунты**»). Задавать засыпку у **ограждения с забиркой** можно при условии, что в месте засыпки предусмотрена закреплённая конструкция, т.е. давления грунта приложены по всей ширине конструкции как над дном котлована.

В рамке можно задать тоже **улучшение грунта у подошвы конструкции**. Принцип расчёта подробно описан [здесь](#).



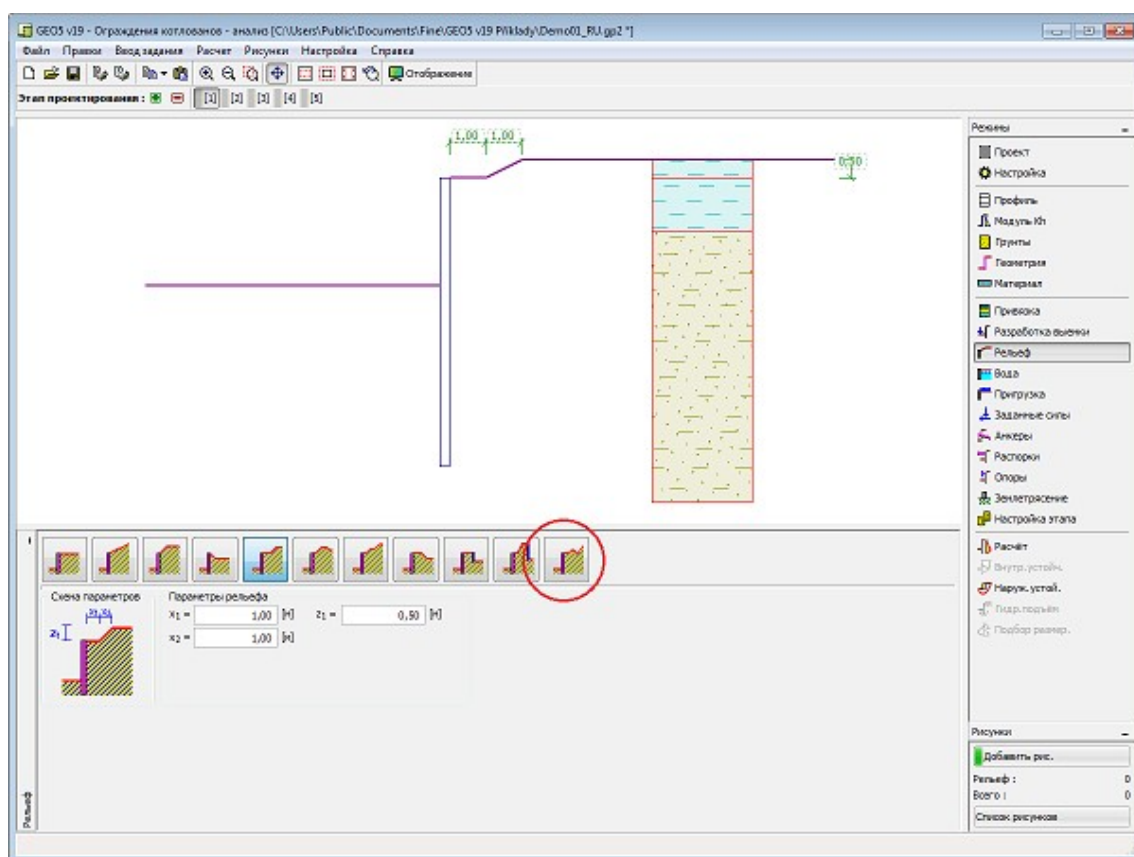
Рамка «Разработка выемки»

## Рельеф

В **рамке «Рельеф»** нажатием кнопки выбираем форму рельефа. Выбранная форма с графической подсказкой («**Схема параметров**») заданных значений отображается в левой части рамки. Редактировать форму рельефа можно - или в рамке (вводим значения в поля ввода), или на рабочем столе (при помощи **активных отметок**).

Последний пункт выбора в меню - это общая форма рельефа: в рамке имеется таблица со списком пунктов (точек) на местности. Первый пункт рельефа с координатой [0,0] лежит на верхней точке конструкции.

Расчёт давлений грунта в случае наклонного участка местности описан в теоретической части подсказки «**Распределение давления грунта при пересечённой местности**».



Рамка «Рельеф»

## Вода

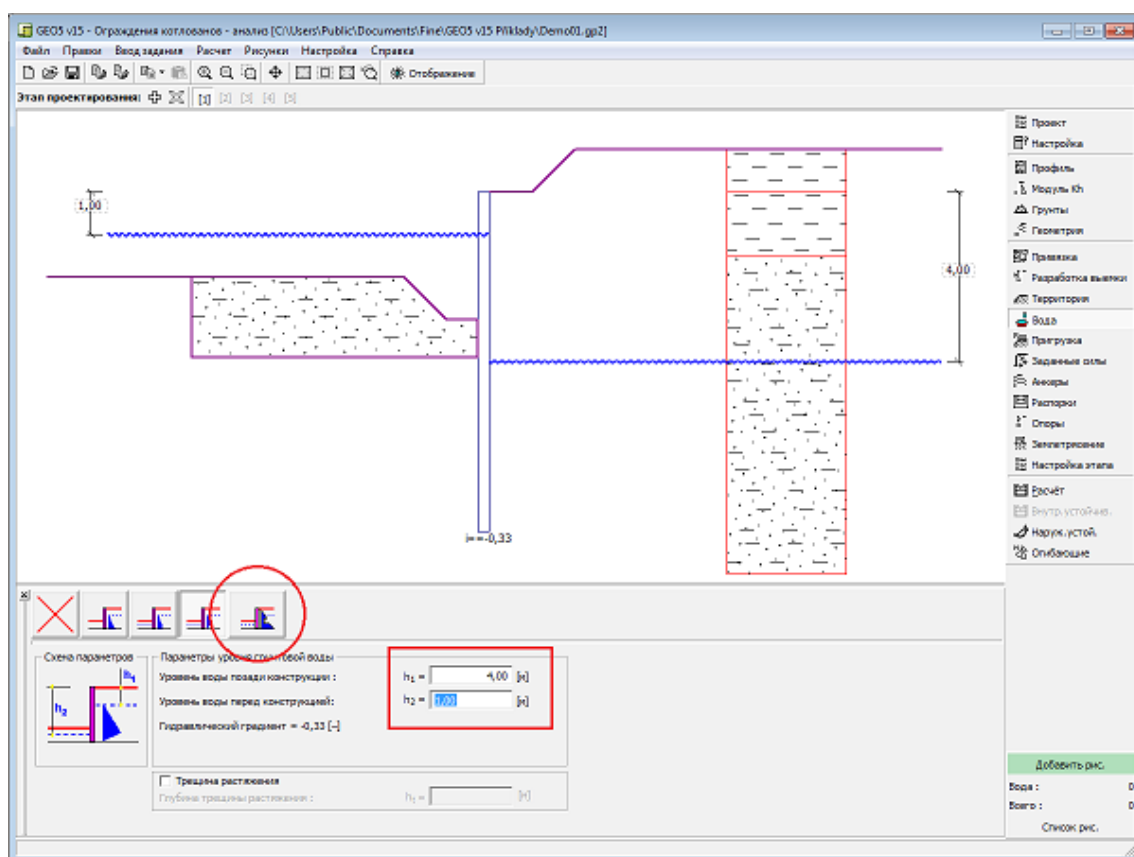
В **рамке «Вода»** нажатием кнопки выбираем тип воды. Выбранный тип с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Параметры воды ( $h_1$ ,  $h_2$ ...) можно редактировать или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок**.

Последний выбор - это ручное задание порового давления перед и за конструкцией. В рамке отобразятся две закладки «**Перед конструкцией**» и «**За конструкцией**» с **таблицами**. В таблицы вводят значения порового давления перед или за конструкцией в глубине « $z$ » (см. ось  $z$ ).

Уровень воды можно задавать тоже **над конструкцией** или над земным профилем - в таком случае глубину воды задают отрицательным значением.

Расчёт давлений грунта с воздействием воды описан в теоретической части подсказки «**Воздействие воды**».

Программа позволяет задавать глубину **трещин растяжения**  $h_t$  [м] заполненных водой.



Рамка «Вода»

## Пригрузка

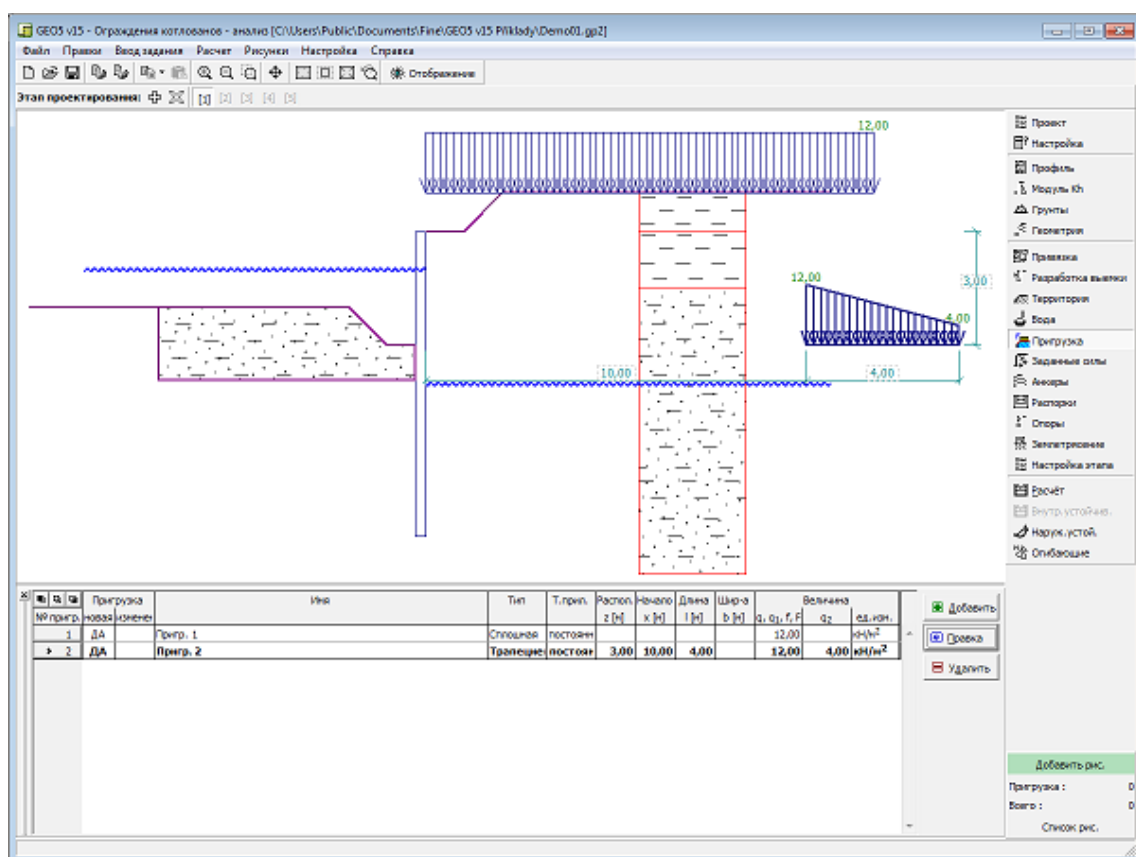
В **рамке «Пригрузка»** есть **таблица** со списком заданных пригрузок. **Добавление** пригрузки выполняется в **диалоговом окне «Создать пригрузку»**. Редактировать заданную пригрузку можно также на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

Вместе с вводом пригрузки на глубине нужно задать координату  $z$  от верхней точки конструкции, с положительным знаком в глубину. В случае, что пригрузка задана вне пределов местности, программа перед выполнением расчёта даст сообщение об ошибке.

Пригрузку можно задавать **постоянной, переменной** или **случайной**. В зависимости от типа воздействия пригрузки результирующее воздействие умножается на соответствующий расчётный коэффициент. Случайная пригрузка с положительным воздействием в расчёт не принимается.

Расчёт давлений грунта от пригрузки описан в теоретической части справки **«Воздействие пригрузки»**.





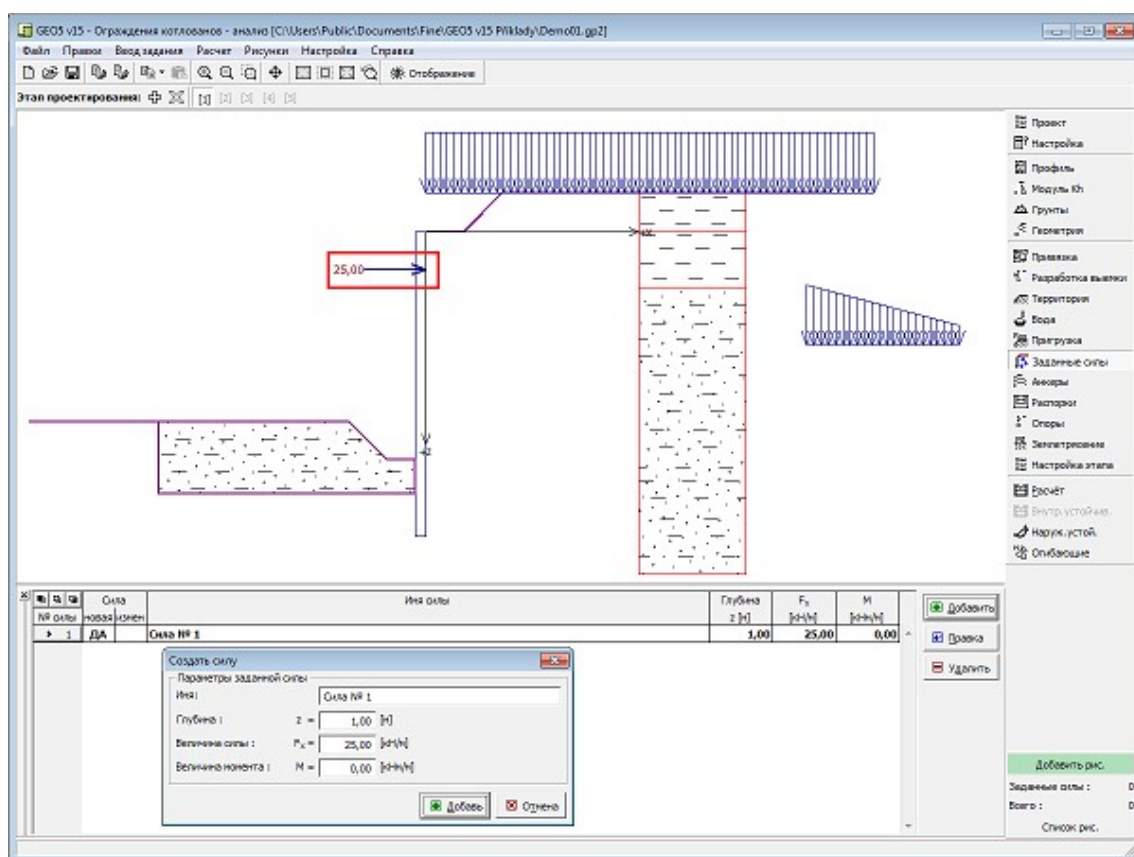
Рамка «Пригрузка»

## Заданные силы

В рамке «Заданные силы» есть таблица со списком заданных сил, действующих на конструкцию. Добавление сил выполняется в диалоговом окне «Создать силу». Редактирование заданных сил можно также выполнять на рабочем столе с помощью активных объектов.

**Заданными силами** разумеется дополнительная нагрузка действующая на конструкцию стены, ограждения, укрепленной (армированной) насыпи. Заданными силами можно моделировать, напр., заанкерование колёсоотбойных дорожных ограждений, удар транспортного средства, нагрузку от рекламных щитов (билбордов) и т.п. Программа заданные силы в расчёте дальше не меняет.

Наружную нагрузку приложенную к грунту или к поверхности территории нужно моделировать как **пригрузку**.



Рамка «Заданные силы»

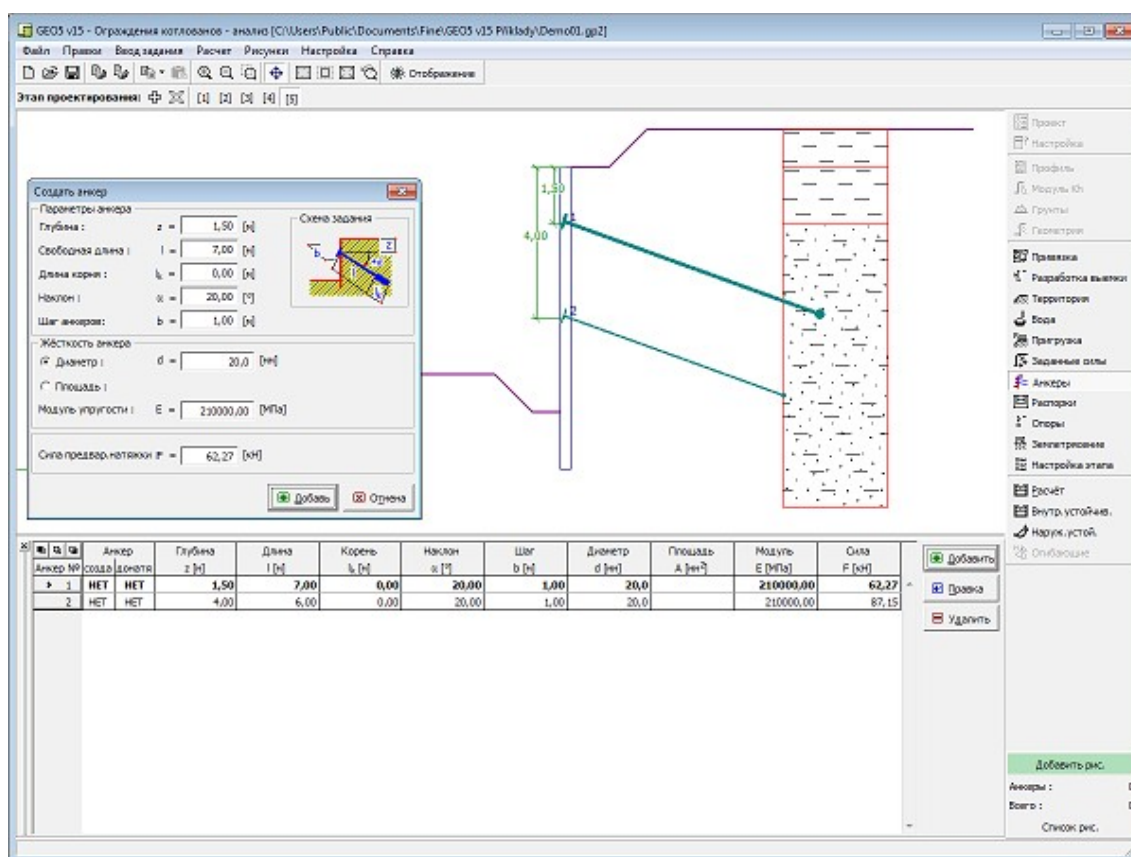
## Анкеры

В рамке «**Анкеры**» находится таблица со списком заданных анкеров. Добавление анкеров производится в диалоговом окне «**Создать анкер**». Заданные анкеры можно редактировать на рабочем столе с помощью активных объектов.

Анкер задаётся автоматически на уже **деформированную конструкцию** (от предыдущего этапа проектирования).

Анкеры можно задавать как предварительно напряжённые (без определения, стержневые предварительно напряжённые, прядевые) и без предварительной натяжки (типа *Helix*, стержневые ненапрягаемые, анкерные тяги). **Жёсткость предварительно напряжённых анкеров** сказывается в самом расчёте только на последующих этапах проектирования. Под влиянием деформации конструкции меняются силы во всех типах анкеров.

На последующих этапах редактировать анкеры уже нельзя, можно только сделать **дополнительную натяжку** до новых напряжений.



Рамка «Анкеры»

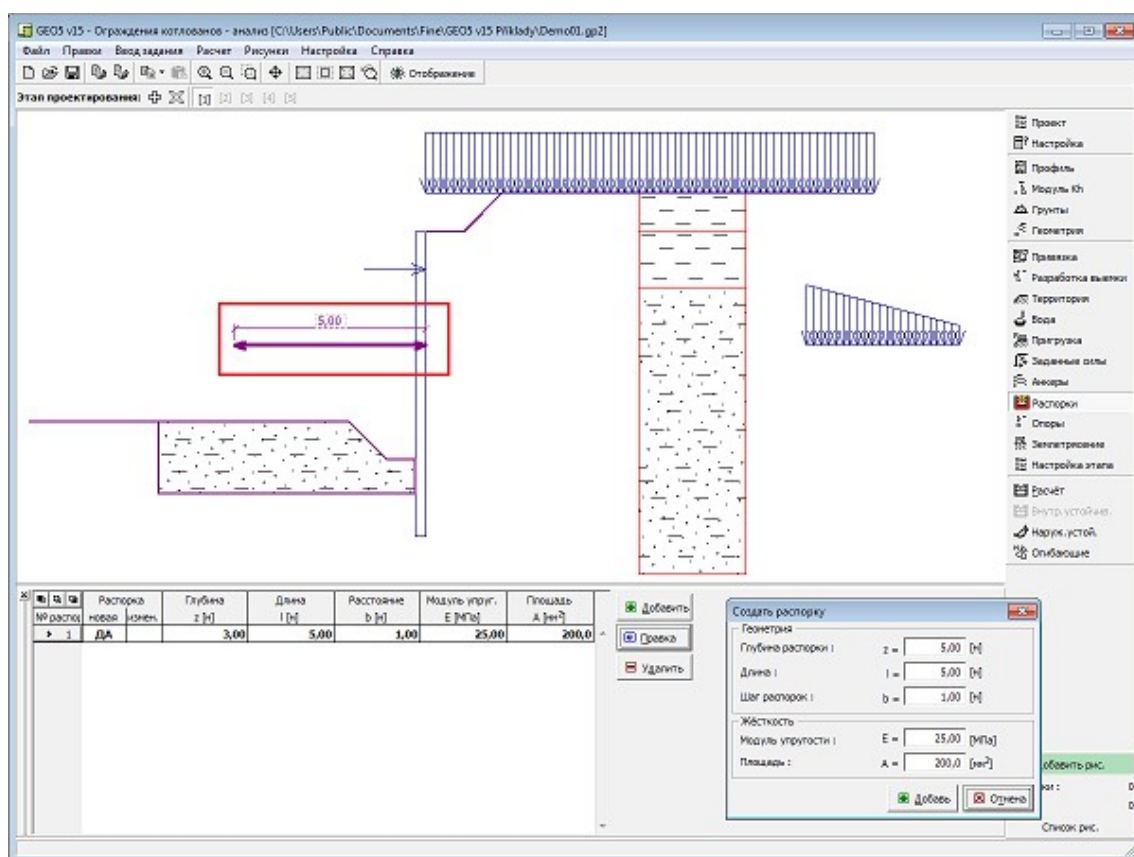
## Распорки

В **рамке «Распорки»** находится **таблица** со списком заданных распорок. **Добавление** распорок производится в **диалоговом окне «Создать распорку»**. Заданные распорки можно редактировать также на рабочем столе с помощью **активных объектов (размерных чисел)**.

Задают расположение, длину распорки и характеристики, необходимые для расчёта **жёсткости распорки** (площадь сечения, модуль упругости).

Задание распорки выполняется автоматически на **деформированную конструкцию** (от предыдущего **этапа пропектирования**). На последующих этапах уже нельзя редактировать распорки, только менять их жёсткость. В собственно **расчёте** распорка моделируется также как **анкер**, только с нулевой начальной силой.

**Примеч.:** Программа не проверяет несущую способность сечения распорки в отношении давления и продольного изгиба.

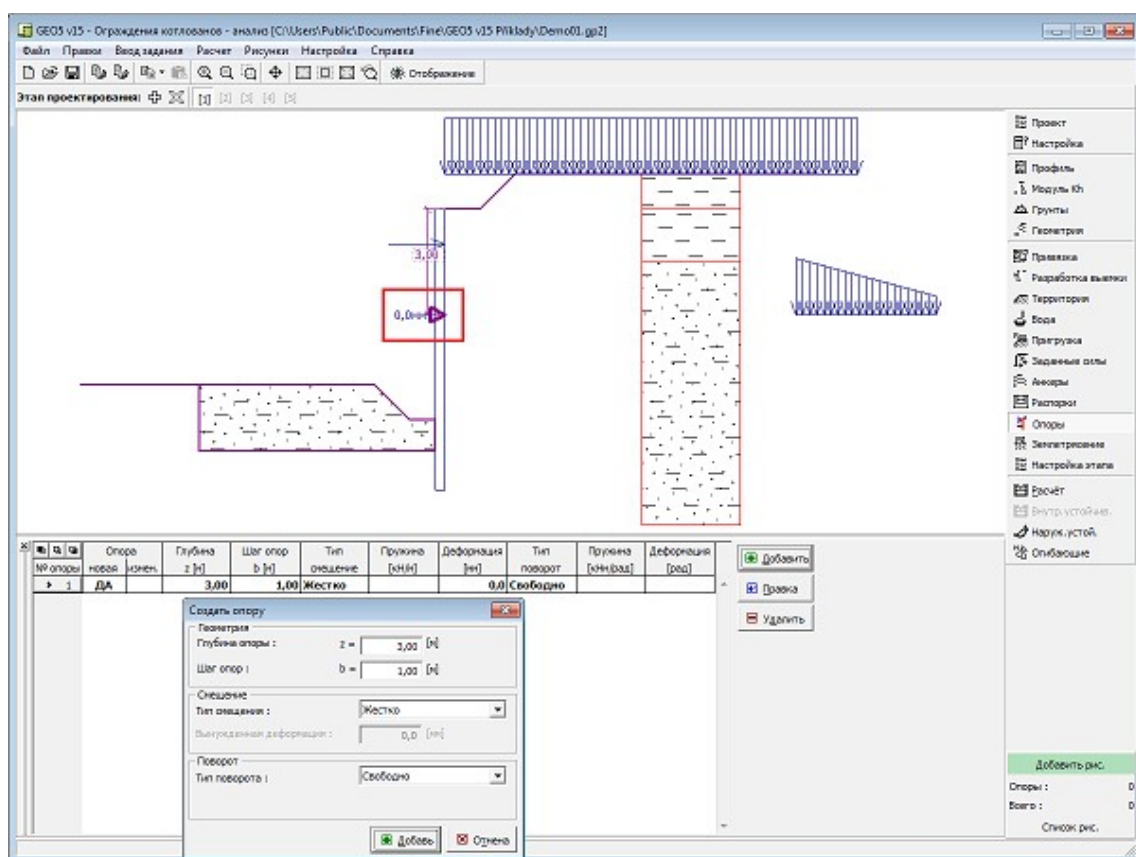


Рамка «Распорки»

## Опоры

В рамке «**Опоры**» находится таблица со списком заданных опор. Добавление опор производится в диалоговом окне «**Создать опору**». Заданные опоры можно редактировать также на рабочем столе с помощью активных объектов (размерных чисел).

Задают тип опоры (свободная, жёсткая, пружина) и её расположение. Задание опоры выполняется автоматически на деформированной конструкции (от предыдущего этапа проектирования). На последующих этапах уже нельзя редактировать опоры, можно только задавать вынужденную деформацию.



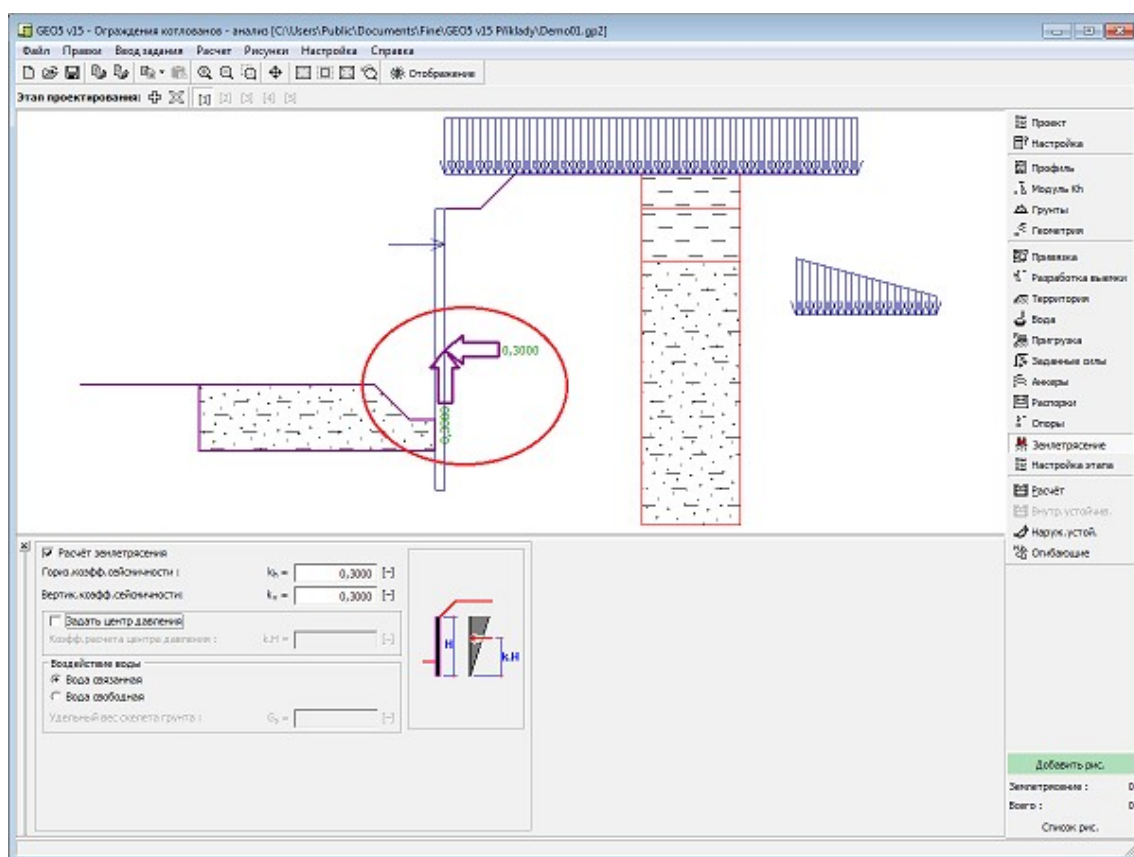
Рамка «Опоры»

## Землетрясение

В **рамку «Землетрясение»** задают параметры сеймики. Направления заданных сейсмических воздействий отображены на рабочем столе.

В случае отсутствия коэффициентов  $k_h$  и  $k_v$  полученных в результате измерений, проводят дополнительный расчёт способом указанным в EN 1998-5.

Расчёт давлений грунта с воздействием землетрясения описан в теоретической части подсказки «**Воздействие землетрясения**».



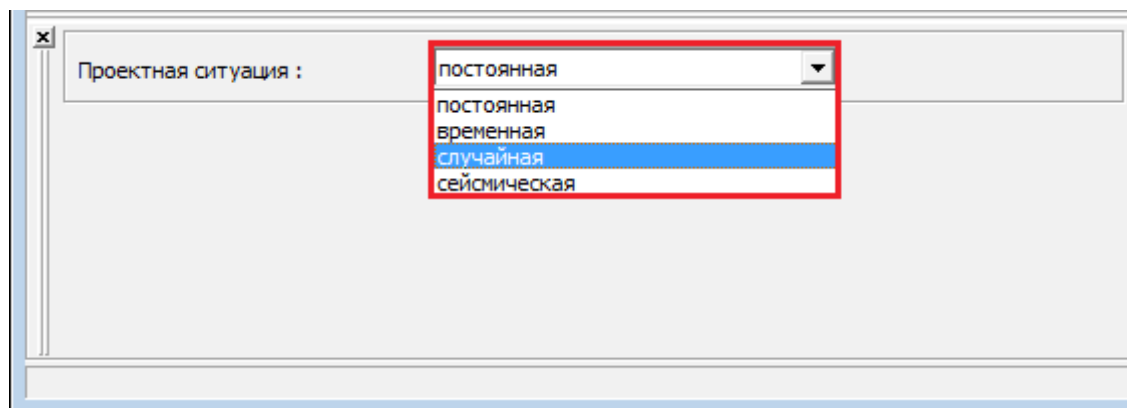
Рамка «Землетрясение»

## Настройка этапа

В **рамку «Настройка этапа»** задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования.

Внешний вид рамки зависит от выбора **методики проверки**.



Рамка «Настройка этапа»



## Расчёт

В рамке «Расчёт» отображены результаты расчёта. После переключения в этот режим расчёт будет автоматически выполнен. В рамке находятся три кнопки для отображения результатов:

### **$K_h$ + давления грунта**

В левой части рабочего стола вырисована (обычно синим цветом со штриховкой) эпюра модуля реакции основания. Как следует из принципа метода зависимых давлений, некоторые пружины (значения модуля реакции основания в точках) в расчёте опущены или равняются нулю. Если не задано достаточное количество граничных условий (анкеры, опоры) и давление грунта перед и за конструкцией достигло предельных значений (активное или пассивное давление) то **задача** является **нестабильной**. Программа не находит решения и сообщает об этом в нижней части рамки - в таком случае необходимо **менять задание конструкции** - (напр., ввести анкер, уменьшить глубину выемки, улучшить параметры грунтов о пр.).

На некоторых этапах проектирования (обычно жёлтым пунктиром) вырисована деформация, при которой в ходе вдавливания конструкции происходит активация статического давления грунта - эта дополнительная информация свидетельствует о пластической деформации конструкции.

В правой части окна (обычно зелёной штрихованной линией) вырисованы эпюры предельных давлений (пассивного давления, статического давления и активного давления.). Сплошной синей линией вырисована **реальная эпюра давления на конструкцию**.

В правой части рабочего стола вырисована **деформированная** (обычно красной толстой линией) и недеформированная конструкция. Здесь отображены силы и деформации в анкерах, опорах и распорка

### **Внутренние силы**

В левой части рабочего стола нарисована схема конструкции с силами в анкерах, реакциями и деформациями опор и распорок. В правой части вырисована эпюра изгибающего момента и сдвигающей силы.

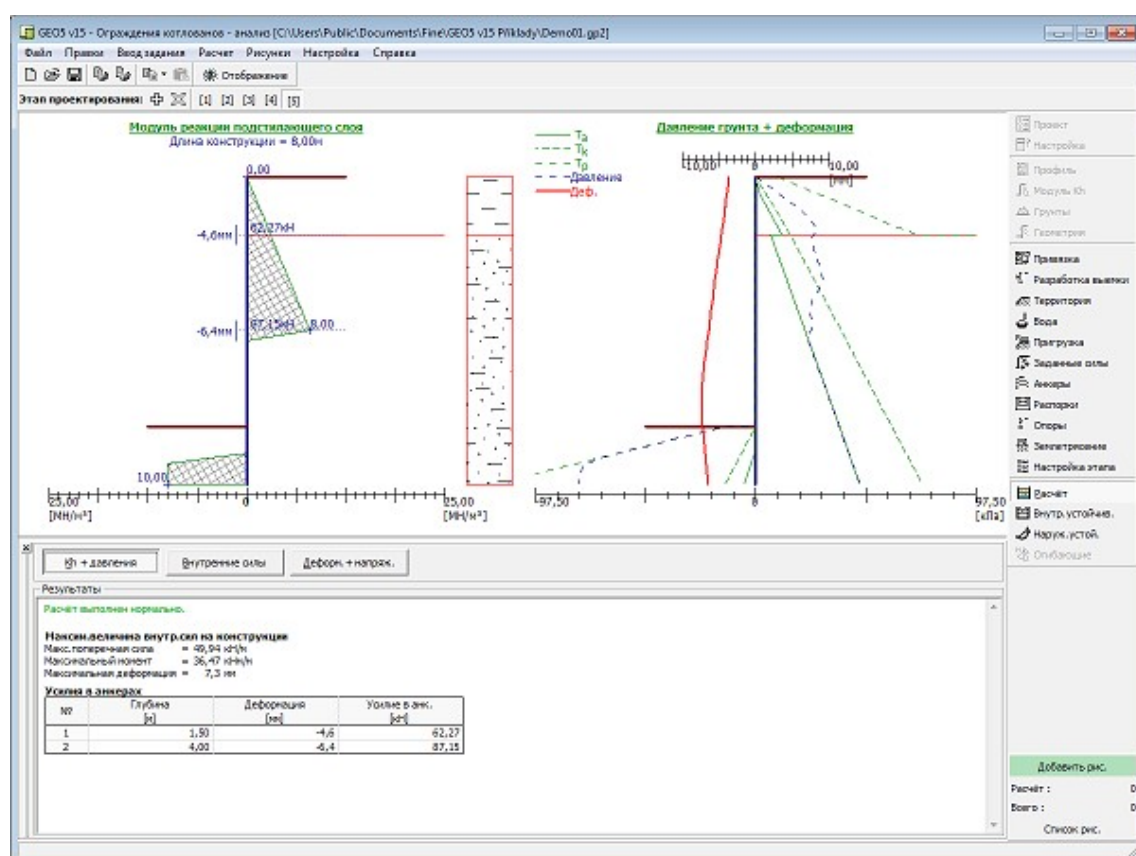
### **Деформация + Напряжение**

В левой части рабочего стола нарисована схема конструкции с силами в анкерах, реакциями и деформациями опор а распорок. В правой части зарисована эпюра деформации конструкции и общего давления, приложенного к **ограждающей стене**.

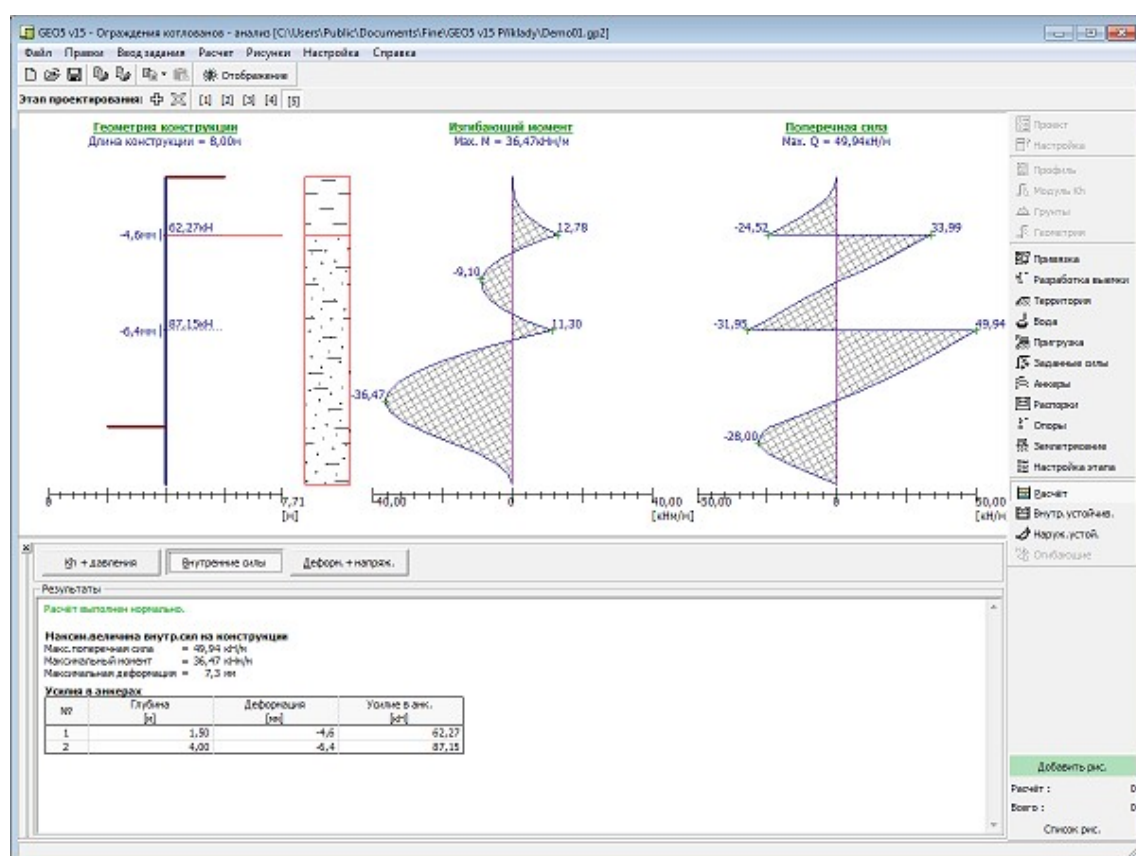
В случае итерации модуля реакции основания, **ход ручной итерации** необходимо проверять в диалоговом окне «Итерация». Подробная информация описана в теоретическом разделе справки «Модуль реакции основания, определенный итерацией».

Стиль рисунка можно менять в рамке «Настройка рисования».

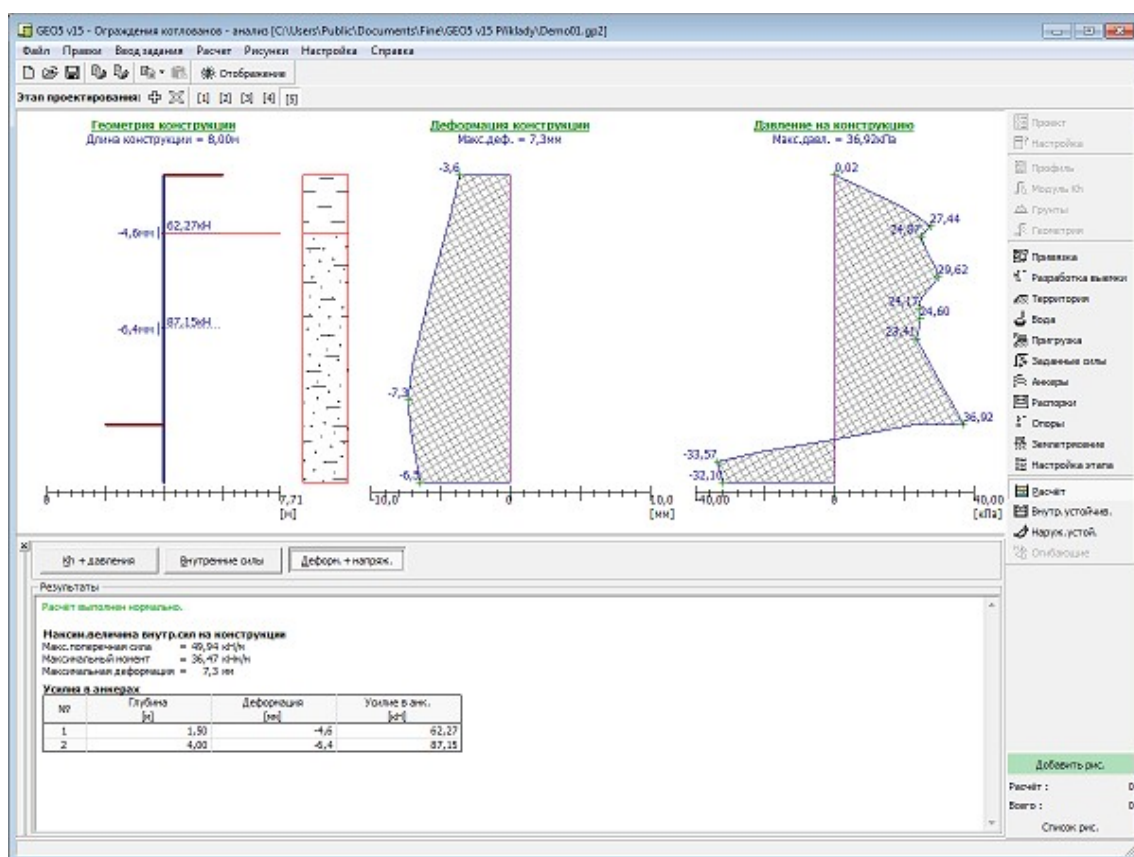




Рамка «Расчёт» - модуль реакции подстилающего слоя и давления грунтов



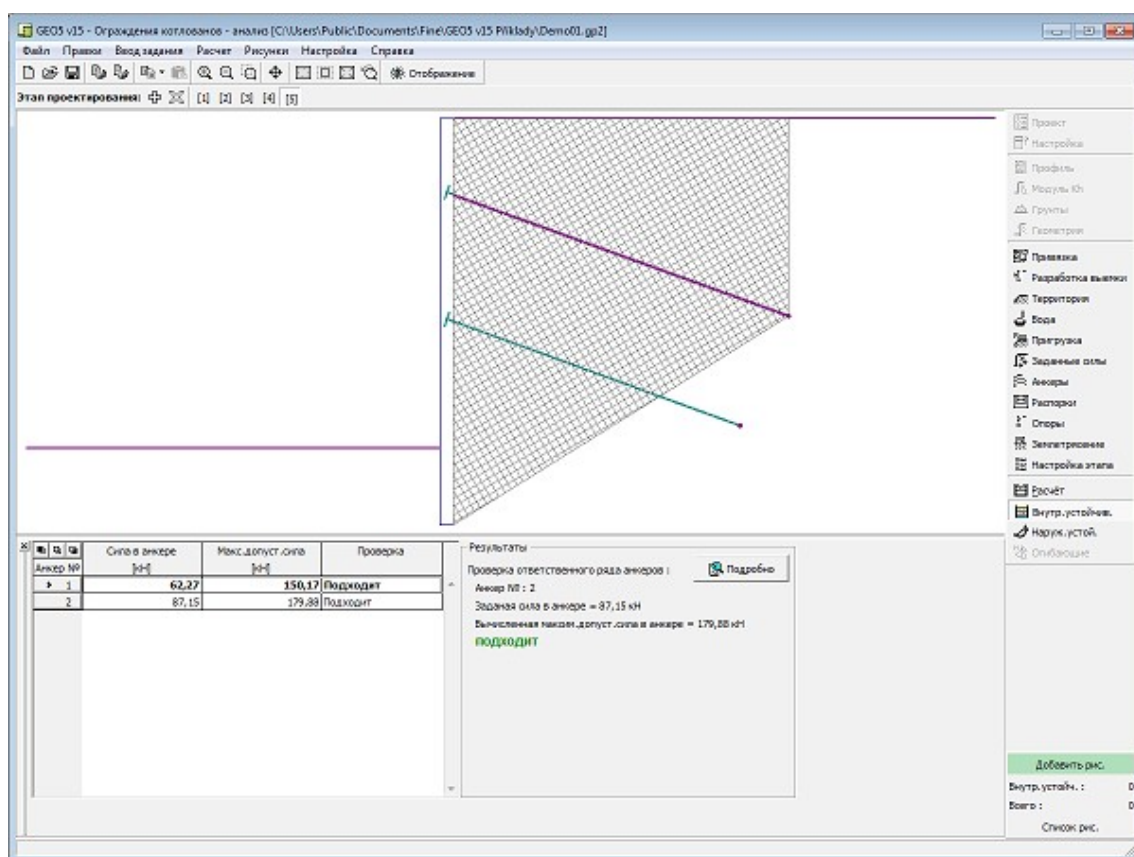
Рамка «Расчёт» - внутренние силы



Рамка «Расчёт» - деформация и напряжение

## Внутренняя устойчивость

В **рамке** выполняется проверка **внутренней устойчивости анкеров**- следовательно, рамка доступна только на **этапах**, на которых задавали анкеры. Для каждого ряда анкеров в **таблице** показаны **заданные силы в анкере** и **максимально допустимые силы** в анкере. В правой части рамки дана общая оценка самого ответственного ряда анкеров.

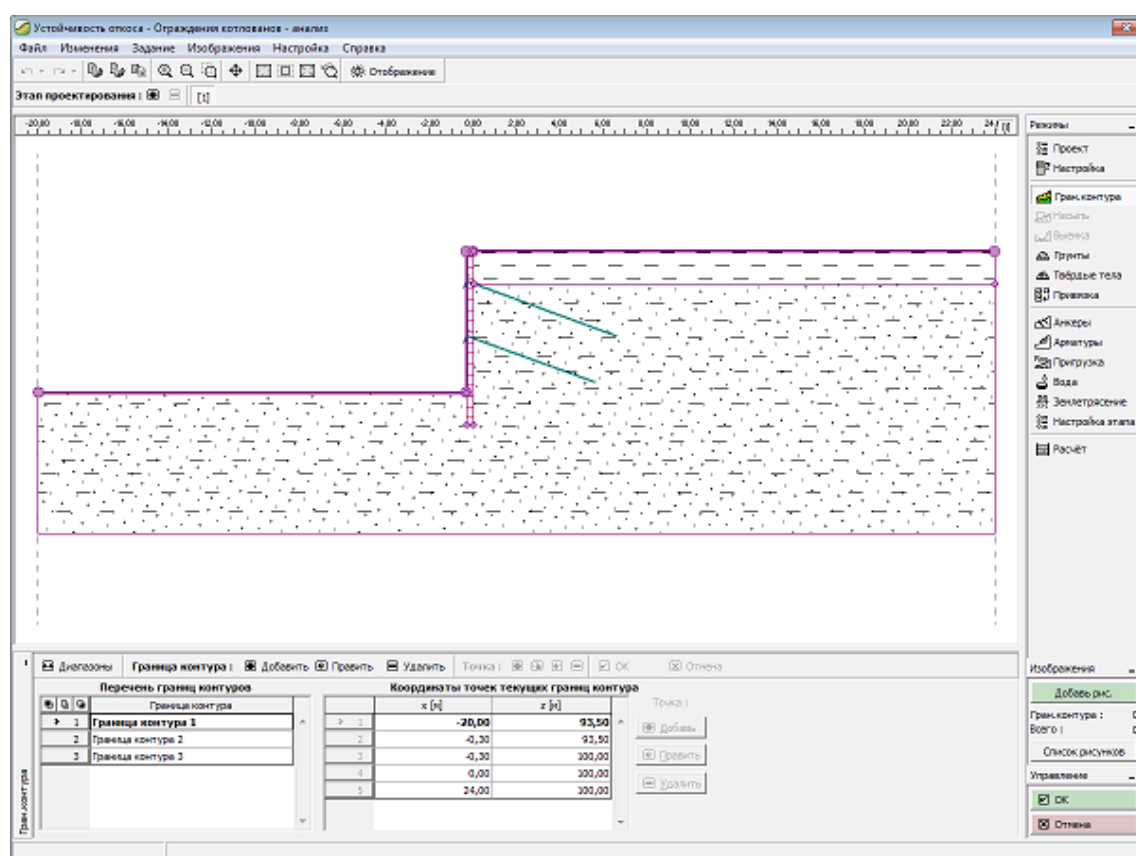


Рамка «Внутренняя устойчивость»

## Внешняя устойчивость

Нажатием на кнопку **«Устойчивость»** запускаются программа **«Устойчивость откоса»** и в программу передаются все необходимые данные. В программе Устойчивость откоса можно анализировать общую устойчивость конструкции стены. Кнопка недоступна, если программа **«Устойчивость откоса»** не установлена.

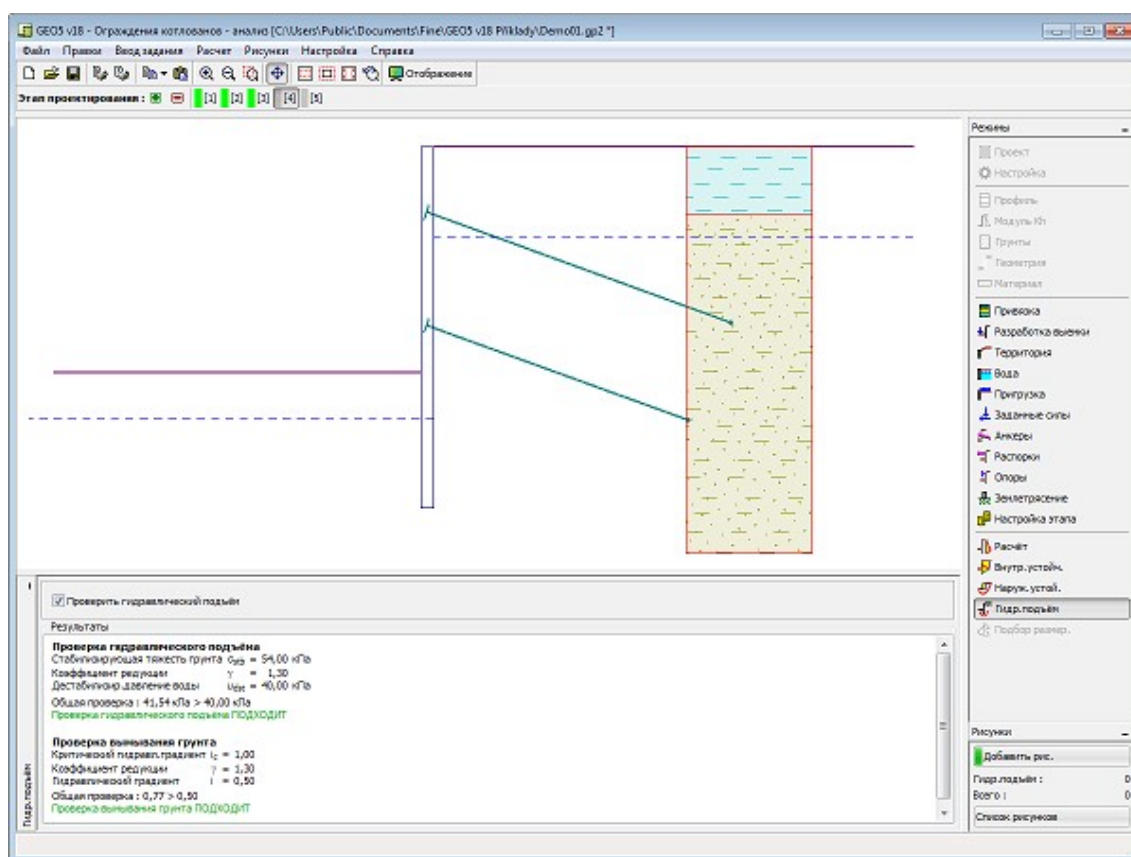
После выполнения расчёта нажатием кнопки **«ОК»** передаются результаты в т.ч. рисунки в протокол расчёта в программе **«Ограждения котлованов - анализ»**.



Рамка «Внешняя устойчивость»

## Гидравлический подъём

В рамке «Гидравлический подъём» проверяется гидравлический подъём и вымывание грунта. Рамка доступна только в случае, что влияние воды принято как «Гидродинамическое давление» (подошва конструкции заложена в водопроницаемом подстилающем слое и под конструкцией возможно движение воды).



Рамка «Гидравлический подъём»

## Подбор размеров

В рамке «Подбор размеров» можно показывать огибающую внутренних сил и деформаций сквозь все расчёты (этапы проектирования). Огибающая стандартно составлена из всех этапов проектирования, но её тоже можно составить только по выбранным этапам. Кнопка «Изменить» открывает диалоговое окно «Выбор этапов», в котором кнопками выбираем отдельные этапы проектирования для составления текущей огибающей.

Максимальные значения расчётных внутренних сил (изгибающих моментов и сдвигающих сил), а также величина деформации показаны в нижней части рамки.

Программа позволяет подбирать размеры железобетонных, стальных и деревянных сечений (галочкой отмечаем пункт «Проверить сечение»).

При проверке сечения можно ввести **расчётный коэффициент нагрузки сечения**, который уменьшает общую несущую способность сечения. В расчёте с уменьшением давлений грунта этот коэффициент принимается стандартно величиной 1,0. В расчёте без уменьшения давлений грунта (нужно обеспечить реальное поведение ограждающей конструкции) необходимо вычисленные внутренние силы увеличить расчётным коэффициентом величиной больше 1,0 (для EN 1997 значение этого коэффициента находится в диапазоне 1,35 - 1,5).

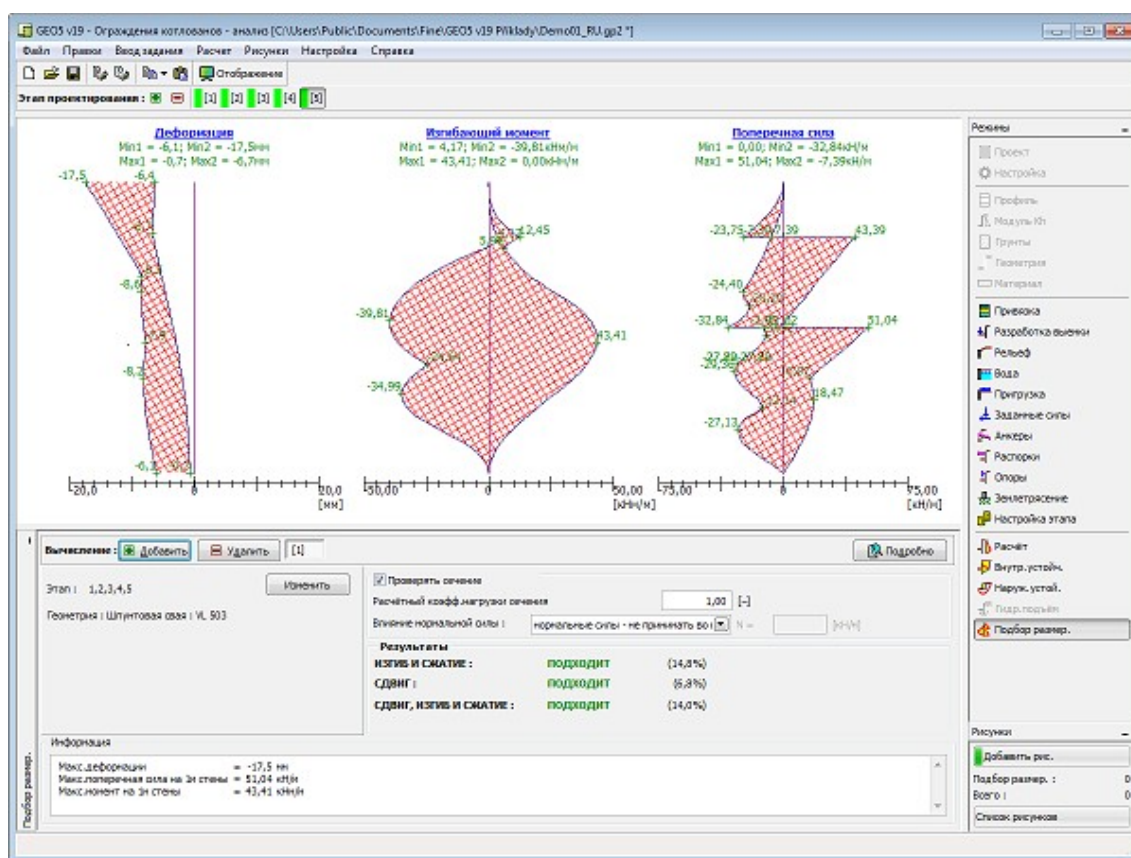
При подборе размеров стальных сечений можно применить следующие подходы к влиянию нормальной силы:

- **нормальные силы - не учитывать:** программа не учитывает влияние нормальной силы в расчёте



- **нормальные силы - местные под анкером:** программа учитывает самое большое местное значение нормальной силы вблизи соответствующего анкера как  $N = F \cdot \sin \alpha$ , где  $\alpha$  представляет собой угол наклона этого анкера
- **нормальные силы - суммировать влияние анкеров:** программа суммирует влияние всех нормальных сил для заданных анкеров и автоматически вычисляет общую сумму нормальных сил  $N$
- **нормальные силы - задать:** значение нормальной силы  $N$  [кН/м, lbf/ft], заданное пользователем

В рамке можно выполнять **несколько расчётов** для подбора размеров сечения. Кнопка «**Подробно**» в правой части рамки открывает **диалоговое окно «Подбор размеров»**, в котором отображены подробные результаты.



Рамка «Подбор размеров»

## Несущая способность анкеров

В рамке «**Несущая способность анкеров**» находится **таблица** со списком **заданных анкеров**.

В рамке проверяют **общую несущую способность анкеров**.

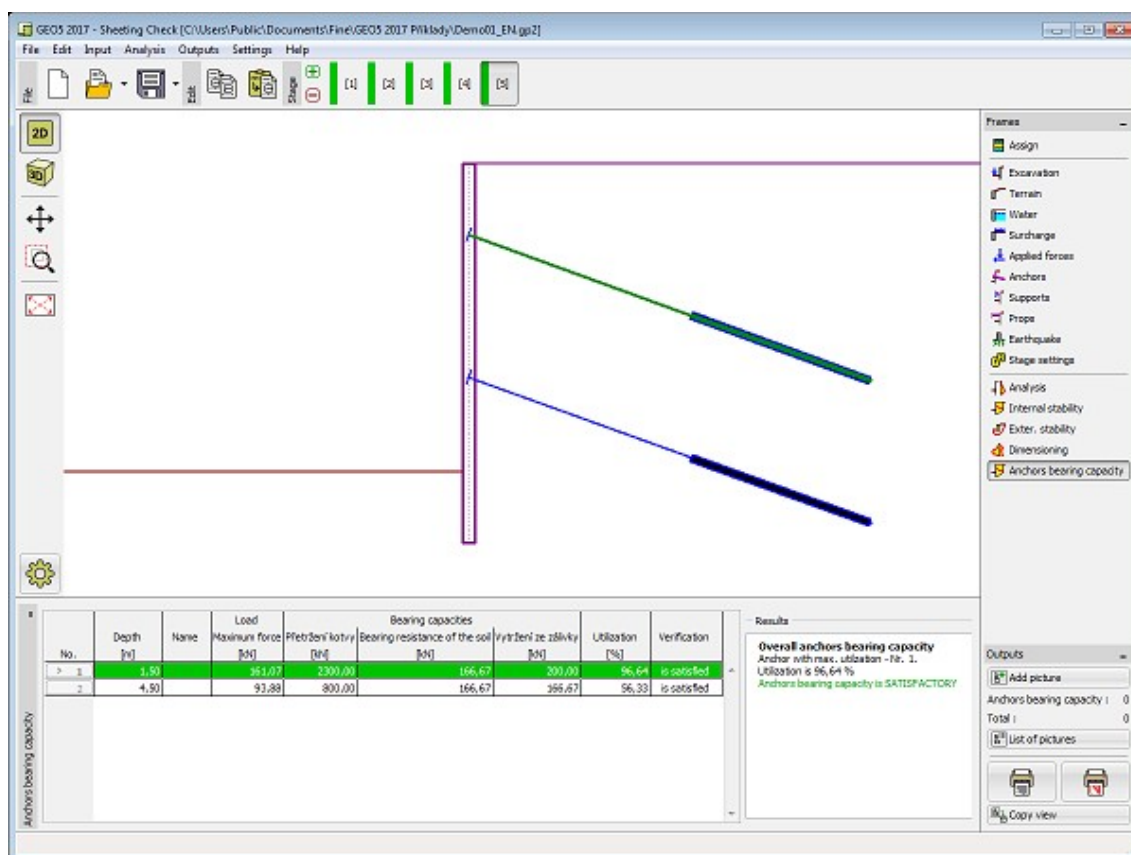
Анкеры проверяются на 3 разных состояния:

- **Сопротивление разрыву** (Прочность анкера)  $R_t$
- **Сопротивление выдёргиванию из грунта**  $R_e$
- **Сопротивление выдёргиванию из заливки**  $R_c$



Расчётные **несущие способности анкеров уменьшаются** соответствующим коэффициентом запаса или же коэффициентом редукции, который задают в рамке «**Настройка**», закладка «**Анкеры**». Для удовлетворительной проверки анкеров нужен результат, что ни одно из сопротивлений не может быть меньше, чем максимальное усилие в анкере  $P_{max}$ .

$$\min \left( \frac{R_t}{SF_t}; \frac{R_s}{SF_s}; \frac{R_c}{SF_c} \right) \geq P_{max}$$



Рамка «Несущая способность анкеров»

## Программа Стабилизирующая свая

Программа предназначена для проектирования свайных стен, стабилизирующих оползание склонов т.е. укрепляющих склоны (откосы). В основу положен расчёт конструкции в программе «**Устойчивость откоса**», откуда переносим вычисленную нагрузку в программу Стабилизирующая свая. Здесь можно также проверить спроектированную конструкцию - посчитать внутренние силы на сваях, их деформации и проверить несущую способность материала и армировки свай.

**Справка для программы «Стабилизирующая свая» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Профиль	Модуль Kh	Испытания прессиомет р	Испытания DMT	Грунты
Геометрия	Материал	Определени е давления	Порода	Привязка	Лицевая сторона конструкци и	Рельеф
Вода	Пригрузка	Заданные силы	Анкеры	Опоры	Землетрясе ние	Настройка этапа
Расчёт	Подбор размеров	Несущая способность анкеров				

- Стандарты и методы расчёта
- Теория расчётов в программе «**Стабилизирующая свая**»:
 

Напряжение в массиве грунта	Давление грунта	Проверка обшивки	Стабилизирую щая свая	Измерение бетонных конструкций	Подбор размеров стальных сечений
-----------------------------------	--------------------	---------------------	--------------------------	--------------------------------------	---
- Справка относительно результатов на выходе
- Информация общего характера о работе в пользовательской среда программ GEO5
- Общие операции для всех пограмм

## Проект

В рамку «**Проект**» задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой текстовой и графической информации.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (метрическую / дюймовую). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «Геобуфера».

Рамка «Проект»

## Настройка

В **рамку «Настройка»** предназначена для ввода основных **«Настроек»** программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой **«Выбрать настройки»** выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из **«Перечня настроек»**.

Кнопка **«Администратор настройки»** открывает диалоговое окно **«Администратор настройки»**, в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют, которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

Кнопка **«Добавить в администратор»** позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

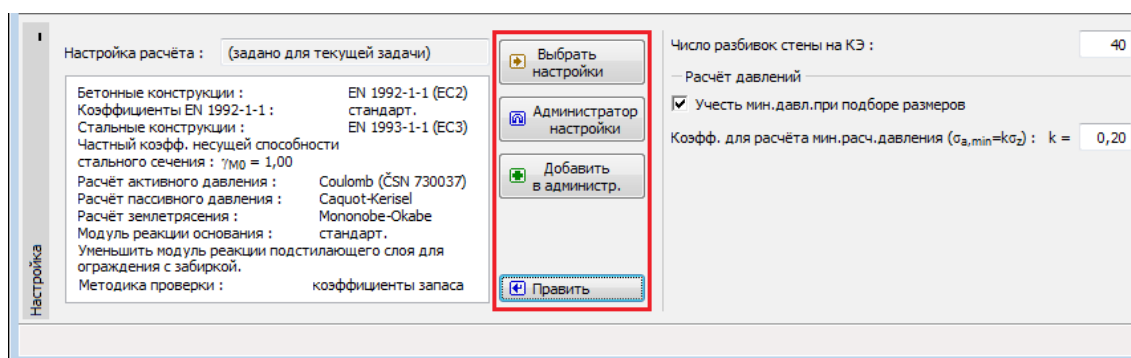
Кнопка **«Править»** позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в **«Задано для текущей задачи»**. После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку **«Добавить в администратор»** и добавляем настройку в **«Администратор настройки»**.

Настройка **«Задано для текущей задачи»** обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладках **«Материалы и стандарты»**, **«Расчёт давлений»**.

Для расчётов по **EN 1997** или по **предельным состояниям** программа позволяет настройку расчёта параметров грунтов с редуцией или без неё для собственно расчёта предельных давлений. Для создания модели реального поведения конструкции рекомендуется не применять редуцию этих давлений.

В рамке можно задать также количество разбивок стены на конечные элементы (стандартная настройка - 40 элементов) и будет ли к конструкции приложено **минимальное давление** для подбора размеров.



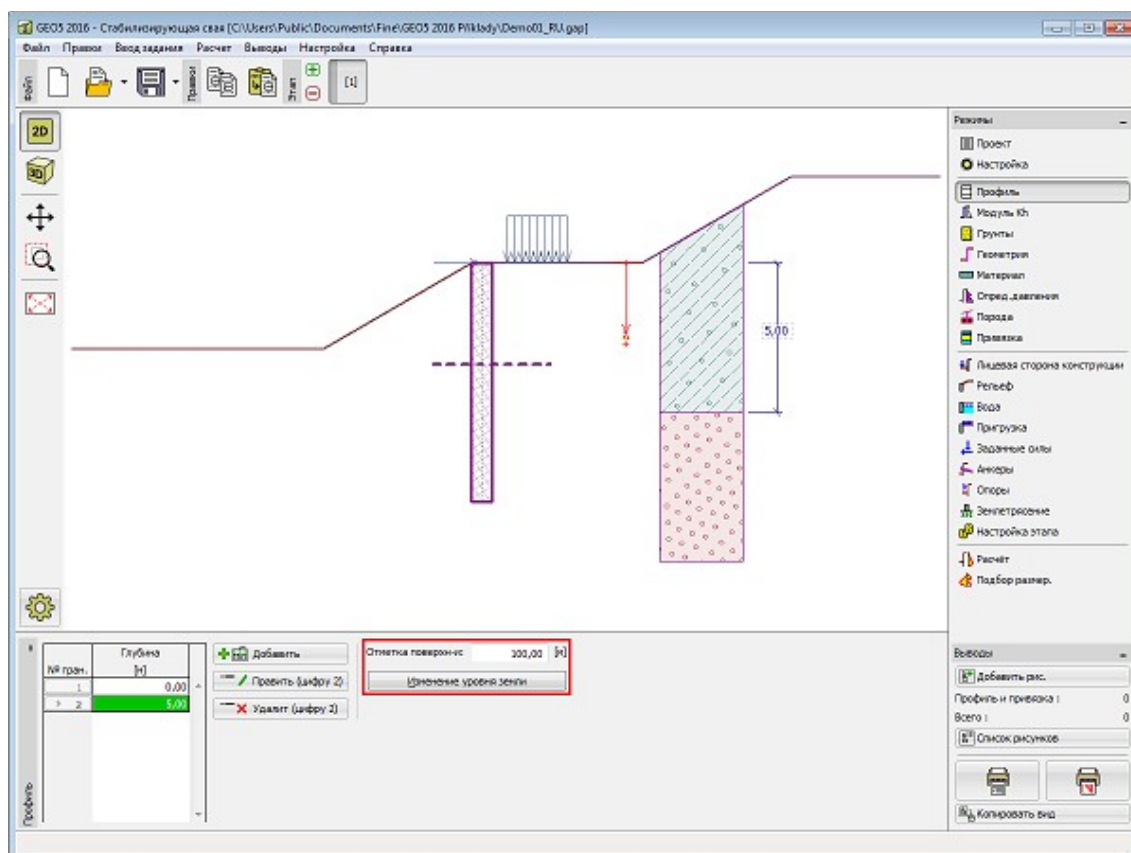
Рамка «Настройка»

## Профиль

В рамке «**Профиль**» есть **таблица** со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи **активных отметок** (размерных чисел).

**Добавление** границы выполняется в **диалоговом окне «Создать границу контура»**. Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне «**Изменение уровня земли**» и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы «**Рельеф**».



*Рамка «Профиль»*

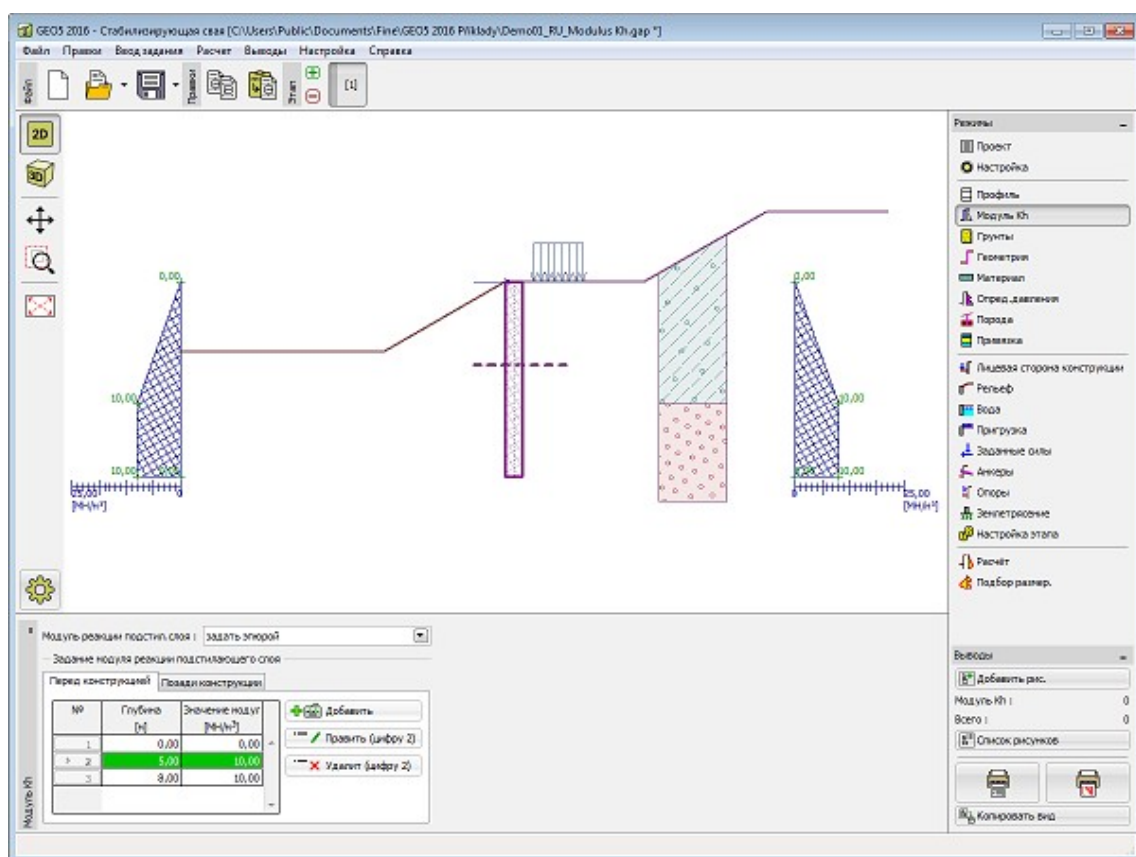
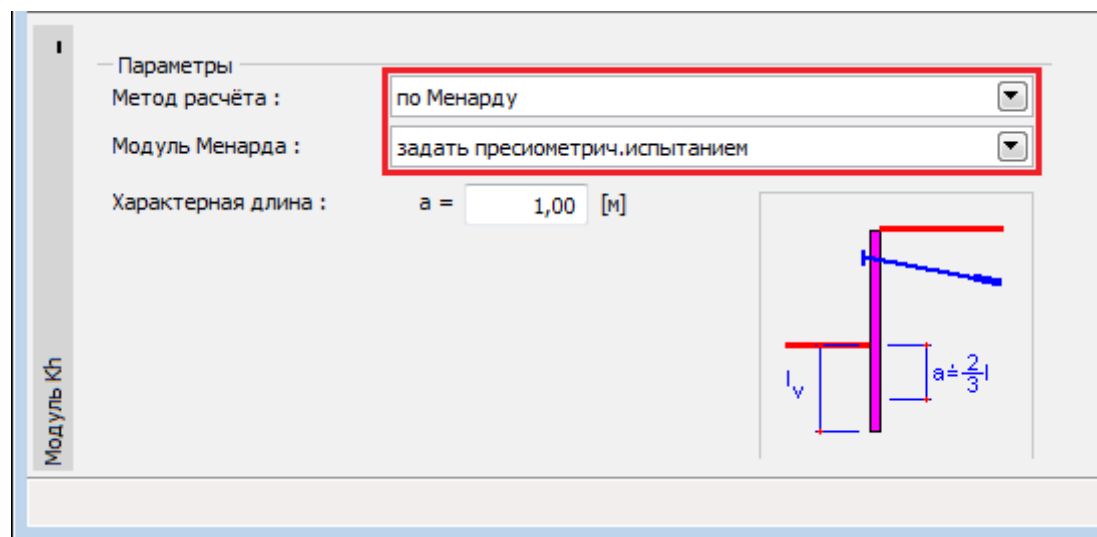
## Модуль Kh

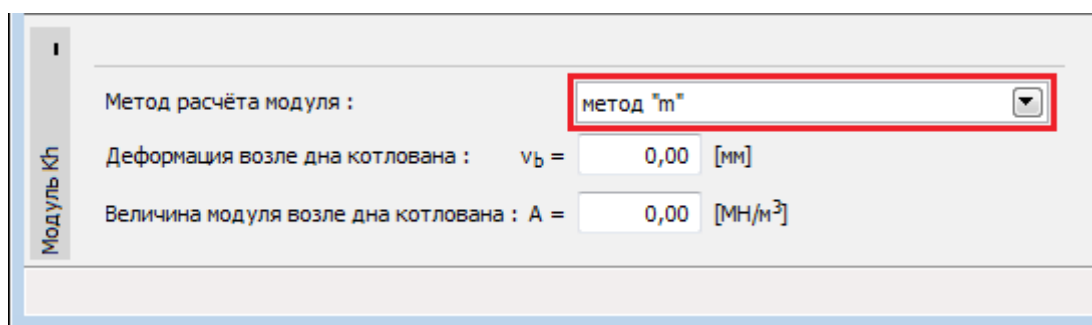
В рамку задают дополнительные данные для выбранного метода расчёта модуля реакции основания - важного исходного параметра при расчёте ограждающей конструкции по методу зависимых давлений.

Способ расчёта модуля реакции основания  $k_h$  выбирают в рамке «Настройка» (в диалоговом окне «Правка настройки для текущей задачи» в закладке «Расчёт давлений»).

Рамка может иметь разный вид в зависимости от метода расчёта:

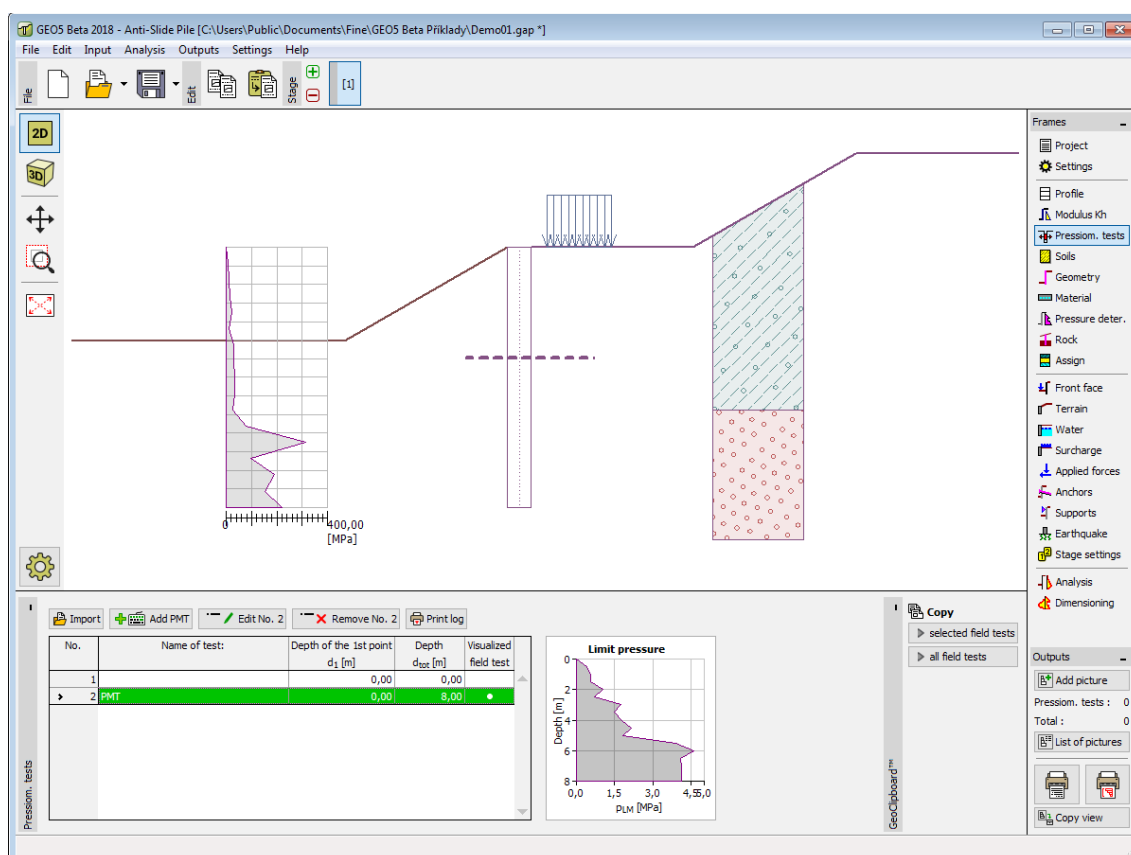
- **стандартный** (выбор «считать – Schmitt», «считать – Chadeisson», «ручная итерация» или «автоматическая итерация»)
- **задать** (при выборе «задать» в таблице для опции «задать эпюрой» задают значения модуля реакции подстилающего слоя  $k_h$  перед и за конструкцией. Для опции «задать параметром грунта» модуль  $k_h$  задают в рамке «Грунты», в котором модуль реакции подстилающего слоя можно принимать или как **линейный**, или как **нелинейный - кривая**)
- **прессиометр PMT** (модуль реакции основания  $k_h$  задают или с помощью прессиометрического испытания, или как параметр грунта в рамке «Грунты». Далее задают метод расчёта - по NF P 94-282 или по Менарду)
- **китайские стандарты** (метод «т» - задают горизонтальную деформацию возле дна котлована  $v_b$  [mm] и величину модуля возле дна котлована  $A$  [MN/m<sup>3</sup>], выбор **задать** как параметр грунта – метод «с», «к» или «т»)

Рамка «Модуль  $k_h$ » - выбор «задать эпюрой»Рамка «Модуль  $k_h$ » - выбор «прессиометр Менард»

Рамка «Модуль  $k_h$ » - выбор «китайские стандарты»

## Испытания прессиометр

В рамке «Испытания прессиометр» находится таблица со списком заданных прессиометрических испытаний (PMT).



Рамка «Испытания прессиометр»

Результаты прессиометрических испытаний (PMT) можно в программу импортировать с помощью файлов в разных форматах (напр., \*.TXT, \*.CSV, \*.XLSX, \*.ODS).

Данные испытаний PMT можно передавать в рамках программ «Микросвая», «Ограждения котлованов-анализ», «Стабилизирующая свая» и «Стратиграфия» с помощью «Геобуфера».

**Примечание:** Рамка доступна только при условии, что в рамке «Настройка» для модуля реакция подстилающего слоя выбрана опция «прессиометр PMT» (закладка «Расчёт

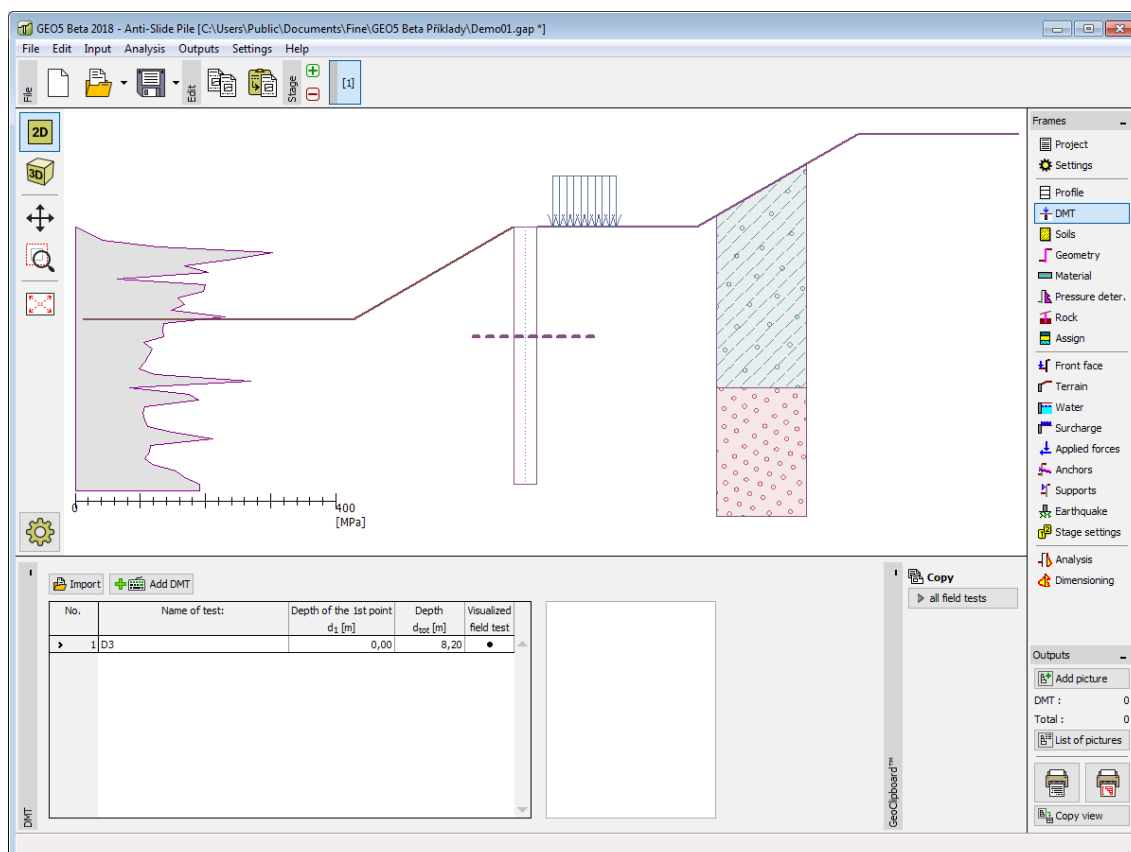


давлений»).

## Испытания DMT

В рамке «Испытания DMT» задаём способ включения **дилатометрического модуля** в программу - или как параметр **грунта** (защёкиваем пункт «Задать  $M_{DMT}$  как параметр грунта»), или путём загрузки **дилатометрического испытания (DMT)**.

После загрузки испытаний в рамке изображена **таблица** со списком заданных **дилатометрических испытаний (DMT)**.



Рамка «Испытания DMT»

Если при обработке **дилатометрического испытания** будут замерены нулевые значения **дилатометрического модуля**  $M_{DMT}$ , программа позволяет автоматическую корректировку ошибки измерения - взамен нулевого значения в расчёт принимается арифметическое среднее ближайших нижнего и верхнего ненулевого значения  $M_{DMT}$ .

Далее, в эту рамку необходимо задать **коэффициент редукции**  $B$ .

Результаты **дилатометрического испытания (DMT)** можно импортировать, нажав кнопку «Импорт» в формате **UNI** (\*.uni).

Данные испытаний DMT можно передавать в рамках программ «Отдельные фундаменты», «Ограждения котлованов-анализ», «Стабилизирующая свая» и «Стратиграфия» с помощью «Геобуфера».

**Примечание:** Рамка доступна только при условии, что в рамке «Настройка» для **модуля**

реакция подстилающего слоя выбрана опция «дилатометр DMT» (закладка «Расчёт давлений»).

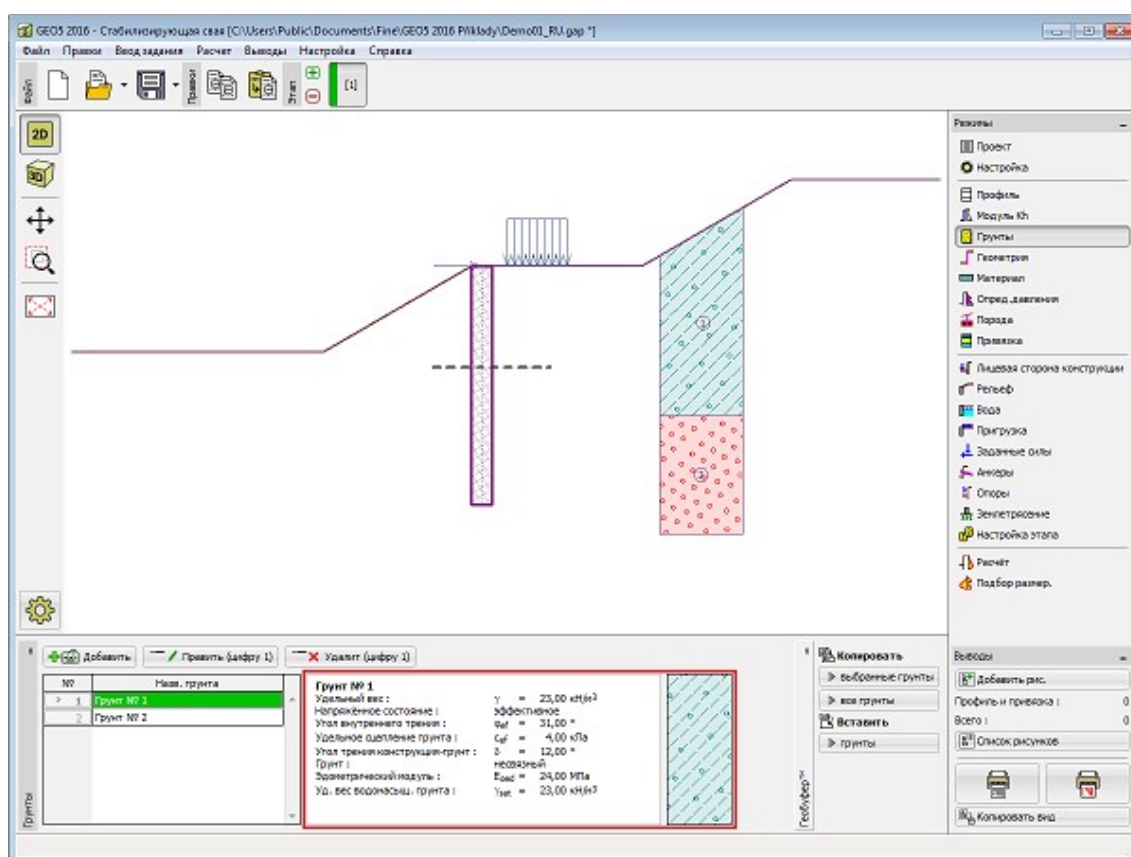
## Грунты

В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. Если в таблице выбрано несколько грунтов, то информация по отдельным грунтам упорядочена в последовательном порядке.

Добавление грунта выполняется в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Базовые данные», «Статическое давление грунта», «Подъёмная сила» и «Модуль реакции подстилающего слоя».

Данные заданных грунтов можно копировать во всех программах GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать **базу данных грунтов** по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных

базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Угол внутреннего трения грунта и коэффициент сцепления задают **эффективным** или **полным** в зависимости от установки в выпадающем списке «Напряжённость».

Выполнять расчёт в **эффективном** или **полном напряжённом** состоянии зависит прежде всего от типа грунта, характера нагрузки, долговечности конструкции и водного режима.

Для **эффективного напряжённого состояния** задают **угол трения между грунтом и конструкцией**, который зависит от материала конструкции и типа грунта.

Ориентировочные значения угла трения между конструкцией и грунтом приводит [таблица рекомендуемых значений](#).

Для **полного (тотального) напряжённого состояния** ещё задают **сцепление грунта со стеной строительной конструкции  $a$** .

Соответствующая теория подробно описана в разделе «[Давление грунта](#)».

**Редактир.парам.грунта**

Идентификация  
Имя : Грунт № 1  
Суглинок с гравием (MG), консистенция полутвёрдая

**Базовые данные**

Удельный вес :  $\gamma =$  23,00 [кН/м³] 19,0

Напряжённое состояние : эффективное

Угол внутреннего трения :  $\varphi_{ef} =$  31,00 [°] 26 - 32

Удельное сцепление грунта :  $c_{ef} =$  4,00 [кПа] 4 - 12

Угол трения конструкция-грунт :  $\delta =$  12,00 [°]

Статическое давление  
Грунт : несвязный

Подъёмная сила  
Расчёт взвешив.усилия : стандартный

Уд. вес водонасыщ. грунта :  $\gamma_{sat} =$  23,00 [кН/м³]

Расчёт модуля реакции подстилающего слоя  
коэфф.Пуассона :  $\nu =$  0,35 [-] 0,35

Расчёт осадки : задать E<sub>oed</sub>

Эдометрический модуль : E<sub>oed</sub> = 24,00 [МПа] 16 - 32

Отображение  
Цвет  
Категория узоров  
GEO  
Узор  
Суглинок с гравием

Классификация  
Определить  
Стереть  
OK +   
OK  
Отмена

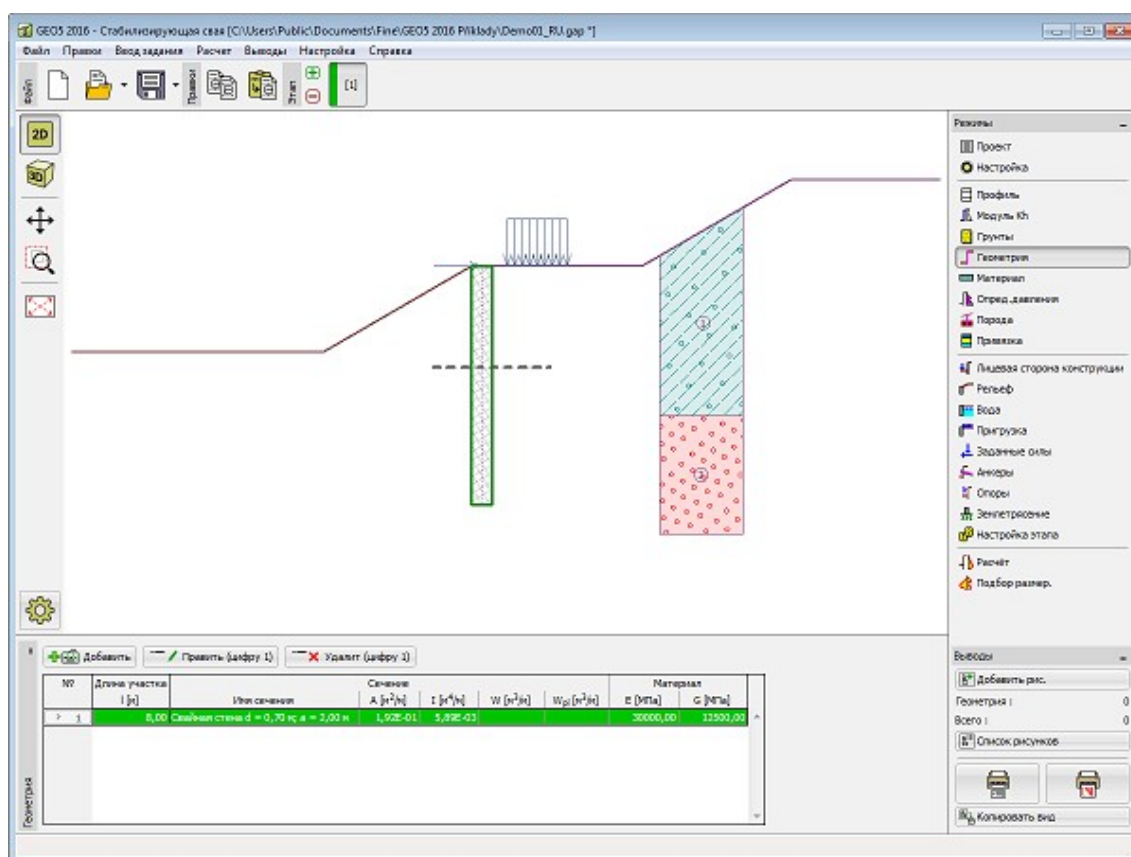
Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Геометрия

В рамке «Геометрия» есть таблица со списком заданных участков конструкции ограждающей стены. Для каждого участка в таблице прописаны характеристики его сечения ( $A$  - Площадь,  $I$  - Момент инерции) и характеристики материала ( $E$  - Модуль упругости,  $G$  - Модуль упругости при сдвиге - у этих величин дан перерасчёт на погонный метр конструкции).

Добавление участков выполняется в диалоговом окне «Создать участок».

Заданные участки можно редактировать на рабочем столе с помощью активных объектов - двойным щелчком на конструкции откроет диалоговое окно с соответствующим участком.



Рамка «Геометрия»

## Материал

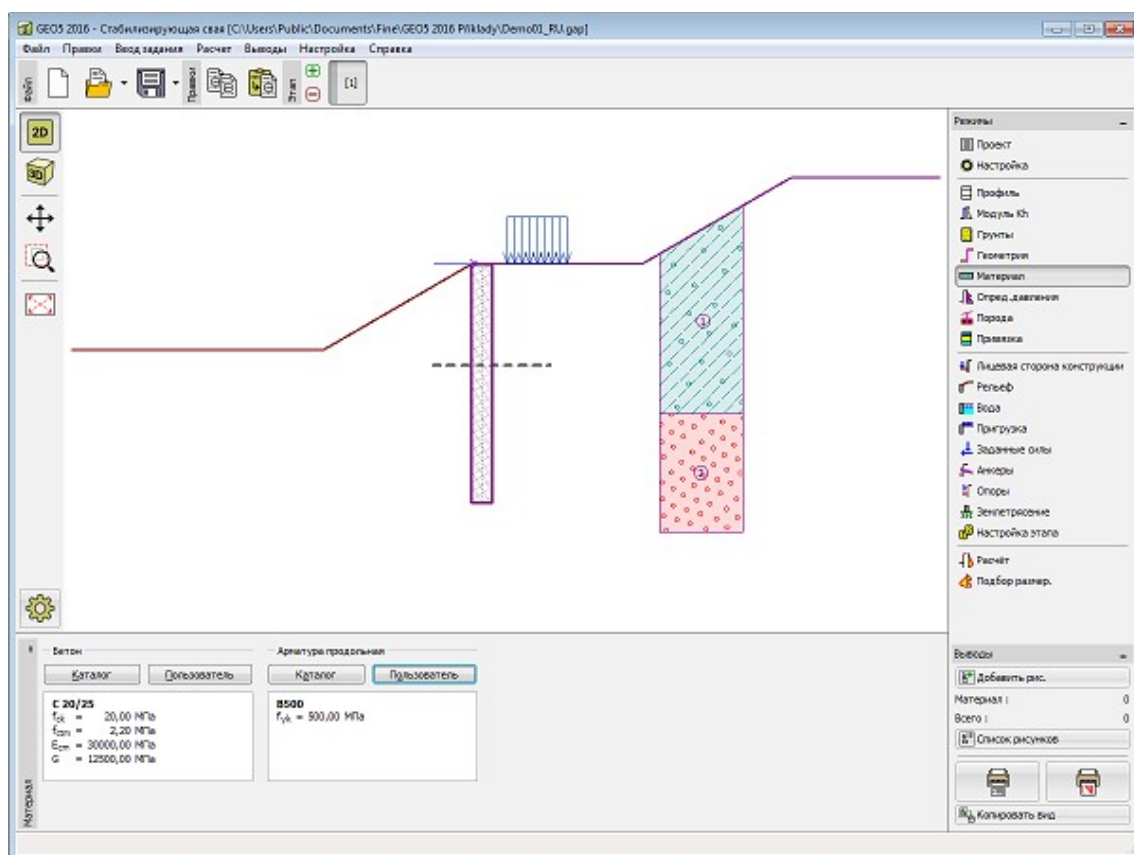
В рамке «Материал» задают характеристики используемого материала. Вид рамки меняется в соответствии с выбранным материалом (**бетон, сталь, древесина, пластмасса**) в рамке «Геометрия».

Для установки параметров материала можно использовать две опции

- кнопкой «Каталог» открыть диалоговое окно «Каталог материалов» и из списка выбрать нужный материал.
- кнопкой «Пользователь» открыть диалоговое окно «Редактор материала» и ввести нужные характеристики материала вручную.

Содержимое каталогов меняется в соответствии с настройкой соответствующего стандарта

по проектированию **бетонных, стальных, деревянных или пластмассовых** конструкций в закладке «Материалы и стандарты».



Рамка «Материал»

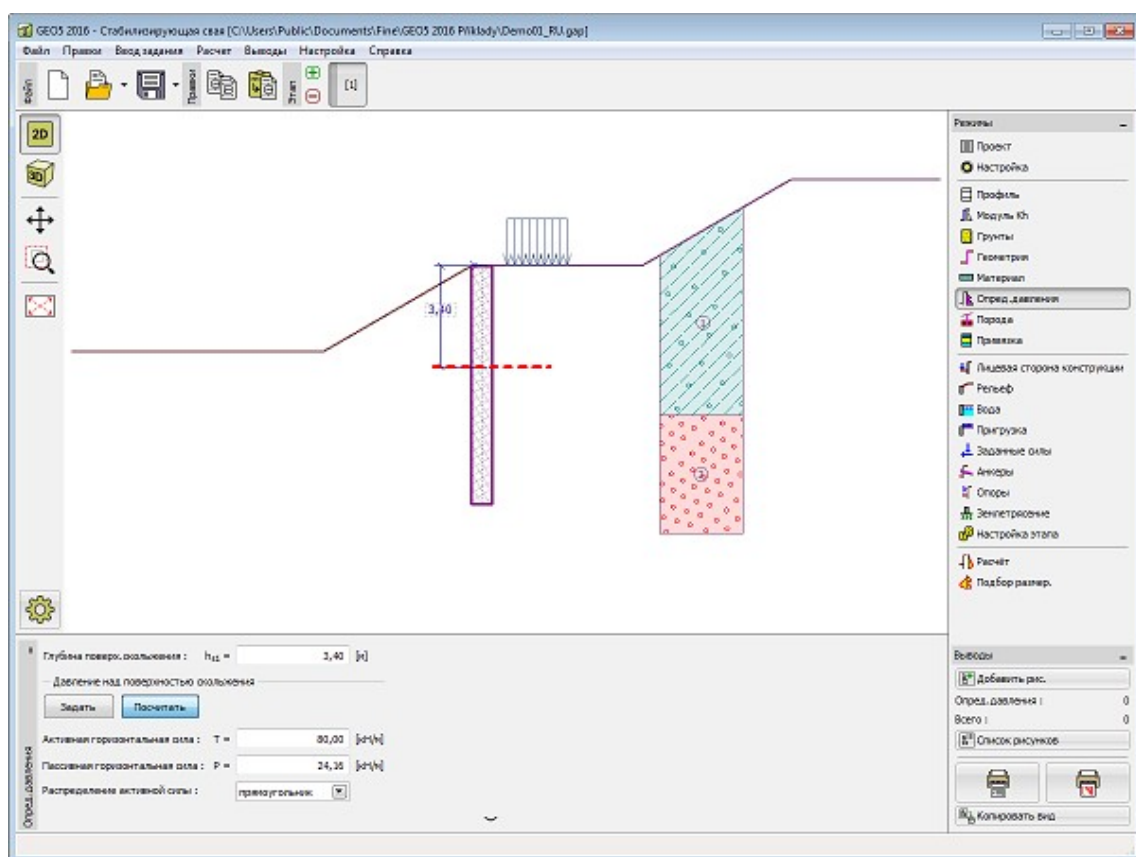
## Определение давления

В **рамку «Определение давления»** задают **глубину поверхности скольжения** и **нагрузку на сваю** над этой поверхностью скольжения.

При стандартном выборе «**Рассчитать**» задают общую активную горизонтальную силу и пассивную горизонтальную силу, которые действуют на конструкцию над поверхностью скольжения и которые создают основную нагрузку на сваи. **Активные и пассивные силы** можно удобно получить путём **расчёта в программе «Устойчивость откоса»** и перенести в программу «**Стабилизирующая свая**». Далее, задают предполагаемую **форму распределения напряжения** за (распределение активной силы) и перед (распределение пассивной силы). Заданные активные и пассивные силы программа в дальнейшем **НЕ ПОДВЕРГАЕТ РЕДУКЦИИ** - следовательно, необходимо их определять в соответствии со стандартами и поправить соответствующим расчётным коэффициентом.

В случае, что силы получены в программе «**Устойчивость откоса**», они соответствуют способу расчёта, на который программа настроена. Напр., при расчёте по Еврокоду EN 1997-1 в программу «**Стабилизирующая свая**» будут переданы уже расчётные значения сил.

Значения общего давления грунта над поверхностью скольжения также можно задать в таблице (при выборе «**Задать**»).



Рамка «Определение давления»

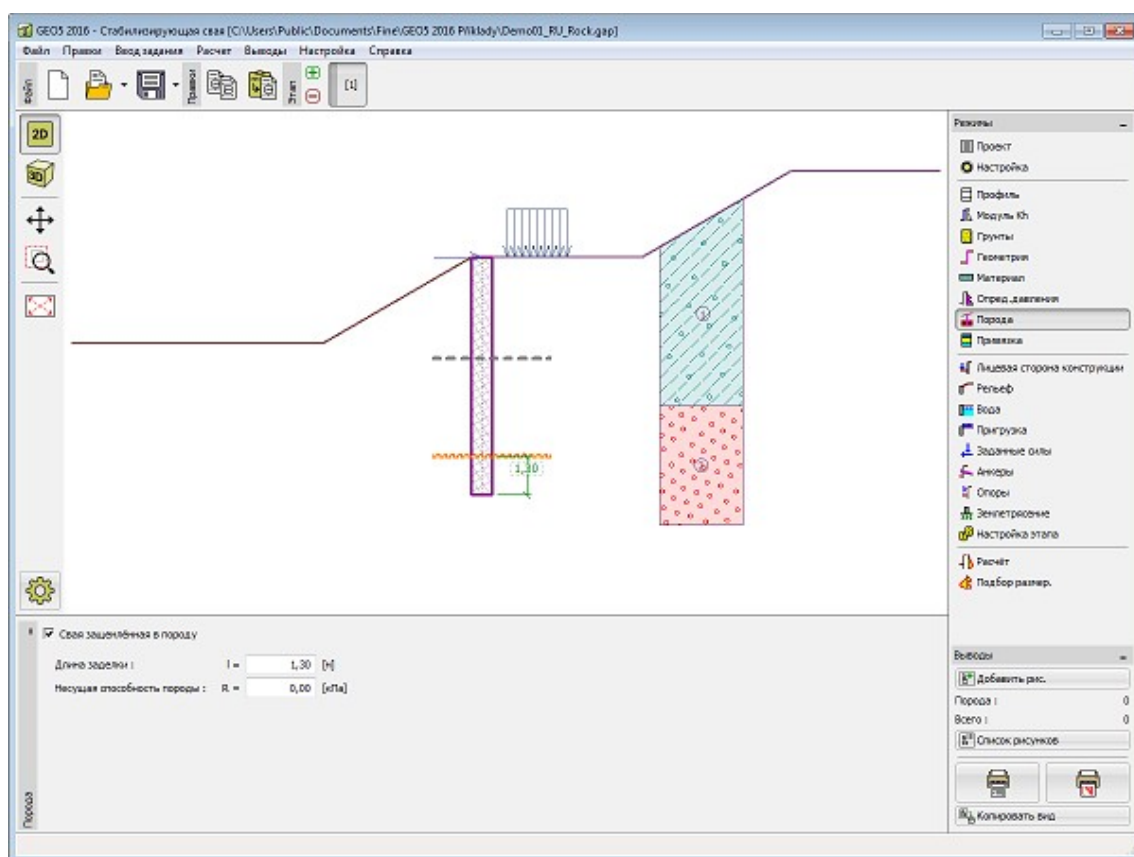
## Порода

В **рамке «Порода»** для **сваи заземлённой в породе** (зачёркнут выбор в нижней части рабочего стола) задают длину заделки  $l$  [м] и **несущую способность породы**  $R$  [МПа].

В данном случае максимальное значение напряжения не рассматривается как пассивное давление - модель породы представляет упругую посадку, где напряжение может принимать какое-либо значение. В рамке «**Расчёт**» программа проверяет **рассчитанное напряжение** на не превышение **рассчётной прочности породы**. Активное давление породы принимается нулевым.

Примеч.: Место заземления сваи в породе чаще всего соответствует также расположению поверхности скольжения; такой вариант следует всегда проверить в случае наличия породного массива.





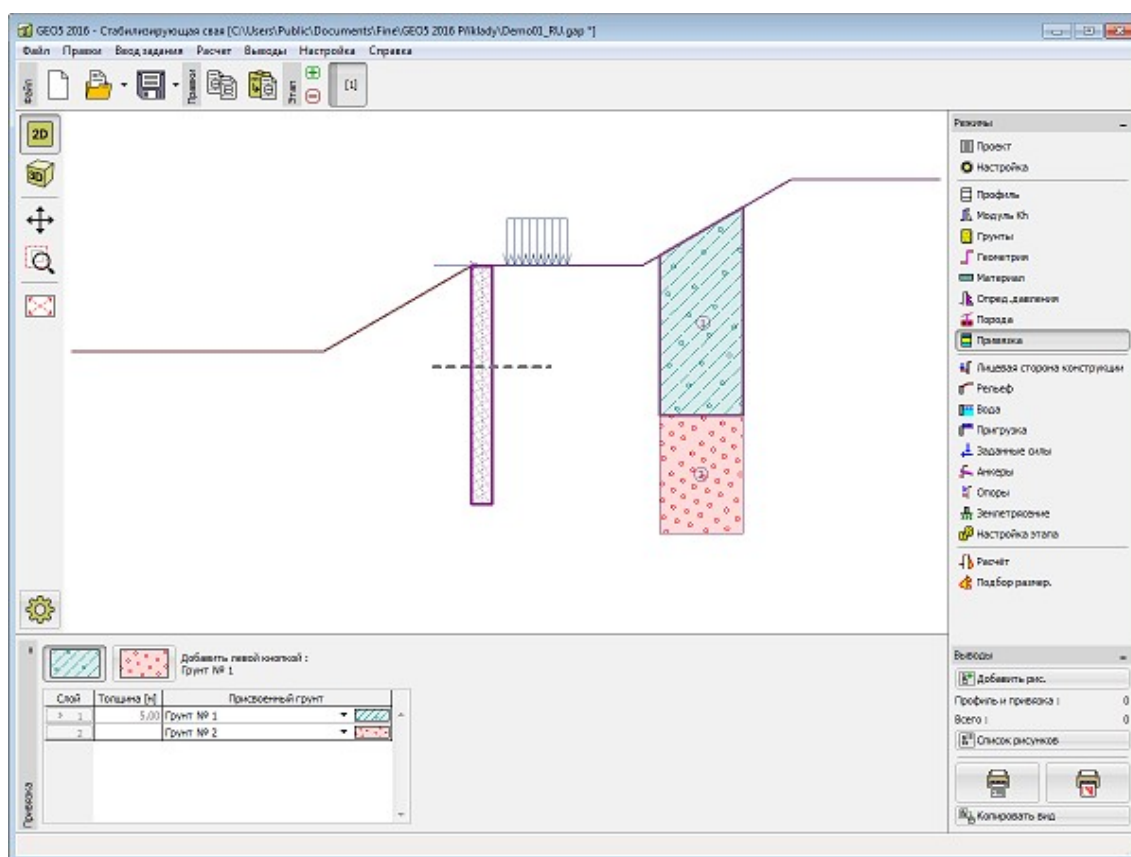
Рамка «Порода»

## Привязка

В **рамке «Привязка»** есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).



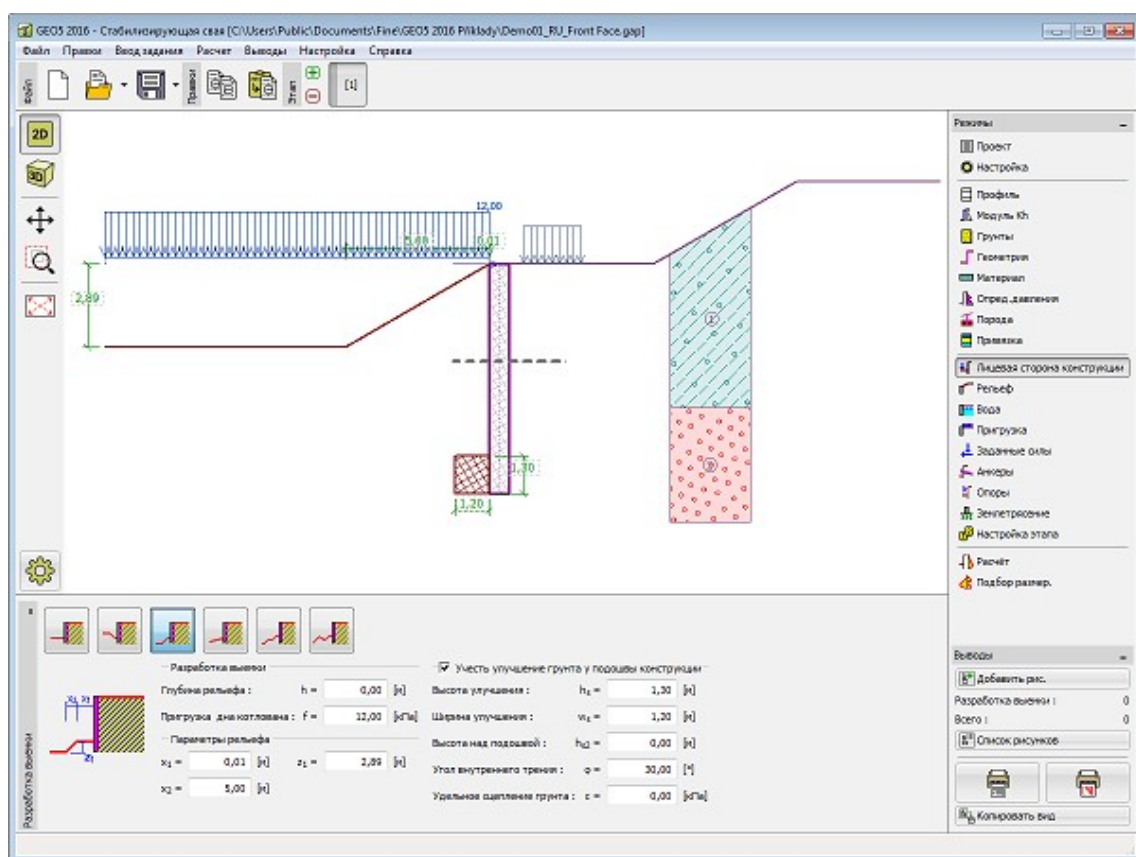


Рамка «Привязка»

## Лицевая сторона конструкции

В **рамке «Лицевая сторона конструкции»** выбирают форму рельефа перед лицевой стороной конструкции. Выбранный рельеф с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Размеры конструкции можно править или в рамке путём ввода значений в поля ввода, или на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

В рамке можно задать тоже **улучшение грунта у подошвы конструкции**. Принцип расчёта подробно описан [здесь](#).



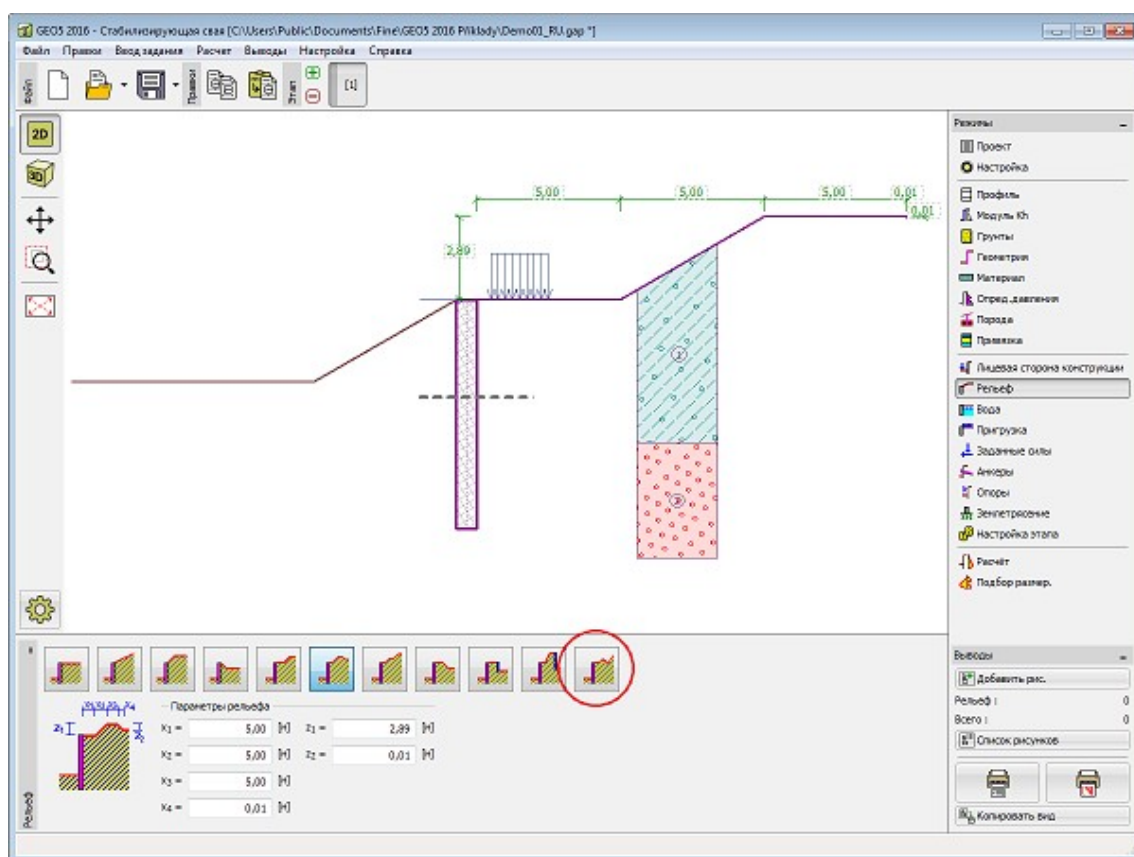
Рамка «Лицевая сторона конструкции»

## Рельеф

В **рамке «Рельеф»** нажатием кнопки выбираем форму рельефа. Выбранная форма с графической подсказкой («**Схема параметров**») заданных значений отображается в левой части рамки. Редактировать форму рельефа можно - или в рамке (вводим значения в поля ввода), или на рабочем столе (при помощи **активных отметок**).

Последний пункт выбора в меню - это общая форма рельефа: в рамке имеется таблица со списком пунктов (точек) на местности. Первый пункт рельефа с координатой [0,0] лежит на верхней точке конструкции.

Расчёт давлений грунта в случае наклонного участка местности описан в теоретической части подсказки «**Распределение давления грунта при пересечённой местности**».

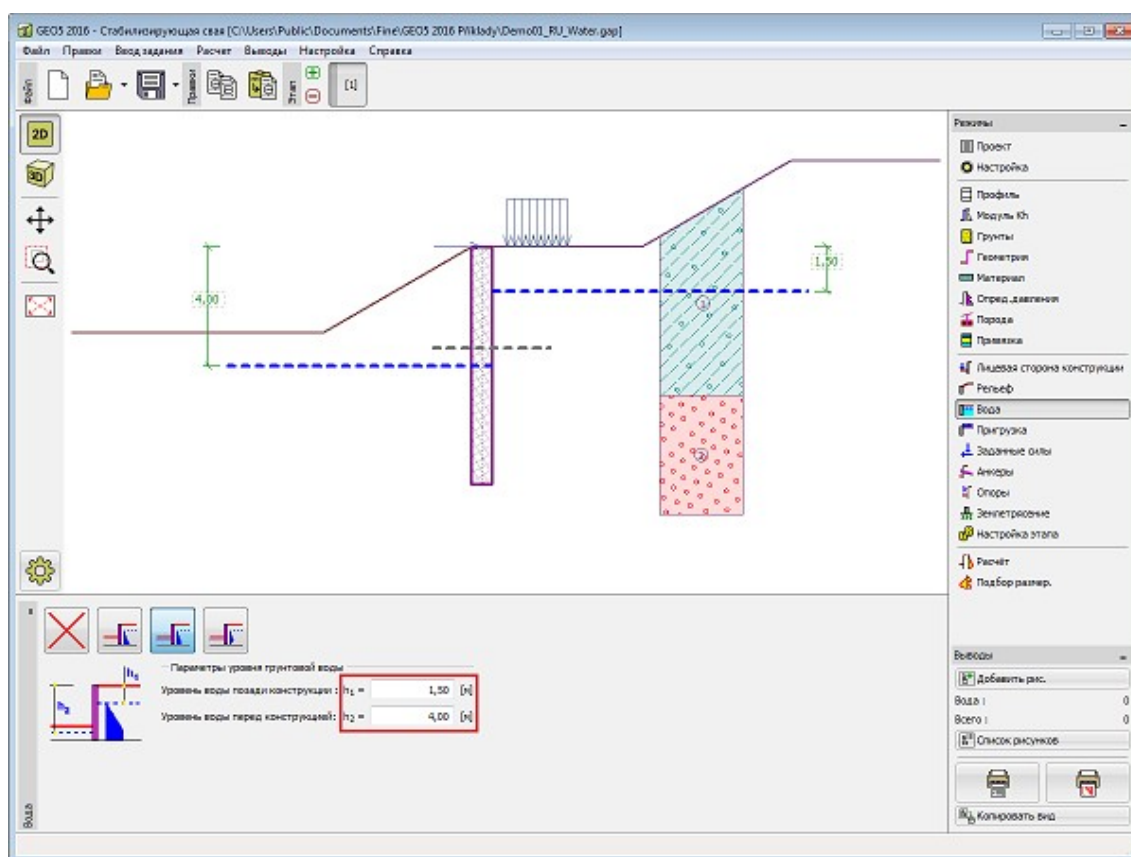


Рамка «Рельеф»

## Вода

В **рамке «Вода»** нажатием кнопки выбираем тип воды. Выбранный тип с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Параметры воды ( $h_1$ ,  $h_2$ ...) можно редактировать или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

Расчёт давлений грунта с воздействием воды описан в теоретической части подсказки «**Воздействие воды**».



Рамка «Вода»

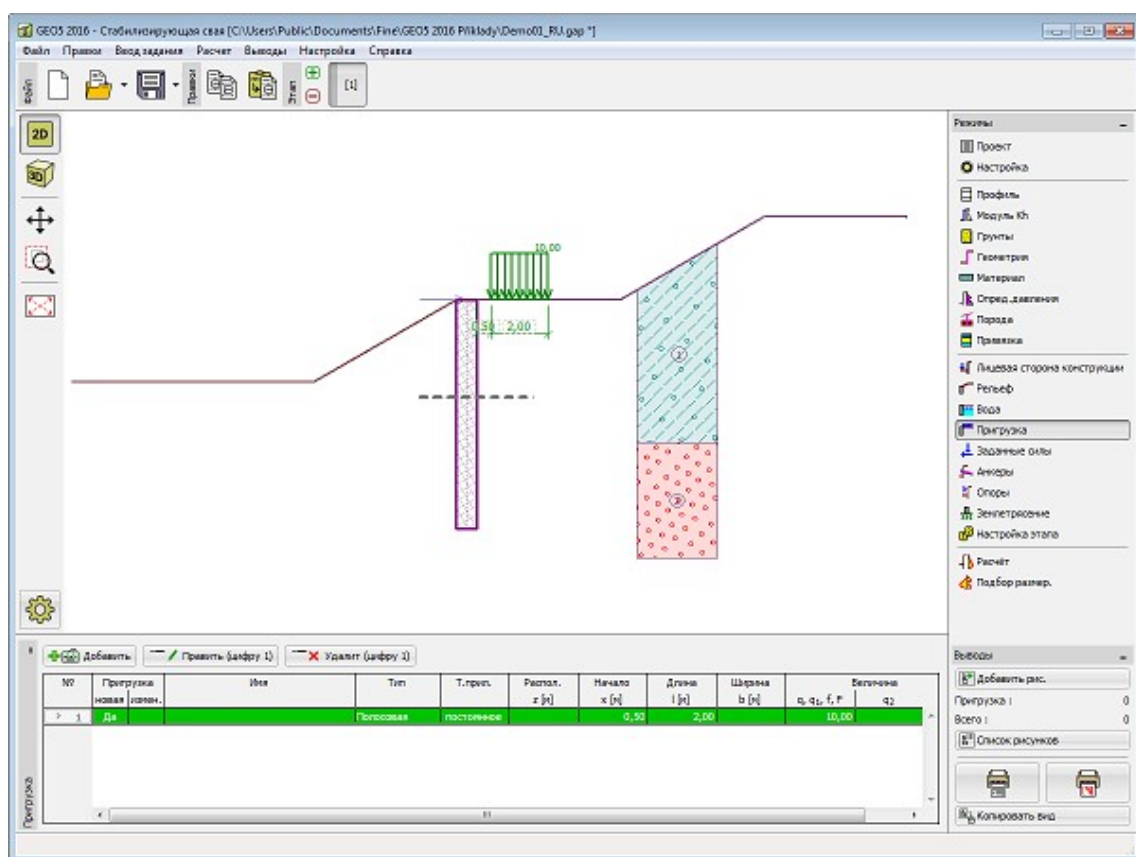
## Пригрузка

В рамке «**Пригрузка**» есть таблица со списком заданных пригрузок. Добавление пригрузки выполняется в диалоговом окне «**Создать пригрузку**». Редактировать заданную пригрузку можно также на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

Вместе с вводом пригрузки на глубине нужно задать координату  $z$  от верхней точки конструкции, с положительным знаком в глубину. В случае, что пригрузка задана вне пределов местности, программа перед выполнением расчёта даст сообщение об ошибке.

Пригрузку можно задавать **постоянной, переменной** или **случайной**. В зависимости от типа воздействия пригрузки результирующее воздействие умножается на соответствующий расчётный коэффициент. Случайная пригрузка с положительным воздействием в расчёт не принимается.

Расчёт давлений грунта от пригрузки описан в теоретической части подсказки «**Воздействие пригрузки**».



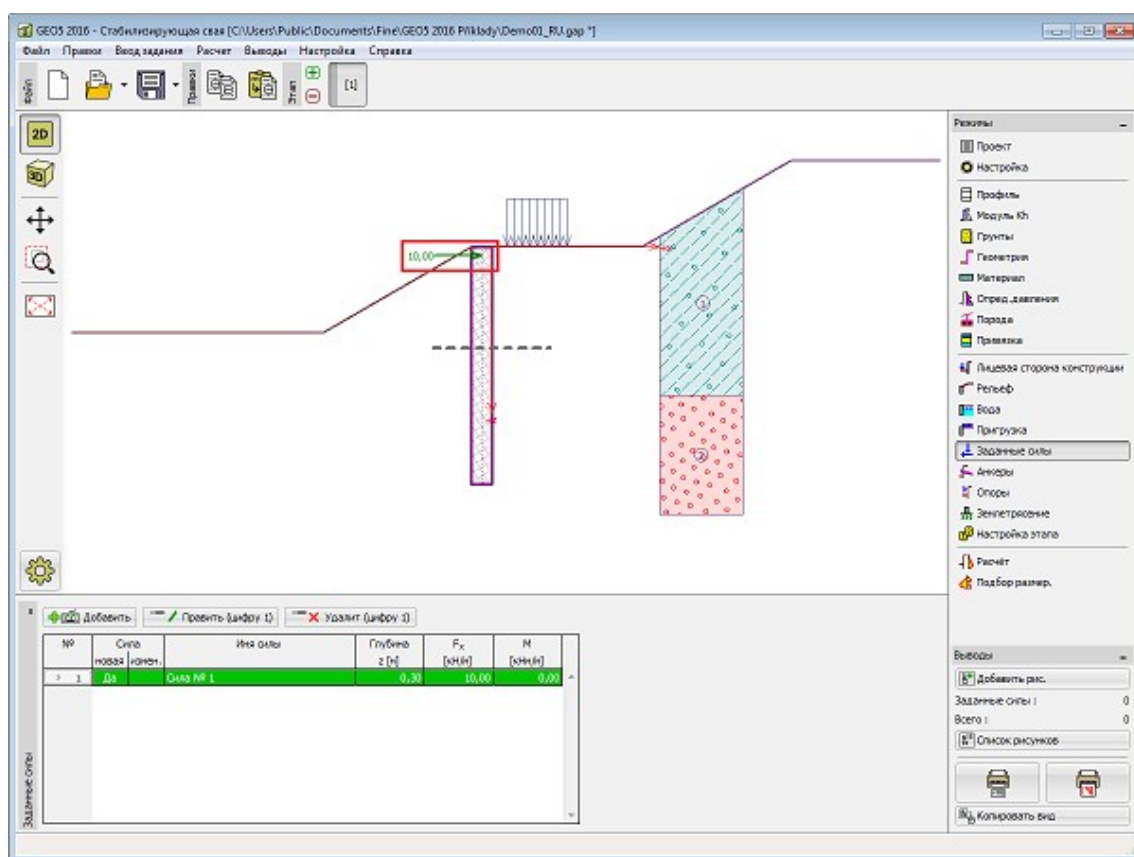
Рамка «Пригрузка»

## Заданные силы

В **рамке «Заданные силы»** есть **таблица** со списком заданных сил, действующих на конструкцию. **Добавление** сил выполняется в **диалоговом окне «Создать силу»**. Редактирование заданных сил можно также выполнять на рабочем столе с помощью **активных объектов**.

**Заданными силами** разумеется дополнительная нагрузка действующая на конструкцию стены, ограждения, укрепленной (армированной) насыпи. Заданными силами можно моделировать, напр., заанкерование колёсоотбойных дорожных ограждений, удар транспортного средства, нагрузку от рекламных щитов (билбордов) и т.п. Программа заданные силы в расчёте дальше не меняет.

Наружную нагрузку приложенную к грунту или к поверхности территории нужно моделировать как **пригрузку**.



Рамка «Заданные силы»

## Анкеры

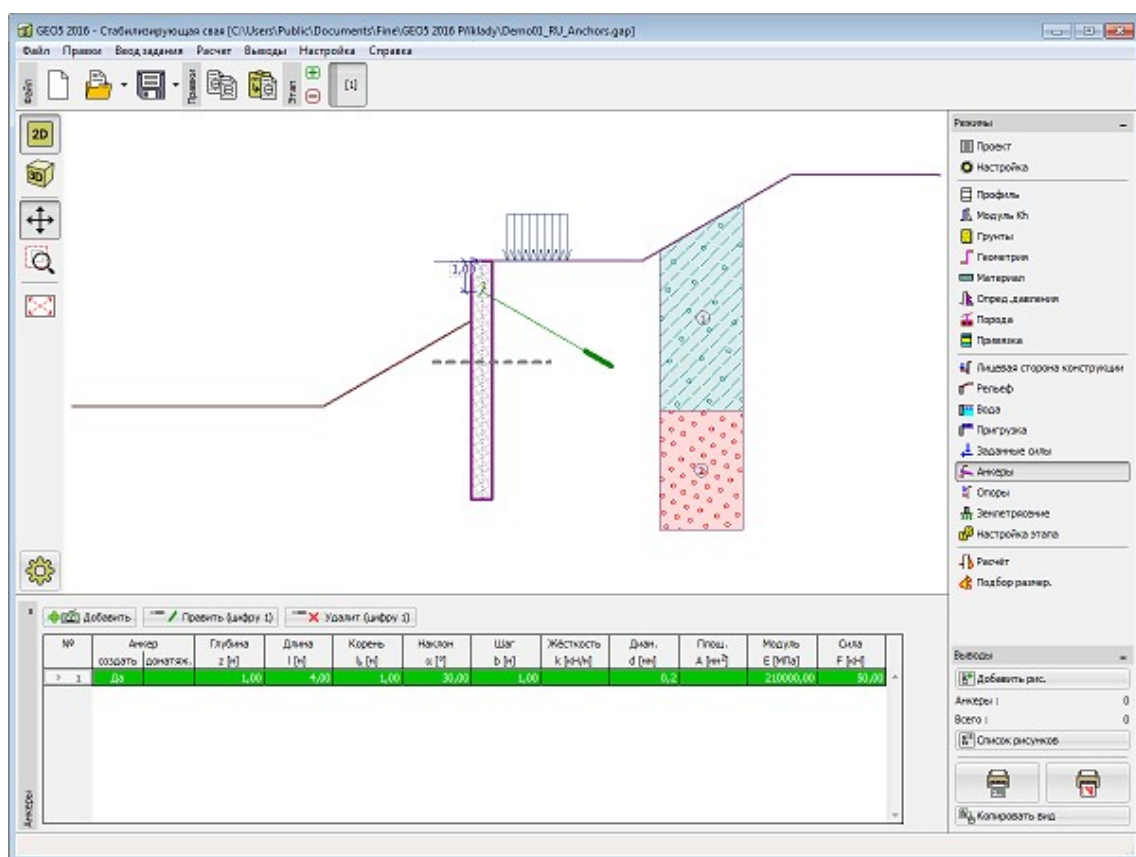
В рамке «**Анкеры**» находится таблица со списком заданных анкеров. Добавление анкеров производится в диалоговом окне «**Создать анкер**». Заданные анкеры можно редактировать на рабочем столе с помощью активных объектов.

Задание анкера выполняются автоматически на **деформированную конструкцию** (от предыдущего этапа проектирования).

Анкеры можно задавать как предварительно напряжённые (без определения, стержневые предварительно напряжённые, прядевые) и без предварительной натяжки (типа Helix, стержневые ненапрягаемые, анкерные тяги). **Жёсткость предварительно напряжённых анкеров** сказывается в самом расчёте только на последующих этапах проектирования. Под влиянием деформации конструкции меняются силы во всех типах анкеров.

На **последующих этапах** редактировать анкеры уже нельзя, можно только сделать **дополнительную натяжку** до новых напряжений.





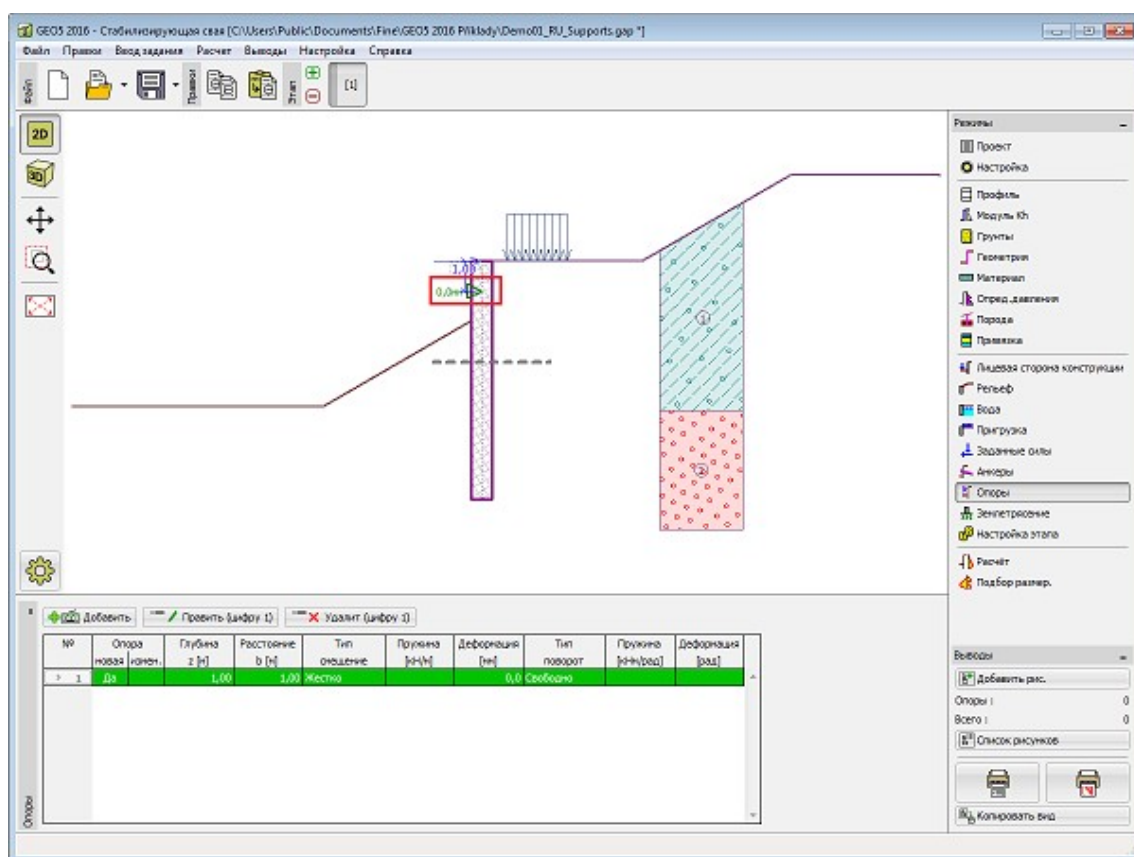
Рамка «Анкеры»

## Опоры

В рамке «**Опоры**» находится таблица со списком заданных опор. Добавление опор производится в диалоговом окне «**Создать опору**». Заданные опоры можно редактировать также на рабочем столе с помощью активных объектов (размерных чисел).

Задают расположение опоры (глубину  $z$ ), шаг опор  $b$  и, далее, тип смещения и поворота (свободное, жёсткое, пружина, вынужденная деформация). Задание опоры выполняется автоматически на деформированной конструкции (от предыдущего этапа проектирования). На последующих этапах уже нельзя редактировать опоры, можно только задавать вынужденную деформацию.





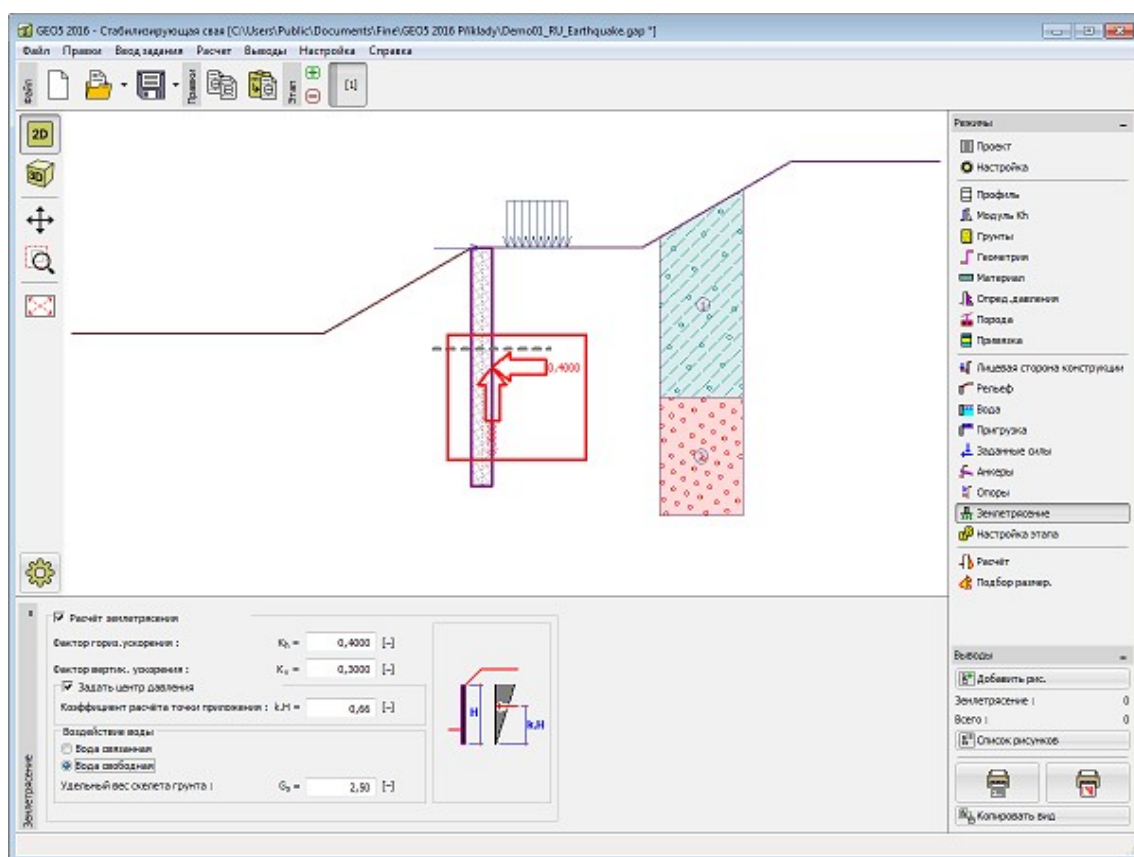
Рамка «Опоры»

## Землетрясение

В **рамку «Землетрясение»** задают параметры сеймики. Направления заданных сейсмических воздействий отображены на рабочем столе.

В случае отсутствия коэффициентов  $k_h$  и  $k_v$  полученных в результате измерений, проводят дополнительный расчёт способом указанным в EN 1998-5.

Расчёт давлений грунта с воздействием землетрясения описан в теоретической части подсказки «**Воздействие землетрясения**».



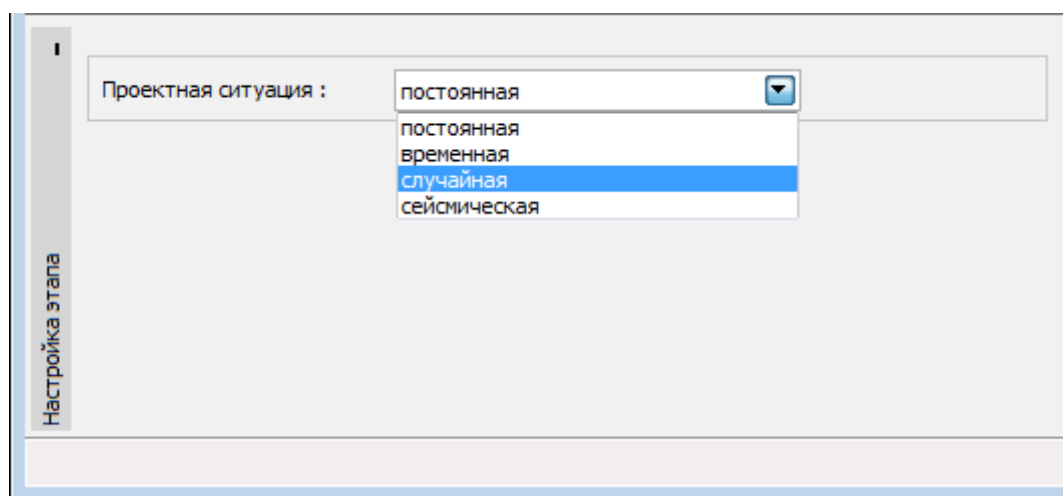
Рамка «Землетрясение»

## Настройка этапа

В **рамку «Настройка этапа»** задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования.

Внешний вид рамки зависит от выбора **методики проверки**.



*Рамка «Настройка этапа»*

## Расчёт

В **рамке «Расчёт»** отображены результаты **расчёта стабилизирующей сваи**. После переключения в этот режим расчёт будет автоматически выполнен.

В нижней части окна выписаны максимальные **значения внутренних сил и деформации сваи**. У свай **заделанных в породу** выполняется проверка **несущей способности породы на сжатие**.

Рамка предлагает три опции отображения результатов расчётов, их можно переключать переключателем в правой части рамки:

### **Модуль реакции подстилающего слоя + Давления грунта**

В левой части рабочего стола вырисована (обычно синим цветом со штриховкой) эпюра **модуля реакции подстилающего слоя**. Как следует из принципа **метода зависимых давлений**, некоторые пружины (значения модуля реакции подстилающего слоя в точках) в расчёте опущены или равняются нулю. Если не задано достаточное количество граничных условий (анкеры, опоры) и давление грунта перед и за конструкцией достигло предельных значений (активное или пассивное давление) то **задача** является **нестабильной**. Программа не находит решения и сообщает об этом в нижней части рамки - в таком случае необходимо **менять задание конструкции** - (напр., ввести анкер, уменьшить глубину выемки, улучшить параметры грунтов и пр.).

В правой части окна (обычно зелёной штрихованной линией) вырисованы эпюры предельных давлений (**пассивного давления, статического давления и активного давления**). Сплошной синей линией вырисована **реальная эпюра давления на конструкцию**.

В правой части рабочего стола вырисована **деформированная** (обычно красной толстой линией) и недеформированная конструкция. Здесь отображены силы и деформации в анкерах, опорах и распорках

### **Момент + Сдвигающая сила**

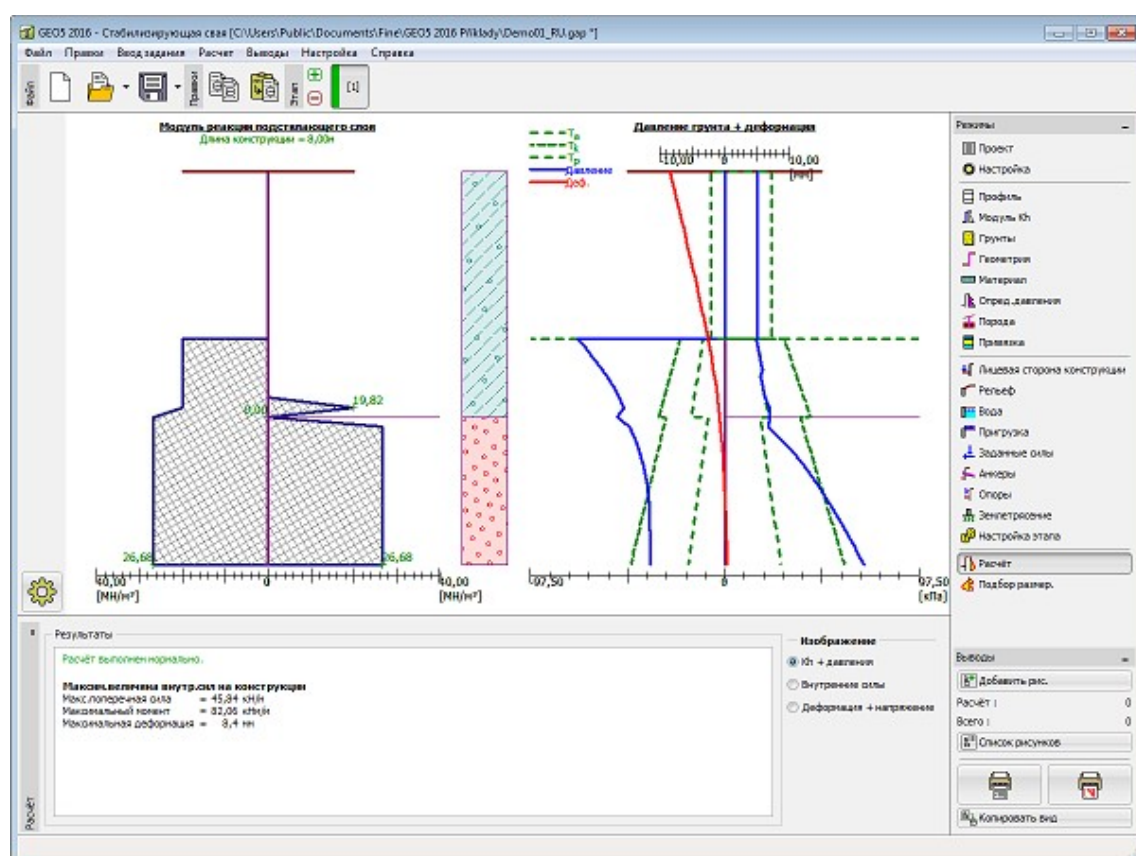
В левой части рабочего стола нарисована схема конструкции. В правой части вырисована эпюра изгибающего момента и сдвигающей силы.

### **Деформация + Напряжение**

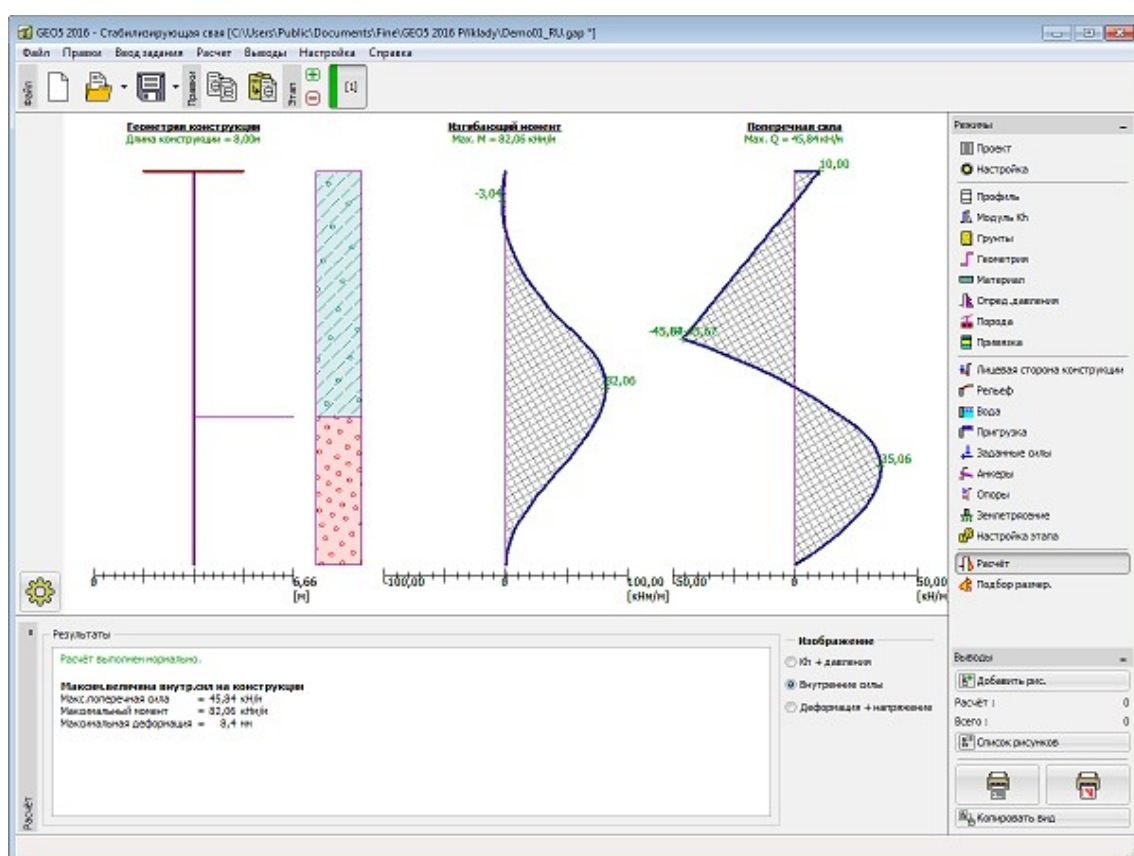
В левой части рабочего стола нарисована схема конструкции с силами в анкерах, реакциями и деформациями опор и распорок. В правой части зарисована эпюра деформации конструкции и общего давления, приложенного к **ограждающей стене**.

В случае итерации модуля реакции подстилающего слоя, **ход ручной итерации** необходимо проверять в диалоговом окне **«Итерация»**. Подробная информация описана в теоретическом разделе справки **«Модуль реакции подстилающего слоя определенный итерацией»**.

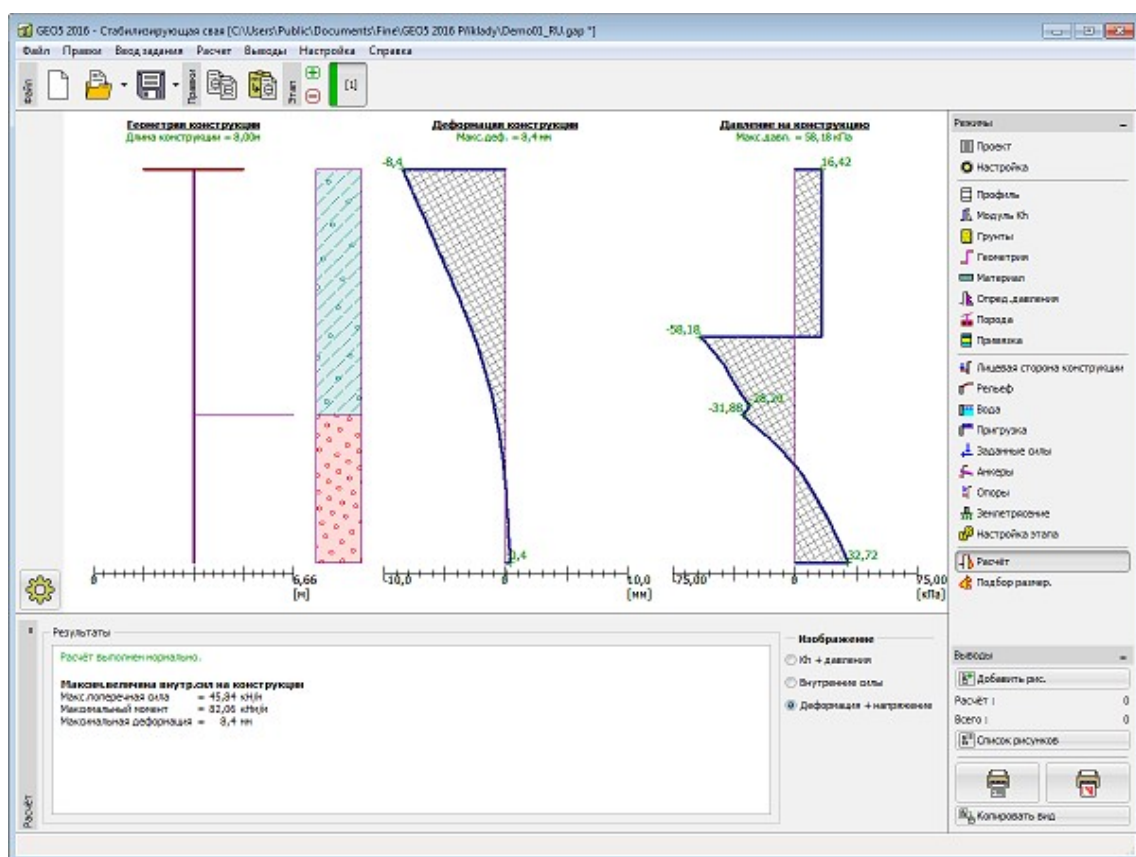
Стиль рисунка можно менять в рамке **«Настройка рисования»**.



Рамка «Расчёт» - модуль реакции подстилающего слоя и давления грунтов



Рамка «Расчёт» - внутренние силы



Рамка «Расчёт» - деформация и напряжение

## Подбор размеров

В рамке «Подбор размеров» можно показывать огибающую внутренних сил и деформаций сквозь все расчёты (этапы проектирования). Огибающая стандартно составлена из всех этапов проектирования, но её тоже можно составить только по выбранным этапам. Кнопка «Изменить» открывает диалоговое окно «Выбор этапов», в котором кнопками выбираем отдельные этапы проектирования для составления текущей огибающей.

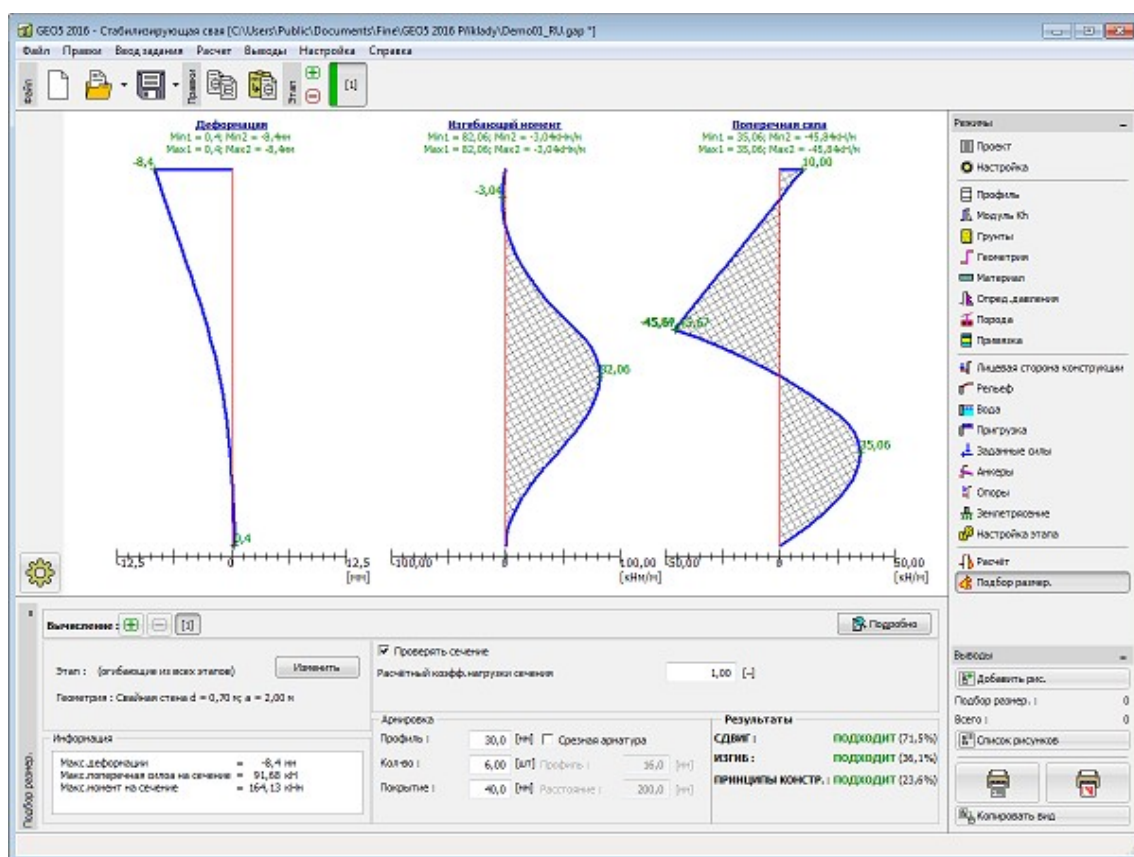
Максимальные значения расчётных внутренних сил (изгибающих моментов и сдвигающих сил), а также величина деформации показаны в нижней части рамки.

Программа позволяет подбирать размеры железобетонных и стальных сечений (галочкой отмечаем пункт «Проверить сечение»). При проверке сечения можно ввести **расчётный коэффициент нагрузки сечения**, который уменьшает общую несущую способность сечения. Величина коэффициента зависит от включения активных и пассивных сил (в рамке «Определение давления») в расчёт. Если они включены как расчётные, то данный коэффициент равен 1,0 а если как стандартные, тогда несущую способность сечения необходимо уменьшить расчётным коэффициентом величиной больше 1,0 (для EN 1997 значение того коэффициента находится в диапазоне 1,35 - 1,5).

В рамке можно выполнять несколько расчётов для подбора размеров сечения. Кнопка «Подробнее» в правой части рамки открывает диалоговое окно «Подбор размеров», в котором отображены подробные результаты.

Стиль рисунка можно менять в рамке «Настройка рисования».





Рамка «Подбор размеров» - железобетонные сечения

## Несущая способность анкеров

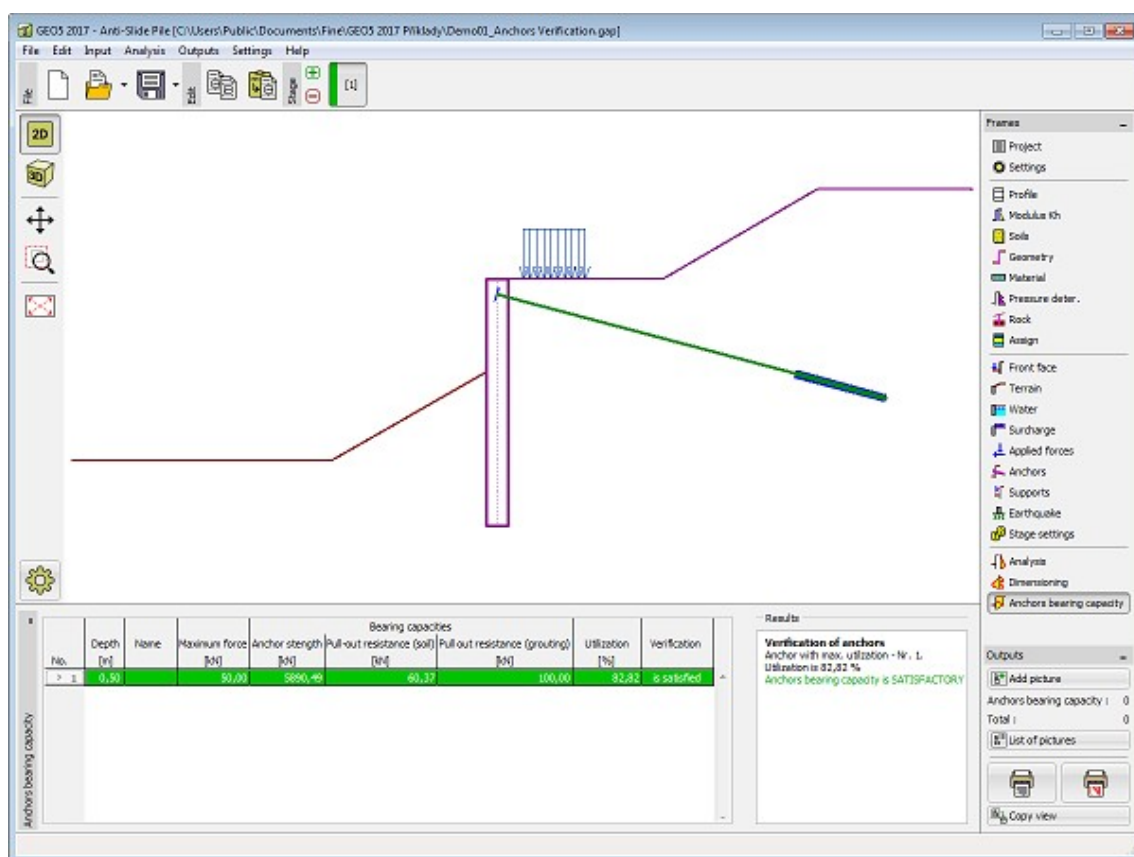
В рамке «Несущая способность анкеров» находится таблица со списком заданных анкеров. В рамке проверяют **общую несущую способность анкеров**. Анкеры проверяются на 3 разных состояния:

- Сопротивление разрыву (Прочность анкера)  $R_t$
- Сопротивление выдёргиванию из грунта  $R_e$
- Сопротивление выдёргиванию из заливки  $R_c$

Расчётные **несущие способности анкеров уменьшаются** соответствующим коэффициентом запаса или же коэффициентом редукции, который задают в рамке «Настройка», закладка «Анкеры». Для удовлетворительной проверки анкеров нужен результат, что ни одно из сопротивлений не может быть меньше, чем максимальное усилие в анкере  $P_{max}$ .

$$\min \left( \frac{R_t}{SF_t}; \frac{R_e}{SF_e}; \frac{R_c}{SF_c} \right) \geq P_{max}$$





Рамка «Несущая способность анкеров»

## Программа Шахта

Программа предназначена для расчёта пространственного давления грунта на круглые шахты и внутренних сил на конструкцию.

**Справка для программы «Шахта» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Геометрия	Профиль	Грунты	Привязка
Вода	Пригрузка	Настройка этапа	Расчёт	Подбор размеров	

- Стандарты и методы расчёта

- Теория расчётов в программе «Шахта»:

Геостатическое напряжение	Ленточная нагрузка ( Активное давление	Сосредоточен ная нагрузка (Активное давление	Линейная нагрузка (Активное давление	Сосредоточен ная нагрузка (Статическое давление	Расчёты в программе Шахта
------------------------------	---	---	---	--	---------------------------------

грунта)      грунта)      грунта)      грунта)

- Справка относительно результатов на **выходе**
- Информация общего характера о работе в **пользовательской среде** программ GEO5
- **Общие операции** для всех програ

## Проект

В **рамку «Проект»** задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой **текстовой и графической информации**.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (**метрическую / дюймовую**). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «**Геобуфера**».

Рамка «Проект»

## Настройка

В **рамку «Настройка»** предназначена для ввода основных «**Настроек**» программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой «**Выбрать настройки**» выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из «**Перечня настроек**».

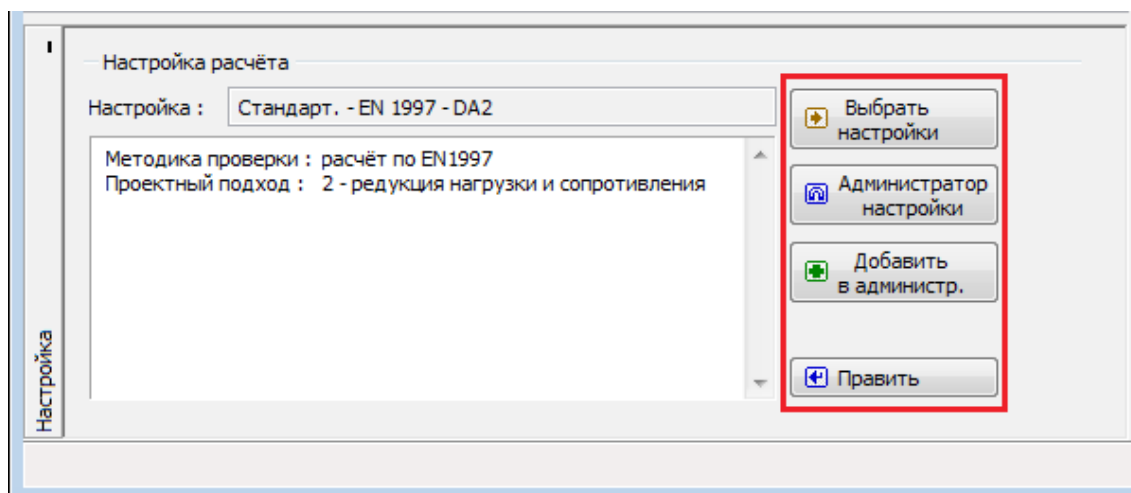
Кнопка «**Администратор настройки**» открывает диалоговое окно «**Администратор настройки**», в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют которая из Настроек будет визуализована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

Кнопка «**Добавить в администратор**» позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка «**Править**» позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в «**Задано для текущей задачи**». После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку «**Добавить в администратор**» и добавляем настройку в «**Администратор настройки**».

Настройка «**Задано для текущей задачи**» обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладке «**Расчёт давлений**».



Рамка «Настройка»

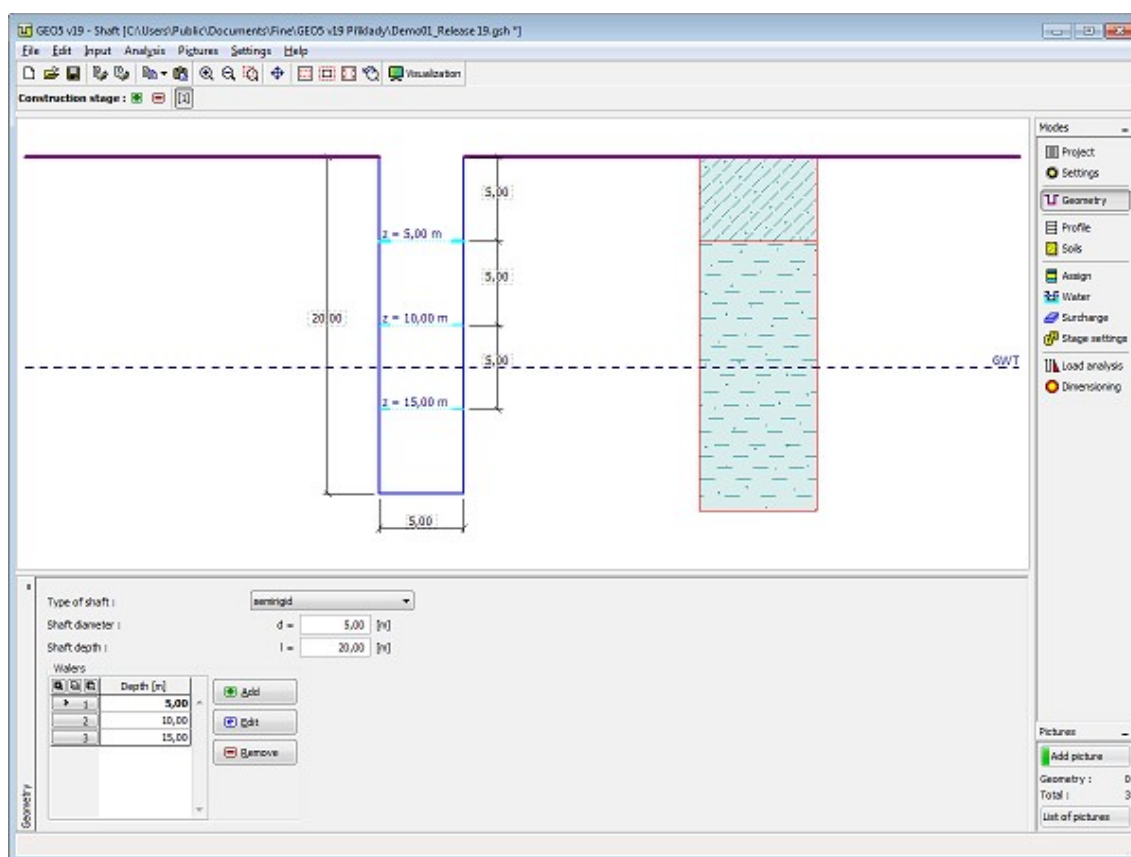
## Геометрия

В **рамке «Геометрия»** задают **тип шахты** (**податливая, полужёсткая, жёсткая**), **диаметр шахты  $d$** , **глубину шахты  $l$**  и **глубину стяжек**.

В рамке находится **таблица** со списком глубин стяжек. **Добавление** отрезков выполняется в **диалоговом окне «Создать стяжку»**.

Размеры конструкции и глубину стяжек можно редактировать или в рамке (вводим значения в поля ввода), или на рабочем столе с помощью **активных отметок**.

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.



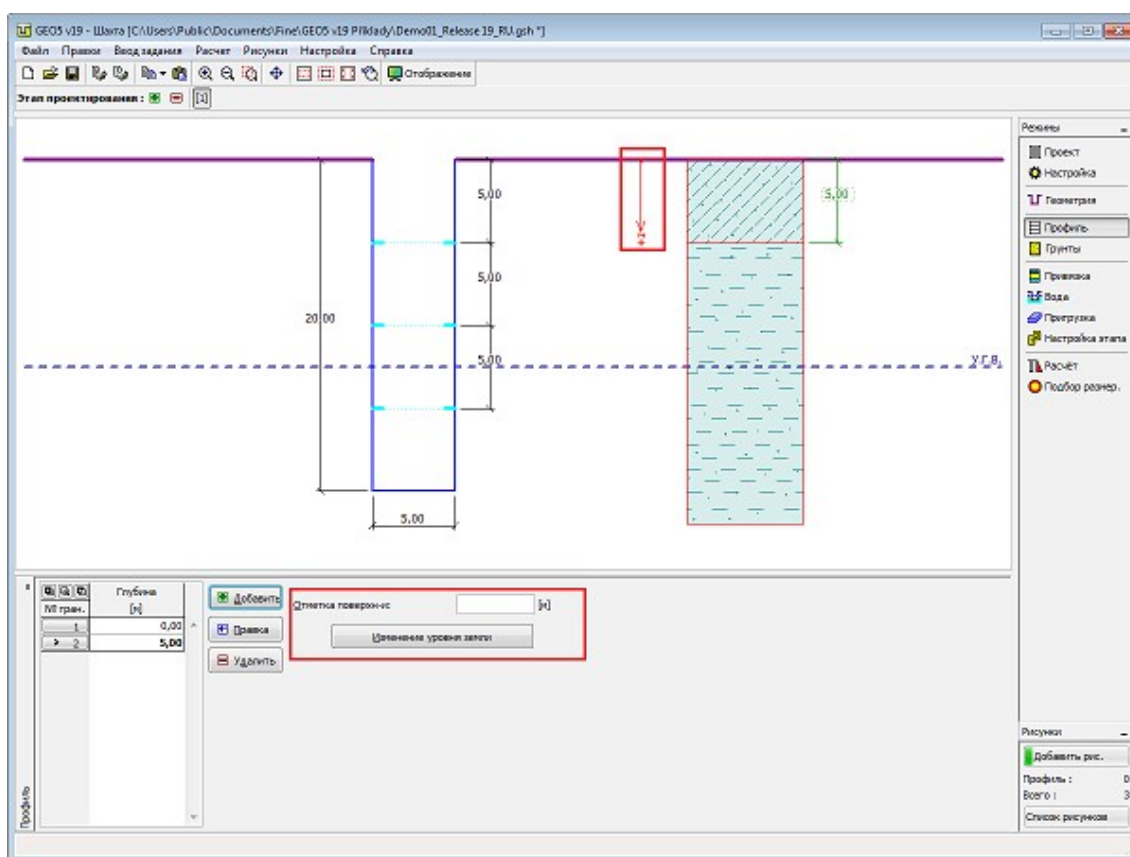
Рамка «Геометрия»

## Profile

В рамке «Профиль» есть таблица со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи активных отметок (размерных чисел).

Добавление границы выполняется в диалоговом окне «Создать границу контура». Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне «Изменение уровня земли» и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы «Рельеф».



Рамка «Профиль»

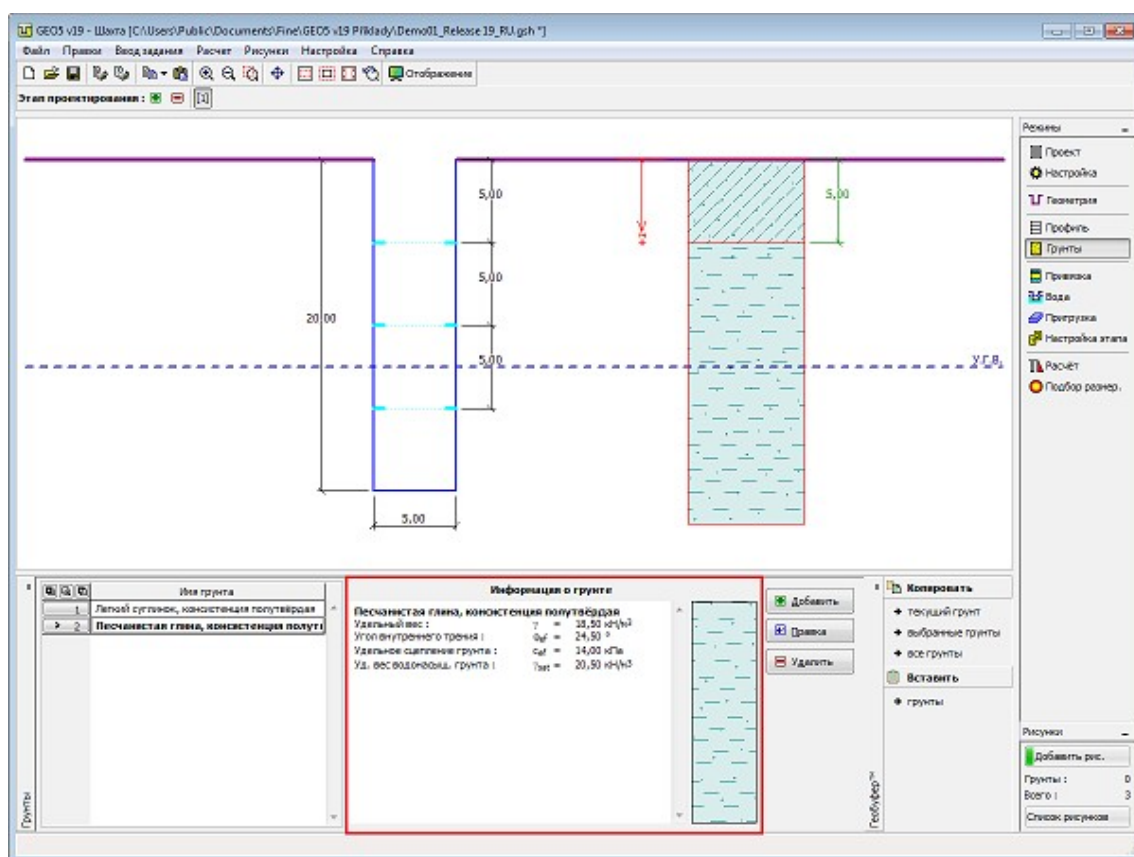
## Грунты

В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. Если в таблице выбрано несколько грунтов, то информация по отдельным грунтам упорядочена в последовательном порядке.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Базовые данные» и «Подъёмная сила».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать **базу данных грунтов** по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Соответствующая теория подробно описана в разделе «[Давление грунта](#)».

The screenshot shows a software dialog box titled "Добавление новых грунтов" (Adding new soils). It has a tabbed interface with "Идентификация" (Identification) and "Базовые данные" (Basic data) tabs. The "Базовые данные" tab is active and highlighted with a red rectangle. It contains input fields for soil properties: specific weight ( $\gamma = 18,50$  [кН/м<sup>3</sup>]), internal friction angle ( $\varphi_{ef} = 24,50$  [°]), cohesion ( $c_{ef} = 14,00$  [кПа]), and saturated unit weight ( $\gamma_{sat} = 20,50$  [кН/м<sup>3</sup>]). The "Подъёмная сила" (Buoyancy) section has a dropdown set to "стандартный" (standard). On the right, the "Отображение" (Display) section shows a color bar, a pattern category dropdown set to "GEO", and a pattern preview for "Песчаная глина" (Sandy clay). The "Классификация" (Classification) section has buttons for "Определить" (Determine), "Стереть" (Erase), "Добавить" (Add), and "Отмена" (Cancel).

Добавление новых грунтов

Идентификация

Имя : Песчанистая глина, консистенция полутвёрдая

Třída F4, konzistence tuhá

**Базовые данные**

Удельный вес :  $\gamma = 18,50$  [кН/м<sup>3</sup>] 18,5

Угол внутреннего трения :  $\varphi_{ef} = 24,50$  [°] 22-27

Удельное сцепление грунта :  $c_{ef} = 14,00$  [кПа] 10-18

Подъёмная сила

Расчёт взвешив. усилия : стандартный

Уд. вес водонасыщ. грунта :  $\gamma_{sat} = 20,50$  [кН/м<sup>3</sup>]

Отображение

Цвет

Категория узоров GEO

Узор

Песчанистая глина

Классификация

Определить

Стереть

Добавить

Отмена

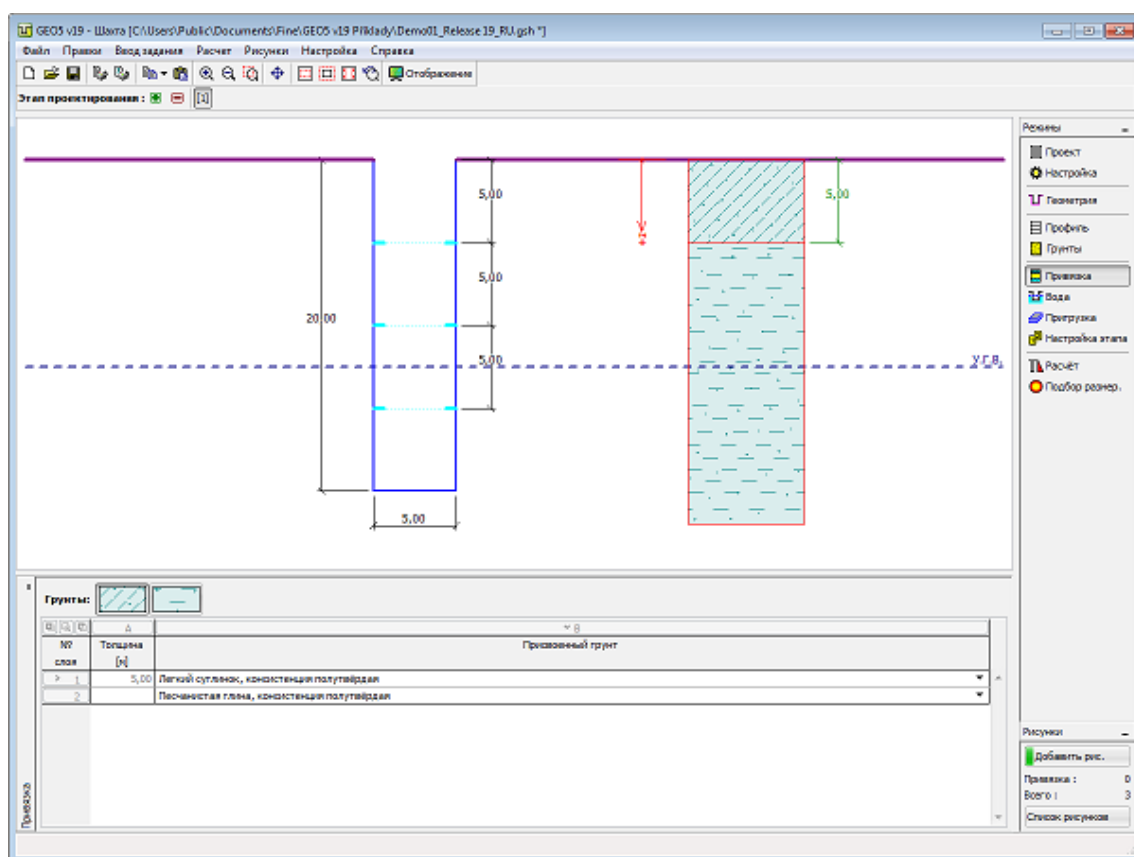
Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В рамке «Привязка» есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).





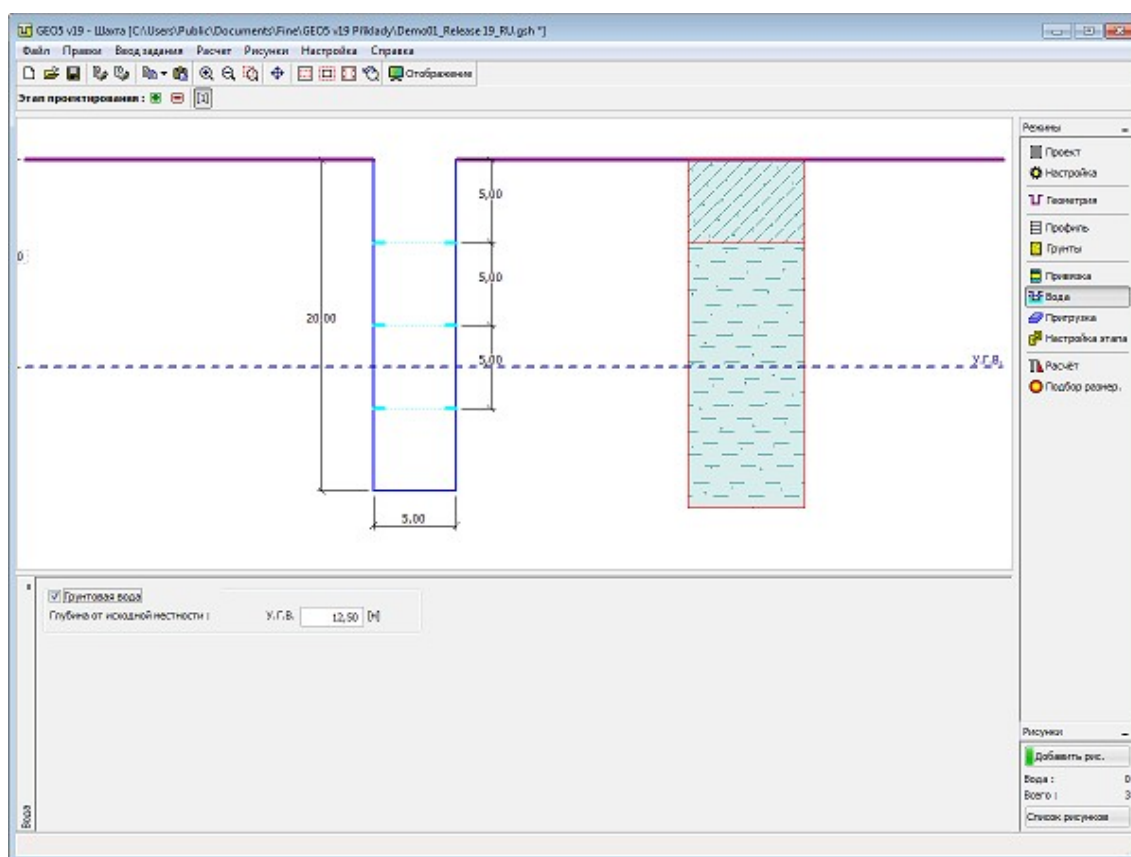
Рамка «Привязка»

## Вода

В рамку «Вода» задают **глубину уровня грунтовой воды**.

Редактирование данных возможно или в рамке (значения вводим в вводные поля, или на рабочем столе с помощью **активных отметок**.

**Влияние воды** показывает изменение **геостатического напряжения**.



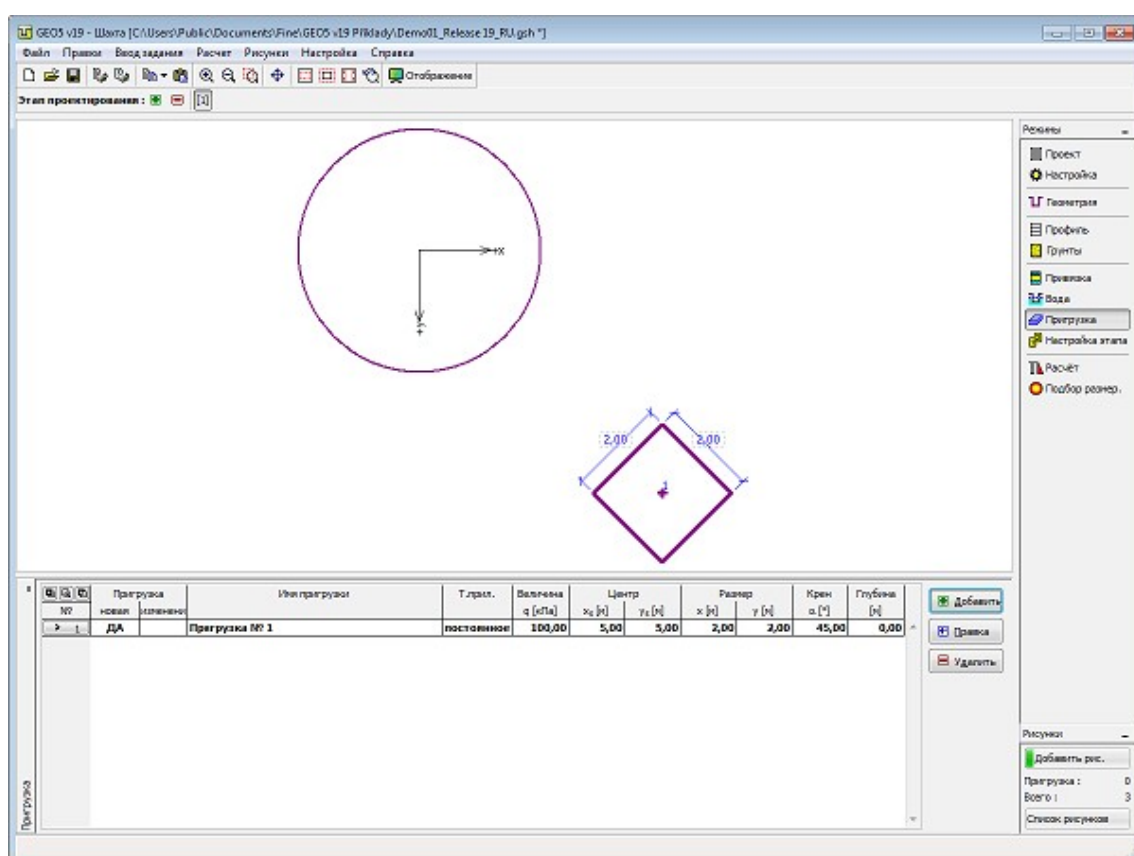
Рамка «Вода»

## Пригрузка

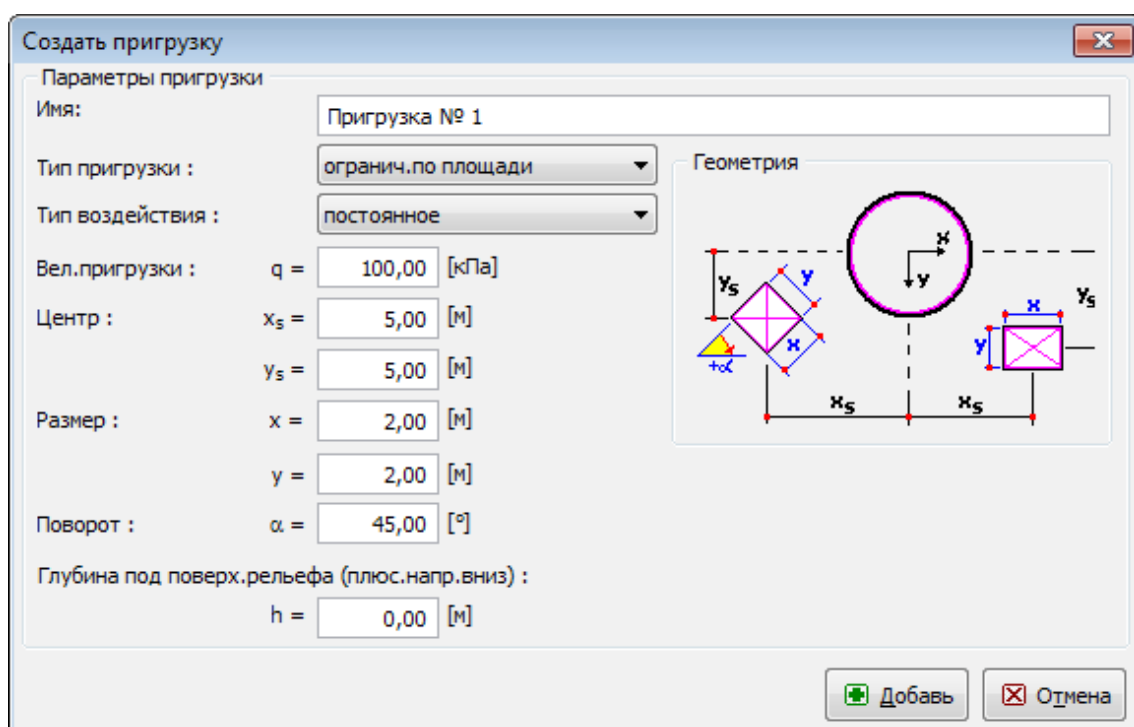
В **рамке «Пригрузка»** есть **таблица** со списком заданных пригрузок. **Добавление** пригрузки выполняется в **диалоговом окне «Создать пригрузку»**. Редактировать заданную пригрузку можно также на рабочем столе с помощью **активных отметок**.

Пригрузку можно задать **постоянной, переменной** или **случайной**, а по типу пригрузки – **распределённой по плоскости** или **ограниченной по площади** (сосредоточенной). По типу воздействия пригрузки полученный результат умножаем на соответствующий расчётный коэффициент.

В случае пригрузки на глубине, которая отличается от отметки поверхности земли (напр., наличие фундамента окружающей застройки вблизи шахты), глубину задают ниже отметки поверхности земли  $h$  (положительное направление - вниз).



Рамка «Пригрузка»



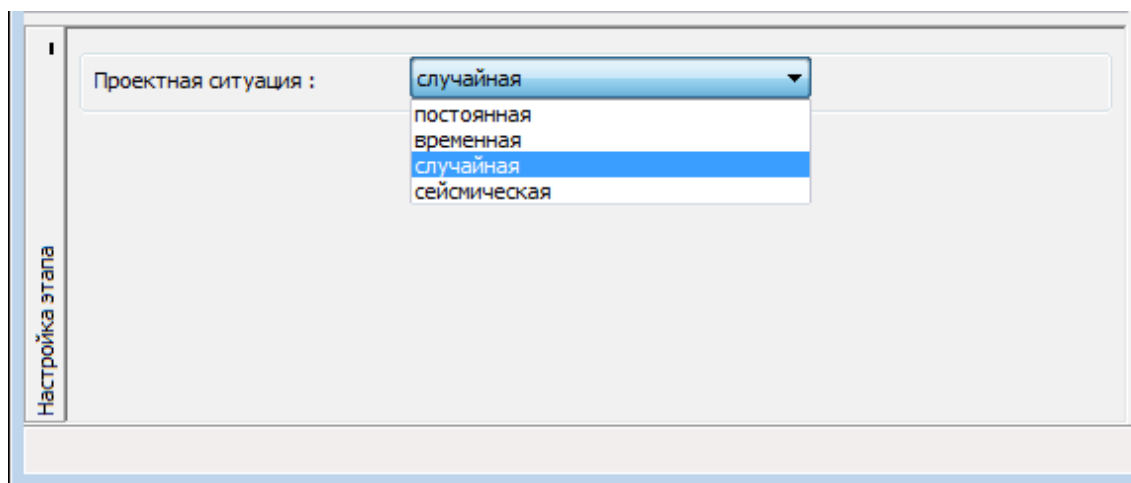
Диалоговое окно «Создать пригрузку»

## Настройка этапа

В **рамку «Настройка этапа»** задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования.

Внешний вид рамки зависит от выбора **методики проверки**.



Рамка «Настройка этапа»

## Расчёт

В **рамке «Расчёт»** вычисляется окончательная нагрузка на шахту **на заданной глубине** ( шахта без стяжек) или **на соответствующей стяжке**. Программа вычисляет отдельные составляющие давления на шахту и отображает окончательное давление на шахту, или стяжку.

Рассчитанное равномерно распределённое давление можно менять (в соответствии со стандартами DIN и SNiP) с помощью коэффициента редукции, т.ч. равномерная **«круговая»** нагрузка на шахту меняется в **«эллиптическую»**. В рамку можно задавать тип редукции боковой нагрузки на стяжку (нагрузку можно увеличить, уменьшить, или подвергать только редукции) и собственный коэффициент редукции. Рекомендованное значение **редукции нагрузки** - 25 %.

Полученный результат по **нагрузке** вводится в расчёт **внутренних сил** в рамке **«Подбор размеров»**. Программа автоматически рассчитает нагрузку на все стяжки или на заданную глубину (конструкция без стяжек).

По одной задаче можно выполнить **несколько расчётов**. В таких случаях это представляет большое удобство для создания комбинаций нагрузок - результаты отдельных расчётов дальше обрабатываются в рамке **«Подбор размеров»**.

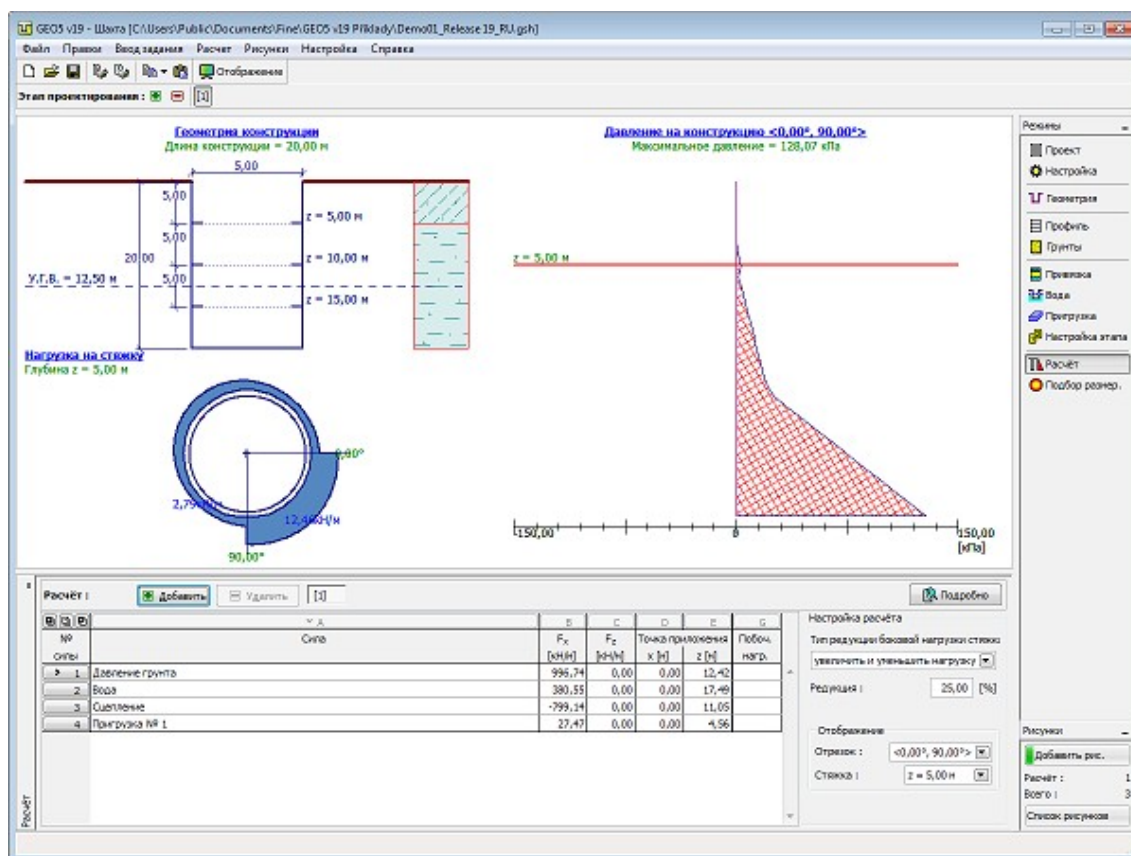
Вид рамки меняется в зависимости от выбора **методики проверки**:

- Расчёт по **коэффициенту безопасности** или **предельным состояниям** - в таблице в последней колонке указывают **расчётные коэффициенты**, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.
- Расчёт по EN 1997** - в последней колонке таблицы можно задать, является ли

переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «Комбинация нагрузок».

- **Расчёт по LRFD** - в таком случае последняя колонка не отображена.

Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».



Рамка «Расчёт»

## Подбор размеров

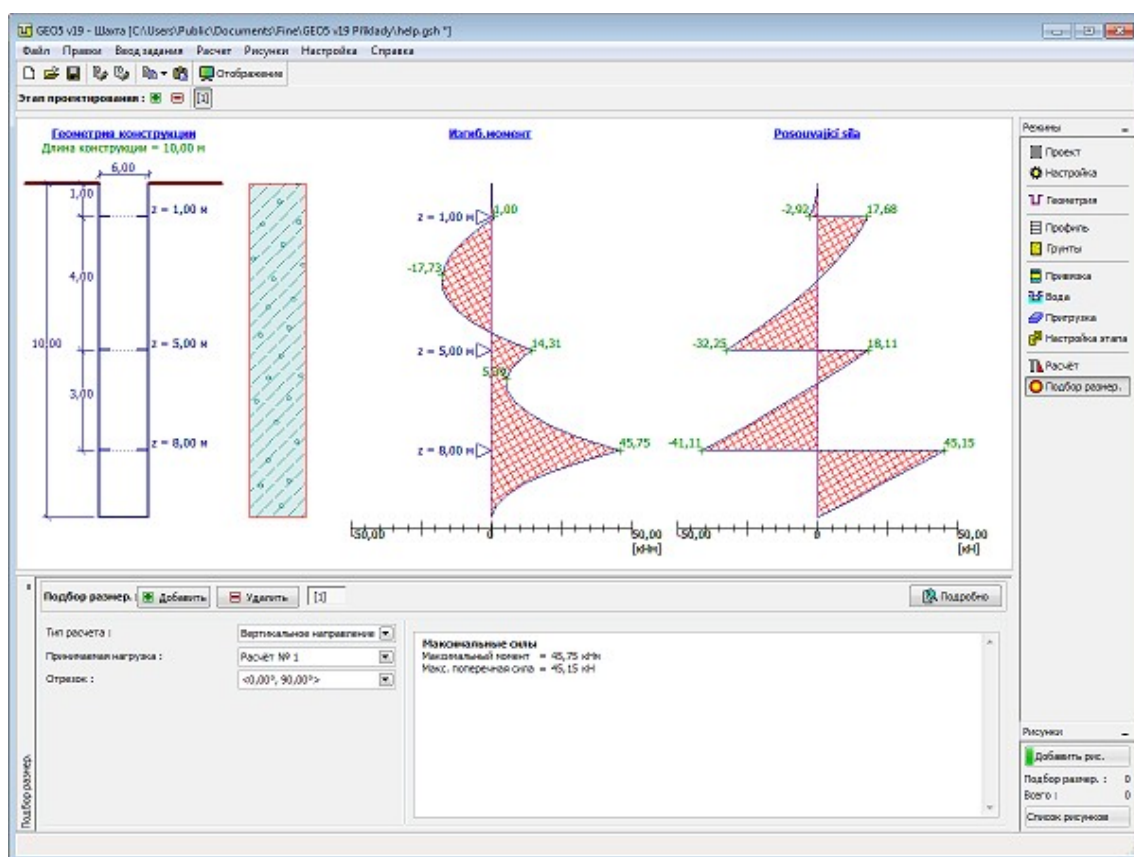
В рамке «Подбор размеров» программа принимает нагрузки рассчитанные в рамке «Расчёт». Выбирают тип расчёта:

- вертикальное направление
- расчёт внутренних сил на стяжке - в горизонтальном разрезе

Далее задают № расчёта нагрузки и можно и огибающую всех выполненных расчётов.

По одной задаче можно выполнить несколько расчётов. Максимальные значения рассчитанных внутренних сил отображаются в выходном окне. Кнопка «Подробно» открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов подбора размеров.

При расчёте в вертикальном направлении программа позволяет ещё и выбор рассматриваемого отрезка (при условии, что была задана сосредоточенная равномерно распределённая пригрузка), или может непосредственно посчитать огибающую внутренних сил по всем отрезкам.

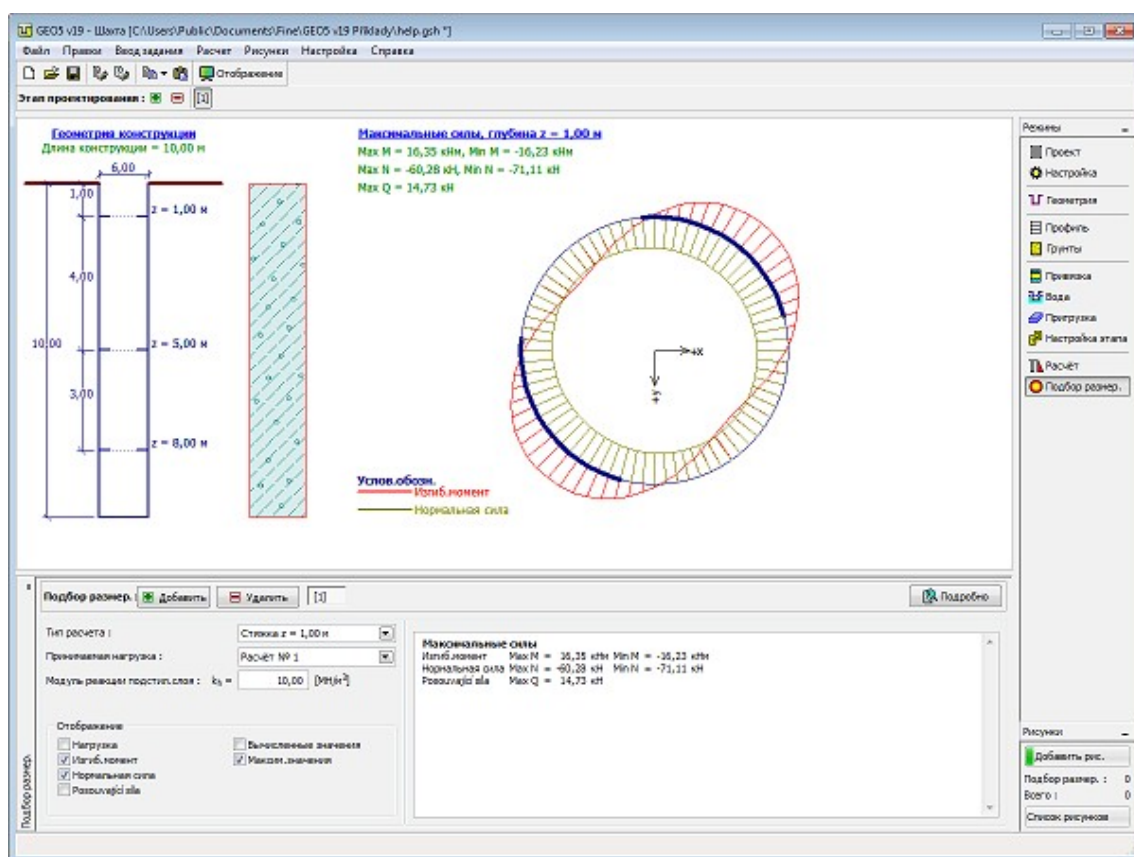


Рамка «Подбор размеров» - вертикальное направление

При расчётах в горизонтальном направлении (расчёт внутренних сил на стяжке или на 1 пог.м глубины конструкции) задают **модуль реакции подстилающего слоя** грунта на данной глубине.

Программа позволяет отобразить нагрузку, изгибающий момент, нормальные силы и сдвигающие силы - стиль вырисовки выбирают в поле «**Отображение**». Выбор «**Максимальные значения**» прячет все значения величин кроме максимальных.

На рисунке толстой линией отрисован фрагмент контура конструкции - это часть шахты, деформация которой направлена в грунт. В этой части при расчёте конструкции подстилающий слой принимается полигональным методом.



Рамка «Подбор размеров» - стяжка

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».

## Программа Устойчивость откоса

Программа предназначена для проектирования и анализа устойчивости откосов (склонов) слоистого грунтового массива. Поверхность скольжения может быть круглоцилиндрической (методы Бишопа, Петтерсона или Спенсера) или полигональной (метод Sarma, или Спенсера). Программа может быть использована для расчёта устойчивости, напр., выемок, насыпей и анкерowanych опорных конструкций.

**Справка для программы «Устойчивость откоса» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Границы контура	Насыпь	Выемка	Грунты	Твёрдые тела
Привязка	Анкеры	Нагели	Арматуры	Стабилизир	Пригрузка	Вода
Землетрясение	Настройка этапа	Расчёт		ующая свая		

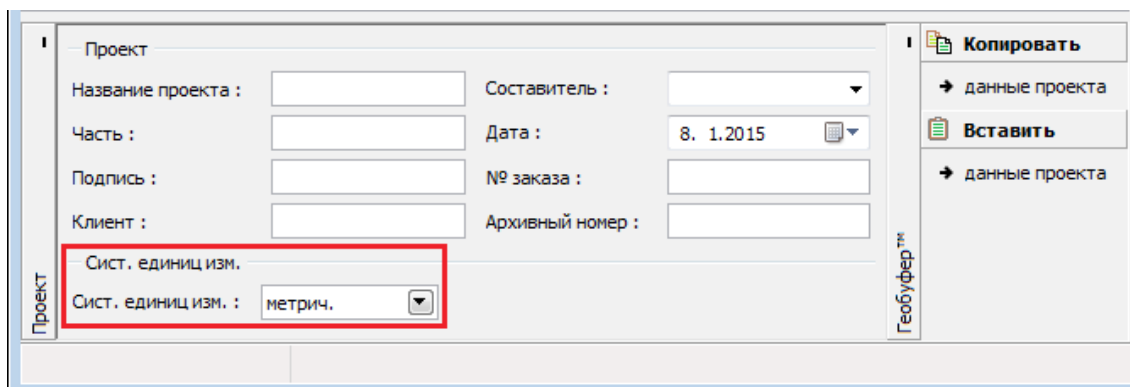


- Стандарты и методы расчёта
- Теория расчётов в программе «**Устойчивость откоса**»:
  - Напряжение в массиве грунта
  - Параметры пород
  - Стабилизирующая свая
  - Устойчивость откоса
- Справка относительно результатов на выходе
- Информация общего характера о работе в пользовательской среде программ GEO5
- Общие операции ввода для всех программ

## Проект

В рамку «**Проект**» задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой текстовой и графической информации.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (метрическую / дюймовую). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Проект»

## Настройка

В рамку «**Настройка**» предназначена для ввода основных «**Настроек**» программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой «**Выбрать настройки**» выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из «**Перечня настроек**».

Кнопка «**Администратор настройки**» открывает диалоговое окно «**Администратор настройки**», в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь

также определяют, которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

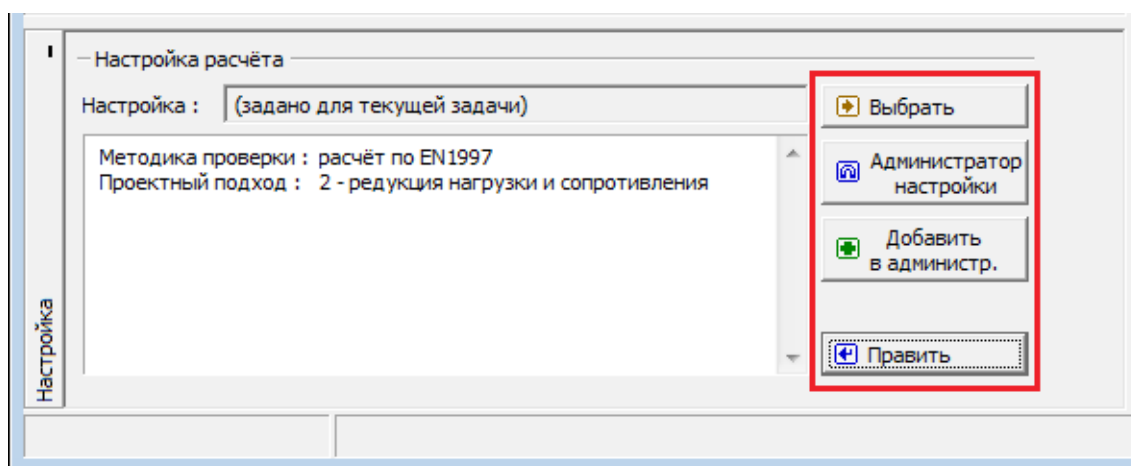
Кнопка «**Добавить в администратор**» позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка «**Править**» позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в «**Задано для текущей задачи**». После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку «**Добавить в администратор**» и добавляем настройку в «**Администратор настройки**».

Настройка «**Задано для текущей задачи**» обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладках «**Материалы и стандарты**», «**Расчёты на устойчивость**».

При расчёте несущей способности нагеля на вырывание из грунта можно задать **трение на боковой поверхности** в качестве параметра грунта.

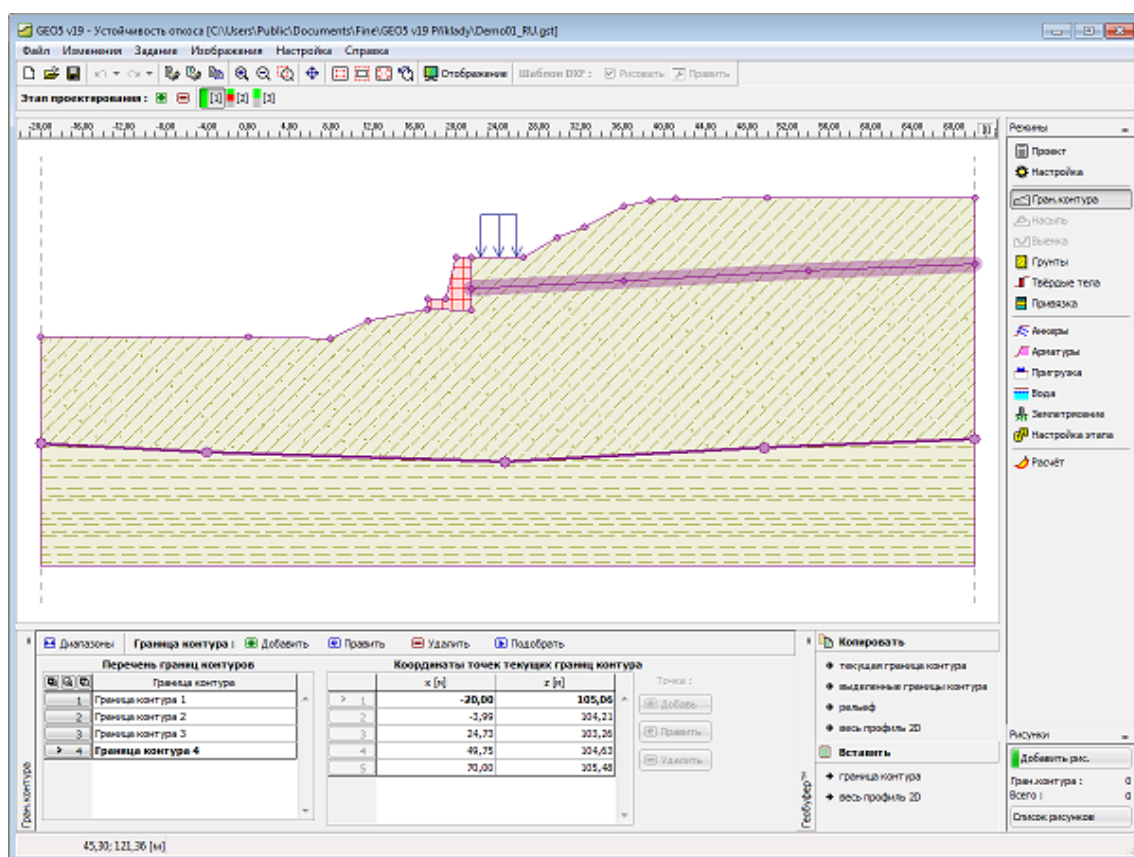


Рамка «Настройка»

## Границы контура

В **рамке «Границы контура»** задают отдельные границы контуров грунта. Подробное описание работы над границами смотри [здесь](#).

Программа позволяет **импорт и экспорт** границ контура в формате \*.DXF. Заданные границы контура можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью «**Геобуфера**».



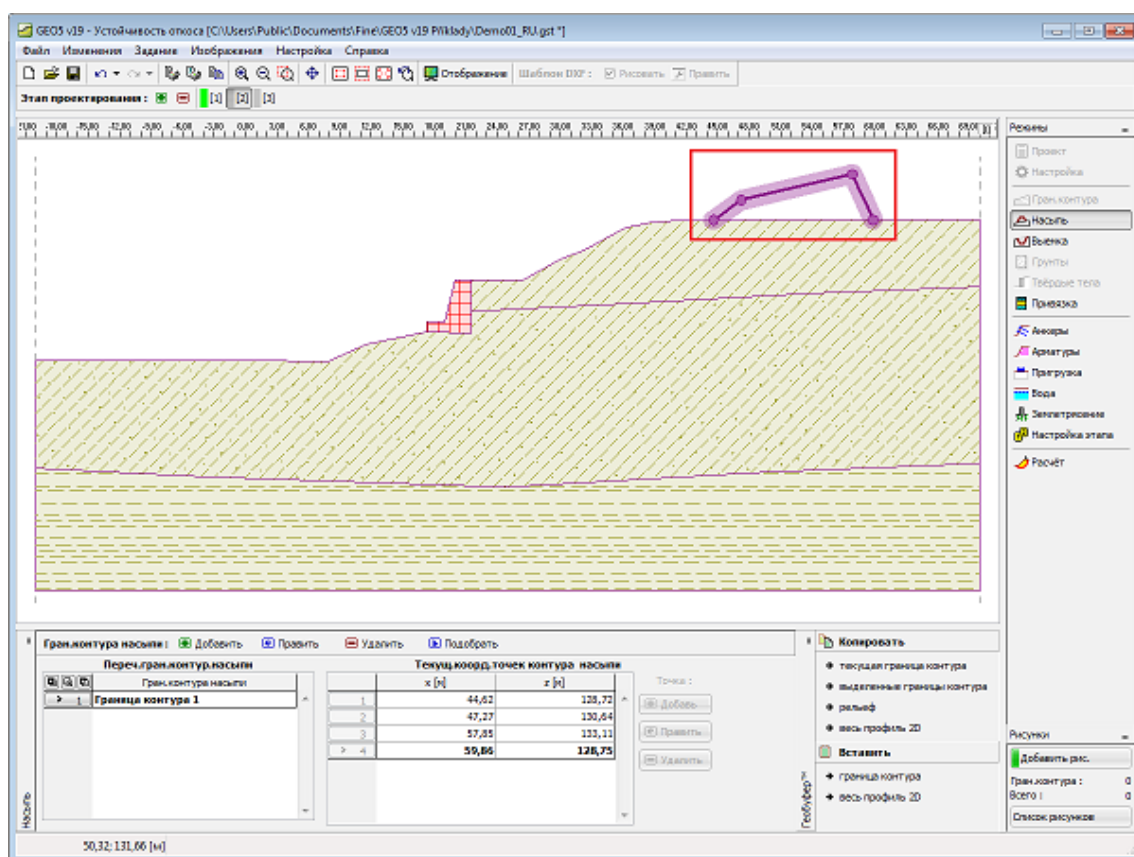
Рамка «Границы контура»

## Насыпь

В рамке «Насыпь» задают границы контура, которые образуют насыпи выше уровня земли. В рамке имеется таблица со списком границ контуров грунтов в насыпи. В середине рамки отображается таблица с точками границы насыпи в текущем выборе. Границы контура насыпи задаются тем же образом как задаются границы контура в стандартном случае.

Задавать насыпь нельзя на первом этапе проектирования. Нельзя насыпь задавать тоже тогда, когда на соответствующем этапе была задана выемка - в таком случае или задают следующий этап проектирования и задают насыпь, или убирают выемку.

Заданные границы контура насыпи можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Насыпь»

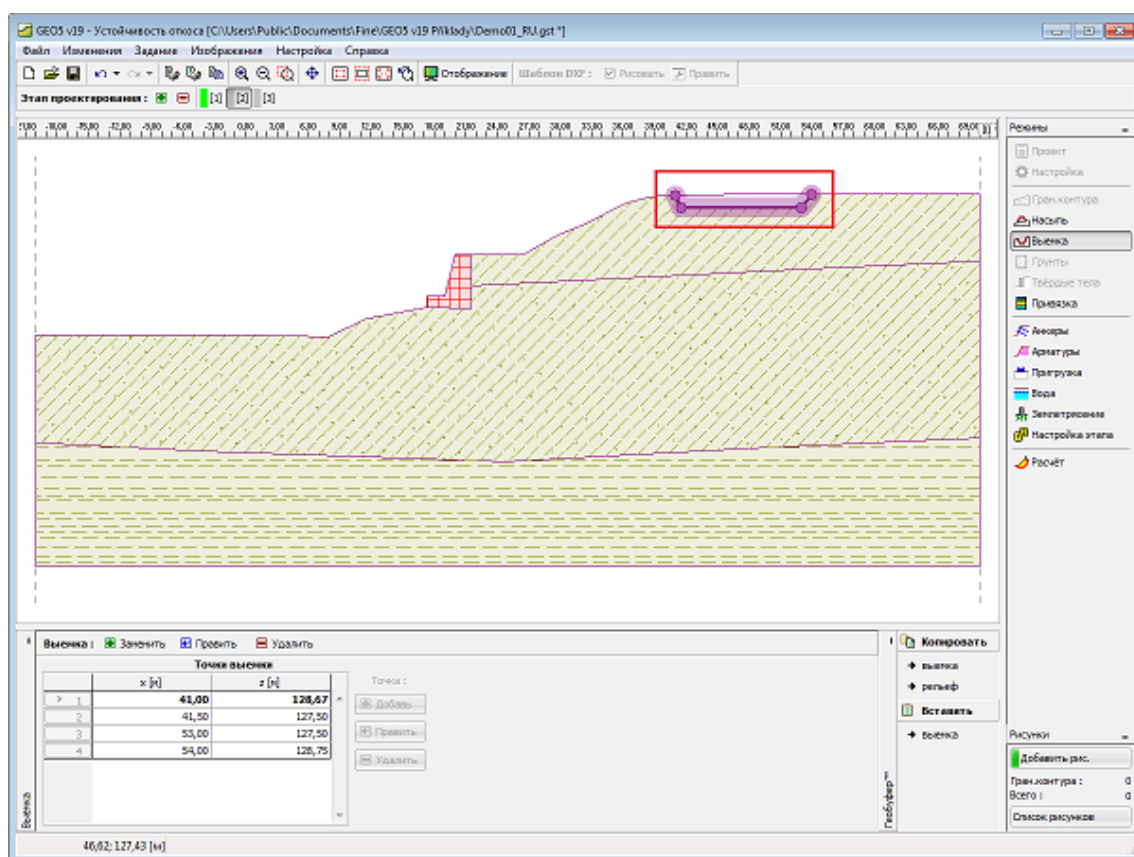
## Выемка

В рамке «**Выемка**» задают форму выемки. Эта функция позволяет менять форму территории в рамках **этапов проектирования** отсека. Можно задавать несколько **выемок** одновременно - в таком случае некоторые линии выемки проходят отчасти выше уровня земли.

В левой части рамки находится **таблица** со списком отдельных точек границ контуров. Границы контура выемки задаются таким же образом как задаются границы выемки в **стандартном случае**.

Задавать выемку нельзя на первом **этапе проектирования**. Нельзя задать выемку также, если на соответствующем этапе уже была задана **насыпь**. В таком случае нужно или задать следующий этап проектирования и тоже насыпь, или убрать границу насыпи.

Заданные границы контура выемки и рельефа можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью «**Геобуфера**».



Рамка «Выемка»

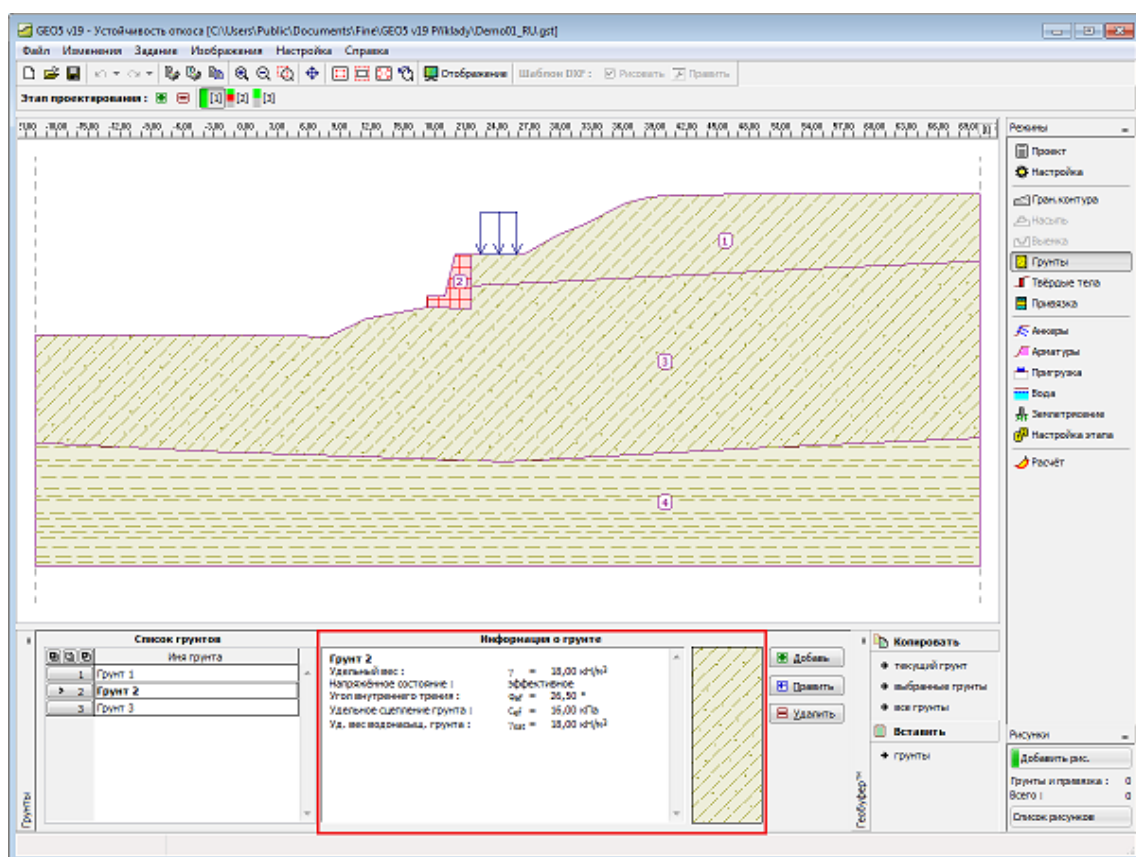
## Грунты

В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. Если в таблице выбрано несколько грунтов, то информация по отдельным грунтам упорядочена в последовательном порядке.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Базовые данные», «Подъёмная сила», «Расслоение», «Параметры для резкого понижения У.Г.В.» и «Трение на боковой поверхности» (см. рамку «Настройка»). На задание параметров грунтов влияет также выбор расчёта (эффективный / полный) напряжённого состояния), в выпадающем списке.

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать [базу данных грунтов](#) по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Способ расчёта устойчивости откоса будет разным для:

- **обезвоженных условий:** для определения условия равновесия на поверхности скольжения (круглоцилиндрической, полигональной) принимается эффективное напряжённое состояние по формуле  $N * tg\varphi_{ef} + c_{ef} * l$ .
- **необезвоженных условий:** на случай полного напряжённого состояния расчёт удерживающих сил на поверхности скольжения (круглоцилиндрической, полигональной) основан на отношении  $c_u * l$ .

В некоторых странах принято при расчёте **полного напряжённого состояния** определять оба параметра сопротивления сдвигу грунтов  $\varphi_u, c_u$ . В таком случае нужно в программе «Устойчивость откоса» задать задание как на случай **эффективного напряжённого состояния** с помощью параметров  $\varphi_{ef}, c_{ef}$ .



Соответствующая теория описана подробно в главе «Устойчивость уклона».

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Твёрдые тела

В рамке «Твёрдые тела» есть таблица со списком заданных твёрдых тел. При помощи твёрдых тел строят модели областей высокой прочности - напр., **опорные конструкции** или **скальное основание**. Таблица отображает текущие данные о выбранном твёрдом теле в правой части рамки.

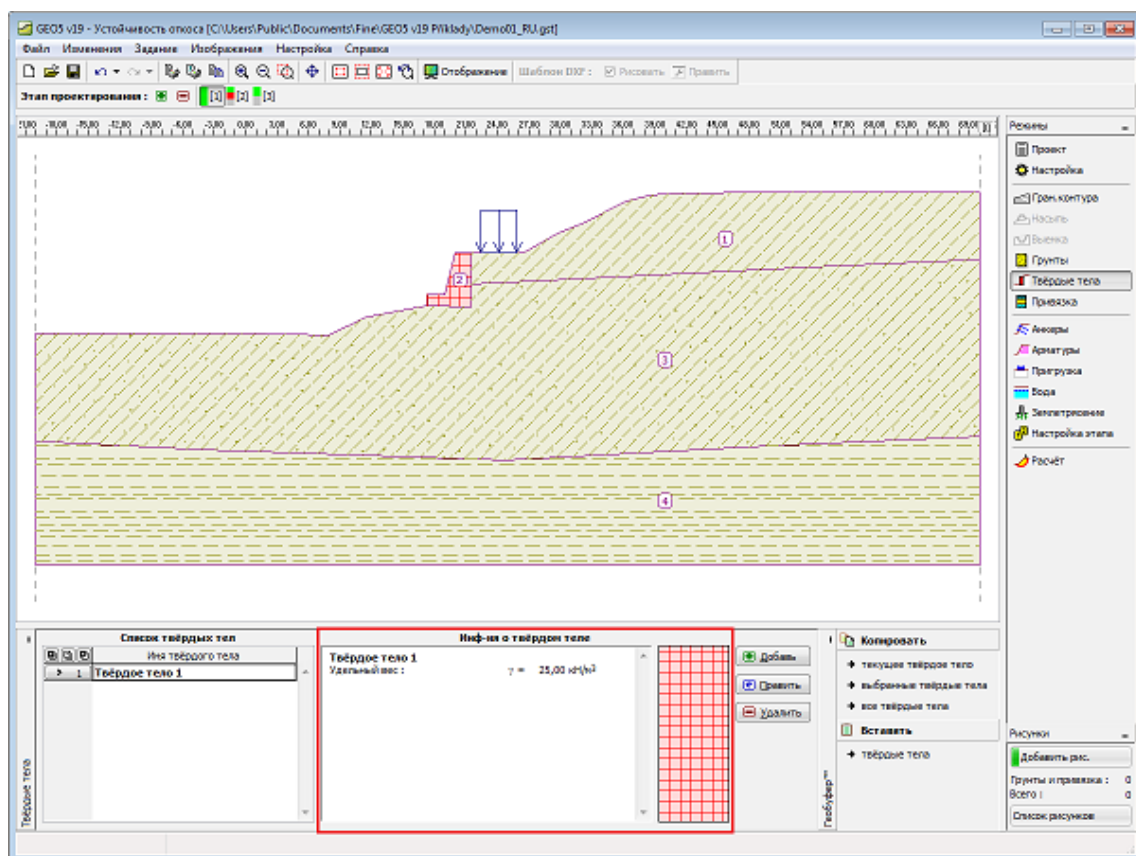
**Добавление** выполняется в диалоговом окне «Добавление новых твёрдых тел». В диалоговом окне задают удельный вес материала твёрдого тела и подбирают **цвет и рисунок**. Заданные твёрдые тела в рамке «Привязка» выстраиваются за заданными грунтами.

**Твёрдые тела** в программе учтены как области высокой прочности, следовательно через них **не проходит поверхность скольжения**. В случае желания моделировать поверхность скольжения, проходящую напр, через свайную стену, предпочитается стену задавать как область, образованную грунтом и задать его удельное сцепление так, чтобы оно соответствовало несущей способности сваи при сдвиге.

Заданные твёрдые тела можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью



«Геобуфера».



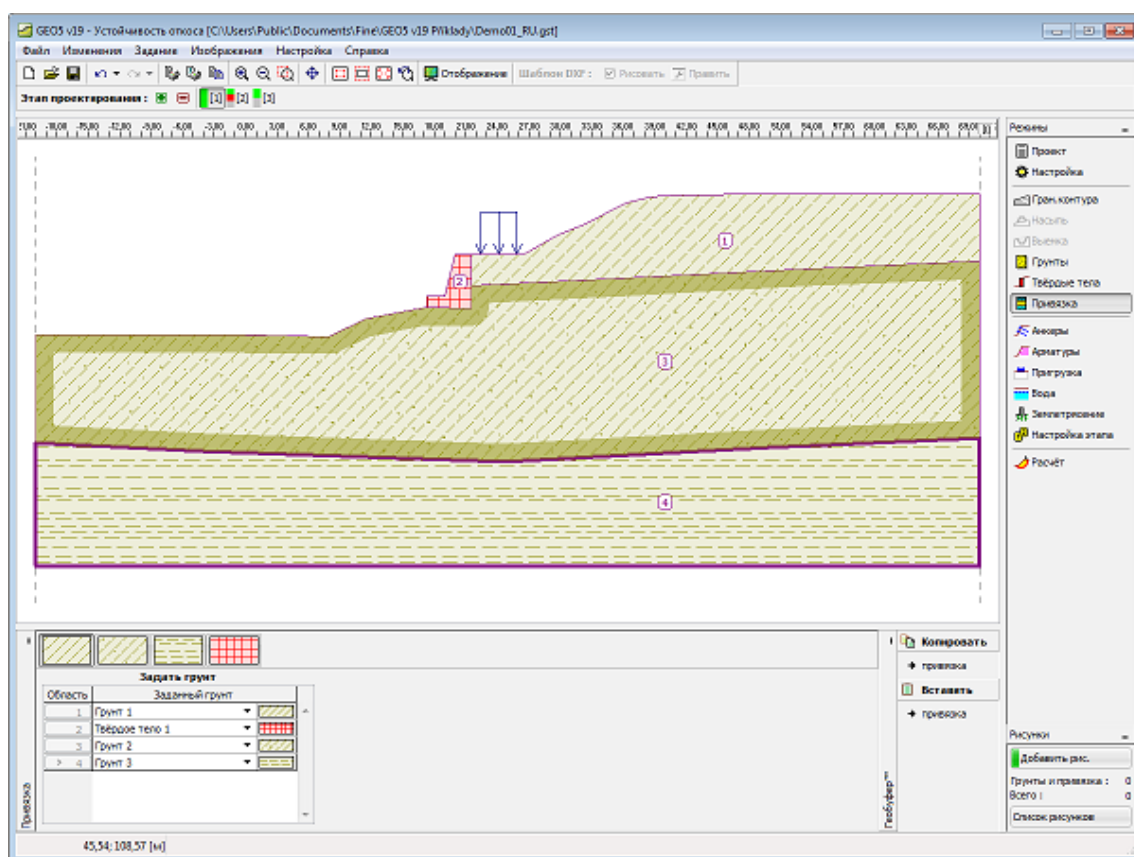
Рамка «Твёрдые тела»

## Привязка

В **рамке «Привязка»** есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).

Привязку грунтов можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



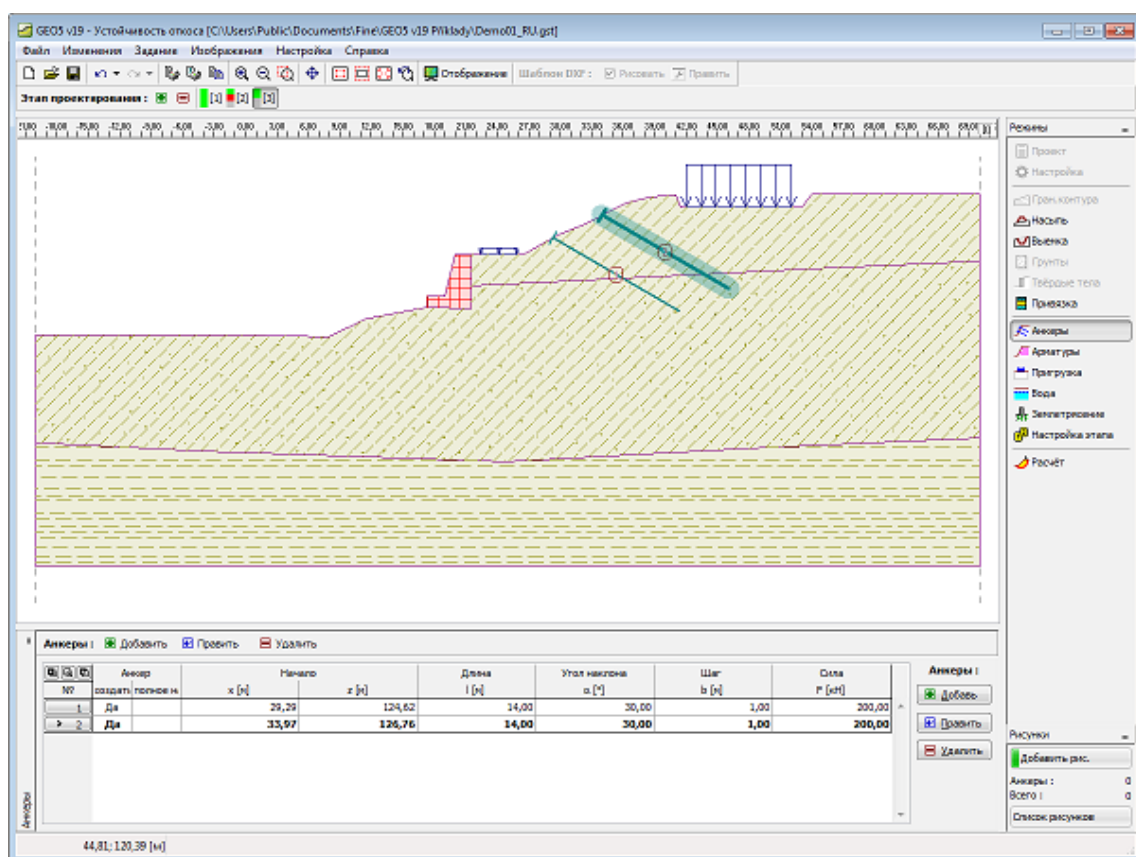
Рамка «Привязка»

## Анкеры

В рамке «Анкеры» находится таблица со списком заданных анкеров. Добавление анкеров выполняется в диалоговом окне «Создать анкеры». Заданные анкеры можно редактировать на рабочем столе с помощью активных объектов.

В диалоговое окно задают расположение (начало  $x, z$ ), свободную длину анкера  $l$ , длину корня анкера  $l_k$ , наклон анкера  $\alpha$ , шаг анкеров  $b$ , смещение ряда анкеров  $b_s$  и силу в анкере  $F$ . При этом начало анкера (головка) автоматически размещается на поверхность рельефа. Все заданные параметры анкера можно изменять на этапе проектирования, на котором анкер задан. На последующих этапах проектирования изменять можно только величину усилия предварительного натяжения в анкере (выбрав «Дополнительное натяжение анкера»).

Влияние анкеров на расчёт подробно описано в теоретической части справки.

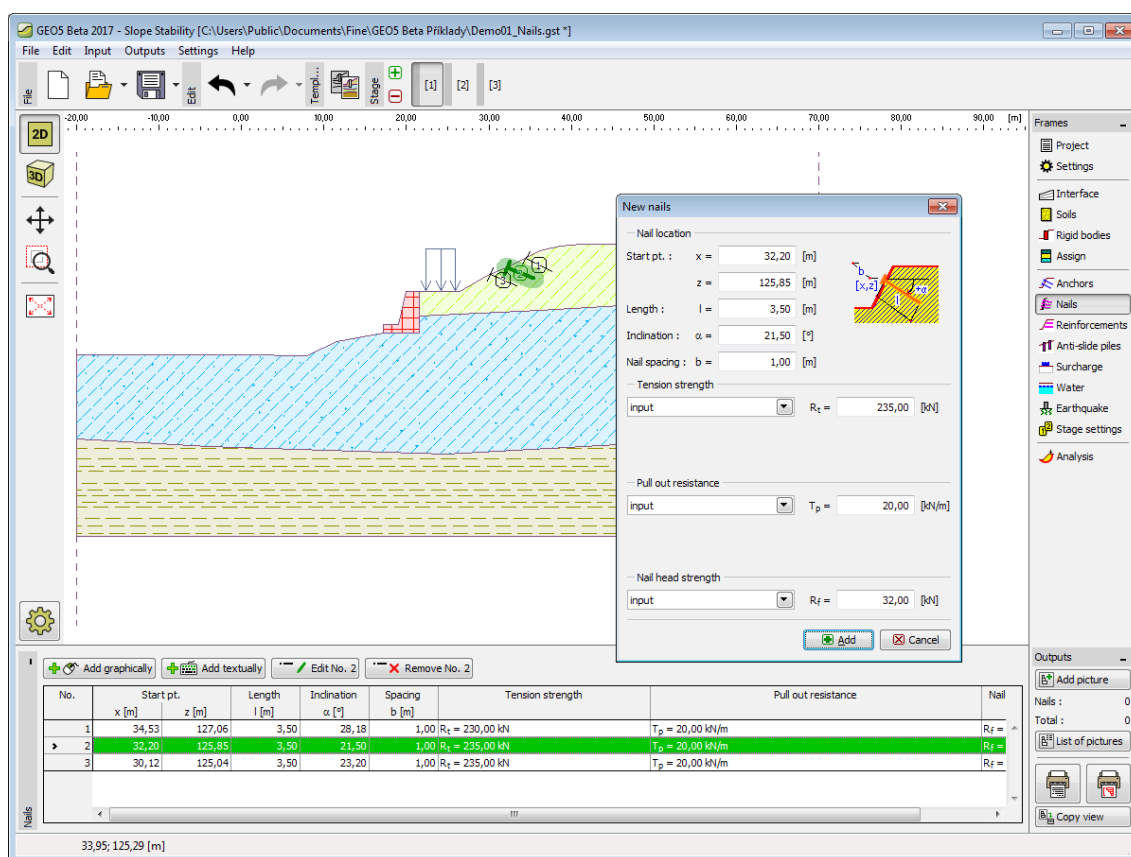


Рамка «Анкеры»

## Нагели

В рамке «**Нагели**» находится таблица заданных нагелей. Добавление нагелей делаем в диалоговом окне «**Создать нагель**». Заданные нагели можно редактировать на рабочем столе при помощи активных объектов.

В диалоговое окно задаём расположение нагеля (начало  $x$ ,  $z$ ), длину  $l$  и наклон нагеля  $\alpha$ , расстояние между нагелями  $b$ , сопротивление нагеля разрыву  $R_t$ , сопротивление выдёргиванию  $T_p$  и несущая способность головки  $R_f$ . Начало (головка) нагеля автоматически располагается на поверхности грунта. Все заданные параметры нагеля можно менять на этапе проектирования, на котором нагель был задан.



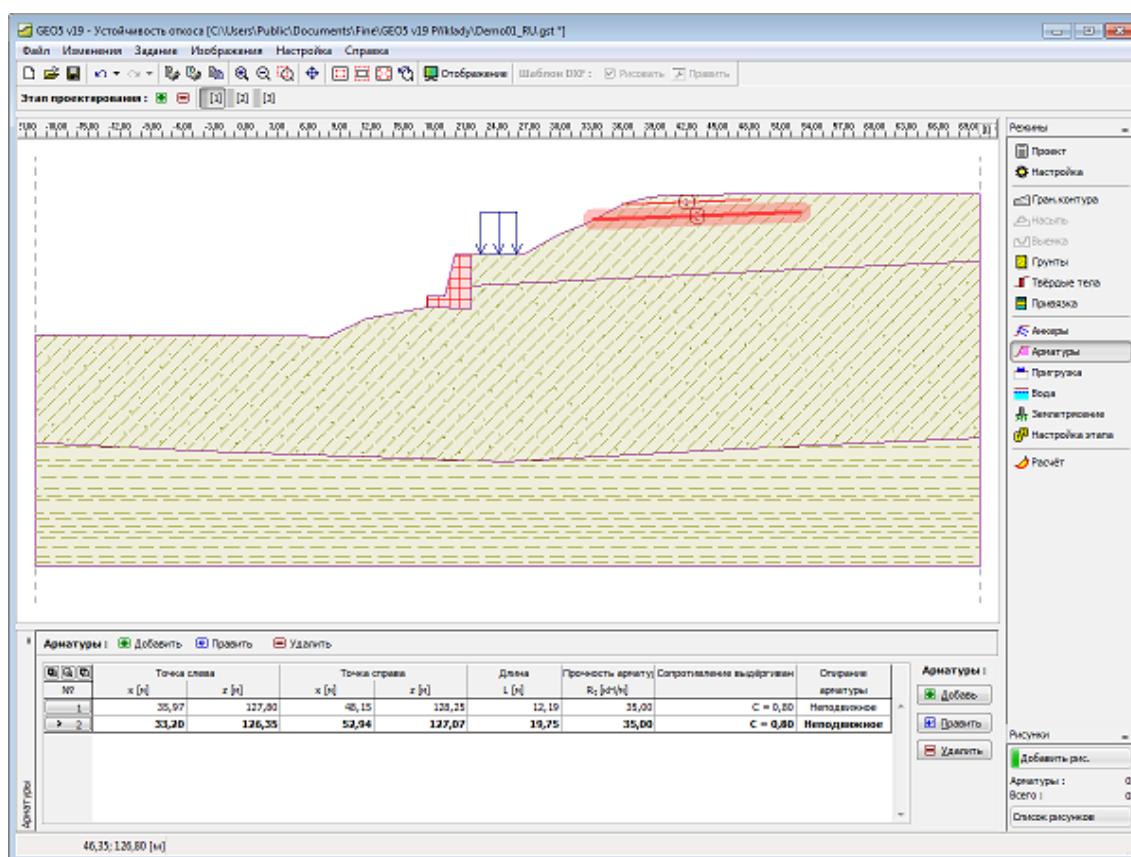
Рамка «Нагели»

## Арматуры

В рамке «**Арматуры**» находится таблица со списком заданных армировок. Добавление элементов армирования выполняется в диалоговом окне «**Создать армировку**». Заданные армировки (элементы армирования) можно редактировать также на рабочем столе с помощью **активных объектов**.

В диалоговое окно задают расположение армировки, **длину анкеровки** (слева и справа), **расчётную прочность армировки**  $R_t$  и **опирание армирующих элементов** (неподвижное или свободное). Для расчёта **несущей способности армировки** выбирают в выпадающем списке одну из трёх опций: «**Посчитать несущую способность**» (задают **коэффициент итерации**  $C$ ), «**Задать длину заделки армир.выпуска**»  $l_k$ , или «**Задать несущую способность**» (задают **сопротивление выдёргиванию**  $T_p$ ). Заданные параметры армировки можно изменять только на том **этапе проектирования**, на котором они были заданы; на последующих этапах можно геоармировку только удалять.

**Учёт геоарматуры** в расчёте подробно описан в теоретической части справки.



Рамка «Арматуры»

## Стабилизирующая свая

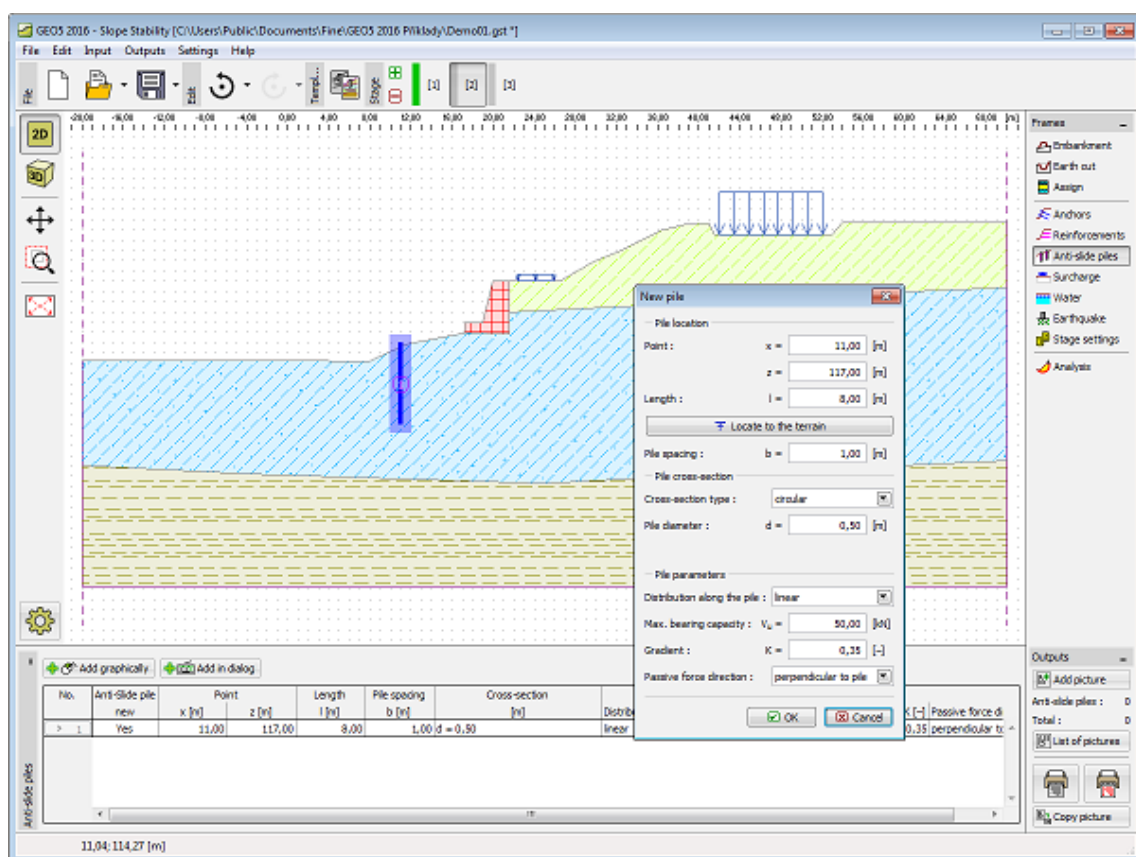
В **рамке «Стабилизирующая свая»** находится **таблица** со списком заданных стабилизирующих свай. Сваи **задают** одной из двух опций (кнопка **«Добавить графически»** или кнопка **«Добавить текстом»**).

В **диалоговое окно «Создать сваи»**, или **«Правка свойств свай»** задают **расположение свай** (координаты  $x$ ,  $z$ , длину свай  $l$  и межсвайное расстояние свай  $b$ ). Кнопка **«Расположить на рельеф»** располагает начало (головку) свай на поверхность рельефа. Иногда стабилизирующую сваю располагают непосредственно в массив (в таких случаях можно сваю учитывать при проверке **устойчивости откоса**, но нельзя запустить программу **«Стабилизирующая свая»**).

Далее задают **сечение свай** (для круглого - диаметр свай  $d$ , для прямоугольного - размеры  $s_x$ ,  $s_y$ ) и **параметры свай** - **эпюру вдоль длины свай** (линейная, постоянная), максимальную **несущую способность**  $V_u$ , **градиент**  $K$  и направление пассивной силы (перпендикулярное относительно свай, вдоль поверхности скольжения). Все заданные параметры стабилизирующей свай можно изменять только **на этапе проектирования**, на котором свая задана. На последующих этапах проектирования стабилизирующую сваю можно только удалять.

**Влияние стабилизирующих свай** на проверку **устойчивости откоса** подробно описано в теоретической части справки. Другие анализы стабилизирующих свай (расчёт **внутренних сил**, деформаций, **подбор размеров армировки** свай) имеют в своей основе **активные и пассивные силы**, рассчитанные в программе **«Стабилизирующая свая»**.





Рамка «Стабилизирующая свая»

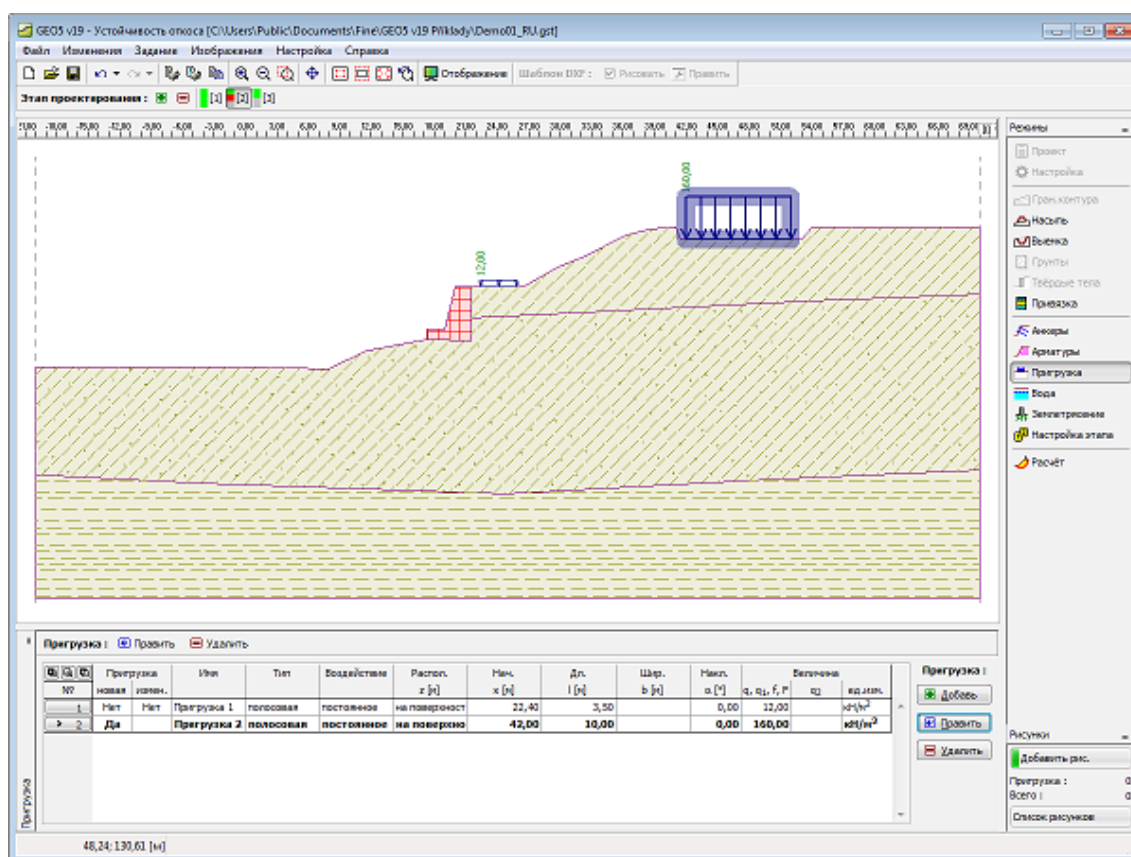
## Пригрузка

В рамке «**Пригрузка**» есть таблица со списком заданных пригрузок. Добавление пригрузки выполняется в диалоговом окне «**Создать пригрузку**». Заданные пригрузки можно править также на рабочем столе с помощью **активных объектов**.

Все заданные параметры пригрузки можно изменять на том **этапе проектирования**, на котором они были заданы. На последующих этапах проектирования можно менять только величину пригрузки (выбирая «**Изменение величины**»).

Пригрузку можно задавать **постоянной**, **переменной** или **случайной**. В зависимости от типа воздействия пригрузки результирующее воздействие умножается на соответствующий **расчётный коэффициент**. Случайная пригрузка с положительным воздействием в расчёт не принимается.

**Влияние пригрузки** на расчёт стабильности откоса описано в теоретическом разделе справки.



Рамка «Пригрузка»

## Вода

В **рамке «Вода»** устанавливают тип уровня грунтовых вод. В выпадающем списке выбирают один из шести **вариантов учёта грунтовой воды**.

Способ задания уровня воды или изолиний такой же как при стандартном **задании границ контуров**.

Для задания влияния воды с помощью изолиний **границ контура  $R_u$**  или **порового давления** в списке рядом с таблицей находится поле для значения коэффициента или порового давления. После нажатия кнопки с синей стрелкой рядом с полем откроется диалоговое окно «**Коэффициент  $R_u$** » или «**Поровое давление**», в которое нужно ввести соответствующее значение. Удобнее всего в окно задавать значения одновременно, пользуясь кнопками «**ОК+↑**» и «**ОК+↓**». Между отдельными изолиниями границ контура программа выполняет **линейную интерполяцию** результата в точке, по значениям соответствующих изолиний. Первая (самая верхняя) изолиния всегда **идентична с территорией** - следовательно, рельеф не подлежит стиранию. При выборе «**Коэффициент  $R_u$** » первая (верхняя) изолиния всегда полностью **совпадает с территорией** - следовательно, удаление территории запрещено.

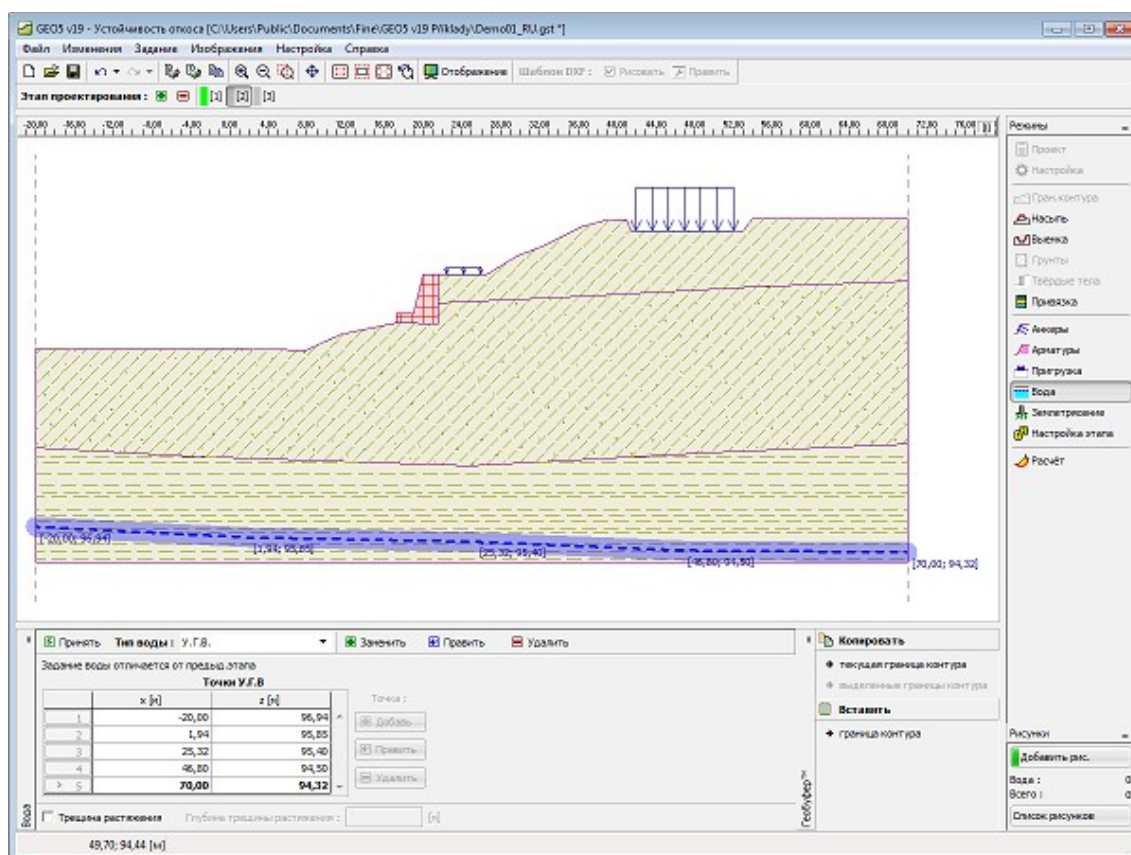
**Уровень грунтовой воды** (или **уровень всасывания**, или **начальная У.Г.В.**) задаётся одной сквозной границей контура, которая может проходить и над территорией.

В случае различия данных, задаваемых на отдельных этапах проектирования, программа позволяет взять данные предыдущего этапа после нажатия кнопки «**Взять**».

Программа также позволяет задавать глубину **трещин растяжения** наполненных водой.



Заданные границы контура воды можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



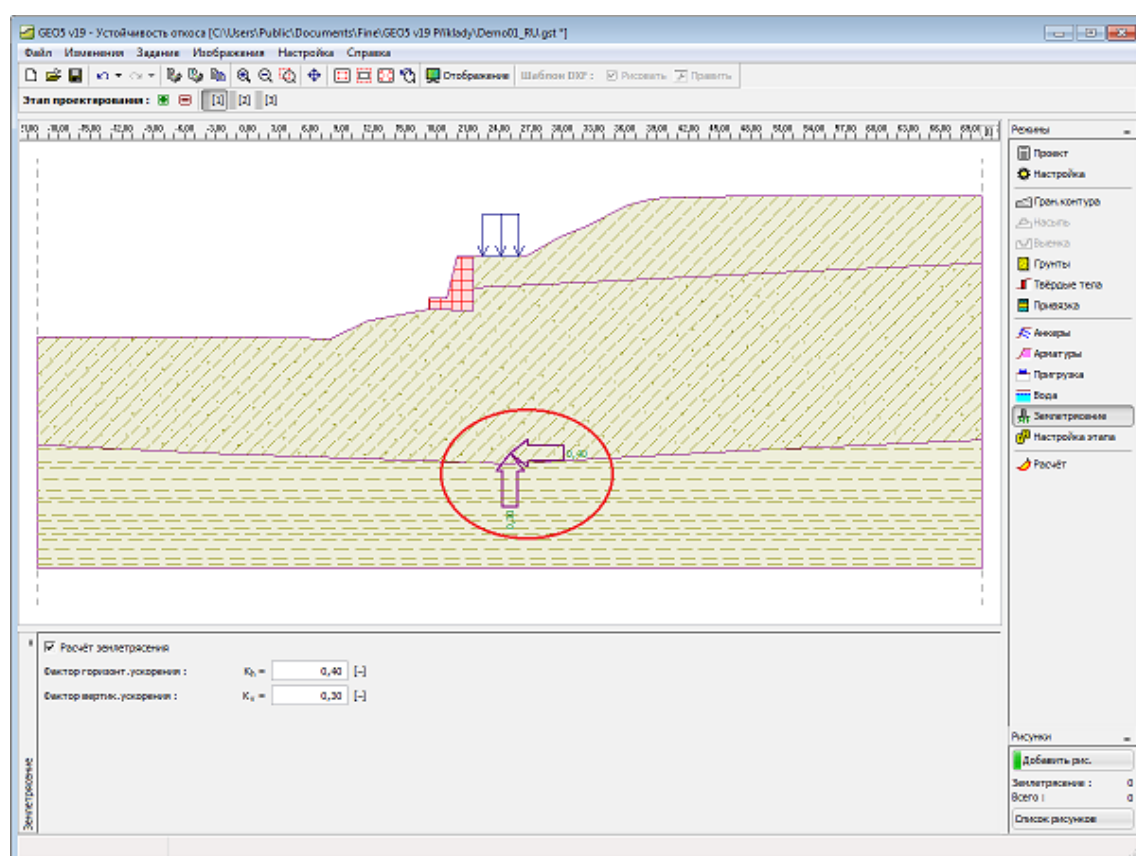
Рамка «Вода»

## Землетрясение

В рамке «Землетрясение» задают параметры землетрясения. Направления заданных воздействий землетрясения отображены на рабочем столе.

Коэффициенты  $K_h$ ,  $K_v$  не полученные от измерений можно рассчитать по EN 1998-5.

Расчёт устойчивости состояния при влиянии землетрясения описан в теоретическом разделе справки «Влияние землетрясения».



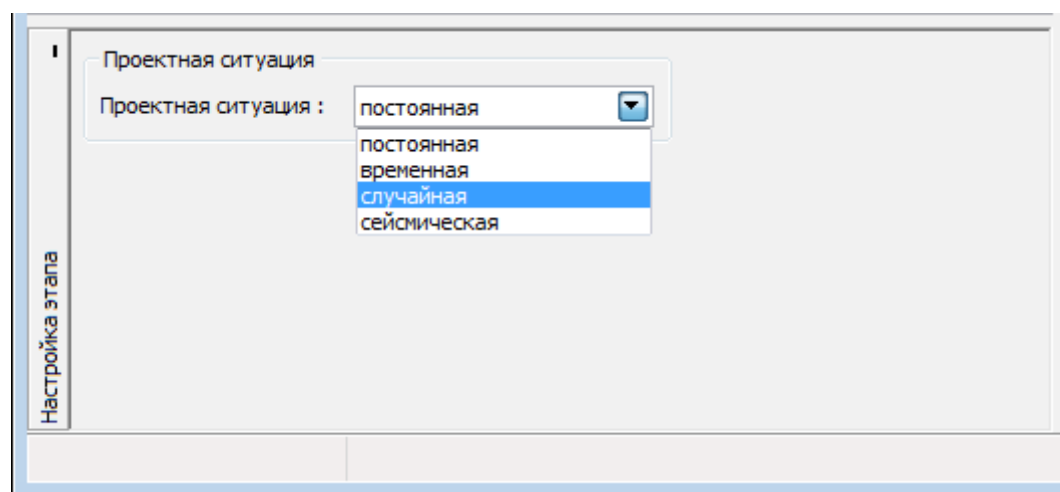
Рамка «Землетрясение»

## Настройка этапа

В **рамку «Настройка этапа»** задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования.

Внешний вид рамки зависит от выбора **методики проверки**.



*Рамка «Настройка этапа»*

## Расчёт

В **рамке «Расчёт»** отображены результаты расчёта. Для одной заданной задачи можно выполнять **несколько расчётов**.

При **расчёте устойчивости откоса** основной выбор - тип поверхности скольжения. Его задают в выпадающем списке в левой верхней части рамки с двумя пунктами - **кругло-цилиндрическая поверхность** и **полигональная поверхность скольжения**. После задания поверхности скольжения запускают расчёт кнопкой с зелёным фоном **«Расчёт»**. Результаты расчёта выведены в правой части рамки.

В средней части рамки выбирают **метод расчёта**: для **кругло-цилиндрической поверхности скольжения** в выпадающем списке можно установить один из семи методов расчёта (**Fellenius / Petterson, Bishop, Spencer, Janbu, Morgenstern-Price, Шахунянц** или метод **ITF**), а для **полигональной поверхности скольжения** из шести методов расчёта (**Sarma, Spencer, Janbu, Morgenstern-Price, Шахунянц** или метод **ITF**). Расчёты для той и другой поверхности скольжения можно задавать одновременно по всем методам (но исключена оптимизация поверхности скольжения).

**Сама проверка** устойчивости откоса выполняется в зависимости от установки в закладке **«Расчёты на устойчивость»**:

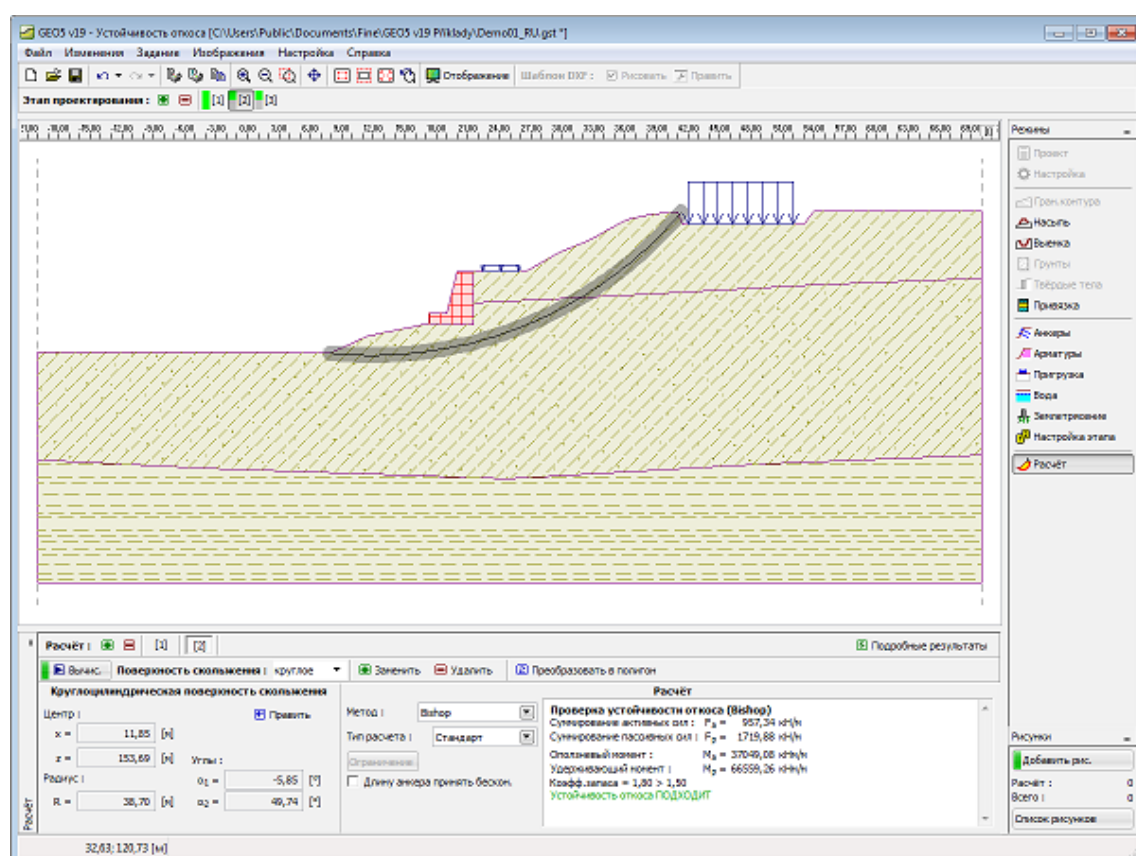
- Проверка по **EN 1997**, где **нагрузка уменьшается** частными коэффициентами расчёта и проверка выполняется по **теории предельных состояний**,
- Проверка по коэффициентам безопасности
- Проверка по теории предельных состояний

В выпадающем списке (пункты **«Стандарт»** и **«Оптимизация»**) можно выбрать расчёт с оптимизацией **кругло-цилиндрической**, или **полигональной** поверхности скольжения. При выборе **«Оптимизация»** активируется кнопка **«Ограничения»** - после нажатия этой кнопки меняется вид рамки и можно задать **ограничение оптимизации поверхности скольжения**.

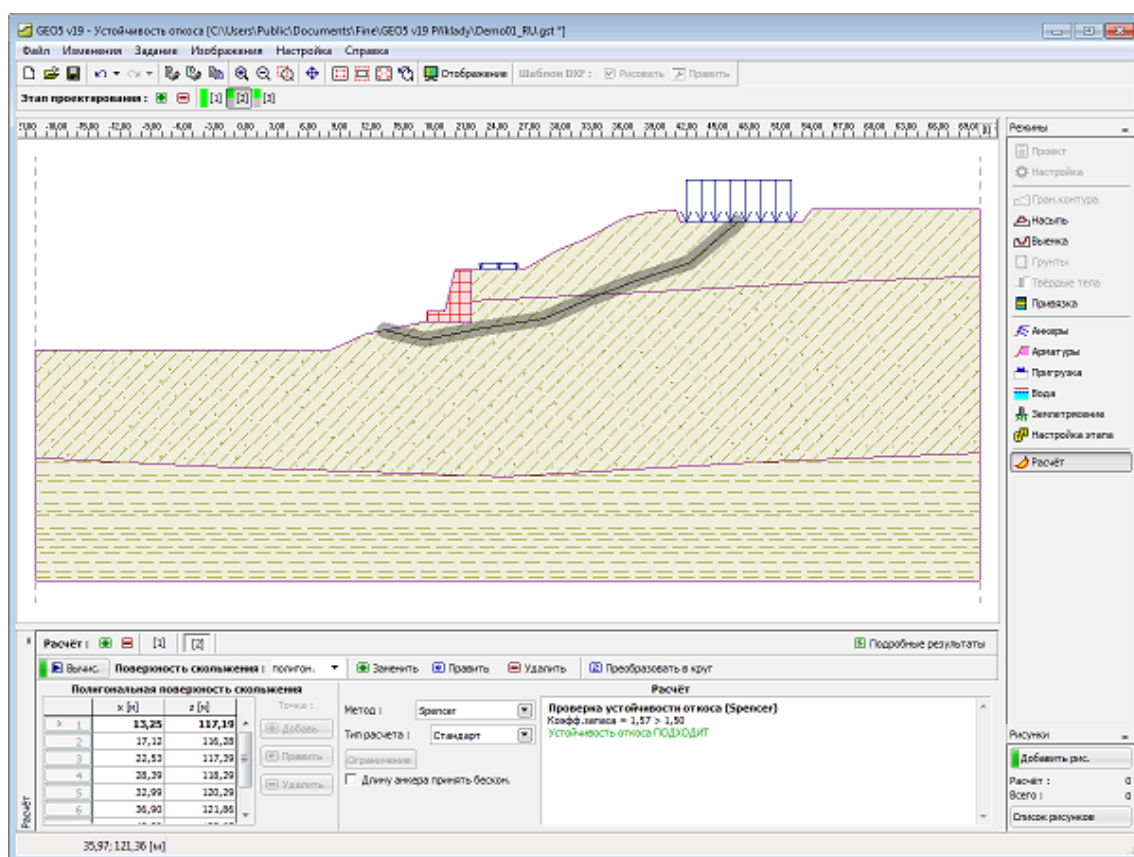
В рамку можно задать также **способ учёта анкеров в расчёте** (поле **«Учесть длину анкеров бесконечной»**).

Поверхность скольжения нужно **задать** в рамку (в т.ч. при оптимизации).

Результаты расчёта выводятся в правой части рамки, поверхность скольжения после оптимизации - на рабочий стол. Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне **«Настройка рисования»**.



Рамка «Расчёт» - кругло-цилиндрическая поверхность



Рамка «Расчёт» - полигональная поверхность скольжения

## Задание поверхности скольжения

В выпадающем списке выбираем тип поверхности скольжения (круглоцилиндрическая, полигональная). Для задания поверхности скольжения существует несколько опций:

### • Круглоцилиндрическая поверхность скольжения

**Графически** - после нажатия кнопки , нажимая левую кнопку мыши, задаём три точки, которые определяют круглоцилиндрическую поверхность скольжения.

Заданную поверхность скольжения можно изменить в диалоговом окне «**Круглоцилиндрическая поверхность скольжения**», нажав кнопку

, или снова задать мышью, нажав кнопку .

Кнопка отменяет ввод поверхности скольжения.

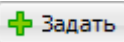
Кнопкой круглоцилиндрическую поверхность скольжения можно преобразовать в полигональную.

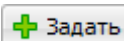

Кнопкой удаляем круглоцилиндрическую поверхность скольжения.

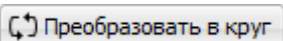
**Текстом** - нажав кнопку , открываем диалоговое окно «**Круглоцилиндрическая поверхность скольжения**» и вводим координаты центра  $x$ ,

у и диаметр.

- **Полигональная поверхность скольжения**

**Графически** - нажатием кнопки  на панели инструментов активируем режим ввода поверхности скольжения - процедура задания аналогична работе при **вводе границ контура**.

**Текстом** - нажимаем кнопку  и с помощью кнопки над таблицей  открываем диалоговое окно «**Создать точки**». В диалоговое окно с помощью координат  $x, y$  задаём точки поверхности скольжения.

Кнопкой  можно полигональную поверхность скольжения преобразовать в круглоцилиндрическую.

Функции остальных кнопок те же как в случае круглоцилиндрической поверхности скольжения.

## Ограничение оптимизации поверхности скольжения

В рамку «**Расчёт**» можно (нажав кнопку «**Ограничение**») задать ограничение оптимизации поверхности скольжения.

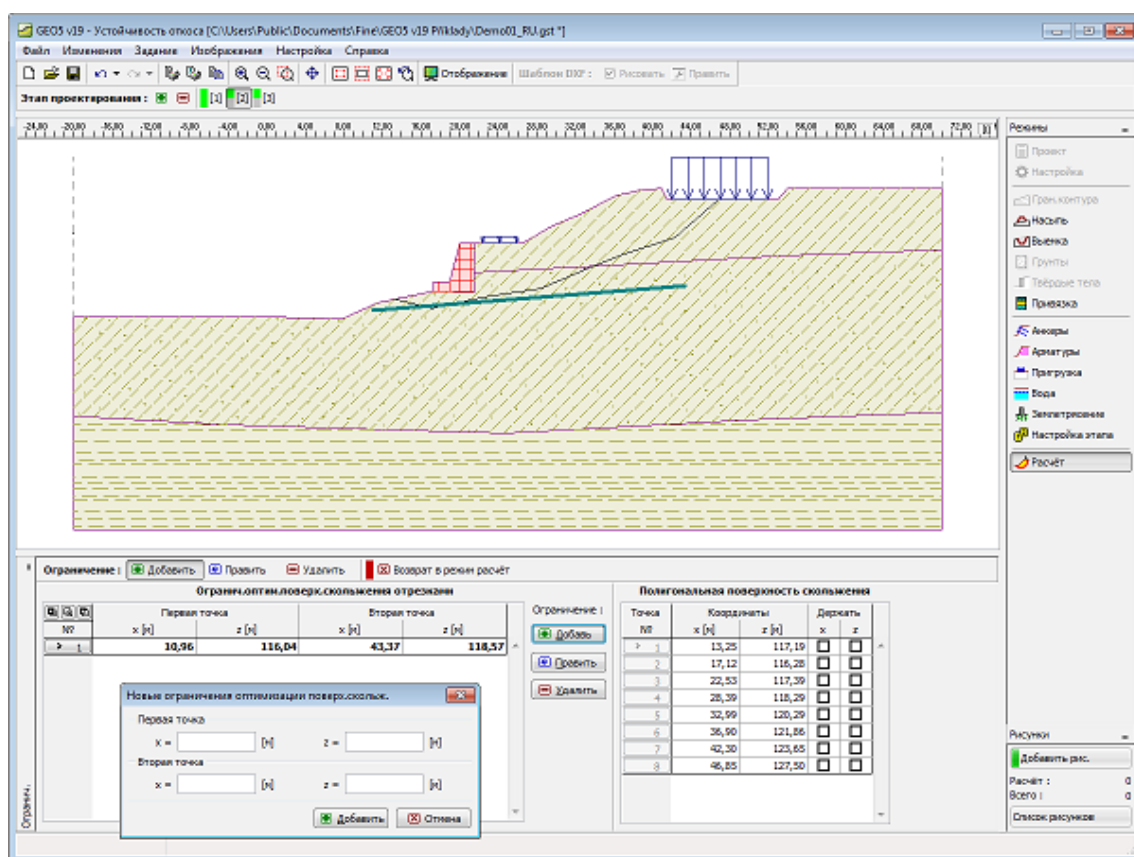
### Несмотря на предполагаемый тип поверхности скольжения

(**круглоцилиндрическая, полигональная**) можно или в диалоговом окне, или мышью задавать отрезки расположенные в профиле грунта, пересечение которых при оптимизации поверхностью скольжения запрещено. Эти отрезки записывают в **таблицу** в левой части рамки.

У **полигональной поверхности скольжения** некоторые точки поверхности скольжения можно исключить **из оптимизации полигональной поверхности скольжения**, или полностью, или в каком-нибудь из направлений. «**Держать точку**» при оптимизации задают галочкой в соответствующем поле в таблице в правой части рамки.

Из режима ограничения оптимизации поверхностей скольжения выходим нажав кнопку с красной подсветкой «**Возврат в режим расчёт**».





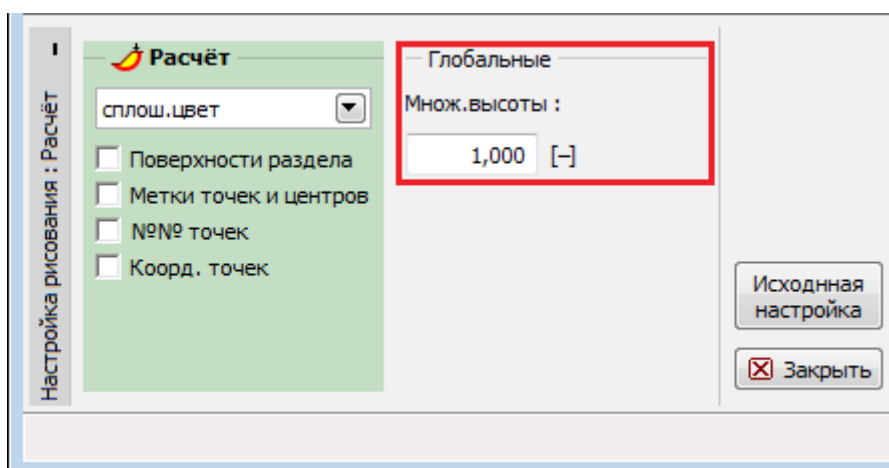
Рамка «Расчёт» - режим ограничения оптимизации поверхности скольжения с помощью отрезков

## Множитель высоты

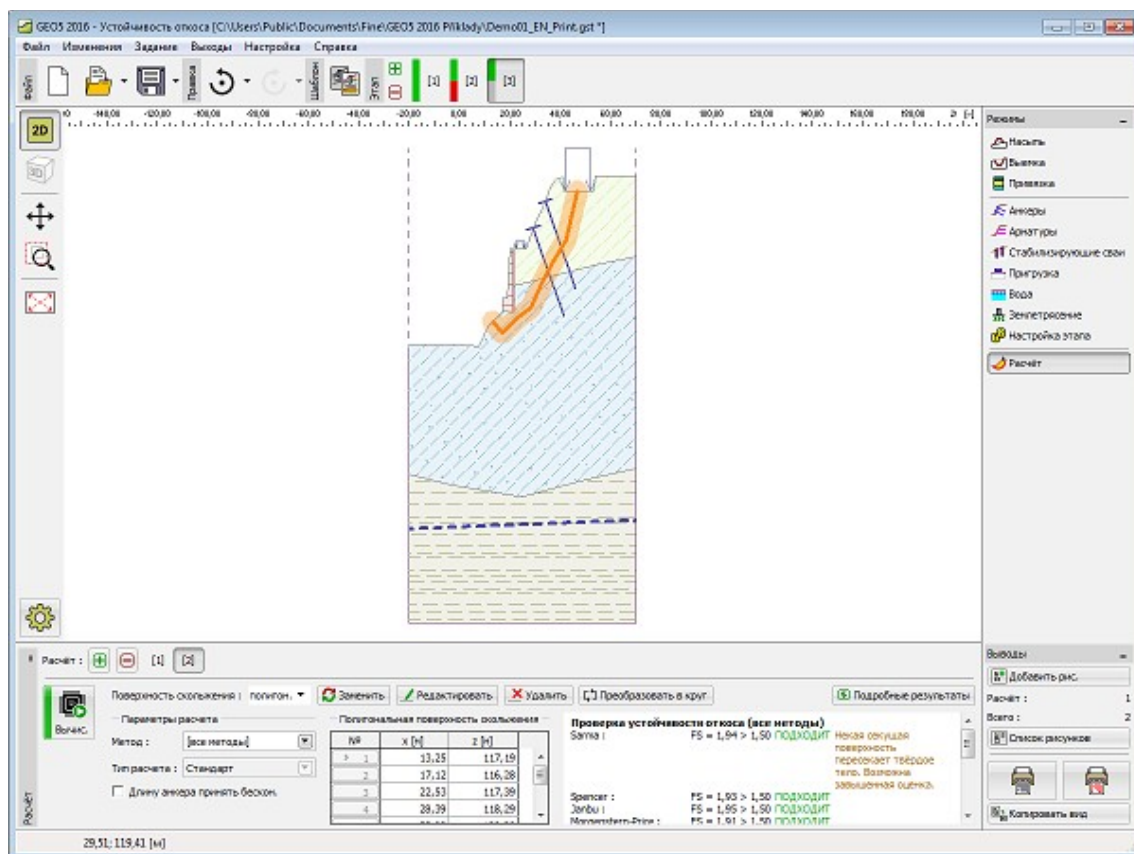
В случае, что задан откос большой длины и небольшой высоты, вырисовка поверхности скольжения может получиться не совсем чёткой. Это может быть решено установкой более крупного масштаба в вертикальном направлении: для этого меняют значение множителя высоты в рамке «**Настройка рисования**», в закладке «**Глобальная 2D**». Когда задан «**Множитель высоты**» единица (стандартная установка), вырисовку конструкции получают без деформации пропорций.

При применении множителя высоты графический ввод задания возможен только для полигональной поверхности скольжения. Кругло-цилиндрическую поверхность скольжения можно задавать цифрами в диалоговом окне «**Круглоцилиндрическая поверхность скольжения**» кнопкой «**Задать**».





Установка множителя высоты



Результат изображения поверхности скольжения с применением множителя высоты

## Программа Скальный откос

Программа выполняет расчёт устойчивости скальных откосов и стен с учётом типа оползней. Предлагает опцию задания плоской или полигональной поверхности скольжения, или клина породы.

**Справка для программы «Скальный откос» распространяется на следующие**

**области:**

- Ввод данных в отдельные рамки: Проект, Настройка

<b>Плоская и полигональная поверхность скольжения:</b>	Рельеф	Порода	Поверхность скольжения (плоская)	Поверхность скольжения (полигональная)	Вода (плоская поверхность скольжения)	Вода (полигональная поверхность скольжения)
--	--------	--------	----------------------------------	--	---------------------------------------	---

Пригрузка	Анкеры	Землетрясение	Настройка этапа	Расчёт (плоская поверхность скольжения)	Расчёт (полигональная поверхность скольжения)
-----------	--------	---------------	-----------------	---	---

<b>Клин породы:</b>	Геометрия	Поверхность скольжения	Параметры	Вода	Пригрузка	Анкеры
Землетрясение	Настройка этапа	Расчёт				

- Стандарты и методы расчёта
- Теория расчётов в программе «Скальный откос»:
 

Параметры пород	Скальный откос
-----------------	----------------
- Справка относительно результатов на выходе
- Информация общего характера о работе в пользовательской среде программ GEO5
- Общие операции для всех программ

## Проект

В рамку «Проект» задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой текстовой и графической информации.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (метрическую / дюймовую). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «Геобуфера».

Рамка «Проект»

## Настройка

В **рамку «Настройка»** предназначена для ввода основных **«Настроек»** программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой **«Выбрать настройки»** выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из **«Перечня настроек»**.

Кнопка **«Администратор настройки»** открывает диалоговое окно **«Администратор настройки»**, в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют которая из Настроек будет визуализована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

Кнопка **«Добавить в администратор»** позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

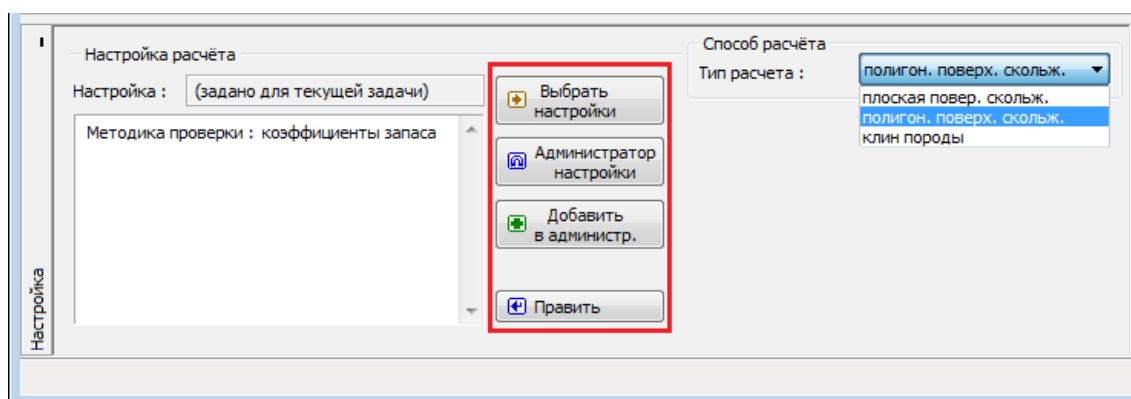
Кнопка **«Править»** позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в **«Задано для текущей задачи»**. После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку **«Добавить в администратор»** и добавляем настройку в **«Администратор настройки»**.

Настройка **«Задано для текущей задачи»** обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладке **«Расчёты на устойчивость»**.

В рамке выбирают тип поверхности скольжения:

- **Плоская поверхность скольжения**
- **Полигональная поверхность скольжения**
- **Клин породы**



Рамка «Настройка»

## Рельеф-плоская и полигональная поверхность скольжения

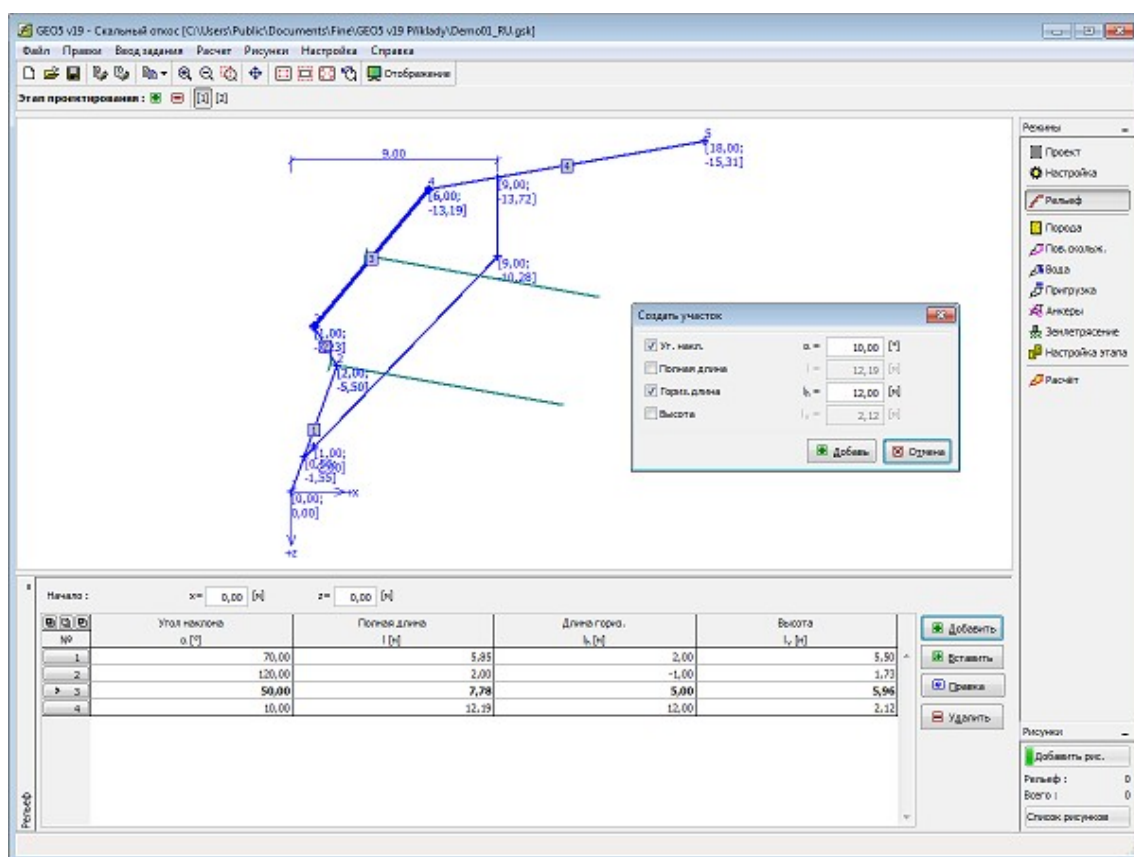
В рамке «Рельеф» находится таблица со списком заданных отсеков скального откоса.

В верхнюю часть рамки задают **координаты начала** - первой точки на местности, от которой следуют заданные отсеки. Направление склона в программе всегда слева направо.

**Добавление** отсека производится в диалоговом окне «Создать участок». Заданные участка можно редактировать также на рабочем столе с помощью **активных объектов**.

Отсек может быть задан углом наклона отсека, полной длиной отсека, горизонтальной длиной и высотой отсека скального откоса. Задают только **два выбранных значения** - остальные значения автоматически вычислит программа (если зачёркнуто больше полей ввода, программа не выполнит операцию вычисления и ввода). Можно тоже моделировать вертикальные и горизонтальные отсеки и навесы.

При корректном задании, программа **автоматически вырисовывает задаваемый отсек** штриховой линией на рабочем столе: это позволяет увидеть правильно-ли он задан перед тем как подтвердить задание кнопкой «Добавь».



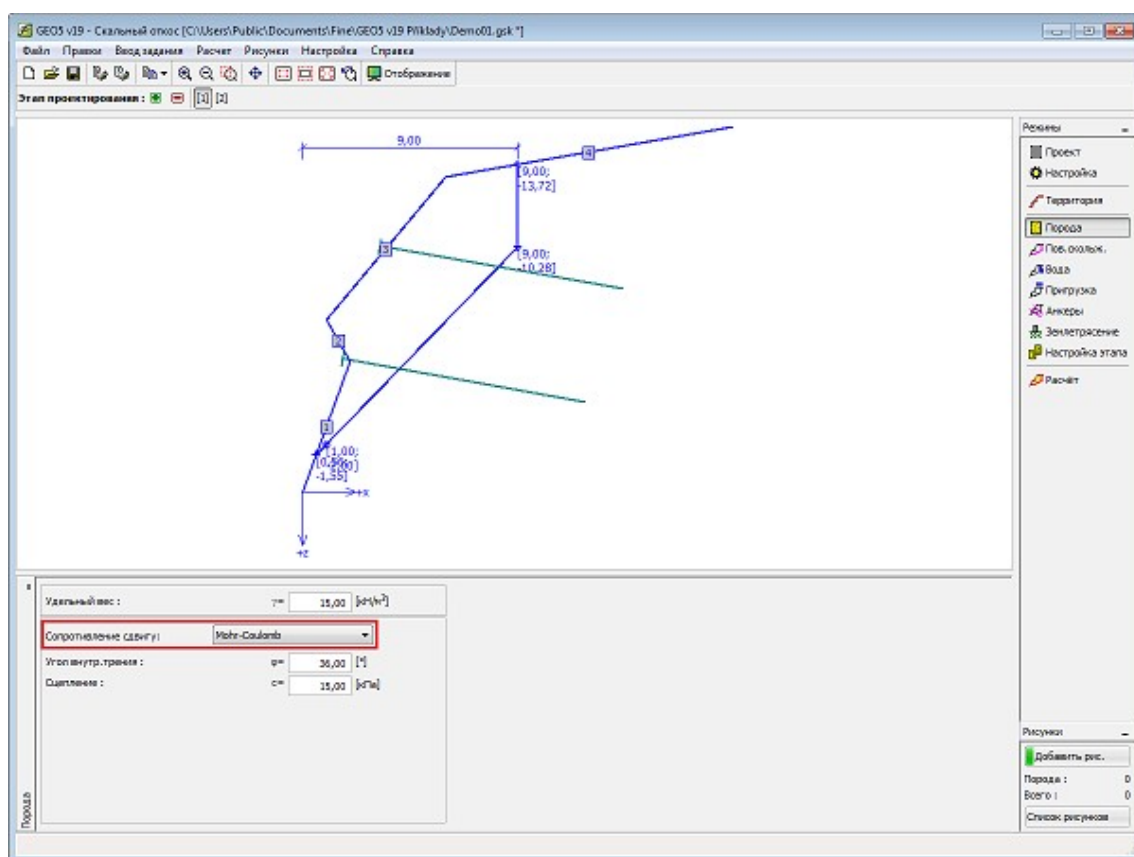
Рамка «Рельеф»

## Порода

В рамку «Порода» задают свойства породы (ориентировочные значения) скального откоса (по типу сопротивления сдвигу) и удельный вес породы. Программа может выполнять расчёты по трём типам сопротивления сдвигу на поверхности скольжения:

- Mohr - Coulomb
- Barton - Bandis
- Hoek - Brown

В соответствии с выбранным методом задают параметры породы.



Рамка «Порода»

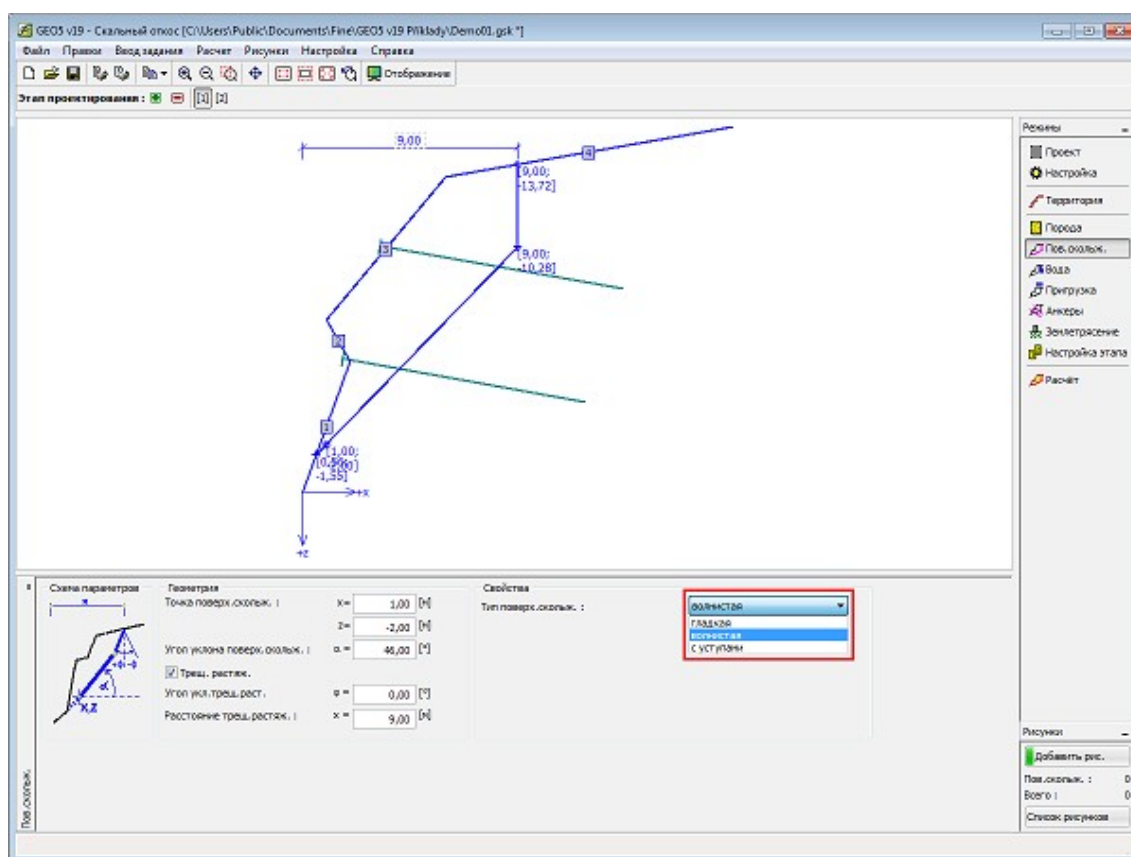
## Поверхность скольжения - плоская

В **рамку** «Поверхность скольжения» задают форму и параметры поверхности скольжения. Поверхность скольжения определена точкой в массиве и углом наклона. Программа автоматически рассчитает точки пересечения поверхности скольжения с рельефом.

Программа позволяет определять **трещину разрыва** любого угла наклона (кроме ступенчатой (ломаной) поверхности скольжения). Трещина определена горизонтальным расстоянием от **начала** и углом наклона.

**Плоскую поверхность скольжения** можно дальше определить как: гладкая, **волнистая**, или **ступенчатая** (ломаная).

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.



Рамка «Поверхность скольжения» - плоская

## Поверхность скольжения - полигональная

В рамке «Поверхность скольжения» находится таблица со списком заданных отсеков поверхности скольжения. Добавление отсеков выполняется в диалоговом окне «Создать отсек». Заданные отсеки можно редактировать также на рабочем столе с помощью активных объектов.

В верхнюю часть рамки задают координаты начала - точки поверхности скольжения, от которых следуют следующие отсеки. Данная точка может находиться вне и мимо массива - программа автоматически вычисляет пересечение поверхности скольжения и профиля.

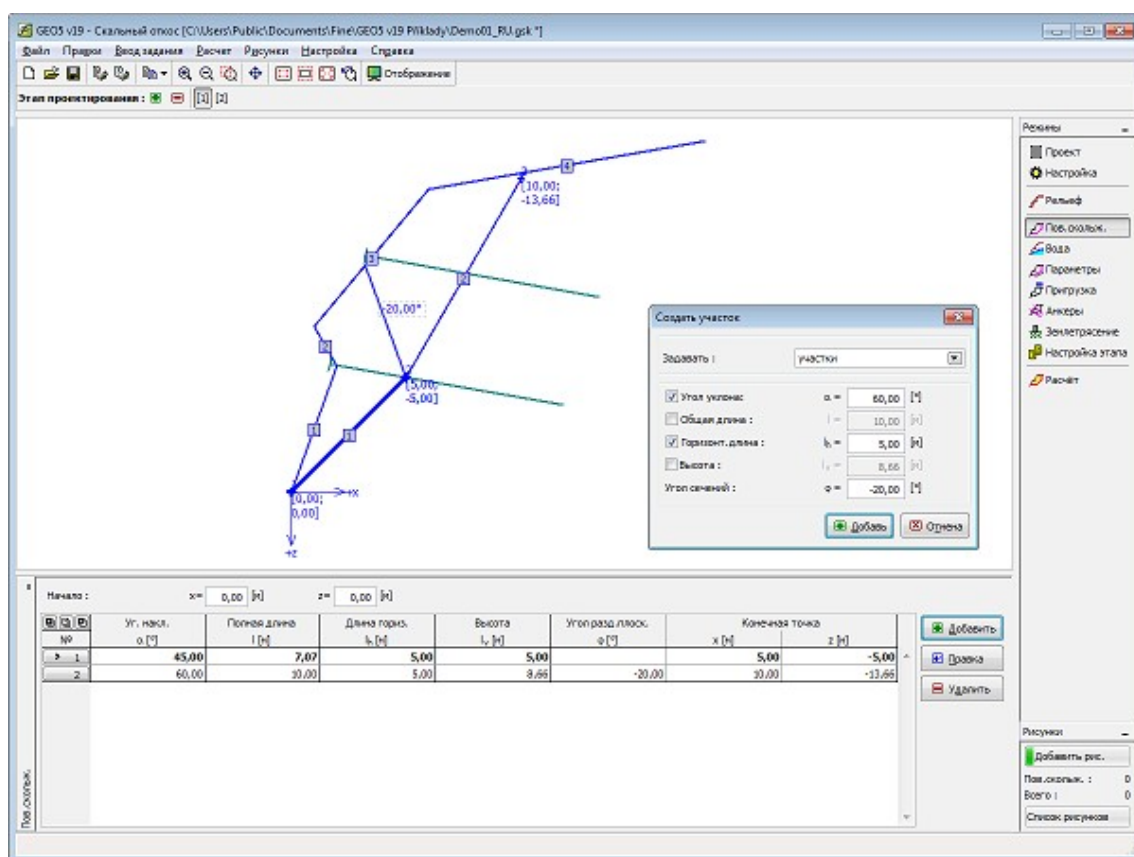
Отсеки поверхности скольжения можно задавать углом наклона отсека, полной длиной отсека, горизонтальной длиной и высотой отсека скального откоса. Задают только два выбранных значения - остальные автоматически вычислит программа (если зачёркнуто больше полей ввода, программа не выполнит операцию вычисления и ввода). Возможно тоже моделировать вертикальные и горизонтальные отсеки и навесы.

При корректном задании, программа автоматически вырисовывает задаваемый отсек штриховой линией на рабочем столе: это позволяет увидеть правильно-ли он задан перед тем как подтвердить задание кнопкой «Добавь».

Общие предпосылки для расчёта полигональной поверхности скольжения приведены здесь.

Программа позволяет экспорт геометрии конструкции в формате \*.DXF.





Рамка «Поверхность скольжения» - полигональная

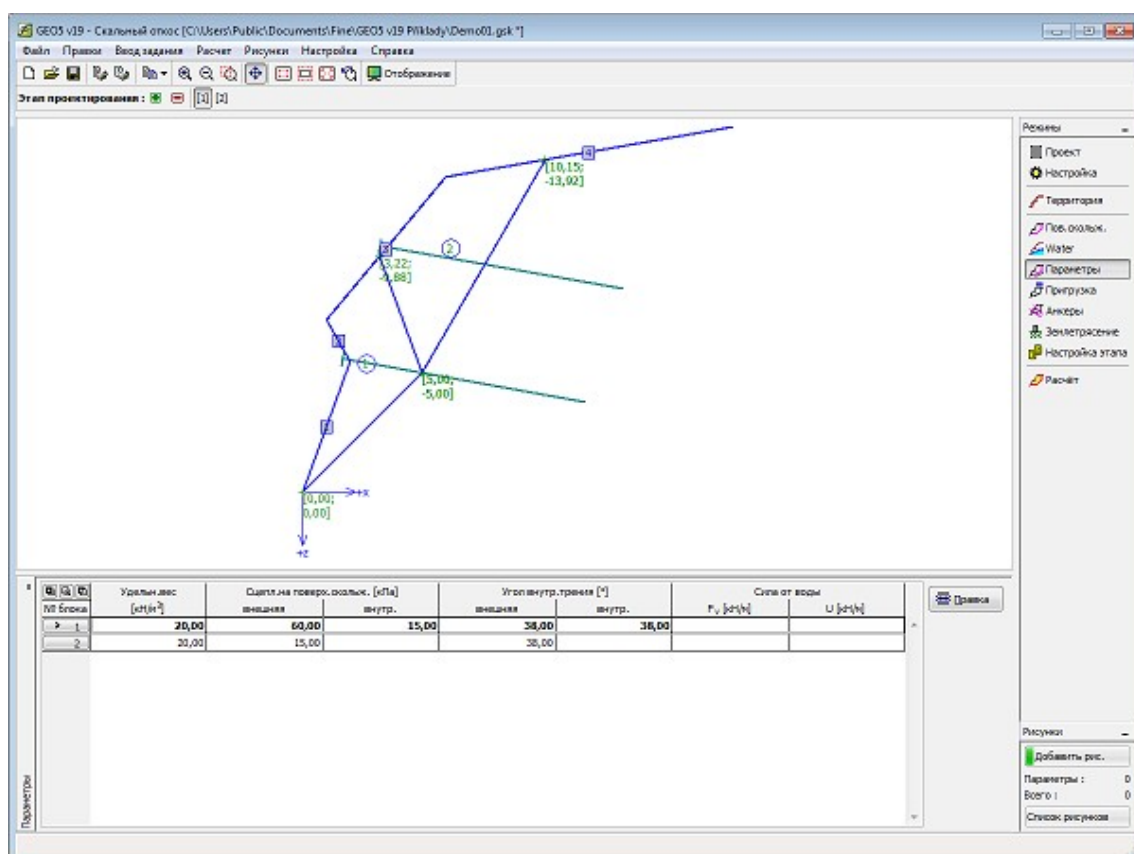
## Параметры - полигональная поверхность скольжения

В рамке «Параметры» находится таблица со списком блоков, которые образуются в результате задания полигональной поверхности скольжения. Редактирование параметров блоков выполняется в диалоговом окне «Правка блока». Редактирование блоков возможно также на рабочем столе с помощью активных объектов.

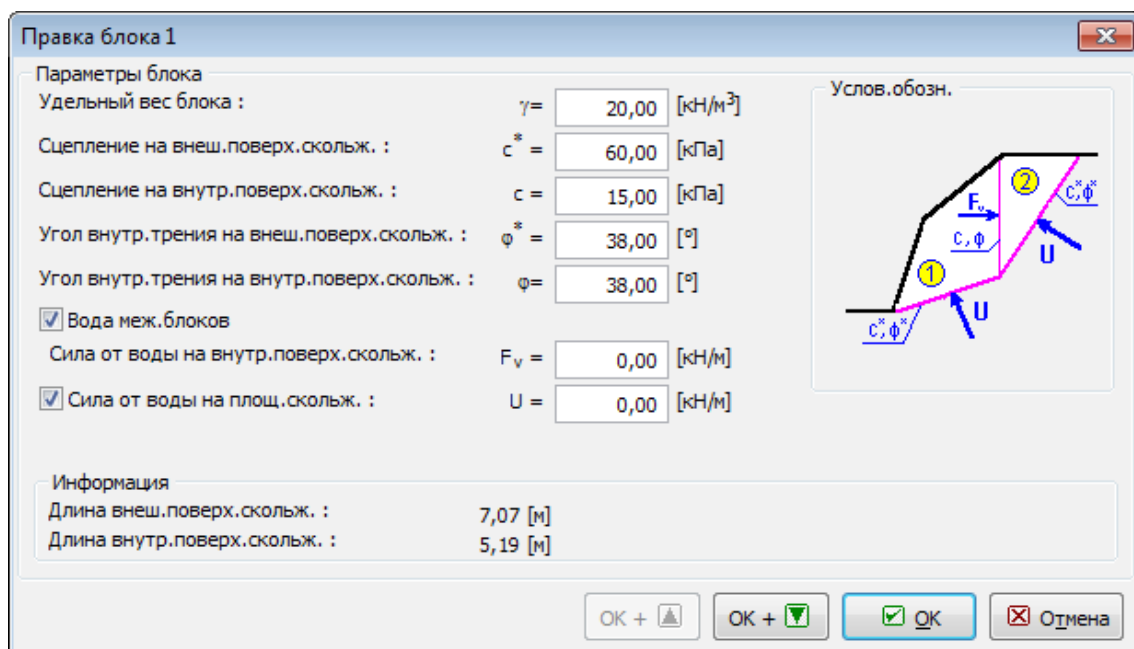
Здесь задают параметры сопротивления сдвигу по Mohr-Coulomb на поверхности скольжения и в швах отделяющих отдельные блоки, а также удельный вес породы блока.

В это окно задают также силы от воды в скальных блоках.

Общие предпосылки для расчёта полигональной поверхности скольжения приведены [здесь](#).



Рамка «Параметры» - полигональная поверхность скольжения

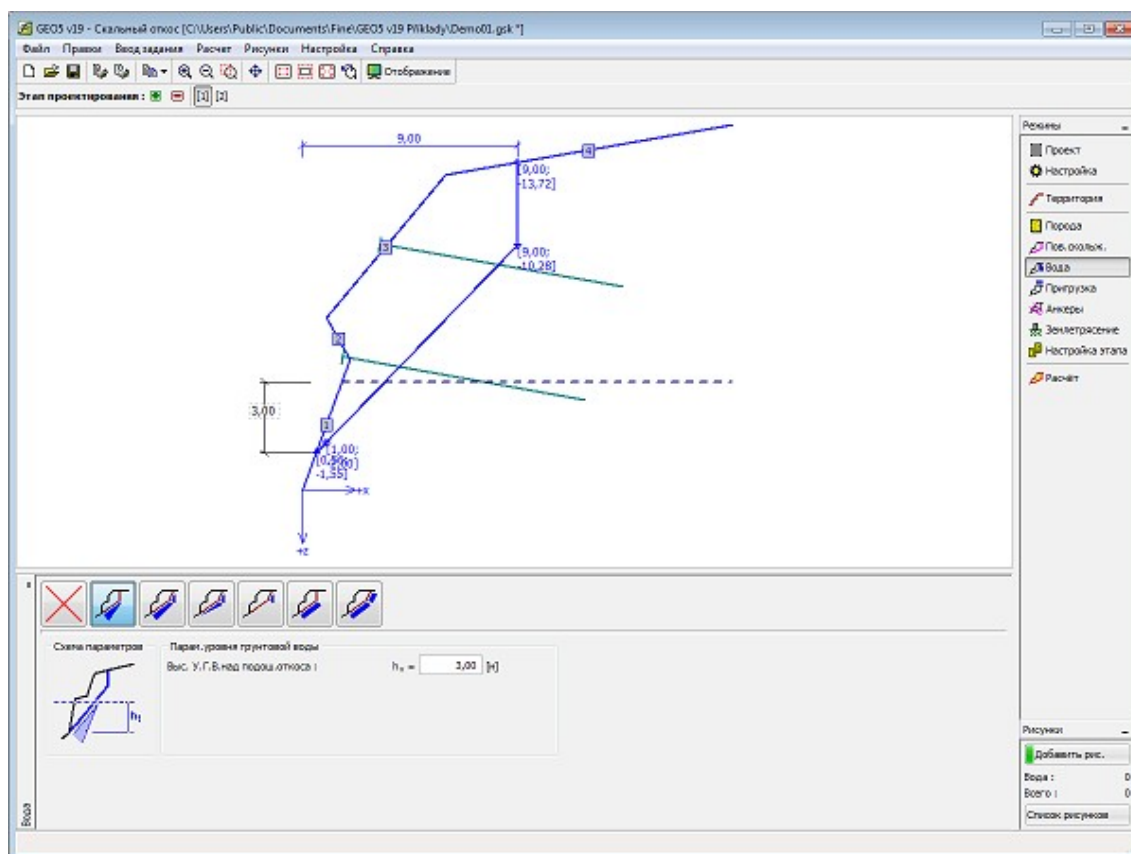


Диалоговое окно «Правка блока»

## Вода - плоская поверхность скольжения

В **рамке «Вода»** нажатием кнопки выбираем тип воды. Выбранный тип воды вместе с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Параметры воды можно редактировать - или вводом значений в поля ввода в рамке, или на рабочем столе с помощью **активных отметок**.

Порядок расчёта с учётом влияния воды описан в теоретическом разделе справки «**Влияние воды на поверхности скольжения**».



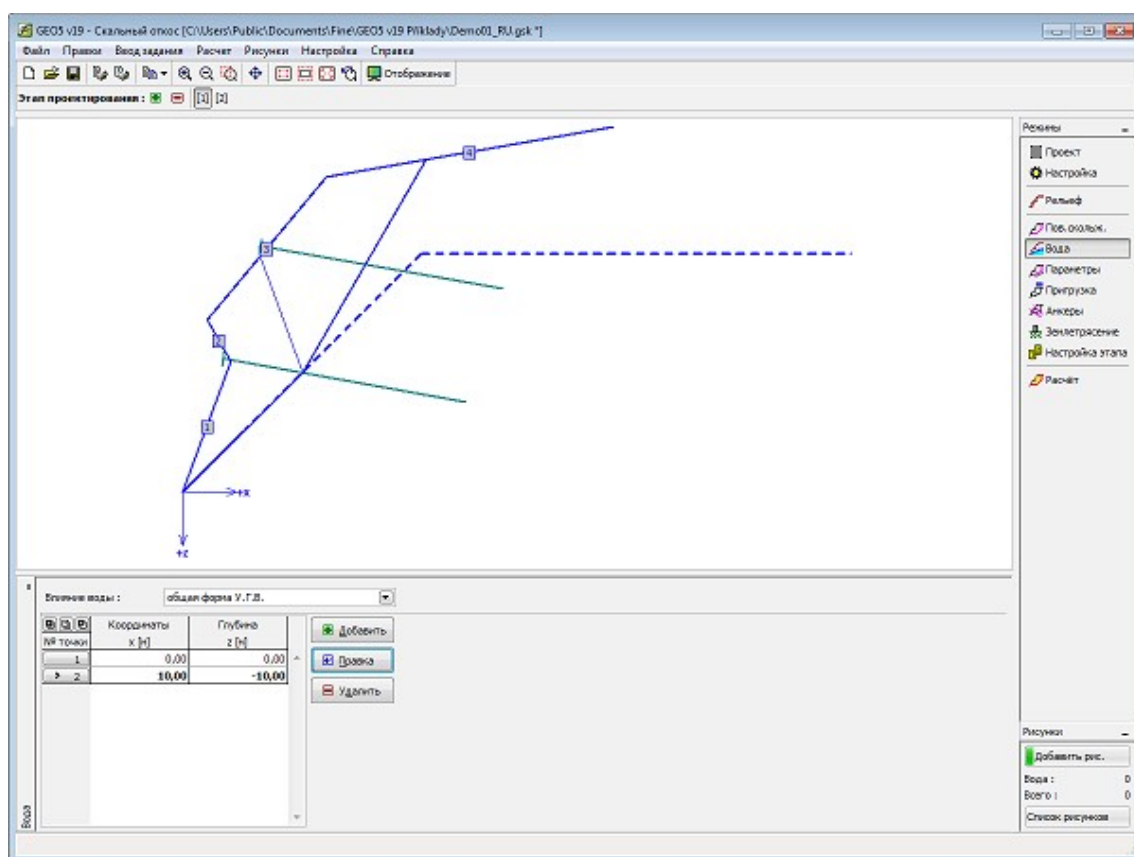
Рамка «Вода» - плоская поверхность скольжения

## Вода - полигональная поверхность скольжения

В **рамке «Вода»** задают **влияние воды** (нет воды, задать на блоки, горизонтальный У.Г.В., общий вид формы У.Г.В.). Параметры воды можно редактировать в рамке (вводим значения в поля ввода) или на рабочем столе с помощью **активных отметок**.

Процесс расчёта с влиянием воды описан в теоретическом разделе справки «**Влияние воды на полигональной поверхности скольжения**».

При выборе «**задавать на блоки**» силы от воды, приложенные к поверхности скольжения  $F_v$ , или силы от воды, приложенные к внутренней поверхности скольжения  $U$  задают в рамке «**Параметры**» (нажав кнопку «**Править**»).

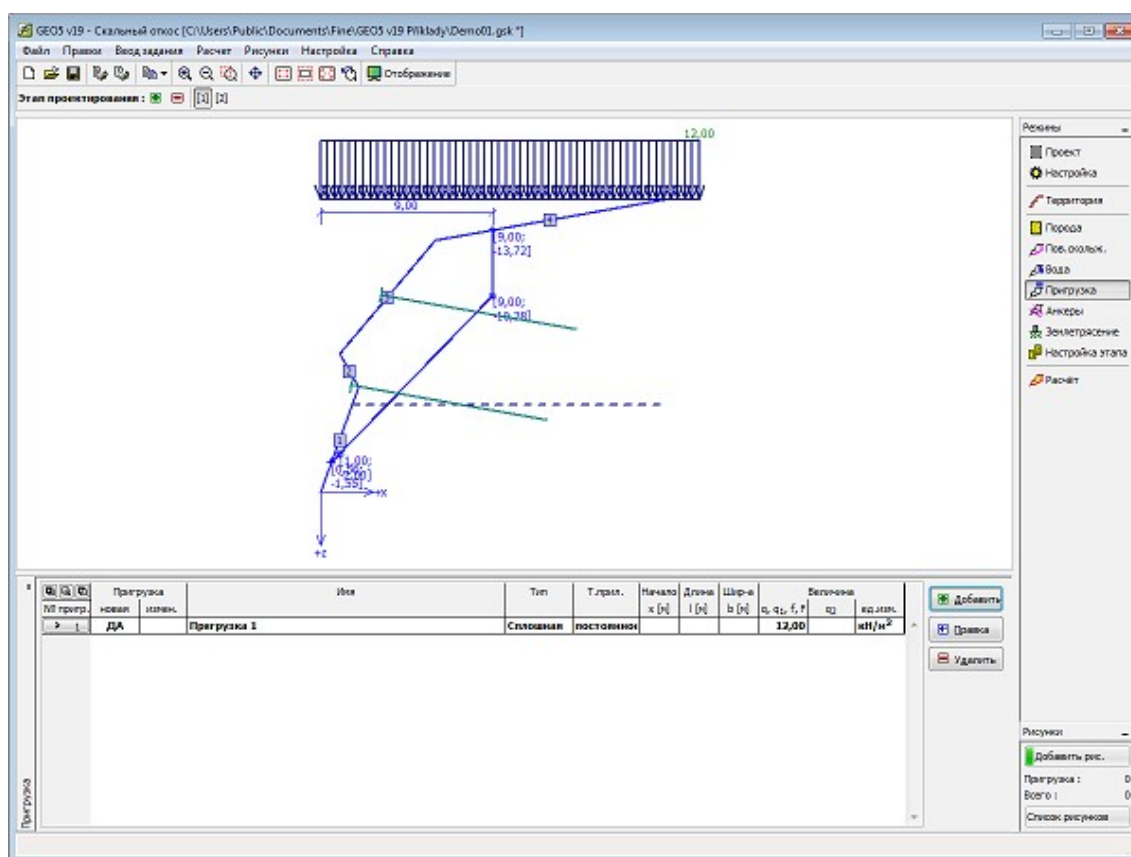


Рамка «Вода» - полигональная поверхность скольжения

## Пригрузка - плоская и полигональная поверхности скольжения

В рамке «Пригрузка» есть таблица со списком заданных пригрузок. Добавление пригрузки выполняется в диалоговом окне «Создать пригрузку». Редактировать заданную пригрузку можно также на рабочем столе с помощью активных отметок (размерных чисел).

Учёт сил от пригрузки в расчётах плоской поверхности скольжения и полигональной поверхности скольжения будет разным.



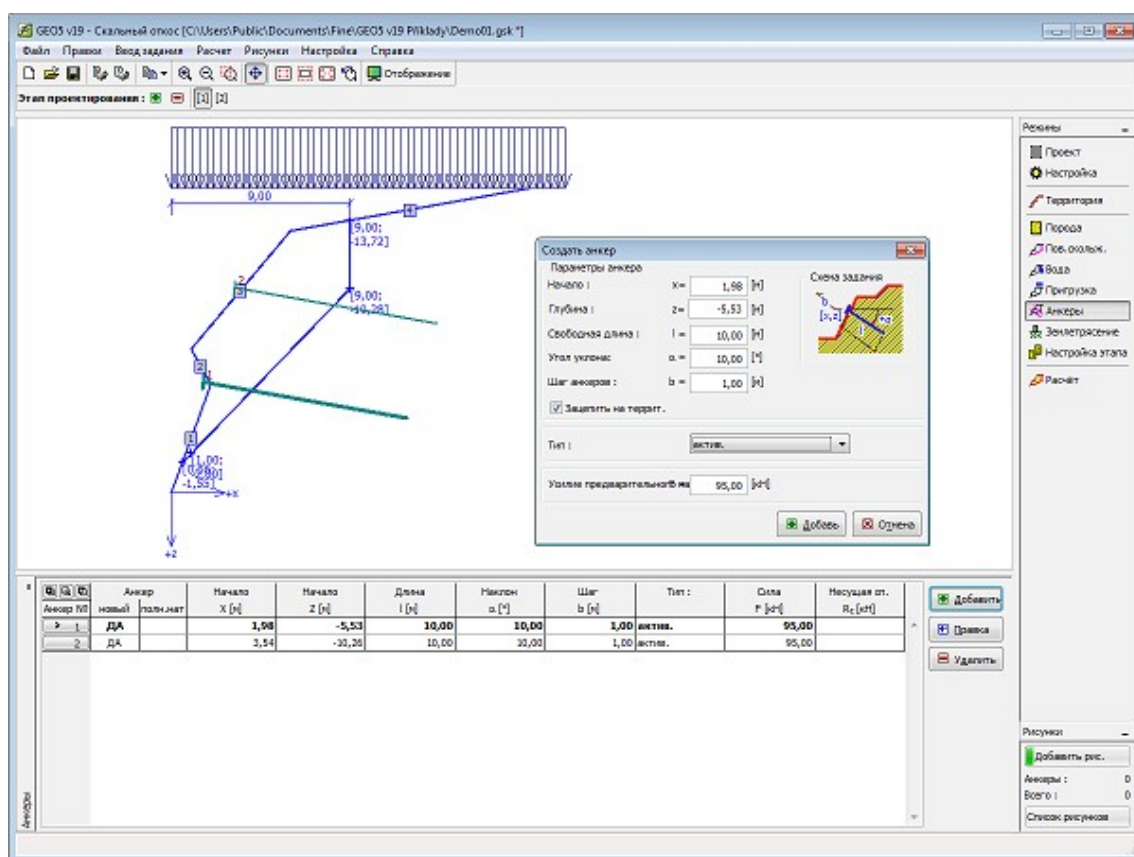
Рамка «Пригрузка» - плоская и полигональная поверхности скольжения

## Анкеры - плоская и полигональная поверхности скольжения

В рамке «Анкеры» находится таблица со списком заданных анкеров. Добавление анкеров выполняется в диалоговом окне «Создать анкеры». Заданные анкеры можно редактировать на рабочем столе с помощью активных объектов.

Задают расположение (начало), глубину, свободную длину, угол наклона анкера, расстояние между анкерами и усилие в анкере. Начало анкера можно автоматически **зацепить на местность** (зачеркнуть окошко). Заданные параметры анкера можно менять на этапе проектирования, на котором они были заданы. На последующих этапах проектирования менять можно только усилие в анкере (выбор «Послед. натяж. анкера»).

Для плоской поверхности скольжения можно задавать активные и пассивные анкеры. Для полигональной поверхности скольжения анкеры в расчёт принимаются активными.

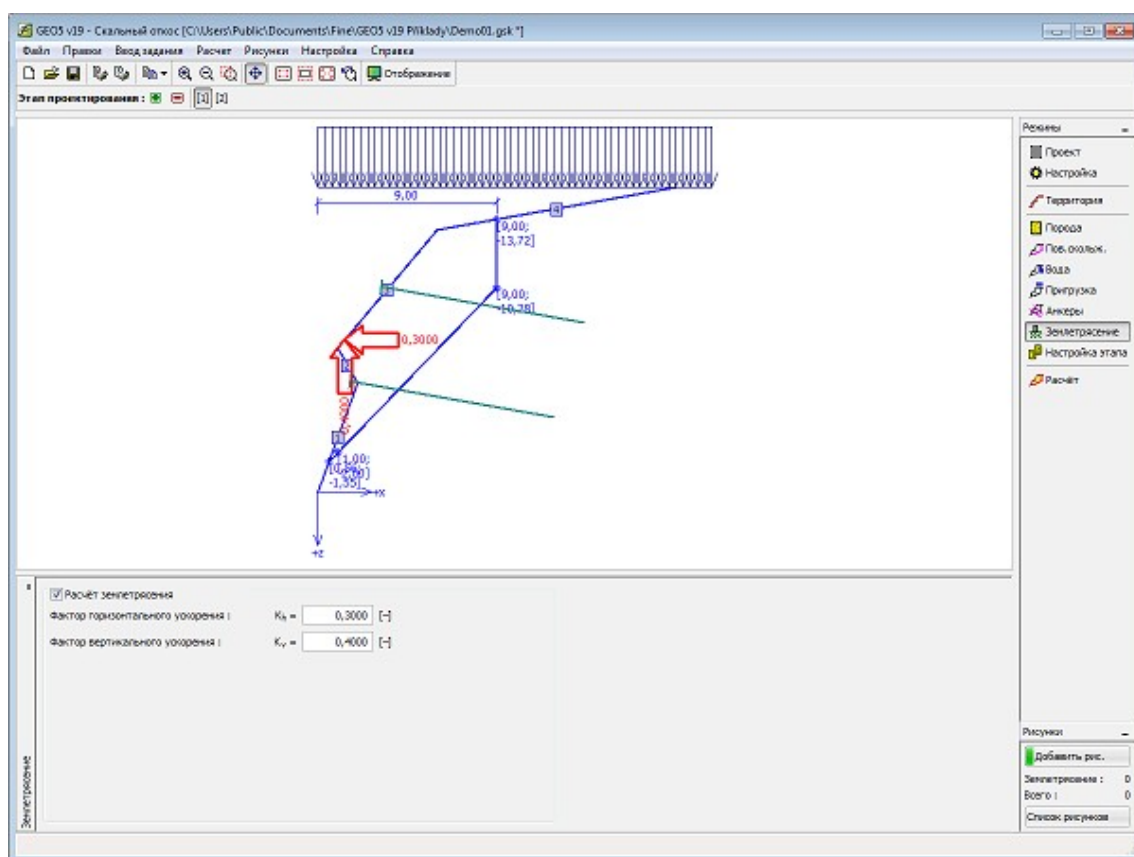


Рамка «Анкеры» - плоская и полигональная поверхности скольжения

## Землетрясение

В **рамке «Землетрясение»** задают параметры землетрясения. Направления заданных воздействий землетрясения отображены на рабочем столе.

Расчёт устойчивости состояния при влиянии землетрясения описан в теоретическом разделе справки «**Влияние землетрясения**».



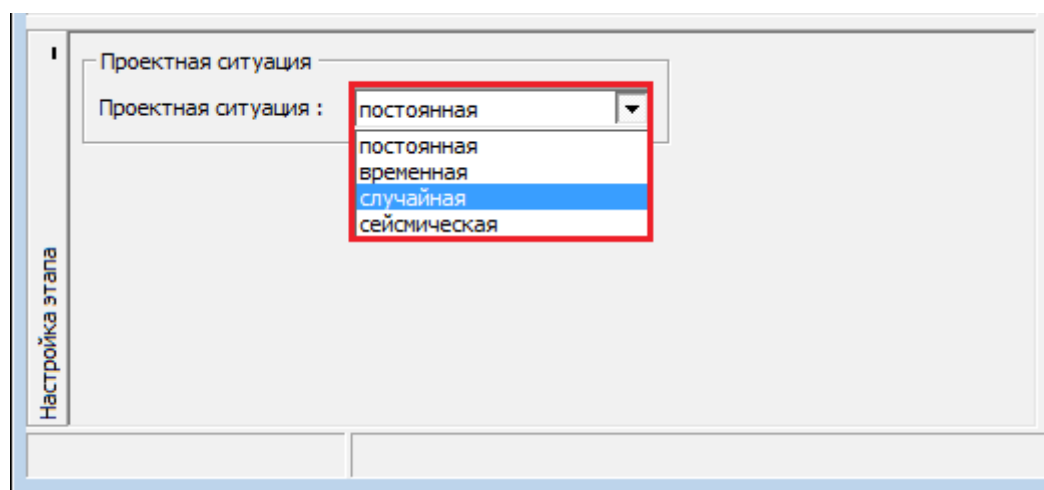
Рамка «Землетрясение»

## Настройка этапа

В **рамку «Настройка этапа»** задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования.

Внешний вид рамки зависит от выбора **методики проверки**.





Рамка «Настройка этапа»

## Расчёт - плоская поверхность скольжения

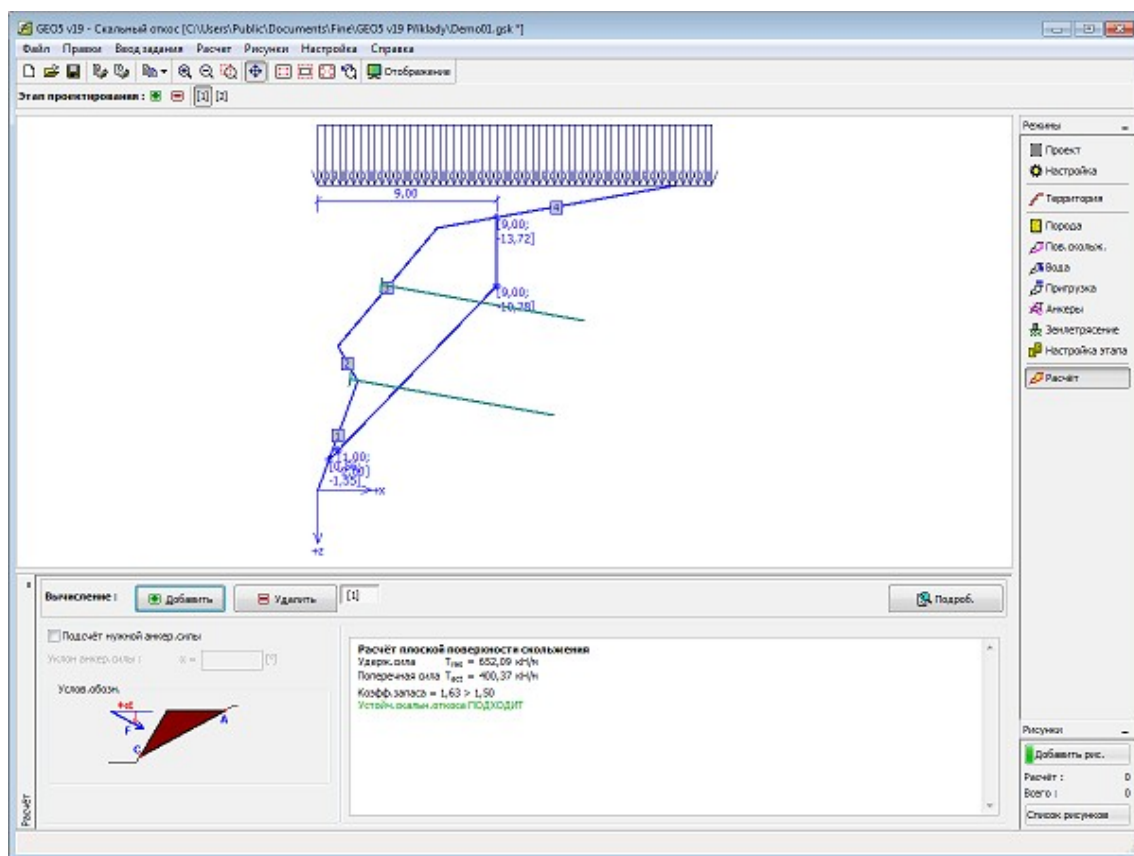
В рамке «Расчёт» отображены результаты расчёта. По одной заданной задаче можно выполнить несколько расчётов.

Проверку скального откоса при **плоской поверхности скольжения** можно выполнять в соответствии с выбранной **методикой проверки**, заданной в рамке «**Настройка**».

Результаты **расчёта** отображены в рамке в нижней части рабочего стола.

Программа в этой рамке позволяет вычислить **нужную анкерную силу** для получения требуемого коэффициента запаса. В этом случае ставим «птичку» на кнопку **«Подсчёт нужной анкерной силы»** и задаём угол наклона анкерной силы от горизонтали.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка стиля изображения».



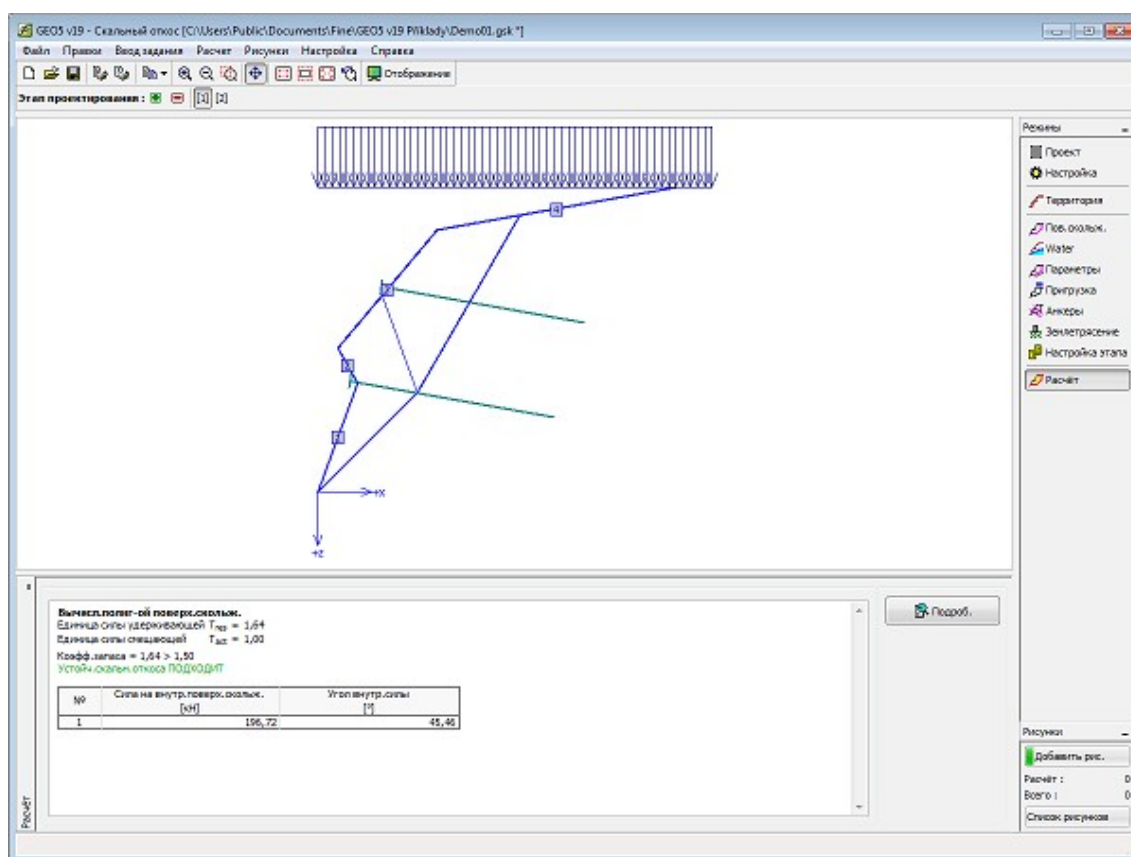
Рамка «Расчёт» - плоская поверхность скольжения

## Расчёт - полигональная поверхность скольжения

В рамке «Расчёт» отображены результаты расчёта. По одной заданной задаче можно выполнять несколько расчётов.

Проверку скального откоса при **полигональной поверхности скольжения** можно выполнять по выбранной **методике проверки**, заданной в рамке «Настройка». Результаты **расчёта** отображены в рамке в нижней части рабочего стола.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка стиля изображения**».



Рамка «Расчёт» - полигональная поверхность скольжения

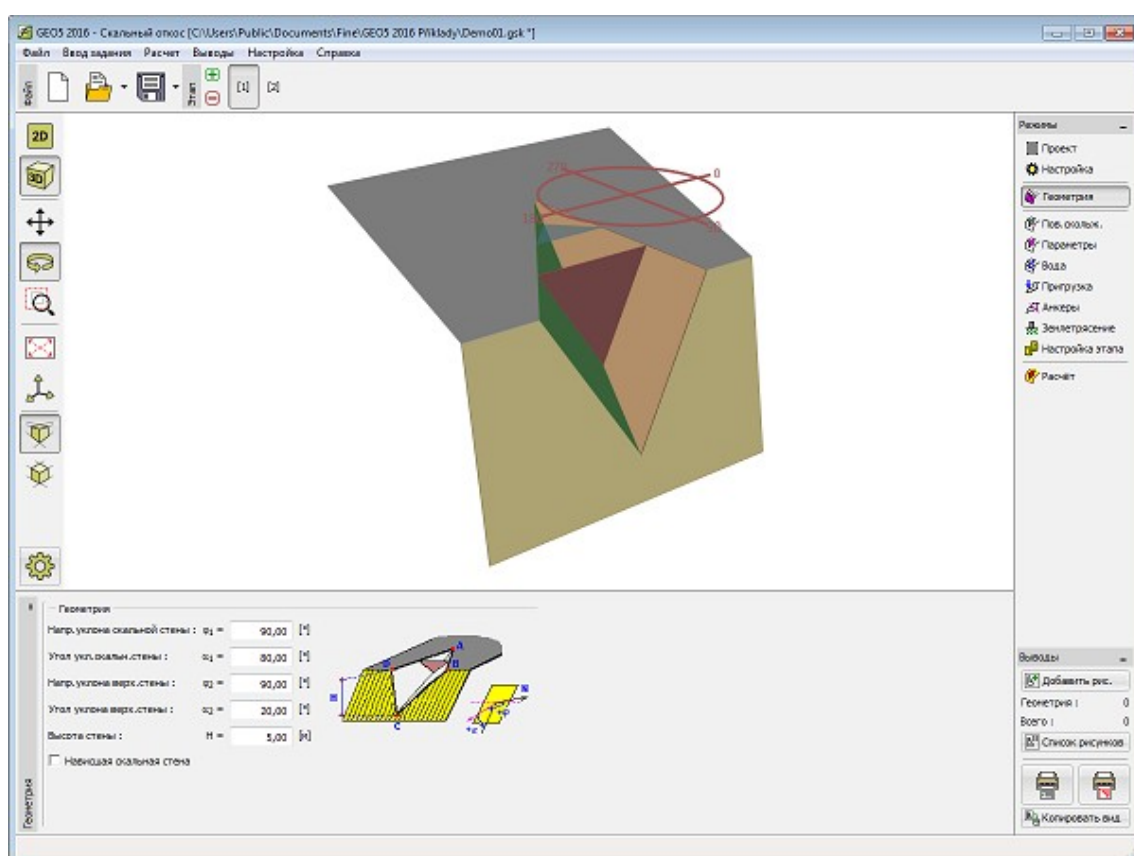
## Геометрия-клин породы

В **рамку «Геометрия»** задают форму скального откоса (клина породы).

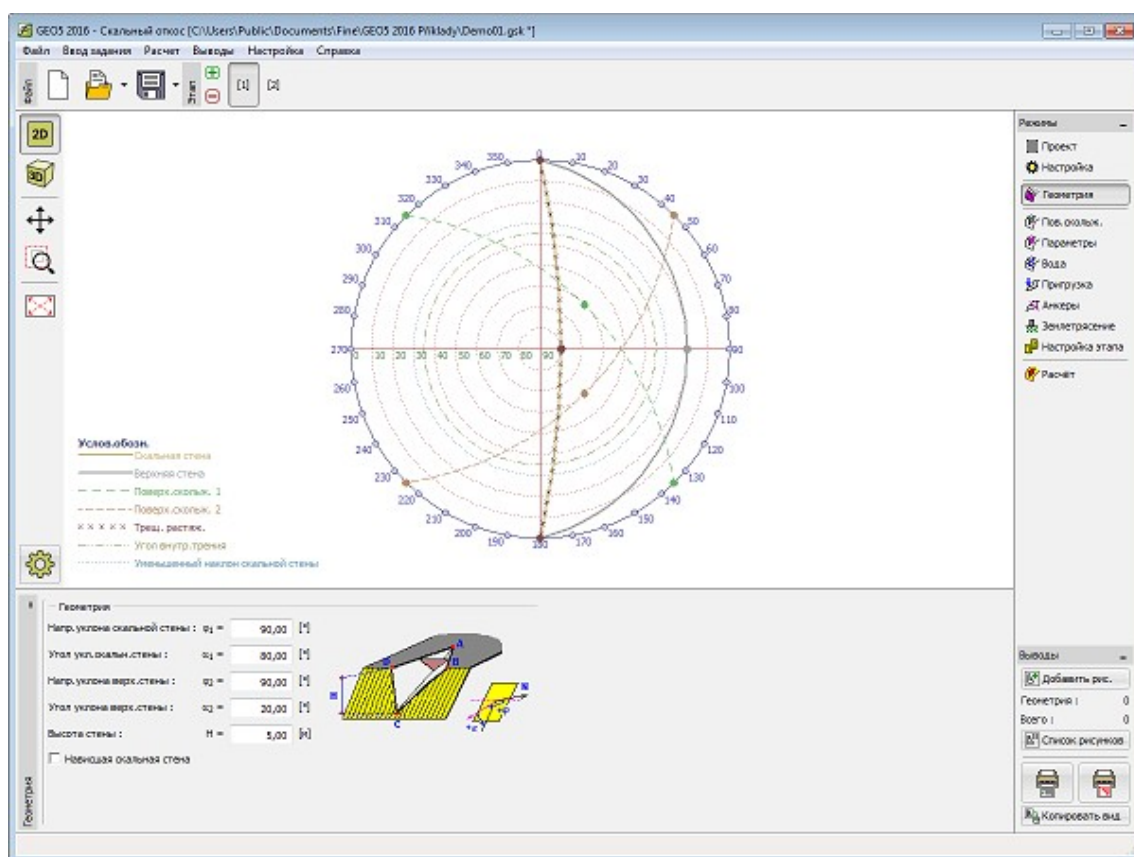
Геометрию клина пород задают с помощью **направления и угла линии максимального уклона стен**, образующих клин. Геометрия клина на рабочем столе вырисовывается с помощью **3D изображения** или **стереографической проекции**.

Нажав кнопку **«Нависающая скальная стена»** программа может моделировать **нависающие скальные стены**.

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.



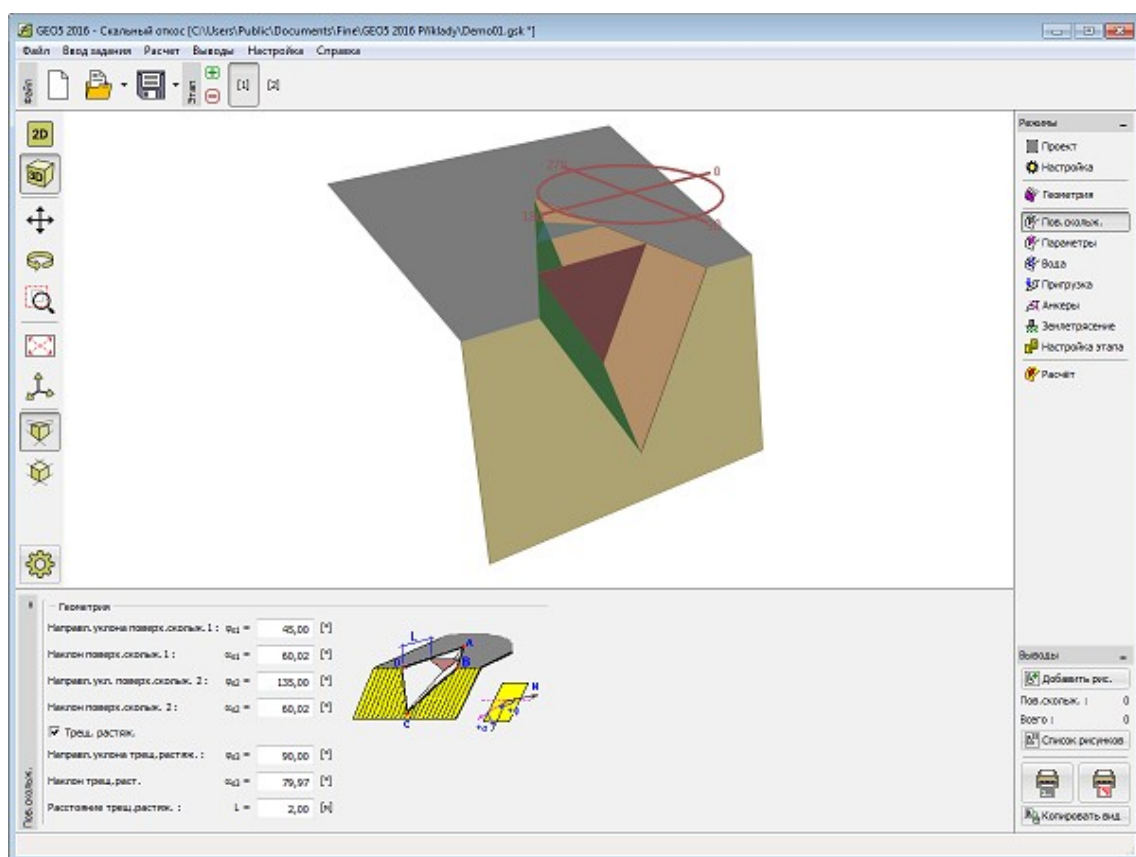
Рамка «Геометрия» - клин породы - 3D изображение



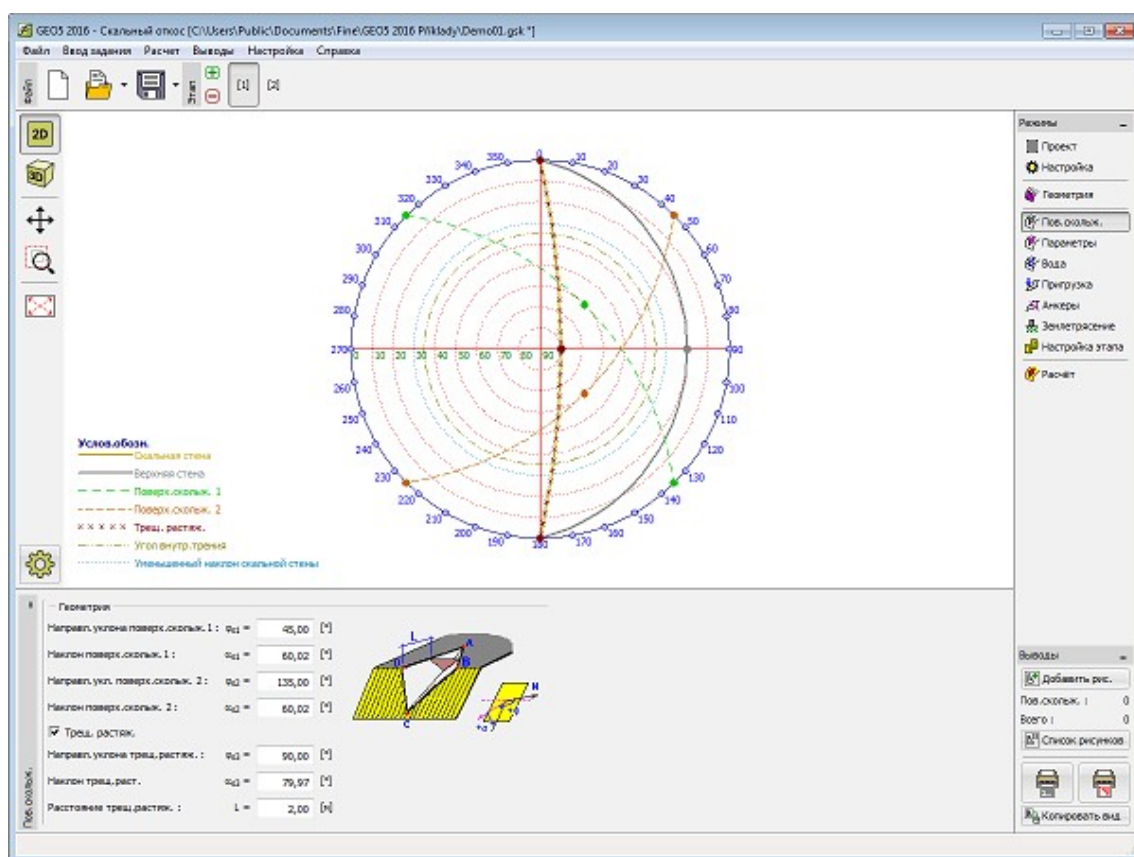
*Рамка «Геометрия» - клин породы - задают при помощи направлений и углов наклона линии максимального уклона стен*

## Поверхность скольжения - клин породы

В **рамку «Поверхность скольжения»** задают форму поверхности скольжения с помощью **направления и угла наклона линии максимального уклона стен**, образующих клин. Есть возможность определения и трещины растяжения. Геометрия клина на рабочем столе вырисовывается с помощью **3D изображения** или **стереографической проекции**.



Рамка «Поверхность скольжения» - клин породы - 3D изображение

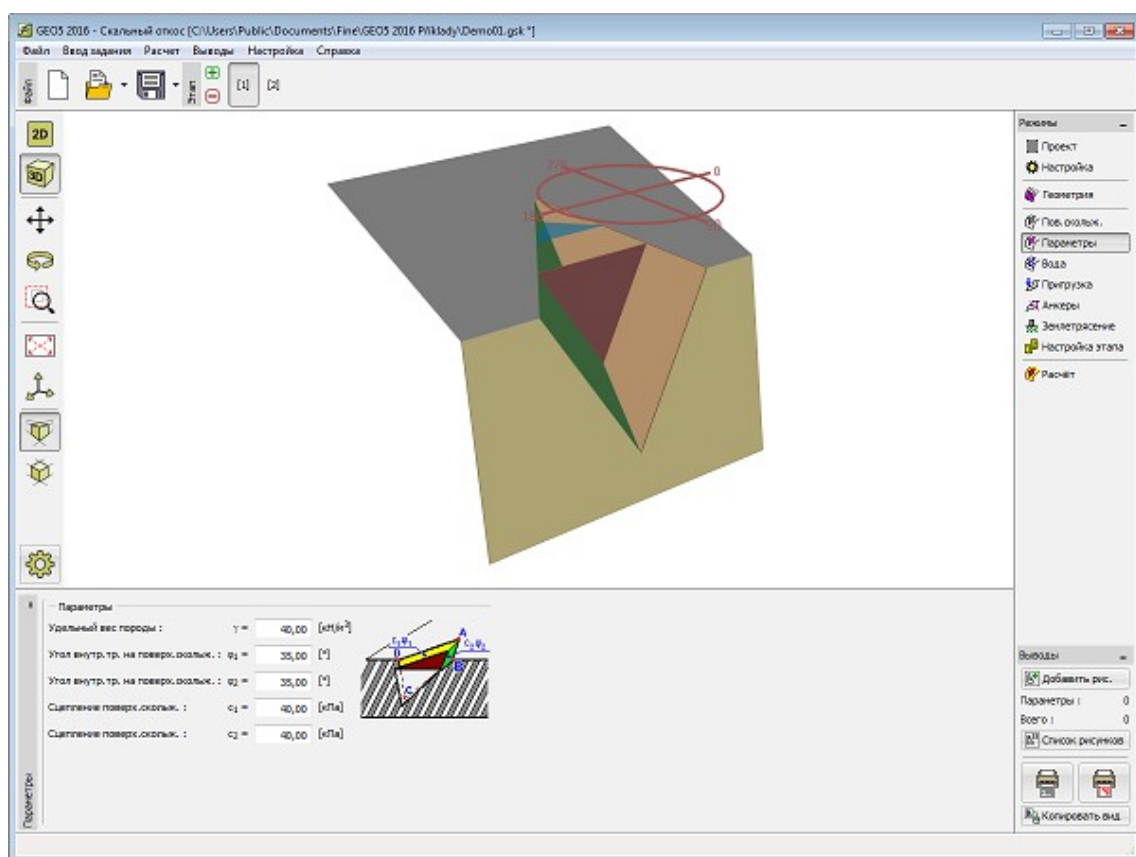


Рамка «Поверхность скольжения» - клин породы - стереографическая проекция

## Параметры - клин породы

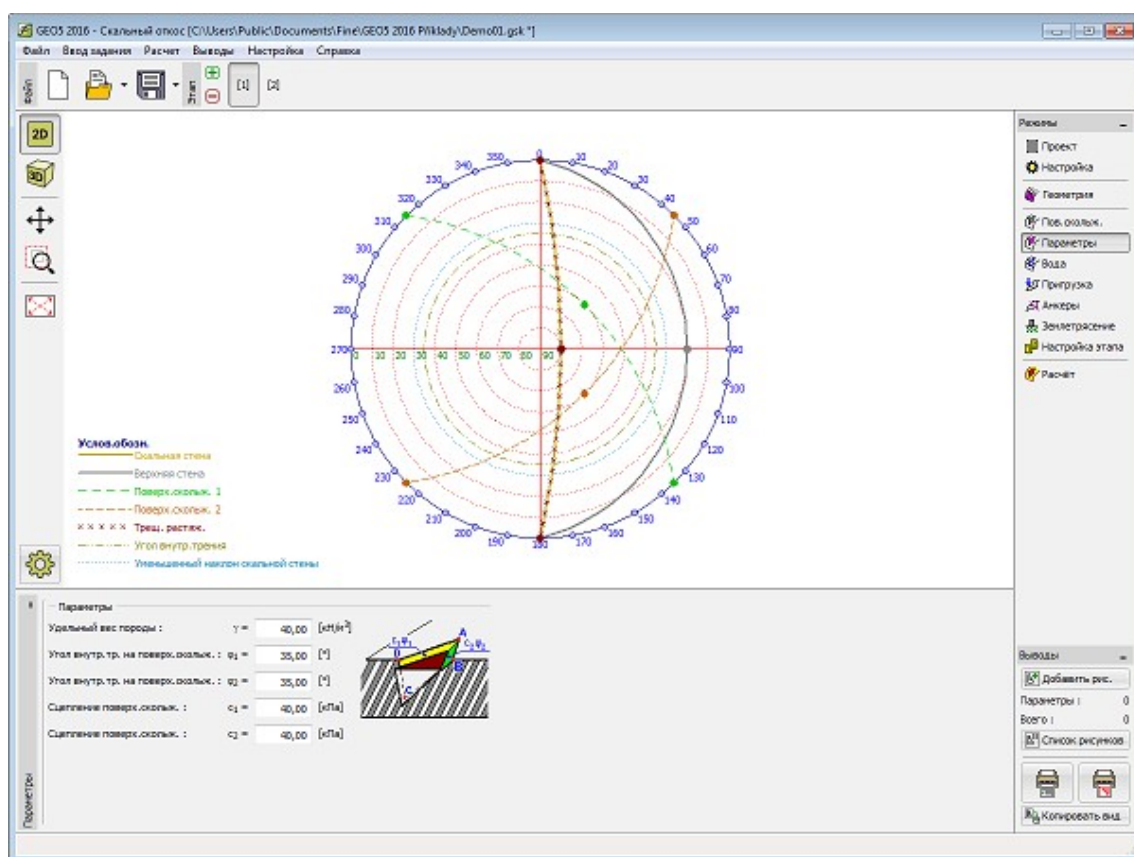
В рамке «Параметры» задают параметры клина породы: удельный вес породы и параметры сопротивления сдвигу поверхностей скольжения по **Мор Куломбу (Mohr-Coulomb)**.

Геометрия клина на рабочем столе вырисовывается с помощью **3D изображения** или **стереографической проекции**.



Рамка «Параметры» - клин породы-3D изображения





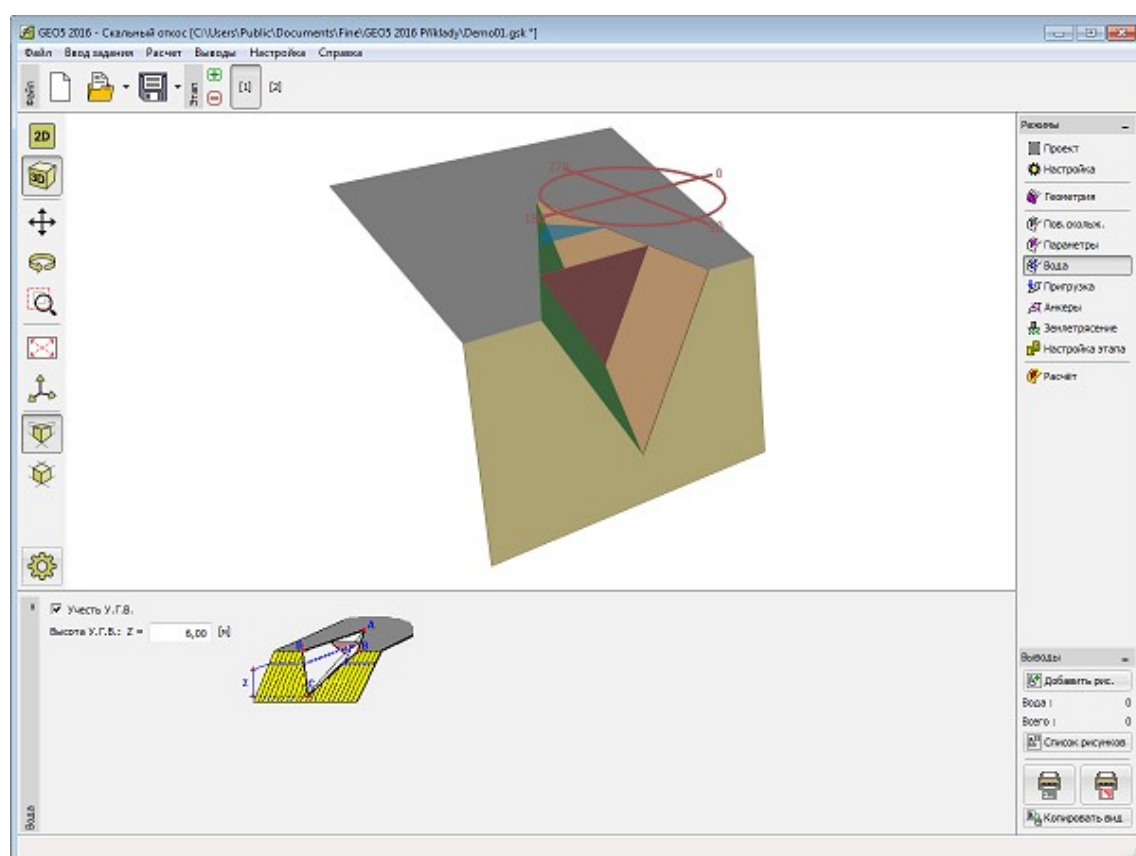
Рамка «Параметры» - клин породы - стереографическая проекция

## Вода - клин породы

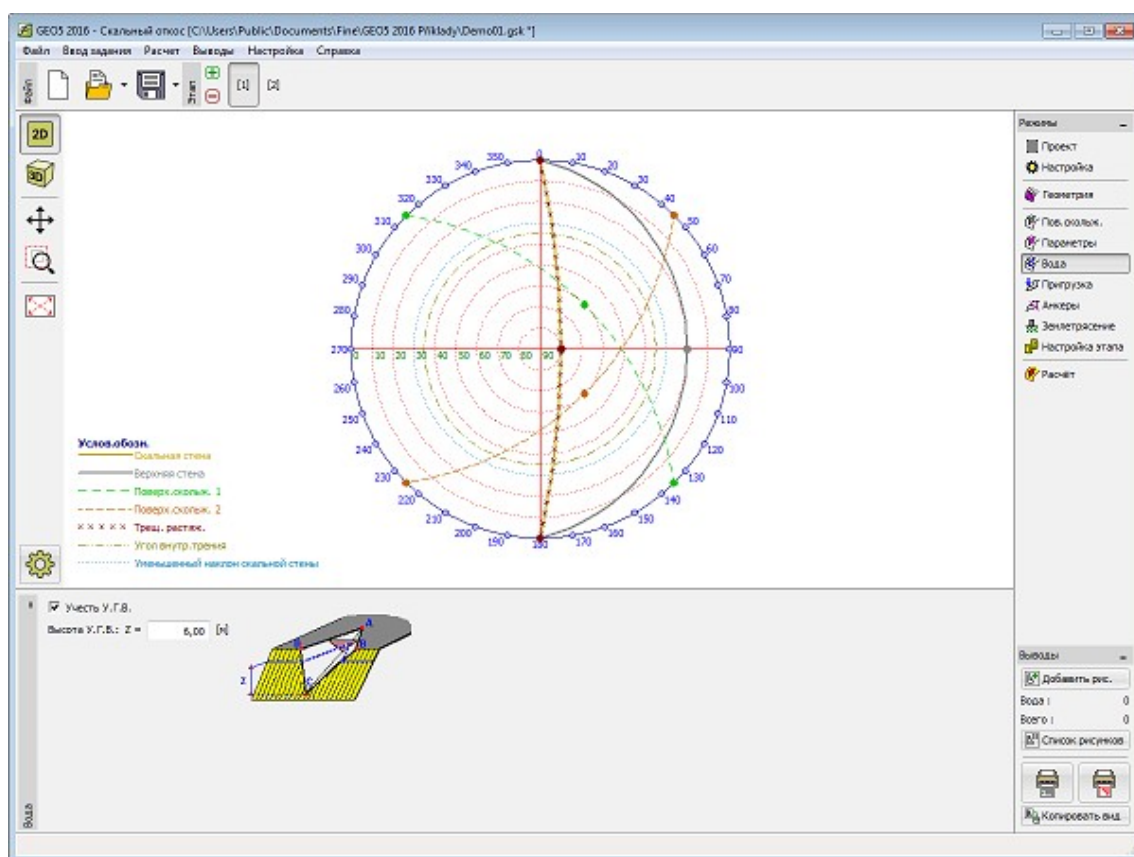
В рамке «Вода» можно включить в расчёт влияние воды. При расчёте с учётом влияния грунтовой воды ставим флажок и открываем поле для ввода высоты У.Г.В. над самой нижней точкой клина породы.

Расчёт с учётом влияния воды описан в теоретическом разделе справки «Влияние грунтовой воды».

Геометрия клина на рабочем столе вырисовывается с помощью 3D изображения или стереографической проекции.



*Рамка «Вода» - клин породы - 3D изображения*



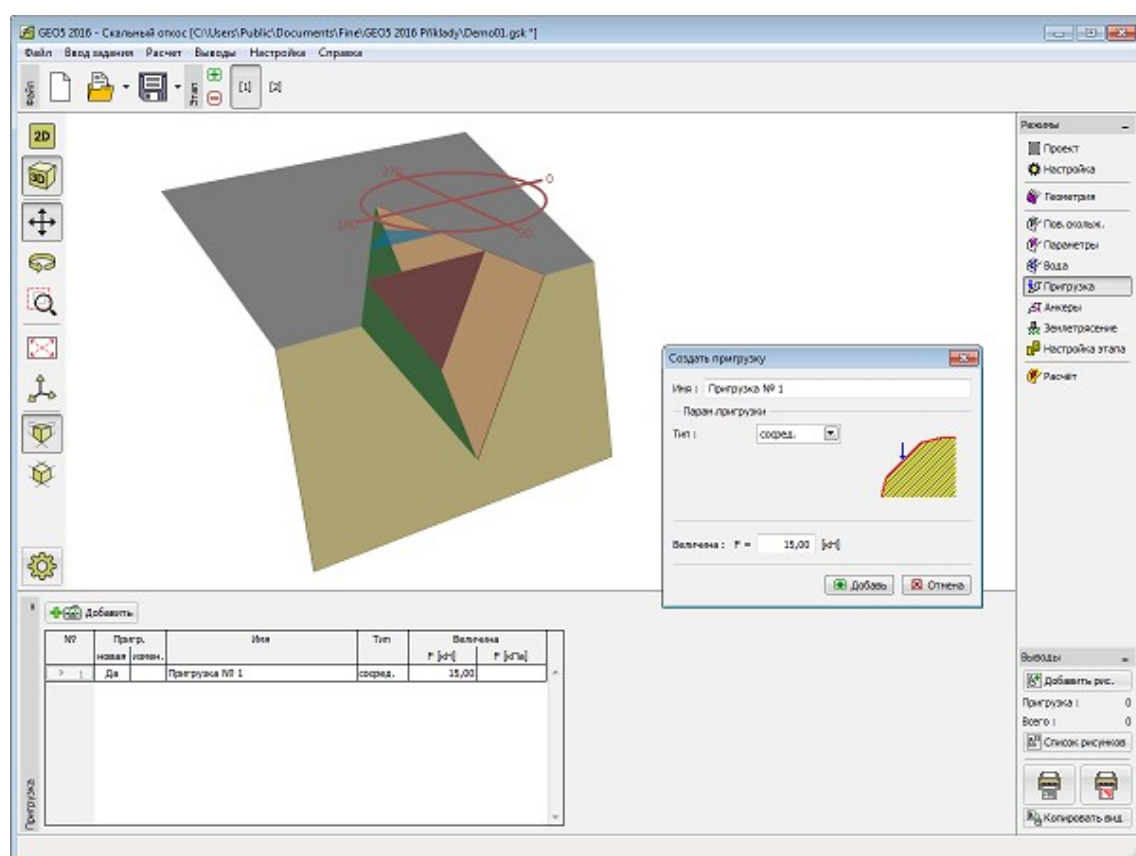
Рамка «Вода» - клин породы - стереографическая проекция

## Пригрузка - клин породы

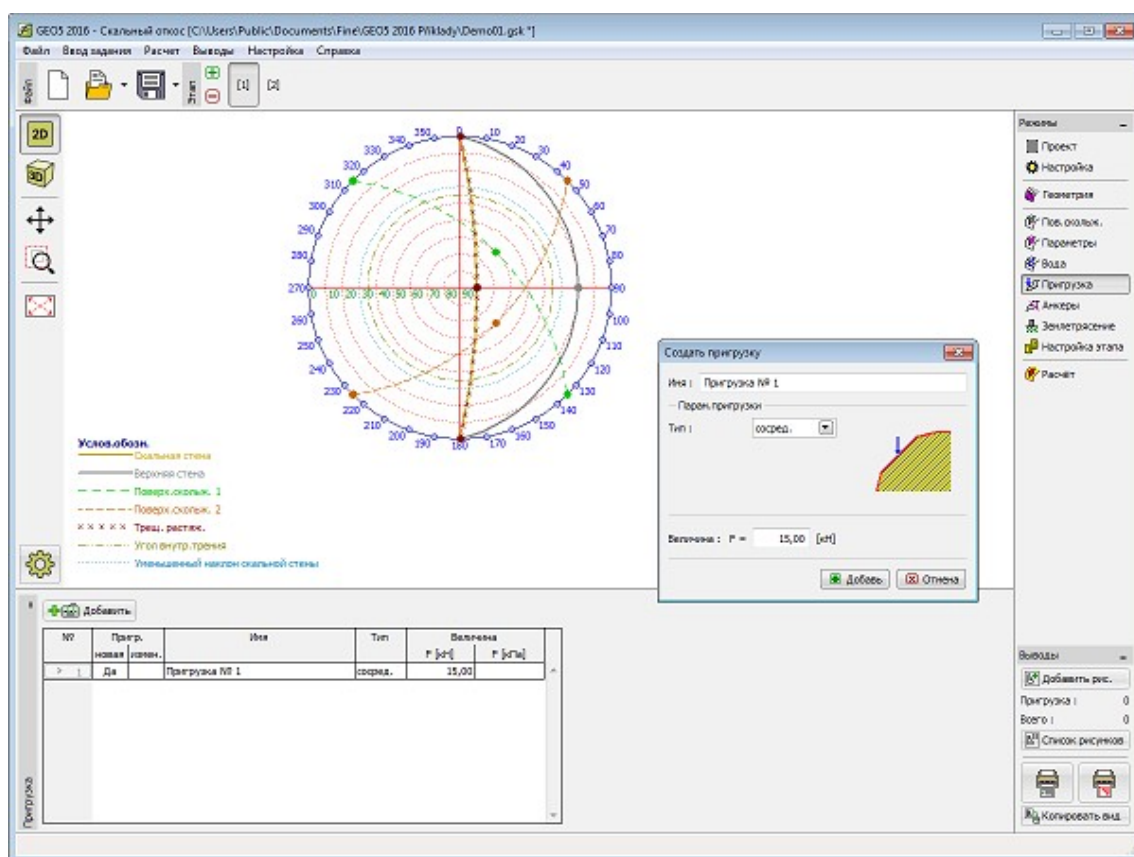
В рамке «Пригрузка» находится таблица со списком заданных пригрузок. Добавление пригрузки выполняется в диалоговом окне «Создать пригрузку».

Силы от пригрузки введены в расчёт устойчивости клина породы с помощью расклада действующих сил.

Геометрия клина на рабочем столе вырисовывается с помощью 3D изображения или стереографической проекции.



Рамка «Пригрузка» - клин породы-3D изображение



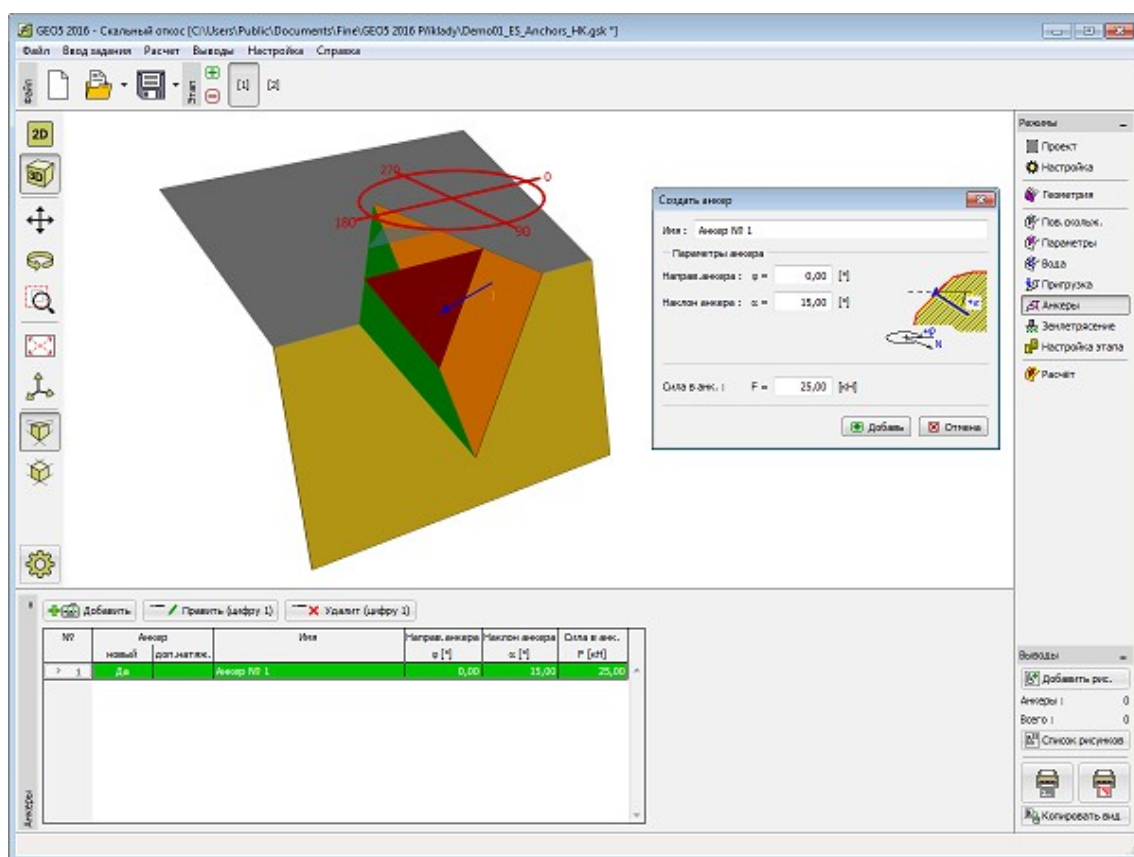
Рамка «Пригрузка» - клин породы-стереографическая проекция

## Анкеры - клин породы

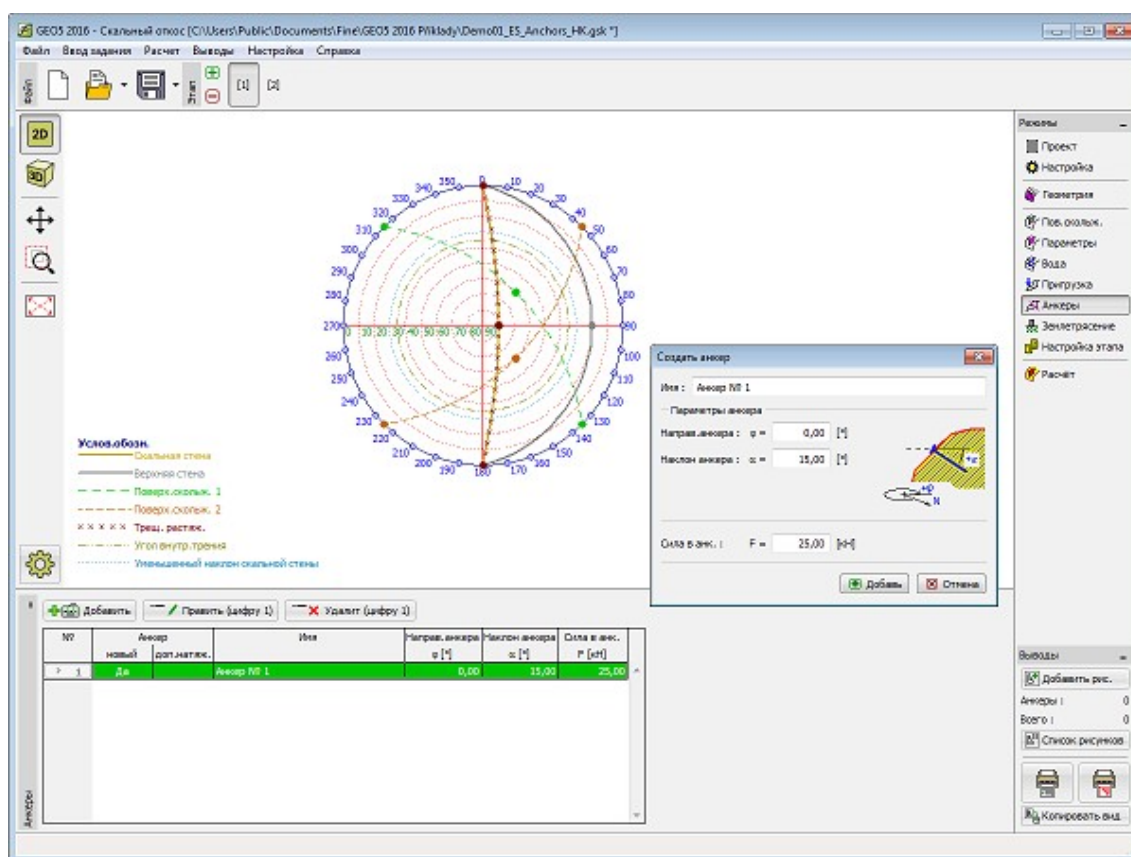
В рамке «Анкеры» находится таблица со списком заданных анкеров. Добавление анкеров выполняется в диалоговом окне «Создать анкер».

Силы от анкеров введены в расчёт устойчивости клина породы с помощью расклада действующих сил.

Геометрия клина на рабочем столе вырисовывается с помощью 3D изображения или стереографической проекции.



Рамка «Анкеры» - клин породы-3D изображение



Рамка «Анкеры» - клин породы - стереографическая проекция

## Расчёт - клин породы

В рамке **«Расчёт»** показаны результаты расчёта. Для одной задачи можно выполнять по **несколько расчётов**.

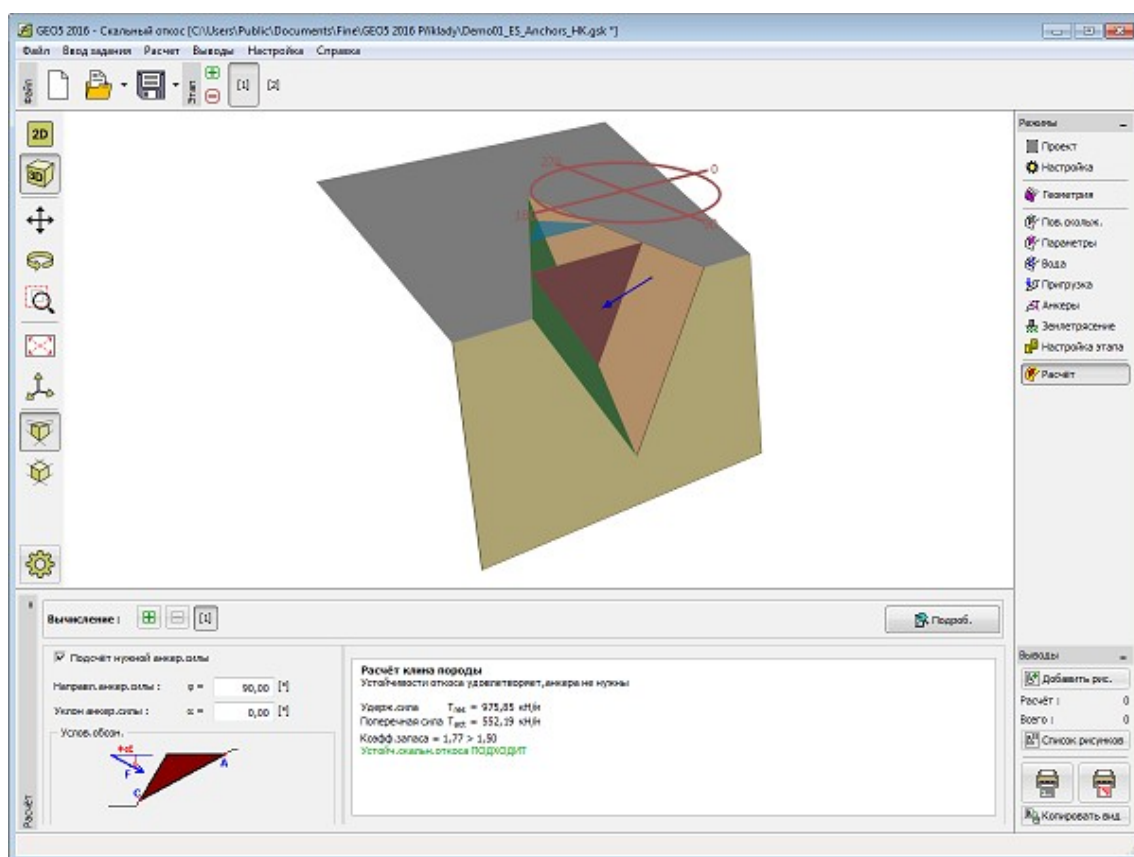
Проверку скального отсека, принятого как **клин породы**, можно выполнить по выбранной **методике проверки**, заданной в рамке **«Настройка»**. Результаты **расчёта** отображены в рамке в нижней части рабочего стола.

Программа в этой рамке позволяет посчитать **нужную анкерную силу**, которая обеспечит требуемый коэффициент запаса. Для этой операции нужно поместить кнопку **«Подсчёт нужной анкер. силы»** и задать угол наклона анкерной силы относительно горизонтали и направление действия анкерной силы.

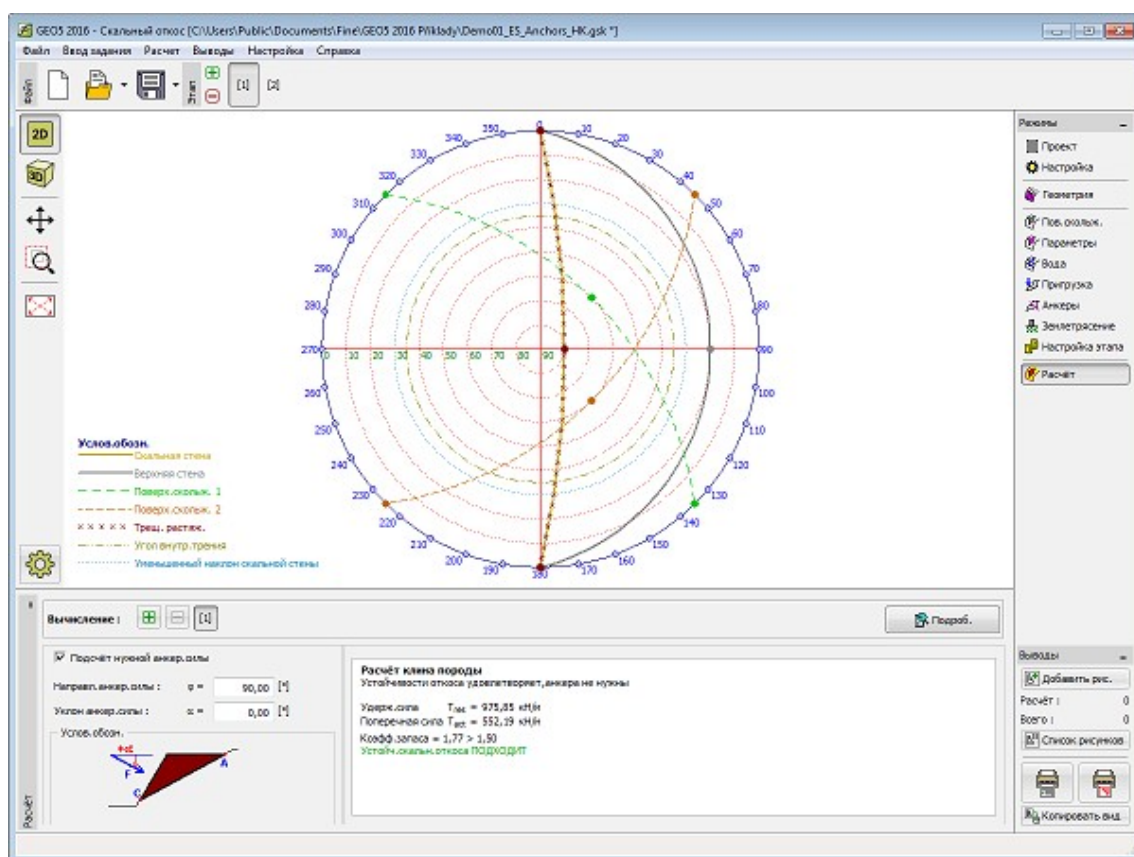
Геометрия клина на рабочем столе вырисовывается с помощью **3D изображения** или **стереографической проекции**.

Стиль рисунка можно менять в рамке **«Настройка рисования»**.





Рамка «Расчёт» - клин породы - 3D изображение



Рамка «Расчёт» - клин породы - стереографическая проекция

## Программа Армированные насыпи

Программа предназначена для проектирования и анализа сборных стен, откосов и насыпей укрепленных геоарматурами.

**Справка для программы «Армированные насыпи» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

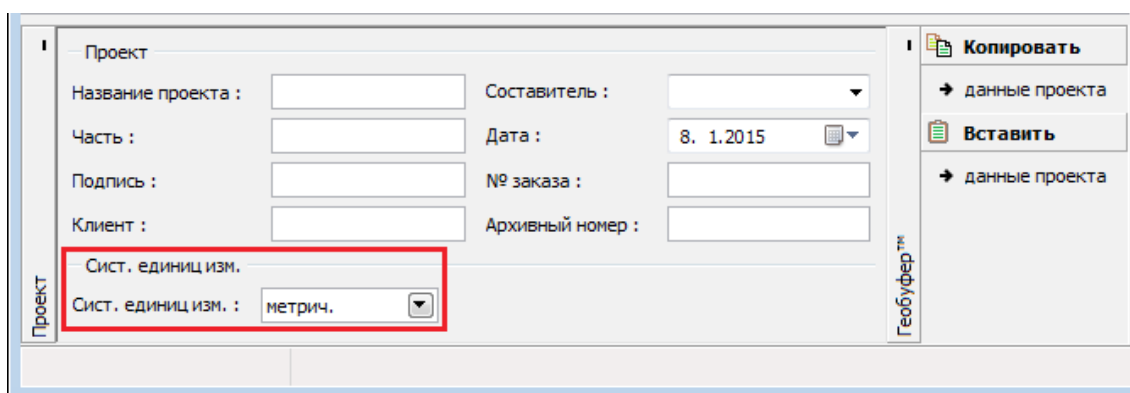
Проект	Настройка	Геометрия	Материал	Типы армировок	Армирование (блоки)	Армирование
Профиль	Грунты	Привязка	Рельеф	Вода (блоки)	Вода	Пригрузка
Сопротивление на лицевой стороне	Заданные силы	Землетрясение	Настройка этапа	Проверка	Подбор размеров	Несущая способность
Смещение по армировке	Внутренняя устойчивость	Глобальная устойчивость	Устойчивость			

- [Стандарты и методы расчёта](#)
- Теория расчётов в программе **«Армированные насыпи»**:
  - [Напряжение в массиве грунта](#)
  - [Давление грунта](#)
  - [Анализ опор](#)
  - [Устойчивость откоса](#)
  - [Армированные насыпи](#)
- Справка относительно [результатов на выходе](#)
- Информация общего характера о работе в [пользовательской среде](#) программ GEO5
- [Общие операции](#) для всех программ

## Проект

В [рамку «Проект»](#) задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой [текстовой и графической информации](#).

В рамке можно переключать системы единиц измерения ([метрическую / дюймовую](#)). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью [«Геобуфера»](#).



Рамка «Проект»

## Настройка

В [рамку «Настройка»](#) предназначена для ввода основных [«Настроек»](#) программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой **«Выбрать настройки»** выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из [«Перечня настроек»](#).

Кнопка **«Администратор настройки»** открывает диалоговое окно [«Администратор](#)

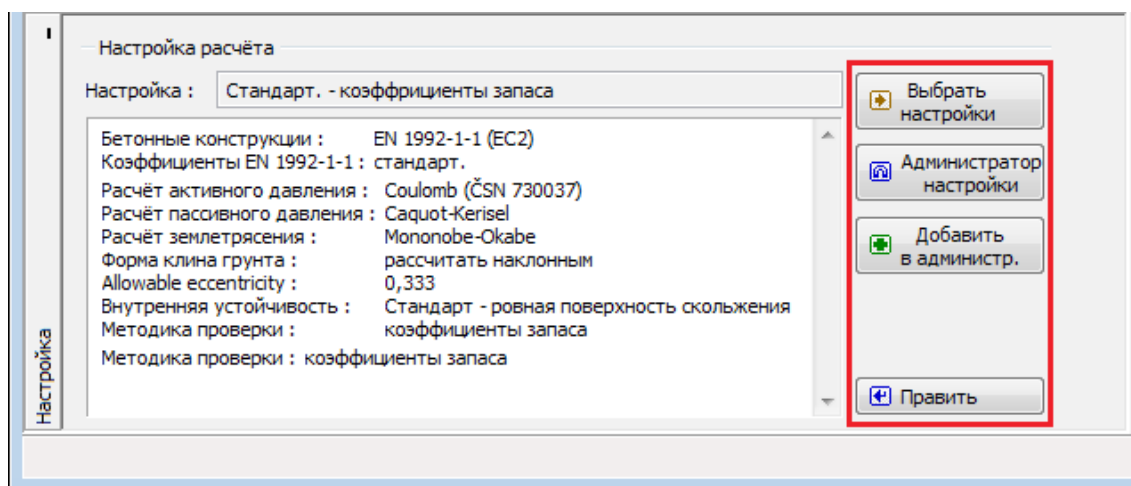
**настройки**», в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют, которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

Кнопка **«Добавить в администратор»** позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка **«Править»** позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в **«Задано для текущей задачи»**. После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку **«Добавить в администратор»** и добавляем настройку в **«Администратор настройки»**.

Настройка **«Задано для текущей задачи»** обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладках **«Материалы и стандарты»**, **«Расчёт стен»** и **«Расчёты на устойчивость»**.



Рамка «Настройка»

## Геометрия

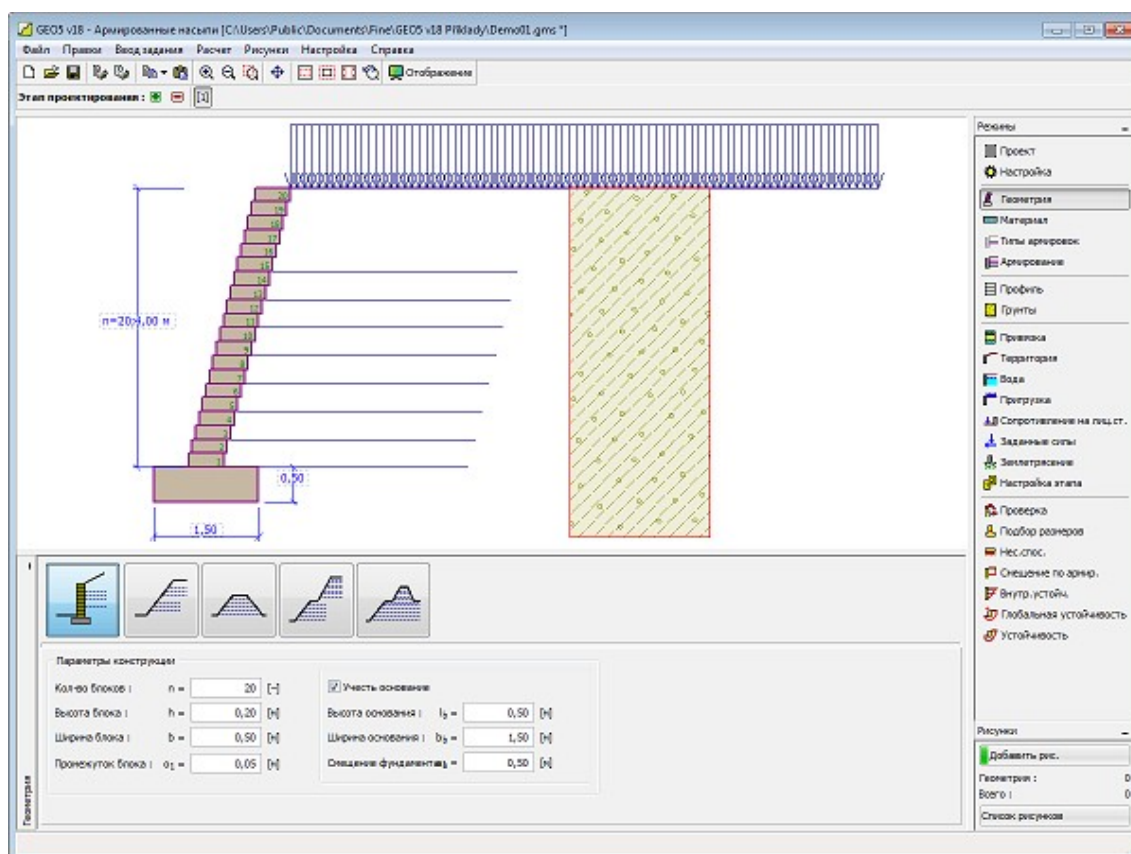
В **рамке «Геометрия»** нажатием кнопки выбираем форму армированной насыпи или армированной стены. Редактировать форму стены можно или в рамке, вводя значения в поля ввода, или на рабочем столе с помощью **активных отметок**.

У первого типа геометрии (стена) можно задавать **фундамент**, у остальных типов (насыпи) программа допускает задавать **обшивку**. Выбранный тип геометрии сказывается на виде других рамок и способе задания (вода, пригрузка, армировка). В отдельных типах геометрии доступны следующие **проверки**:

Тип геометрии	Проверка
<b>1</b> Стена - возможность задавать фундамент	проверка, подбор размеров, несущая способность, внутренняя устойчивость, несущая способность элементов армировки, глобальная устойчивость, устойчивость откоса
<b>2</b> Насыпь с одним откосом	проверка, несущая способность, внутренняя устойчивость, глобальная устойчивость, устойчивость откоса
<b>3</b> Насыпь с двумя откосами	глобальная устойчивость, устойчивость откоса

- |  |   |
|--|---|
| <p><b>4</b> Насыпь с одним откосом<br/>расчленённая полками<br/>(террасами)</p> <p><b>5</b> Насыпь с двумя откосами<br/>расчленённая полками<br/>(террасами)</p> | <p>проверка, несущая способность, внутренняя устойчивость, глобальная устойчивость, устойчивость откоса</p> <p>глобальная устойчивость, устойчивость откоса</p> |
|--|---|

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.



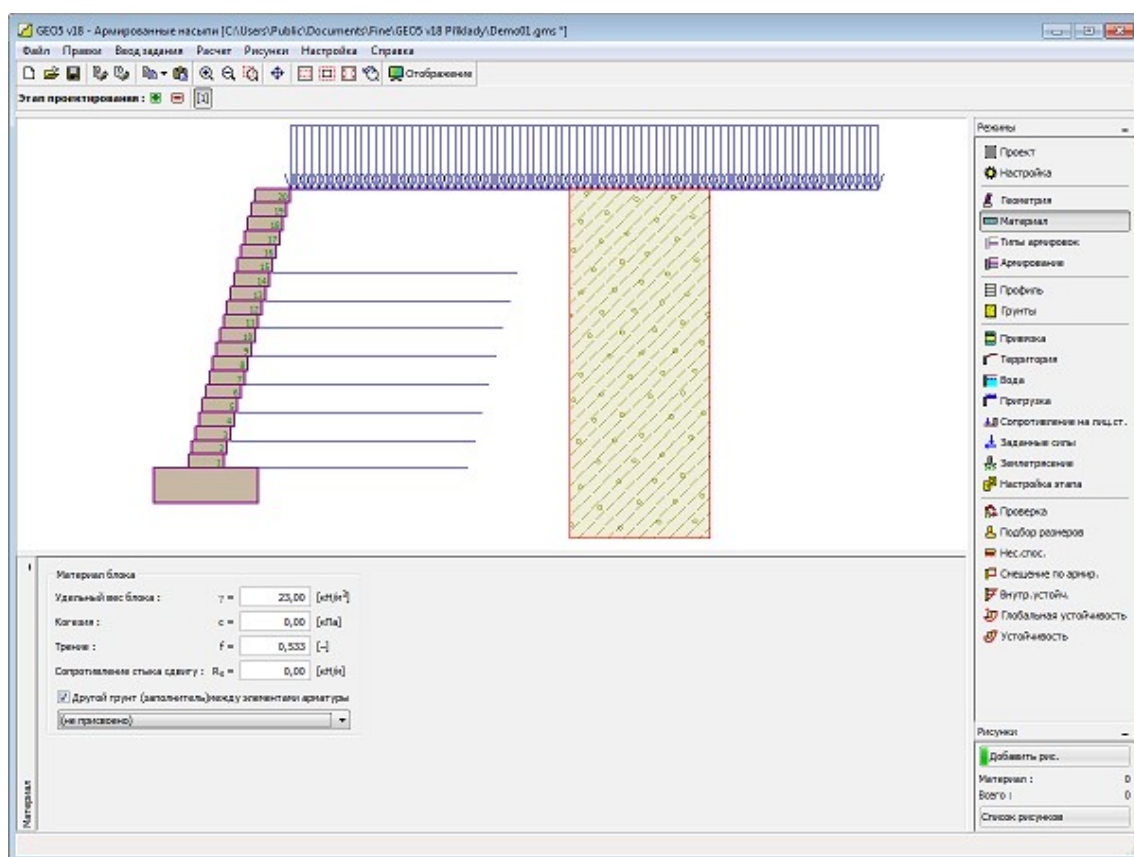
Рамка «Геометрия»

## Материал

В **рамке** «Материал» выбирают характеристики материала применённого в блоках или обшивке. Способ ввода материалов разный, в зависимости от выбора типа «**Геометрия**». Для геометрии первого типа (конструкция с блоками) задаём объёмную тяжесть блоков  $\gamma$ , когезию  $c$ , трение  $f$  и сопротивление скольжению стыка  $R_s$  [ $\kappa\text{H}/\text{м}$ ].

У остальных типов геометрии (конструкция без блоков) можно учесть обшивку, т.е. объёмную тяжесть  $\gamma$  и сопротивление скольжению  $R_s$  [ $\kappa\text{Па}$ ].

В случае, что грунт, в котором расположена армировка отличается от грунта, присвоенного в геологический профиль, то можно задавать грунт с помощью выбора «**Другой грунт (заполнитель) между элементами арматуры**». Затем в выпадающем списке выбираем тот тип грунта, который был принят как заполнитель армировки (выпадающий список содержит грунты, заданне в режиме «**Грунты**»).

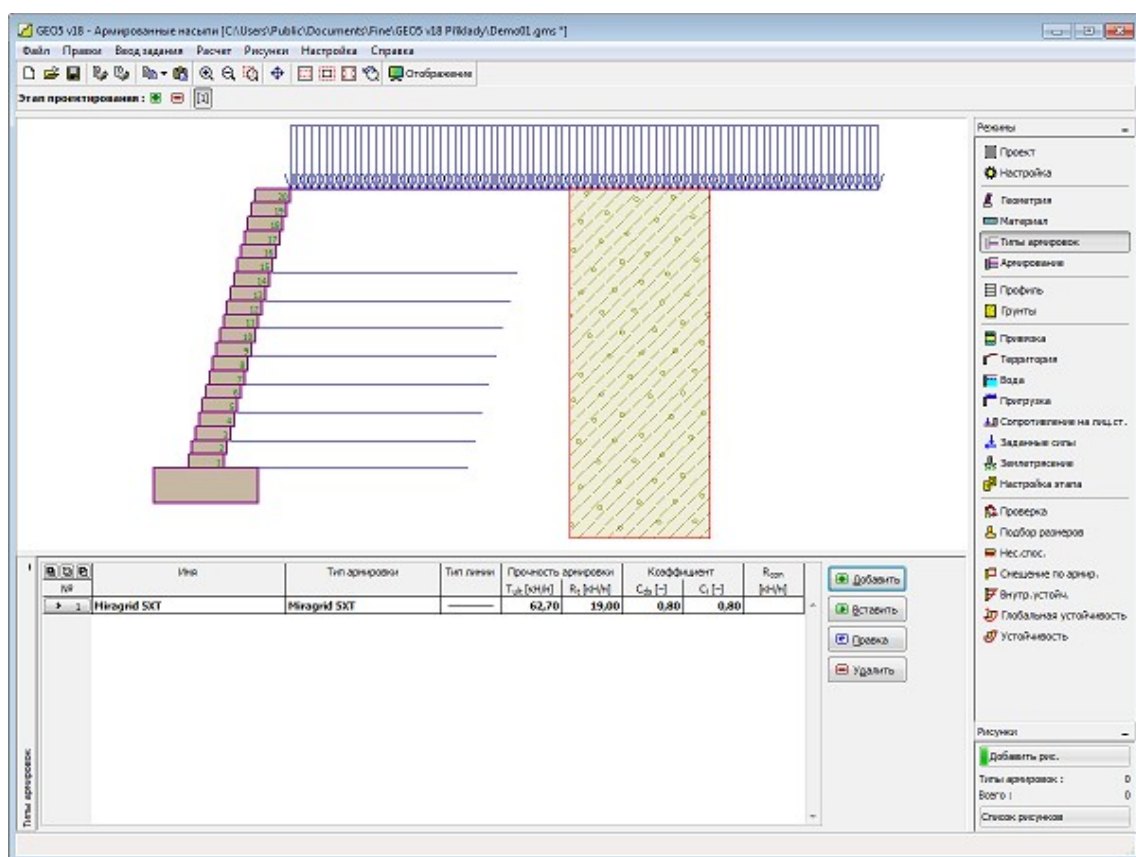


Рамка «Материал»

## Типы армировок

В рамке «**Типы армировок**» находится таблица со списком заданных геоармировок с их характеристиками (долговременная прочность армировки и коэффициенты совместного действия). Добавление типа армировки выполняется в диалоговом окне «Создать тип геоармировки».





Рамка «Типы армировок»

## Добавление и правка типа армировки

Диалоговое окно «**Создать тип армировки (Правка типа армировки, Вставленный тип армировки)**» содержит следующие разделы:

### Произв.серия, тип армировки

- в выпадающем списке можно выбрать произв.серию армировок, а для неё тип армировки в базе данных, либо задать собственный «**пользовательский**» тип армировки

### Кратковременная характерная прочность

- величину прочности можно изменить только у тех армировок, которые сохранены через «**Пользовательский каталог**»

### Расчёт долговременной прочности

- в выпадающем списке можно выбирать способ расчёта долговременной прочности: «**задать коэффициенты редукции**» (непосредственно задаём коэффициенты), «**рассчитать коэффициенты редукции**» (рассчитываем коэффициенты на основании выбора срока службы армировки,  $R_h$  грунта и величины зёрен) или «**задать прочность**» (задаём долговременную прочность после её редукции)

### Коэффициенты редукции

- значения коэффициентов редукции кратковременной прочности армировки на растяжение - можно задавать или непосредственно, или вычислить по выбранным опциям в выпадающих списках (срок службы,  $R_h$ , величина зёрен)



- Общий коэффициент неуверенности модели** • задаём значение коэффициента редукции кратковременной прочности армировки
- Долговременная расчётная прочность** • вычисленное значение долговременной **прочности на растяжение**
- Сопротивление срезу** • «**Коэффициент прямого перемещения по геоармировке**» можно прямо задавать или вычислить по типу грунта
- Сопротивление выдёргиванию** • «**Коэффициент взаимодействия грунта и геоармировки**» можно прямо задавать или вычислить по типу грунта

Кнопка «**Пользовательский каталог**» в нижней части окна открывает диалоговое окно «**Пользовательский каталог**».

Создать тип армировки

Имя : Miragrid 5XT

Произв.серия : Miragrid

Тип армировки : Miragrid 5XT

Прочность на растяжение

Кратковременная хар.прочность :  $T_{ult} = 62,70$  [кН/м]

Расчёт долговременной прочности  $R_t$  : посчитать коэффициенты реду

Коэффициенты редукции

Срок службы : 114 лет  $RF_{CR} = 1,60$  [-]

Химизм : pH 4.0-9.0  $RF_D = 1,10$  [-]

Размер зёрен :  $D_{50} \leq 22$  mm  $RF_{ID} = 1,25$  [-]

Общий коэфф. неуверенности модели  $FS_{UNC} = 1,50$  [-]

Долговременная расчётная прочность  $R_t = 19,00$  кН/м

Сопротивление срезу

Коэффициент прямого перемещения по геоармировке : посчитать

Грунт : песок  $C_{ds} = 0,80$  [-]

Сопротивление выдёргиванию

Коэффициент взаимодействия грунта и геоармировки : посчитать

Грунт : песок  $C_i = 0,80$  [-]

Прочность узлов на разрыв

☐ Проверить

Пользов.каталог

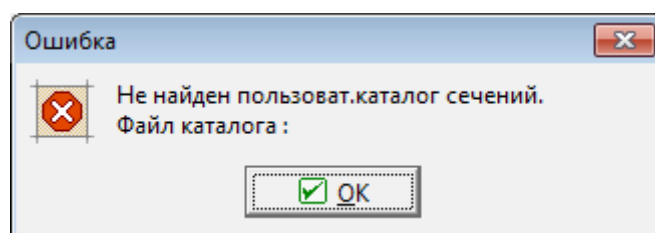
Добавь Отмена

Диалоговое окно «Создать тип армировки»

## Пользовательский каталог

Пользовательский каталог позволяет формулировать и сохранять собственные типы армировок и их материальные характеристики. При первом пуске каталога (каталог ещё не создан) программа выдаёт сообщение, что каталог не найден и после подтверждения кнопкой «**ОК**» откроет диалоговое окно «**Сохранить как**». Вводим имя каталога и место его размещения, кнопкой «**Сохранить**» сохраняем каталог (по умолчанию в директорию, куда программа сохраняет данные задачи).

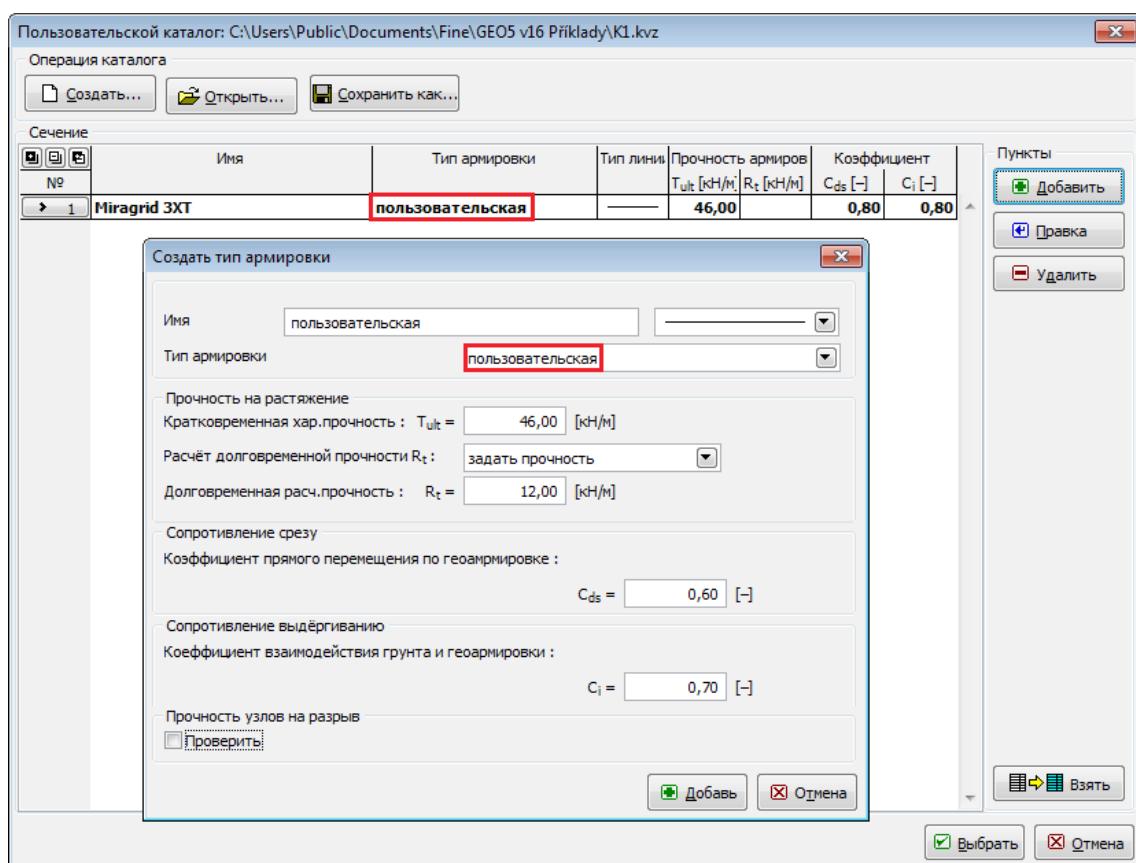
Программа позволяет создать больше пользовательских каталогов. Следующий каталог создаём с помощью кнопки «**Новый**» - программа спросит: будем ли заменять имеющийся каталог (**текущий загруженный каталог программа НЕ УДАЛЯЕТ!**) и сохранит новый каталог под новым именем. Кнопкой «**Открыть**» можно загрузить любой пользовательский каталог и кнопкой «**Сохранить как**» каталог можно сохранить под другим именем.



*Диалоговое окно при первом пуске пользовательского каталога армировок*

Диалоговое окно «**Пользовательский каталог**» содержит **таблицу** со списком армировок. Кнопкой «**Добавить**» открывается диалоговое окно «**Создать тип армировки**», в котором можно дать определение характеристикам новых армировок и сохранить их. Кнопками «**Править**» и «**Удалить**» можно редактировать список в таблице.

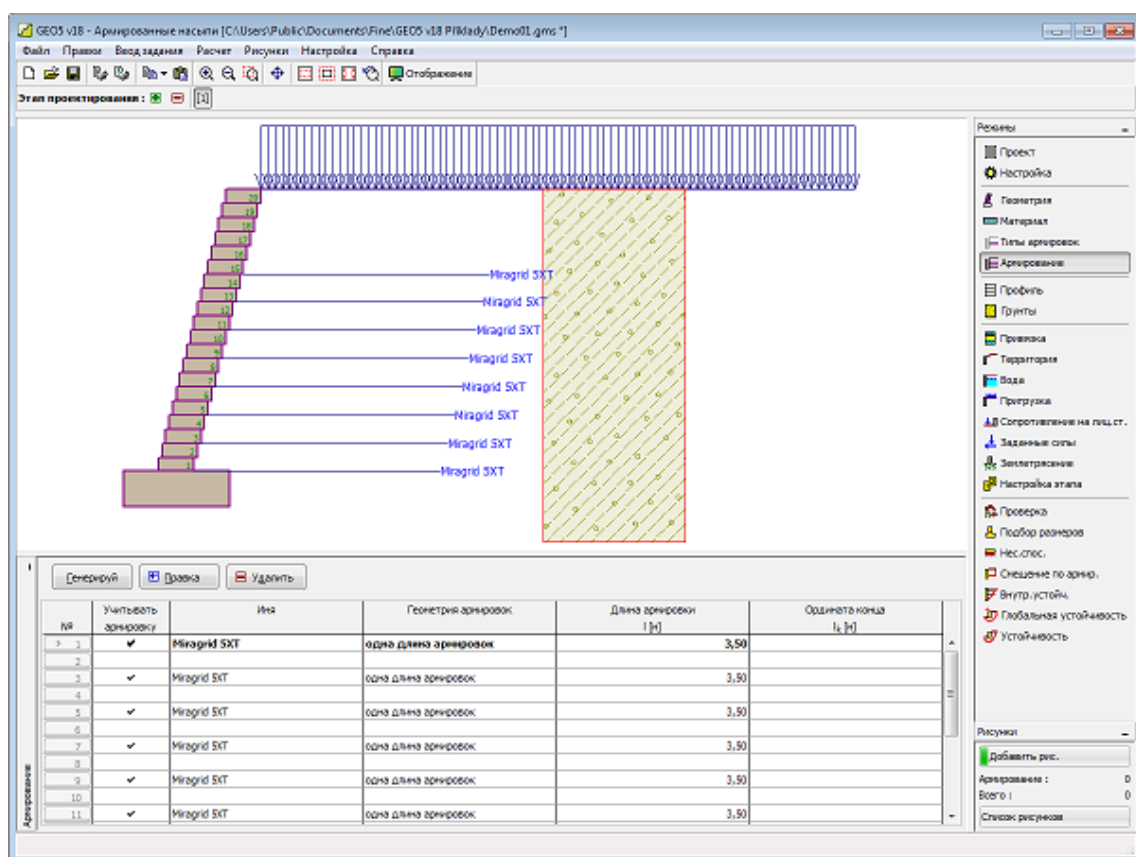
Кнопка «**Взять**» берёт текущие характеристики армировки из диалогового окна «**Создать тип армировки**» и открывает диалоговое окно «**Создать тип армировки**», в котором характеристики можно редактировать и сохранять.



Диалоговые окна «Пользовательский каталог» и «Новый пункт каталога»

## Армирование

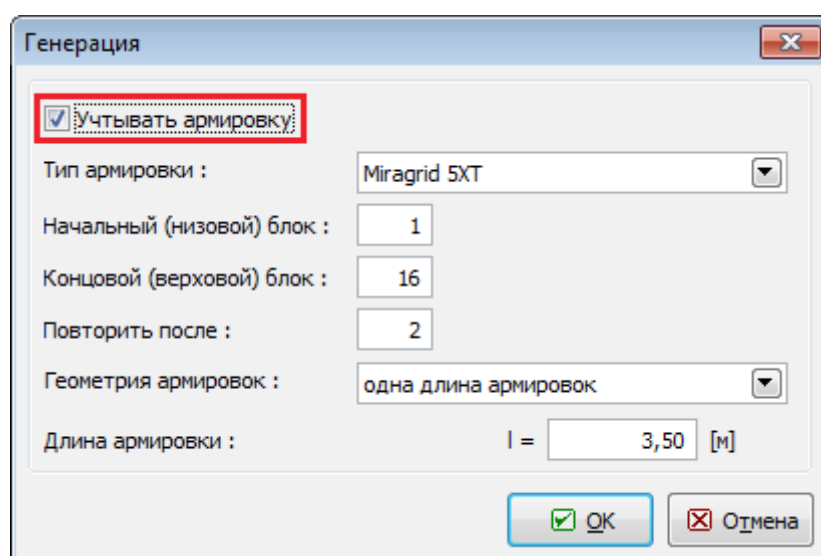
В рамке «Армирование» есть таблица со списком геоармировок и их геометрией.



Рамка «Армирование»

Кнопка «**Генерируй**» открывает **диалоговое окно «Генерация»**, в котором можно установить автоматические параметры генерации группы армировок. Геоармировки могут быть помещены только в межблочные швы (отмечаем пункт «**Учитывать армировку**»). Далее, задаём тип армировки, начальный и концевой блоки, количество блоков, после которого армировка повторяется, геометрию армировки (одна длина армировок или одинаковое окончание армировок). Заданные армировки можно редактировать на рабочем столе с помощью **активных отметок**, или **активных объектов**.

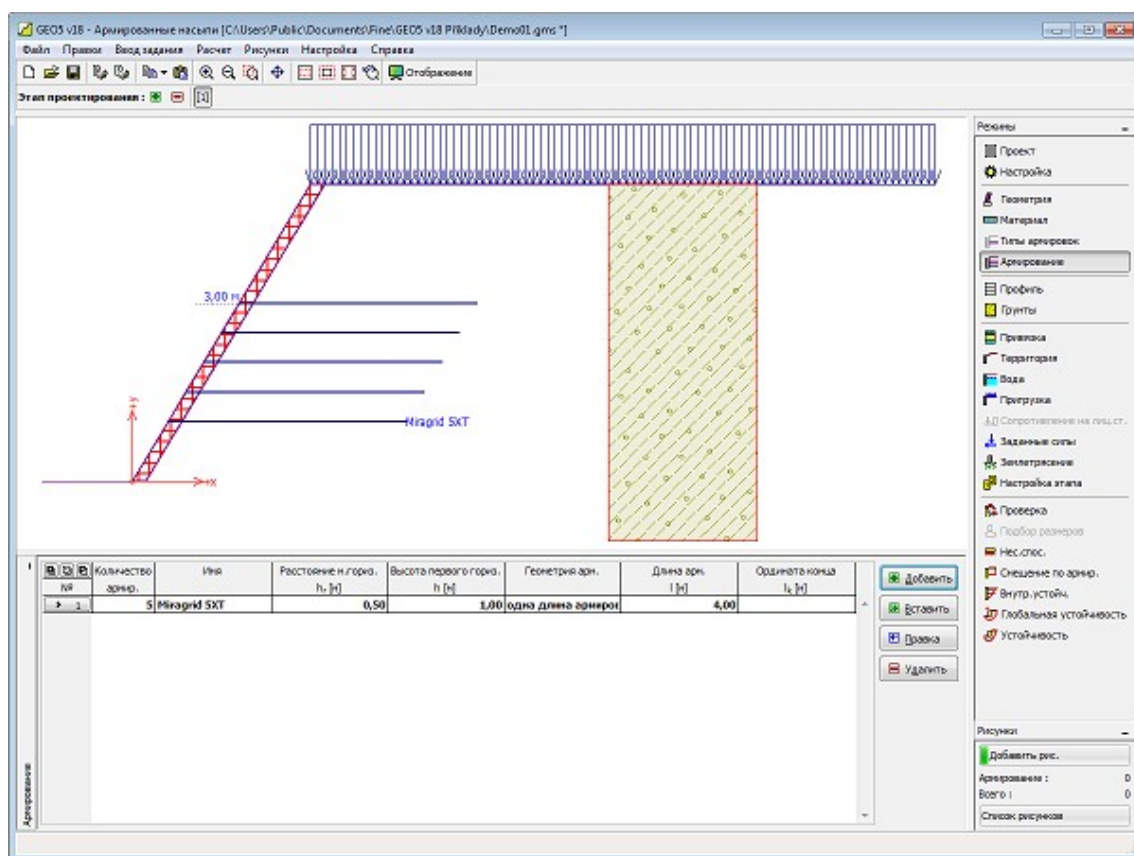
Кнопка «**Править**» открывает диалоговое окно «**Правка блока**», которое позволяет менять тип армировки, её геометрию, или отметить учитывается или нет армировка между блоками. Кнопка «**Удалить**» удаляет **все** геоармировки.



Диалоговое окно «Генерация»

## Армирование

В рамке «Армирование» есть таблица со списком групп геоармировок и их геометрия.

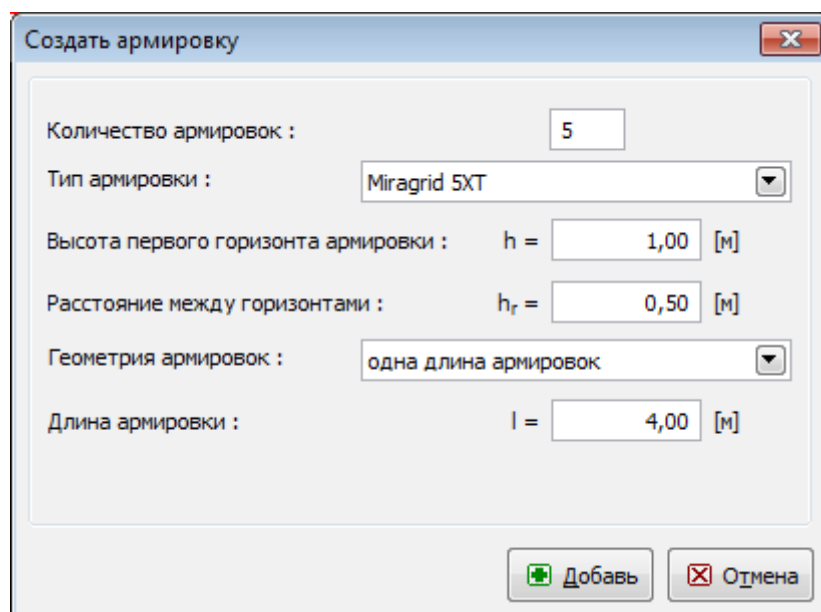


Рамка «Армирование»

Добавление (редактирование) группы геоармировок осуществляется в диалоговом окне «Создать (править) армировку». Заданные армировки можно редактировать также на

рабочем столе с помощью **активных отметок**, или **активных объектов**. Для каждого из групп амировок в диалоговом окне задают количество элементов армировки, тип, высоту первого горизонта армировки, расстояние между горизонтами и геометрию армировок.

Программа позволяет ввести (вставить) новую группу армировок между уже существующие ранее заданные группы. Это выполняется в диалоговом окне **«Вставленная армировка»**, аналогичном с диалоговым окном **«Создать армировку»**. Вновь введенный (вставленный) блок помещается под текущий выбранный блок конструкции. Кнопка **«Отмена»** удаляет группу геоармировок.



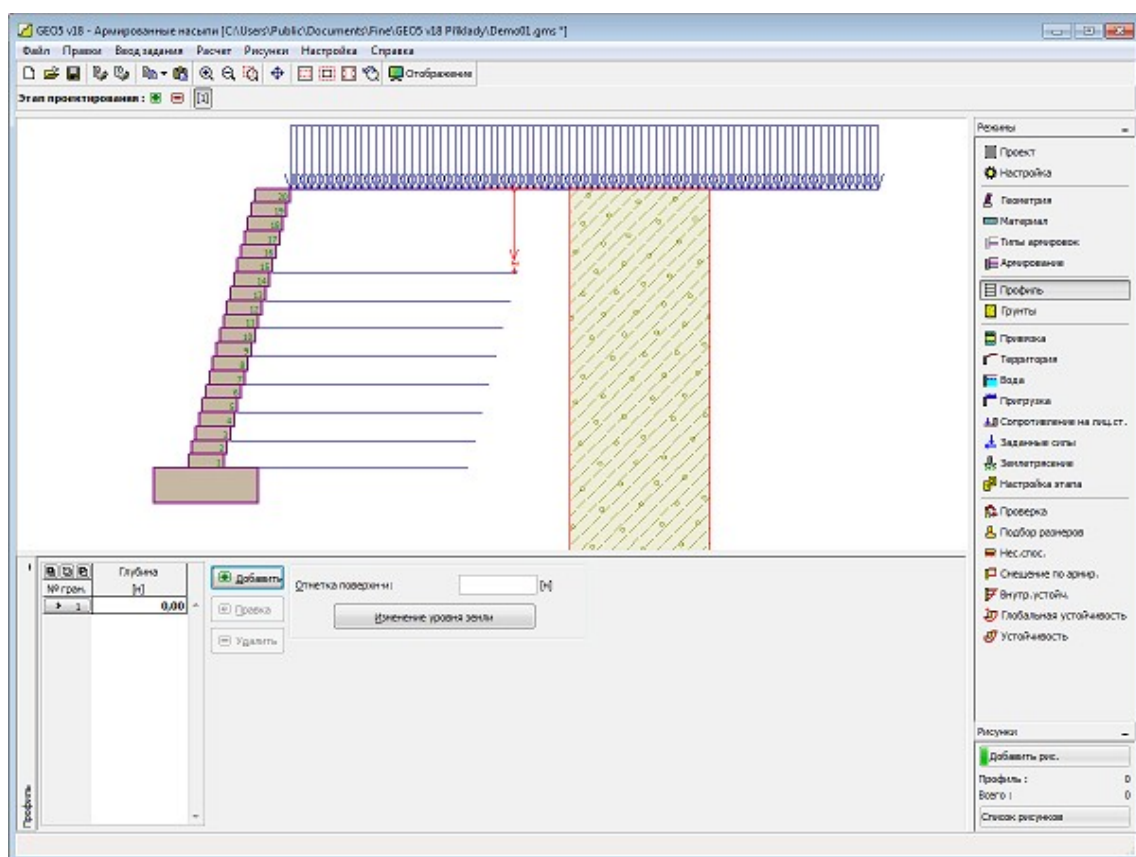
Диалоговое окно «Создать армировку»

## Профиль

В **рамке «Профиль»** есть **таблица** со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

**Добавление** границы выполняется в **диалоговом окне «Создать границу контура»**. Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне **«Изменение уровня земли»** и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы **«Рельеф»**.



Рамка «Профиль»

## Грунты

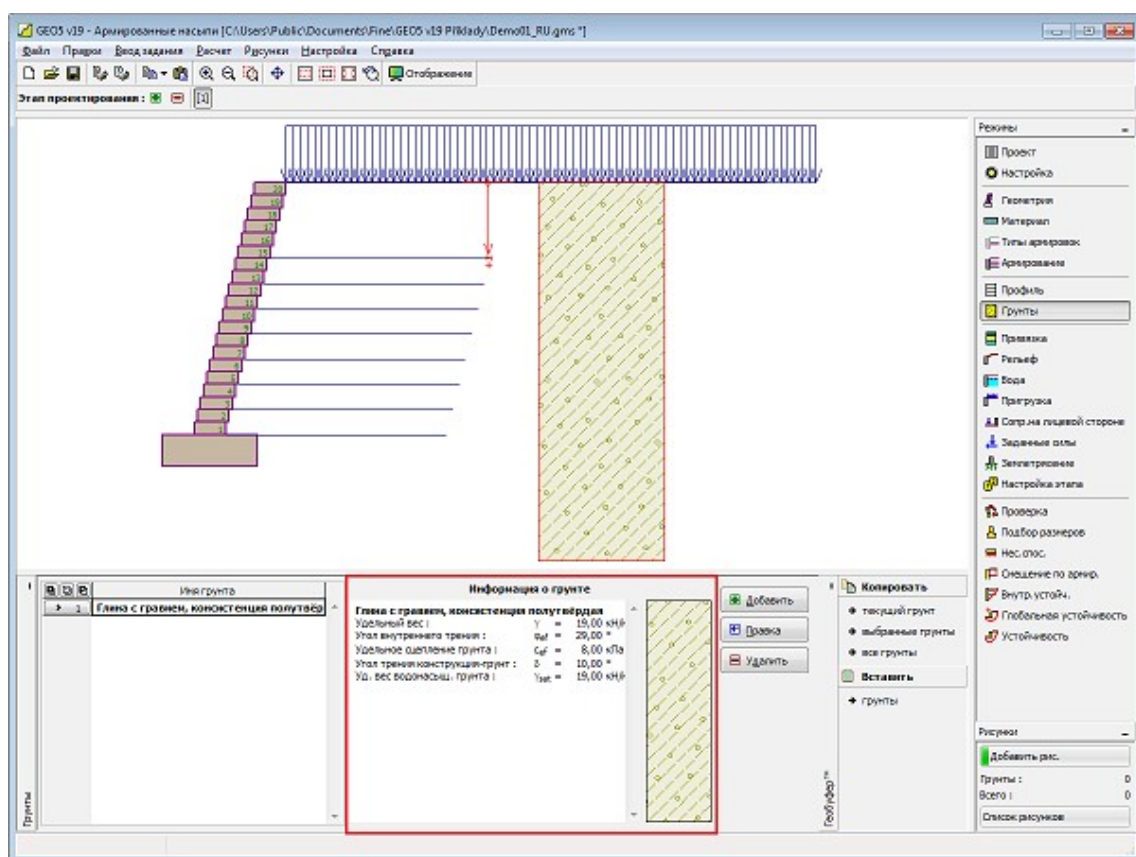
В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. Если в таблице выбрано несколько грунтов, то информация по отдельным грунтам упорядочена в последовательном порядке.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Базовые данные» и «Подъёмная сила».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».





Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что такие данные отсутствуют, можно использовать встроенную **базу данных грунтов**, которая содержит ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Далее задают **угол трения между грунтом и конструкцией**, который зависит от материала конструкции и типа грунта. Ориентировочные значения угла трения между конструкцией и грунтом приводит **таблица рекомендуемых значений**.

Соответствующая теория подробно описана в разделе «**Давление грунта**».

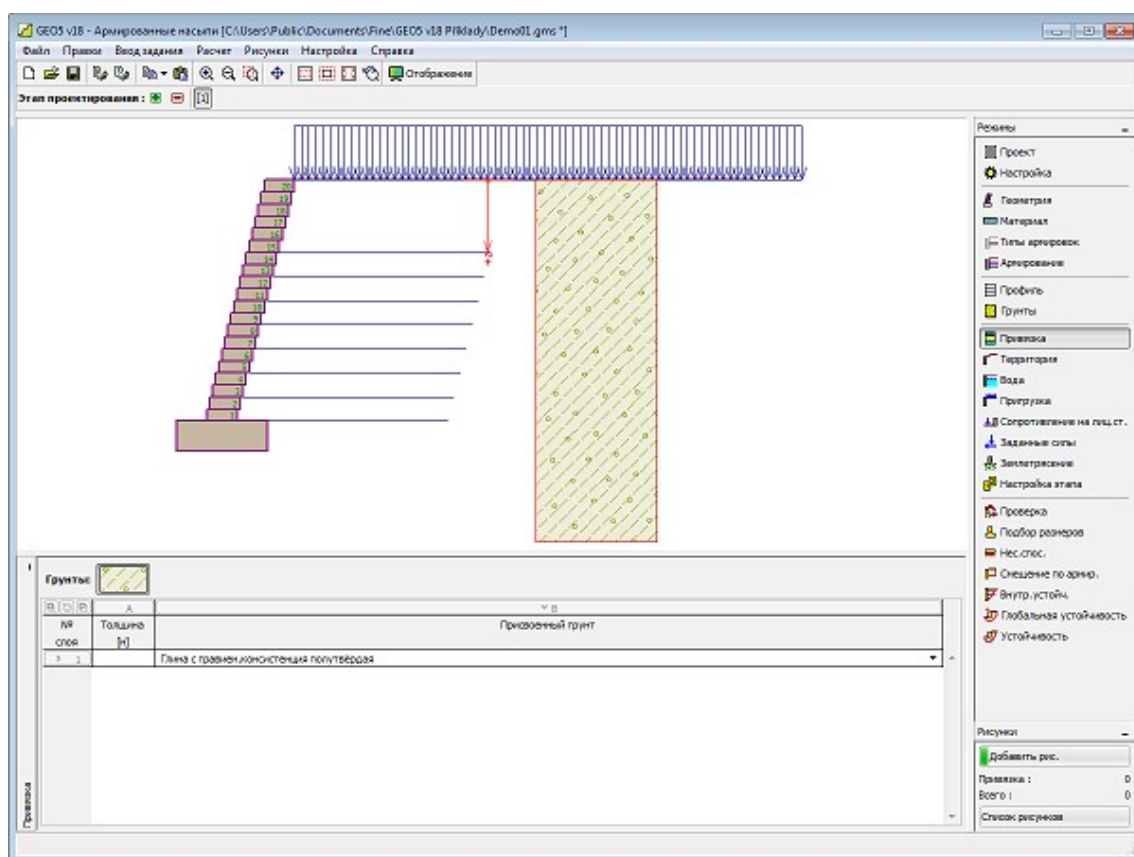
The screenshot shows a software dialog box titled "Добавление новых грунтов" (Adding new soils). It has a tabbed interface with "Идентификация" (Identification) and "Базовые данные" (Basic data) tabs. The "Базовые данные" tab is active and highlighted with a red rectangle. It contains input fields for soil properties: specific weight ( $\gamma = 19,00$  [кН/м³]), internal friction angle ( $\varphi_{ef} = 29,00$  [°]), cohesion ( $c_{ef} = 8,00$  [кПа]), and construction-soil friction angle ( $\delta = 10,00$  [°]). There are also fields for lift force calculation (set to "стандартный") and saturated unit weight ( $\gamma_{sat} = 19,00$  [кН/м³]). On the right, the "Отображение" (Display) section shows a color bar, a pattern category (GEO), and a pattern preview labeled "Суглинок с гравием" (Clay with gravel). The "Классификация" (Classification) section has buttons for "Определи" (Determine), "Стереть" (Erase), "Добавить" (Add), and "Отмена" (Cancel).

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В рамке «Привязка» есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).



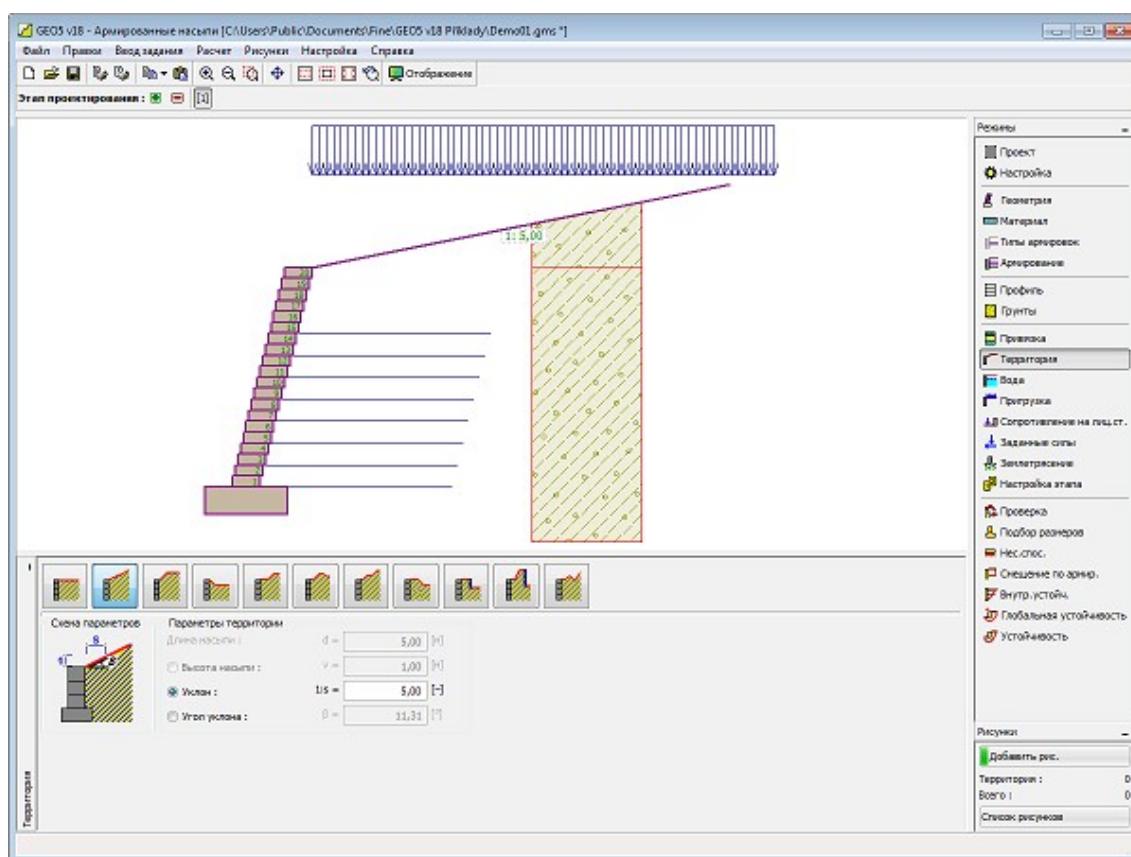
Рамка «Привязка»

## Рельеф

В **рамке «Рельеф»** нажатием кнопки выбираем рельеф местности. Выбранный рельеф с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактировать можно или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

Последний выбор в меню - общая форма (рельеф) местности. Для этого есть в рамке таблица со списком точек (пунктов) на местности. Первый пункт местности с координатой  $[0,0]$  лежит на верхней точке конструкции.

Расчёт давлений грунта в случае наклонной местности описан в теоретической части подсказки «**Распределение давления грунта при пересечённой местности**».



Рамка «Рельеф»

## Вода

В **рамке «Вода»** нажатием кнопки выбираем тип воды. Выбранный тип с графической подсказкой («**Схема параметров**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Параметры воды ( $h_1$ ,  $h_2$ ...) можно редактировать или в рамке - вводом значений в поля ввода, или на рабочем столе при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

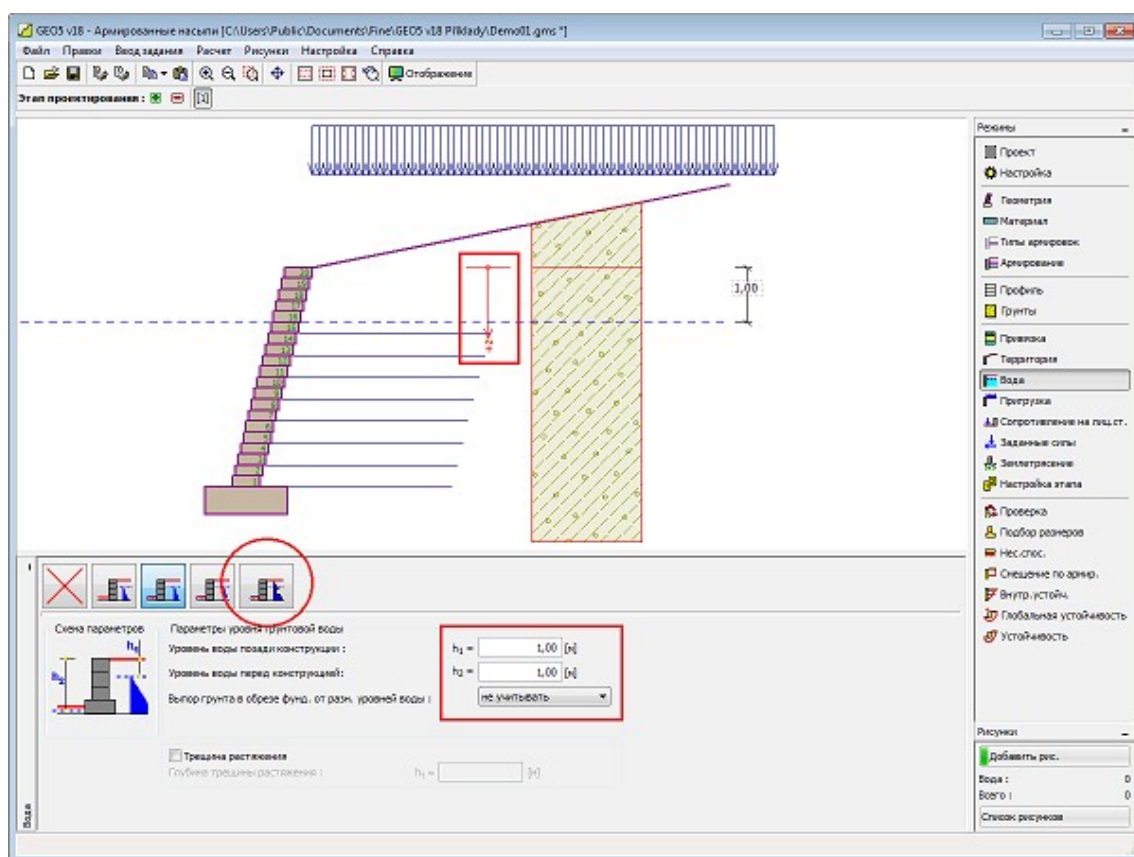
В выпадающем списке отмечаем, предполагается ли воздействие взвешивающей силы воды от разных уровней в подошве. Она может быть **линейной**, **параболической** или вообще не принимается во внимание. Взвешивающая сила в подошве от различной высоты уровней воды принимается как отдельная сила в анализе стены.

Последний выбор - это ручной ввод порового давления перед и за конструкцией. В рамке появляются две закладки «**Перед конструкцией**» и «**За конструкцией**» с таблицами. В **таблицы** вводят значения порового давления перед или за конструкцией на глубине « $z$ » (см. ось  $z$ )

Высоту уровня воды можно задавать также **над конструкцией** или над грунтовым профилем - в таком случае значению глубины воды присваивается отрицательный знак.

Расчёт давлений грунта с воздействием воды описан в теоретической части подсказки «**Воздействие воды**».

Программа позволяет задавать глубину **трещин растяжения** заполненных водой.

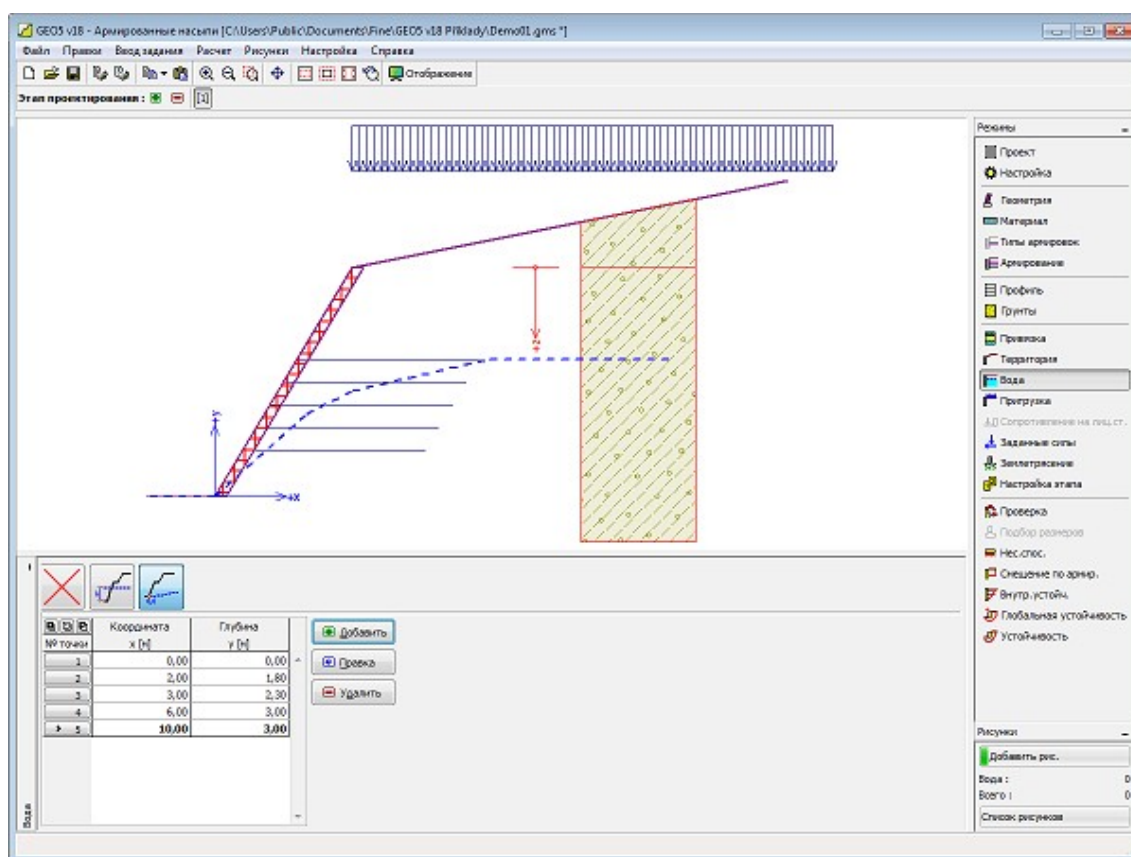


Рамка «Вода»

## Вода

В **рамке «Вода»** нажимая кнопку выбираем тип воды. Уровень грунтовой воды можно задать двумя способами: или задаём высоту горизонтального зеркала грунтовой воды, или **задаём** любую форму зеркала грунтовой воды с помощью координат.

Параметры воды (высота зеркала (уровень), координаты точек) можно редактировать или в рамке, вводя значения в поля ввода, или на рабочем столе с помощью **активных отметок** или активных объектов.



Рамка «Вода»

## Пригрузка

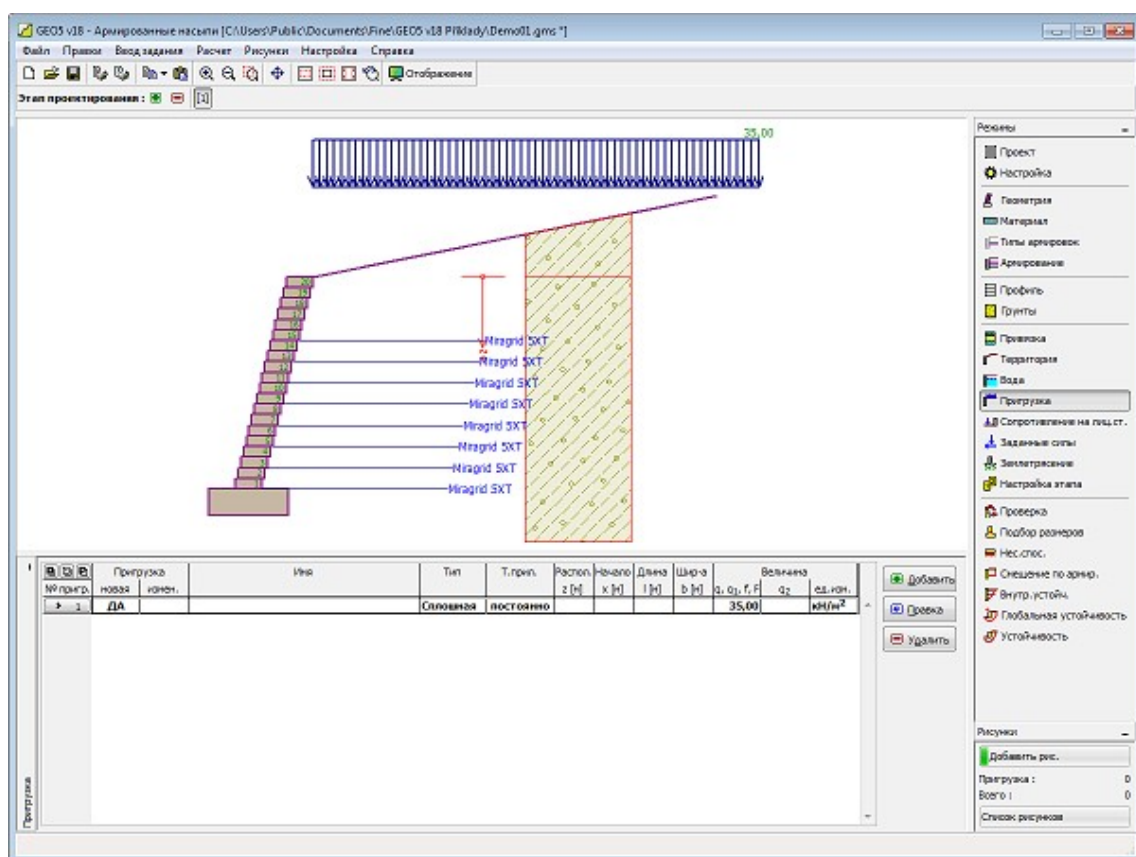
В рамке «**Пригрузка**» есть таблица со списком заданных пригрузок. **Добавление** пригрузки выполняется в **диалоговом окне «Создать пригрузку»**. Редактировать заданную пригрузку можно также на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

Вместе с вводом пригрузки на глубине нужно задать координату  $z$  от верхней точки конструкции, с положительным знаком в глубину. В случае, что пригрузка задана вне пределов местности, программа перед выполнением расчёта даст сообщение об ошибке.

Пригрузку можно задавать **постоянной, переменной** или **случайной**. В зависимости от типа воздействия пригрузки результирующее воздействие умножается на соответствующий расчётный коэффициент. Случайная пригрузка с положительным воздействием в расчёт не принимается.

Расчёт давлений грунта от пригрузки описан в теоретической части подсказки «**Воздействие пригрузки**».





Рамка «Пригрузка»

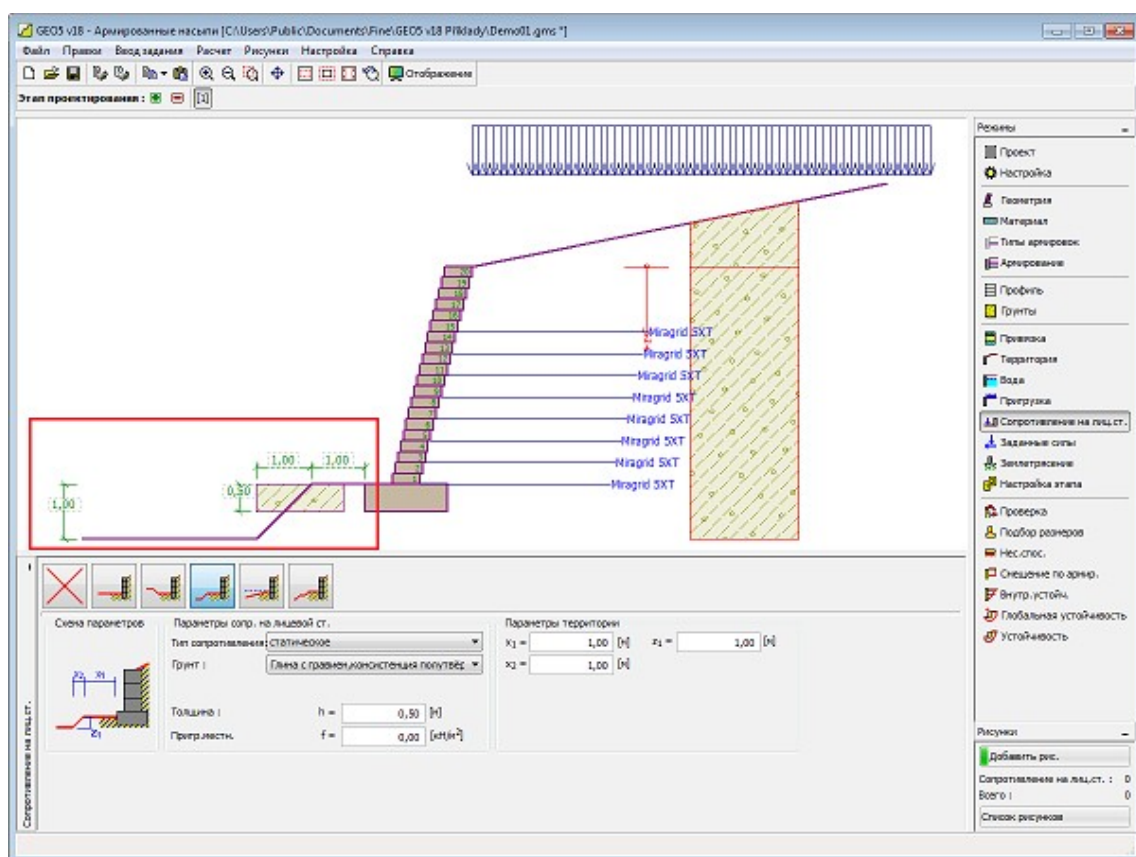
## Сопротивление на лицевой стороне

В **рамке «Сопротивление на лицевой стороне»** нажатием кнопки выбирают форму (профиль) местности и параметры сопротивления на лицевой стороне стены. Выбранный рельеф с графической подсказкой (**«Схема параметров»**) задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактирование рельефа местности можно выполнять или в рамке путём ввода значений в поля ввода, или на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

В рамке в выпадающем списке выбирают тип сопротивления и грунт ( в списке находятся грунты, указанные в режиме **«Грунты»**). В рамку можно задавать величину пригрузки на местности перед стенкой, или толщину грунта над самой нижней точкой конструкции стены.

Сопротивление на лицевой стороне можно задать **статическим давлением**, **пассивным давлением** или **приведённым пассивным давлением**. Результирующая сила от приведённого пассивного давления принимается как равнодействующая сил от активного и пассивного давлений, умноженных на соответствующий коэффициент в соответствии с заданным типом приведённого пассивного давления.





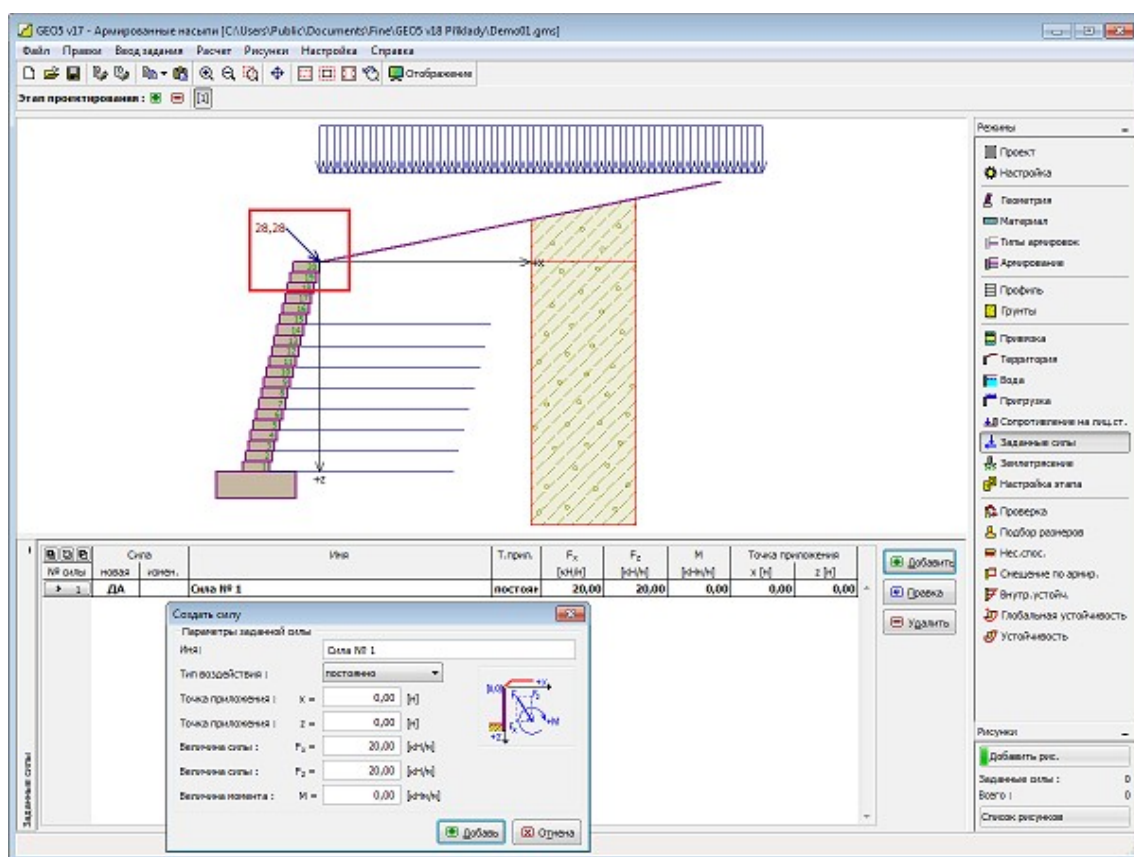
Рамка «Сопротивление на лицевой стороне»

## Заданные силы

В рамке «Заданные силы» есть таблица со списком заданных сил, действующих на конструкцию. Добавление сил выполняется в диалоговом окне «Создать силу». Редактирование заданных сил можно также выполнять на рабочем столе с помощью активных объектов.

**Заданными силами** разумеется дополнительная нагрузка действующая на конструкцию стены, ограждения, укрепленной (армированной) насыпи. Заданными силами можно моделировать, напр., заанкерование колёсоотбойных дорожных ограждений, удар транспортного средства, нагрузку от рекламных щитов (билбордов) и т.п. Программа заданные силы в расчёте дальше не меняет.

Наружную нагрузку приложенную к грунту или к поверхности территории нужно моделировать как **пригрузку**.



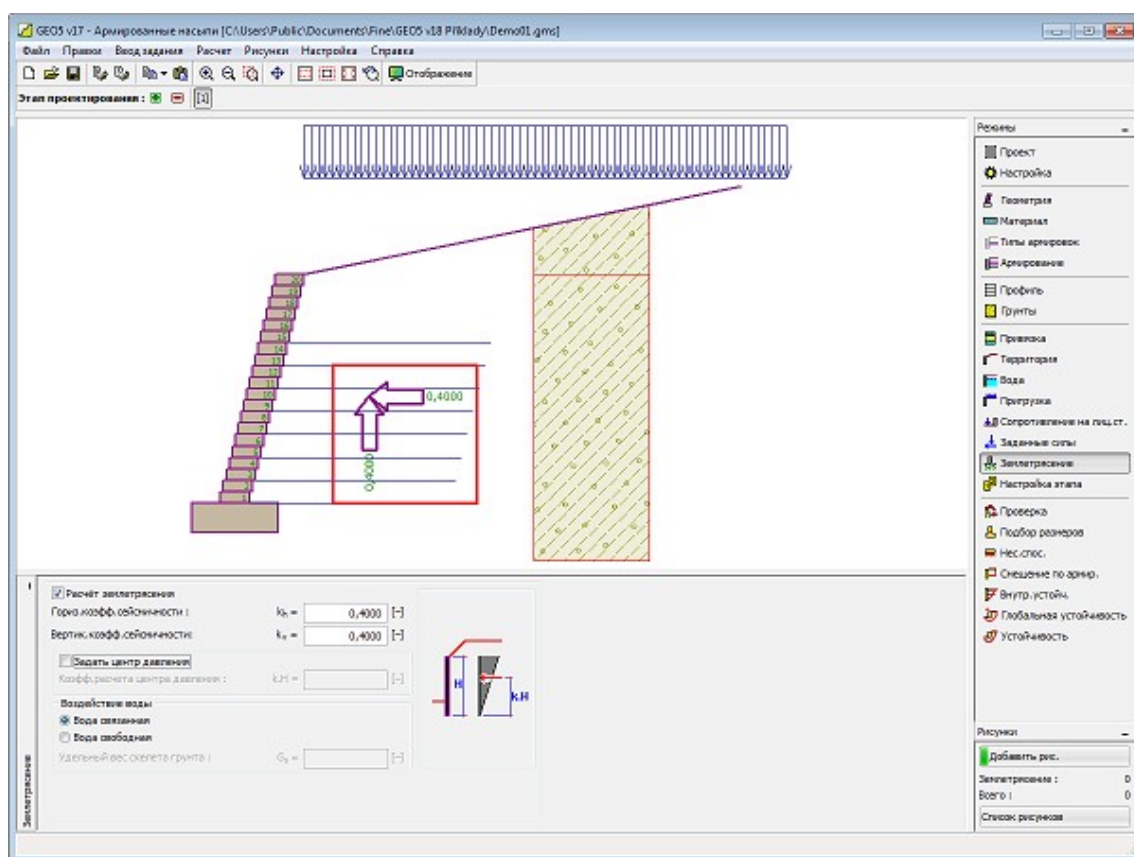
Рамка «Заданные силы»

## Землетрясение

В **рамку «Землетрясение»** задают параметры сеймики. Направления заданных сейсмических воздействий отображены на рабочем столе.

В случае отсутствия коэффициентов  $k_h$  и  $k_v$  полученных в результате измерений, проводят дополнительный расчёт способом указанным в EN 1998-5.

Расчёт давлений грунта с воздействием землетрясения описан в теоретической части подсказки «**Воздействие землетрясения**».



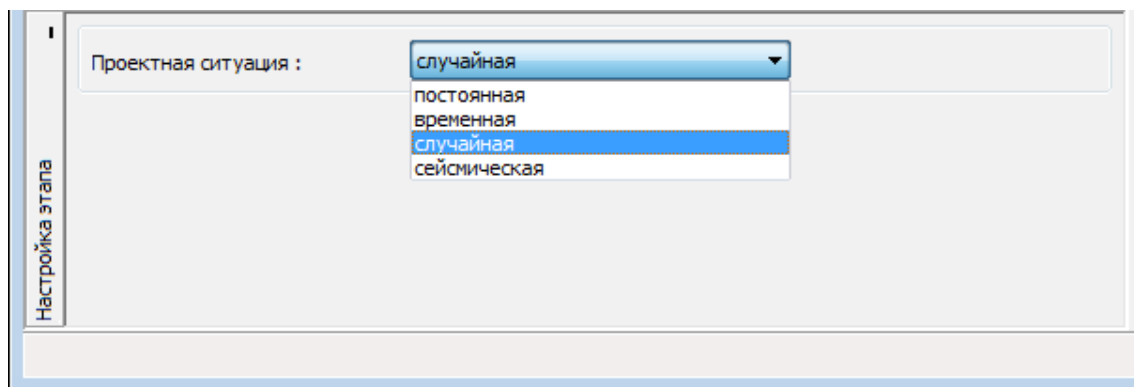
Рамка «Землетрясение»

## Настройка этапа

В **рамку «Настройка этапа»** задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования.

Внешний вид рамки зависит от выбора **методики проверки**.



Рамка «Настройка этапа»

## Проверка

В рамке «Проверка» отображены результаты расчёта.

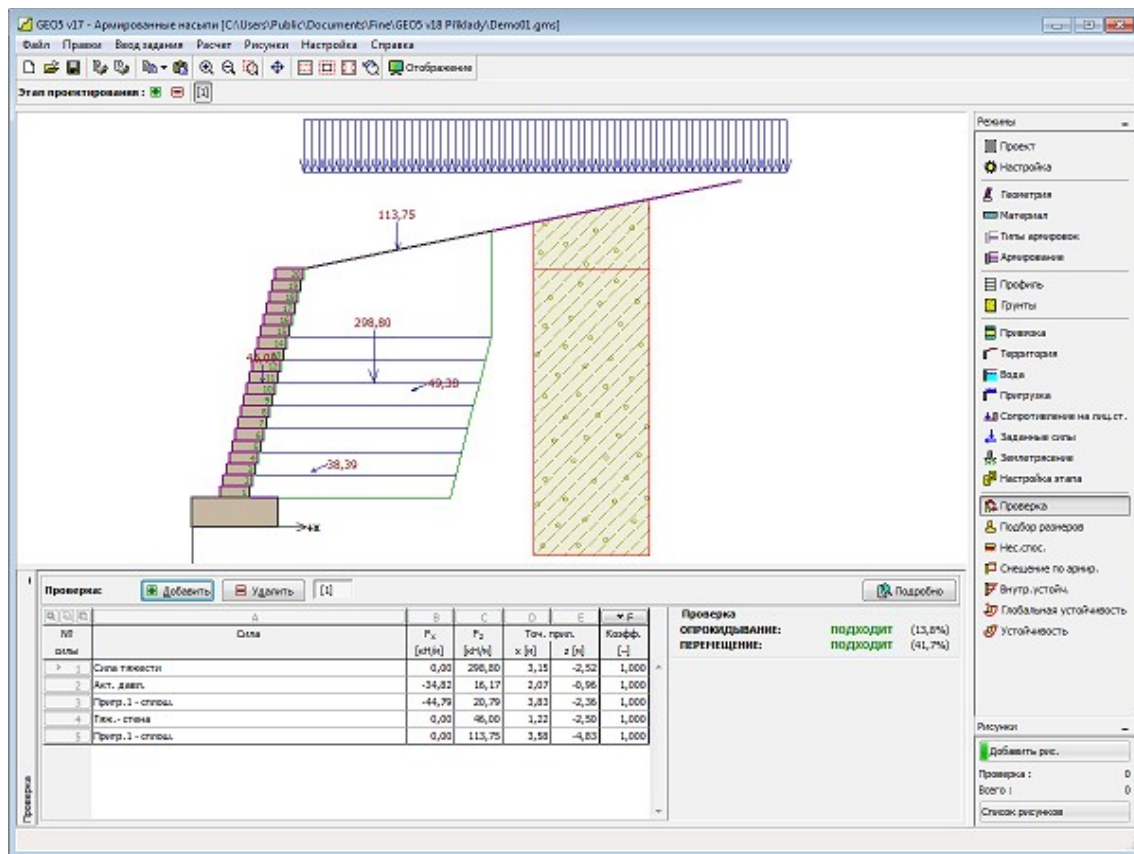
Для проверки внешней устойчивости создают **фиктивную конструкцию** (стену), которую проверяют на **опрокидывание** и **смещение**. Фиктивную стену образуют лицевая сторона конструкции и кривая, ограничивающая концевые точки геоарматур. Фиктивная конструкция нагружена **активным давлением грунта**. Процесса **самой проверки стены** описан в теоретическом разделе справки.

Вид рамки меняется в зависимости от выбора **методики проверки**:

- Расчёт по **коэффициенту безопасности** или **предельным состояниям** - в таблице в последней колонке указывают **расчётные коэффициенты**, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.
- Расчёт по EN 1997** - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «**Комбинация нагрузок**».
- Расчёт по LRFD** - в таком случае последняя колонка не отображена.

По одной задаче можно выполнить **несколько расчётов**. Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. В правой части рамки отображается результат анализа стены на **опрокидывание** и **смещение**. Кнопкой «**Подробнее**» открывается диалоговое окно с подробной выпиской результатов анализа.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».



*Рамка «Проверка»*

## Подбор размеров

В рамке **«Подбор размеров»** можно **проверить** отдельные промежутки (швы) между блоками опорной стены на **опрокидывание и смещение**. Выбор **«Стена в целом»** позволяет проверить всю конструкцию выше обреза фундамента, а также несущую способность грунта основания в рамке **«Несущая способность»**. Выбором **«Автоматическая проверка»** выполняется проверка наиболее критического шва над блоком. Если выбрать **«Шов над блоком №»**, то программа выполнит расчёт только по отдельному шву. Процесс самого **подбора размеров стены** описан в теоретическом разделе справки.

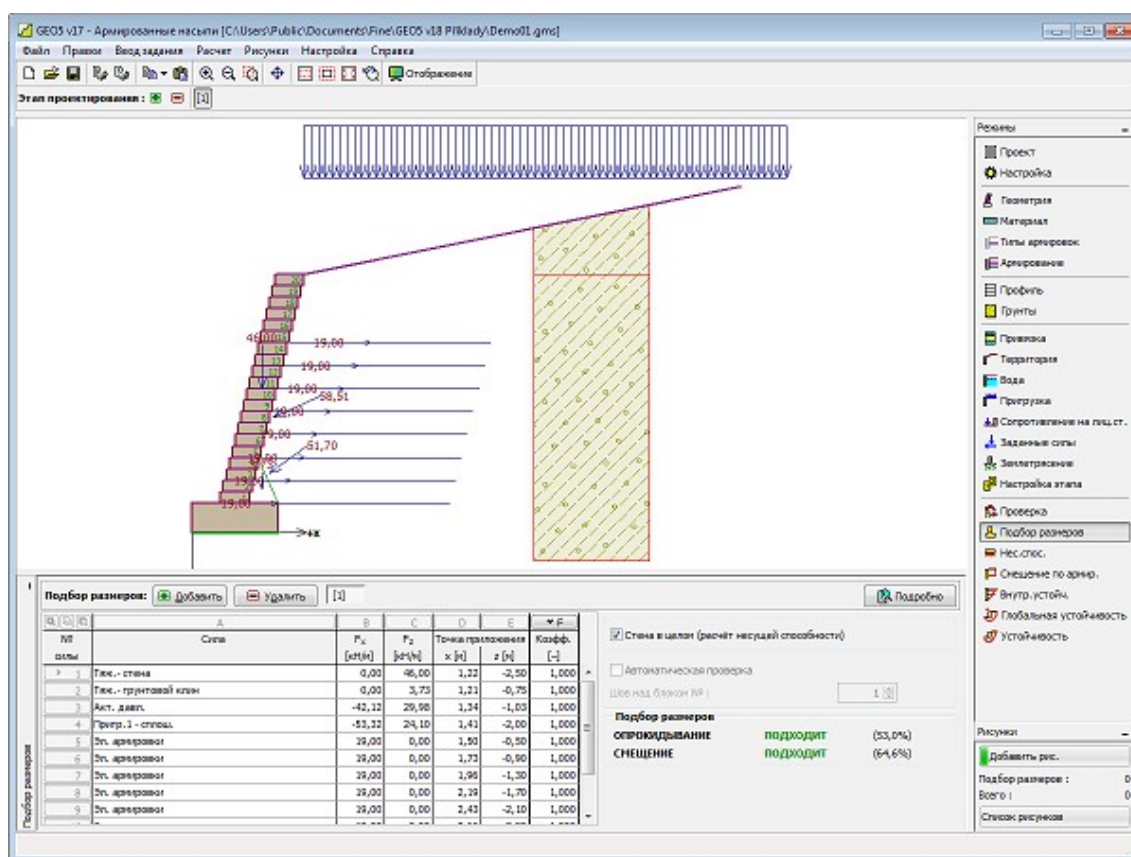
Вид рамки меняется в зависимости от выбора **методики проверки**:

- Расчёт по **коэффициенту безопасности** или **предельным состояниям** - в таблице в последней колонке указывают **расчётные коэффициенты**, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.
- Расчёт по EN 1997** - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции **«Комбинация нагрузок»**.
- Расчёт по LRFD** - в таком случае последняя колонка не отображена.

В рамке можно проводить больше расчётов по отдельным швам блоков стены. Можно задавать и разные **коэффициенты расчёта** отдельных сил. Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. Кнопка **«Подробно»** открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов подбора размеров.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне **«Настройка рисования»**.





Рамка «Подбор размеров»

## Несущая способность

В рамке «Несущая способность» отображены результаты расчёта несущей способности грунта основания. Напряжение в подошве (принято постоянным) рассчитано на основе всех анализов выполненных в рамке «Проверка». Если задан фундамент, то несущая способность рассчитывается по всем силам, вычисленным в рамке «Подбор размеров» (нужно отметить выбор «Стена в целом»). В программу «Отдельные фундаменты» отдельные анализы будут переведены как нагружающие состояния.

Рамка содержит три основные опции расчётов:

- **Ввести несущую способность грунта основания**
- **Рассчитать несущую способность грунта основания в программе «Отдельные фундаменты»**

В вводное поле вводят несущую способность грунта основания. Результаты анализа стены на **эксцентриситет** и **несущую способность грунта** основания отображаются в правой части рамки. Кнопка «**Подробнее**» открывает диалоговое окно с детальной выпиской результатов анализа несущей способности грунта.

Кнопкой «**Запуск программы Отдельные фундаменты**» **запустить программу «Отдельные фундаменты»**, в которой можно рассчитать несущую способность грунта основания, или осадку и поворот фундамента. После выполнения расчётов нажать кнопку «**ОК**» - результаты в т.ч. заданные изображения будут переданы в протокол расчёта программы

«**Армированные насыпи**». В случае неустановленной программы «**Отдельные фундаменты**» - кнопка недоступна. Задают общую длину фундамента стены.

- **Не проводить расчёт (фундамент на сваях)**

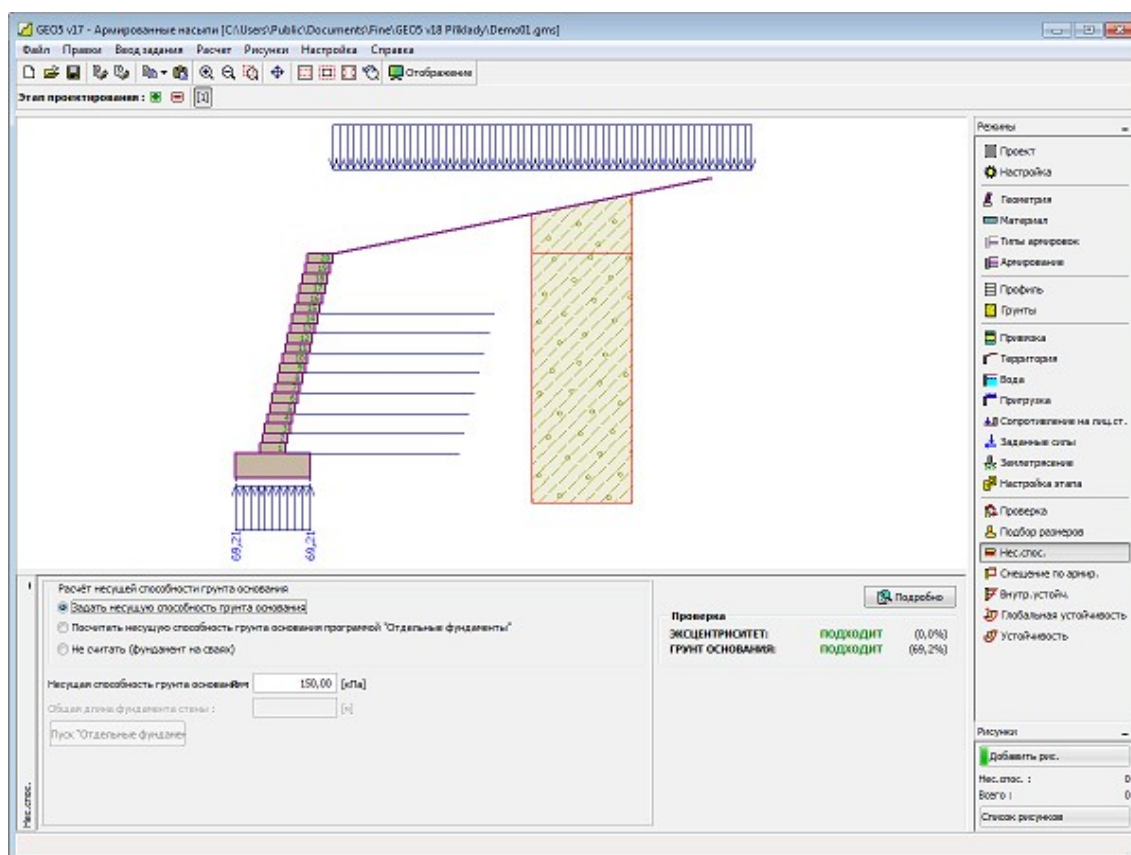
Не производится расчёт несущей способности грунта основания.

Программа позволяет задать **форму напряжения в грунте основания**.

Проверку можно произвести в местах:

- под фундаментом
- под армированным телом

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».



Рамка «Несущая способность»

## Смещение по армировке

В **рамке «Смещение по армировке»** можно оценить смещение армированного блока грунта по геоармировке с помощью задания в поле «**Армировка №**». При выборе поля «**Автоматическая проверка**» будет проверена наиболее критическая армировка.

**Армированный (укреплённый) блок грунта** ограничен лицевой стороной стены, рассматриваемой геоармировкой, вертикалью проходящей через концевую точку геоармировки и землей. Армированный блок грунта нагружен **активным грунтовым давлением** и стабилизирующими силами от геоармировок, выходящими за пределы армированного блока.



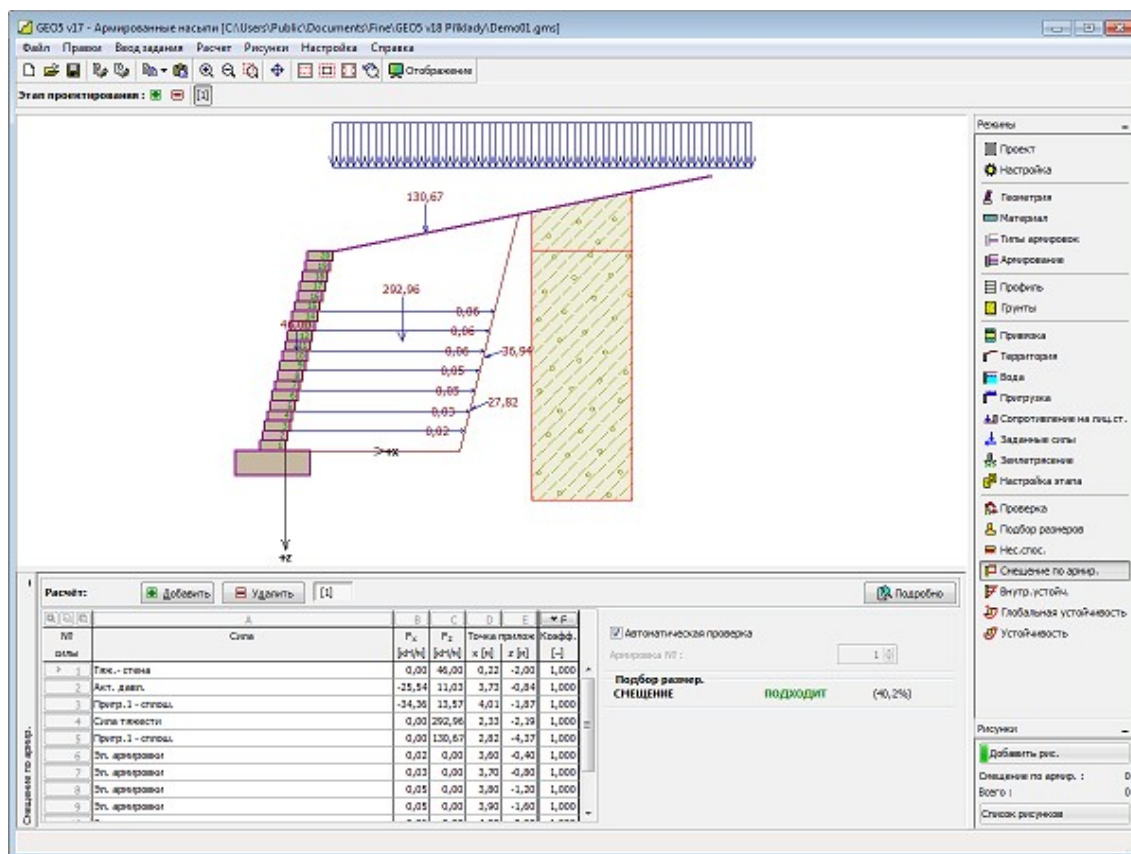
Процесс расчёта **смещения по армировке** описан в теоретическом разделе справки.

Вид рамки меняется в зависимости от выбора **методики проверки**:

- Расчёт по **коэффициенту безопасности** или **предельным состояниям** - в таблице в последней колонке указывают **расчётные коэффициенты**, на которые умножаются рассчитанные силы. Рассчитанные силы отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке.
- Расчёт по EN 1997** - в последней колонке таблицы можно задать, является ли переменная нагрузка, действующая на конструкцию вторичной нагрузкой. Более подробное пояснение дано в секции «**Комбинация нагрузок**».
- Расчёт по LRFD** - в таком случае последняя колонка не отображена.

В рамке можно выполнить **несколько расчётов** на смещение, по отдельным геоармировкам. Можно задавать и **коэффициенты расчёта** отдельных сил. Рассчитанные силы отображены на рабочем столе и немедленно обновляются при любом изменении данных и настройки в рамке. Кнопкой «**Подробнее**» открывается диалоговое окно с подробной выпиской результатов проверки на **внутреннюю устойчивость**.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».



Рамка «Смещение по армировке»

## Внутренняя устойчивость

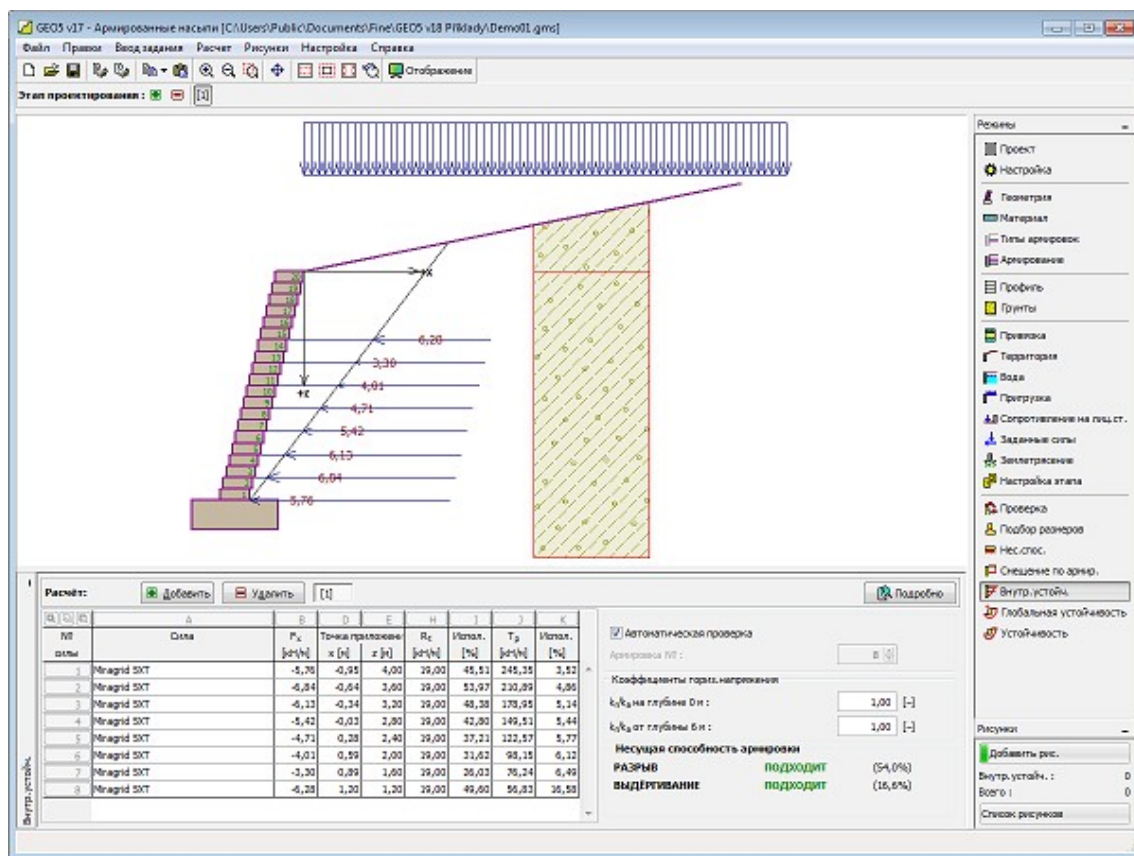
В **рамке «Внутренняя устойчивость»** можно **проверить** геоармировку на разрыв и выдёргивание из грунтового массива. При выборе поля «**Армирование №**» будет проверен только отдельный элемент геоармировки. При выборе «**Автоматическая проверка**»

будут проверены все элементы армировки, а справа на рабочем столе будет отображён результат по наиболее критической арматуре. Процесс расчёта **внутренней устойчивости** описан в теоретическом разделе справки.

В таблице отображены силы от **активного давления грунта**, действующие на лицевую сторону стены в отдельных элементах геоармировки, а также точки приложения этих сил. Далее, показано сопротивление армировки **разрыву**  $R_t$ , сопротивление армировки **выдёргиванию** из грунтового массива  $T_p$  и доля в процентах задействования каждого элемента геоармировки.

В рамке можно выполнять **несколько расчётов** по проверке отдельных элементов геоармировки. Вычисленные силы отображаются на рабочем столе и обновляются синхронно при каждом изменении данных. Кнопка «**Подробнее**» открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов по несущей способности (сопротивлению) армировки.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».



Рамка «Внутренняя устойчивость»

## Глобальная устойчивость

В **рамке «Глобальная устойчивость»** проверяют **устойчивость откоса** на круглоцилиндрической поверхности. Вводят параметры поверхности скольжения (центр и радиус) и метод расчёта (**Spencer, Bishop**).

Нажав кнопку «**Заменить**», можно точки поверхности скольжения задавать мышью непосредственно на рабочий стол.

После выбора «**Оптимизация**» будет рассчитана устойчивость на наиболее критической поверхности скольжения. Программа позволяет «удерживать» крайние точки поверхности скольжения (активируем флажок «**Держать левую точку повер. скольжения**» или «**Держать правую точку повер. скольжения**»).

Кнопка «**Исходная поверхность скольжения**» позволяет автоматически задавать круглоцилиндрическую поверхность скольжения. После ввода поверхности скольжения запускают расчёт кнопкой «**Посчитать**».

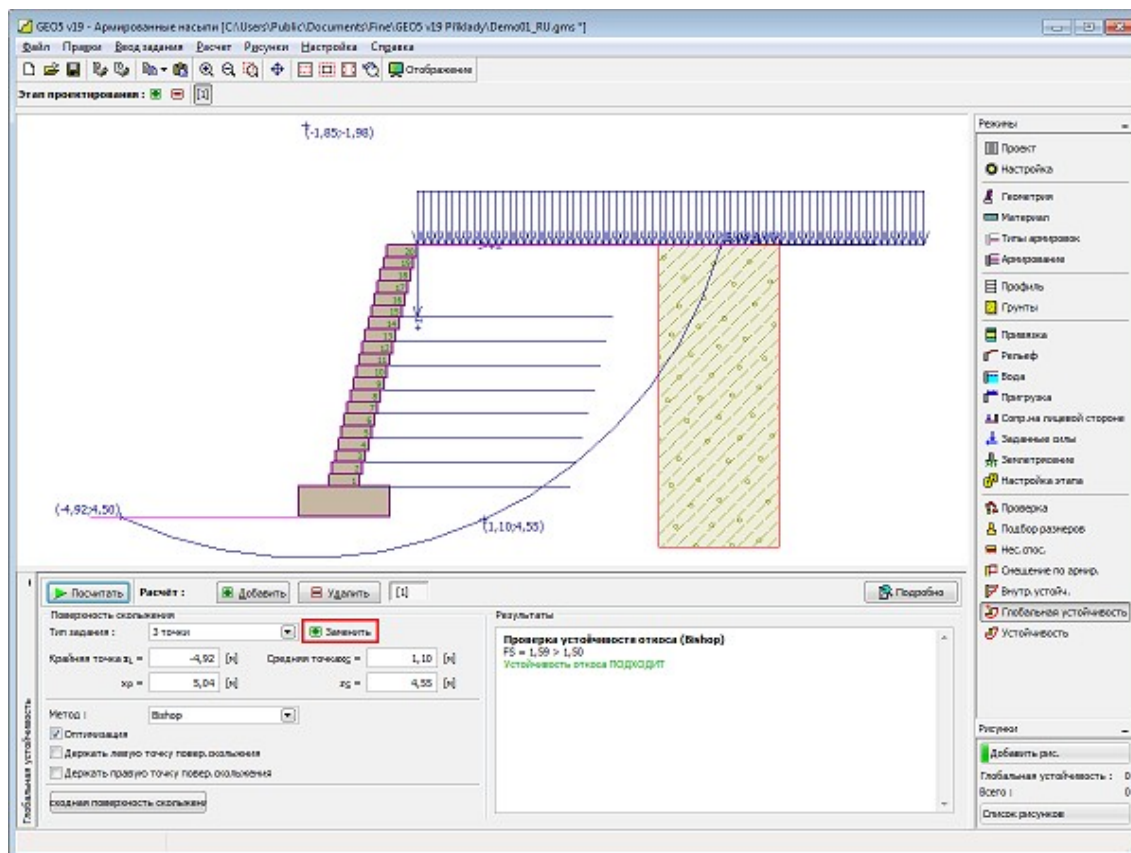
**Саму проверку устойчивости откоса** выполняют в зависимости от настройки в закладке «Расчёты на устойчивость»:

- по **EN 1997**, где **нагрузка уменьшена** частными коэффициентами расчёта и проверка выполняется по теории предельных состояний,
- или по **LRFD**, расчёт выполняется по теории предельных состояний,
- или по **коэффициенту безопасности / предельных состояний** в зависимости от задания в рамке «Расчёт стен».

Для одного задания можно выполнить **несколько расчётов**. Кнопка «**Подробнее**» открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов расчётов на устойчивость откоса, т.е. параметры вычисленной поверхности скольжения и коэффициент безопасности, или использования (для предельных состояний).

The results are displayed in the right part of the frame, the optimized slip surface on the desktop.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».

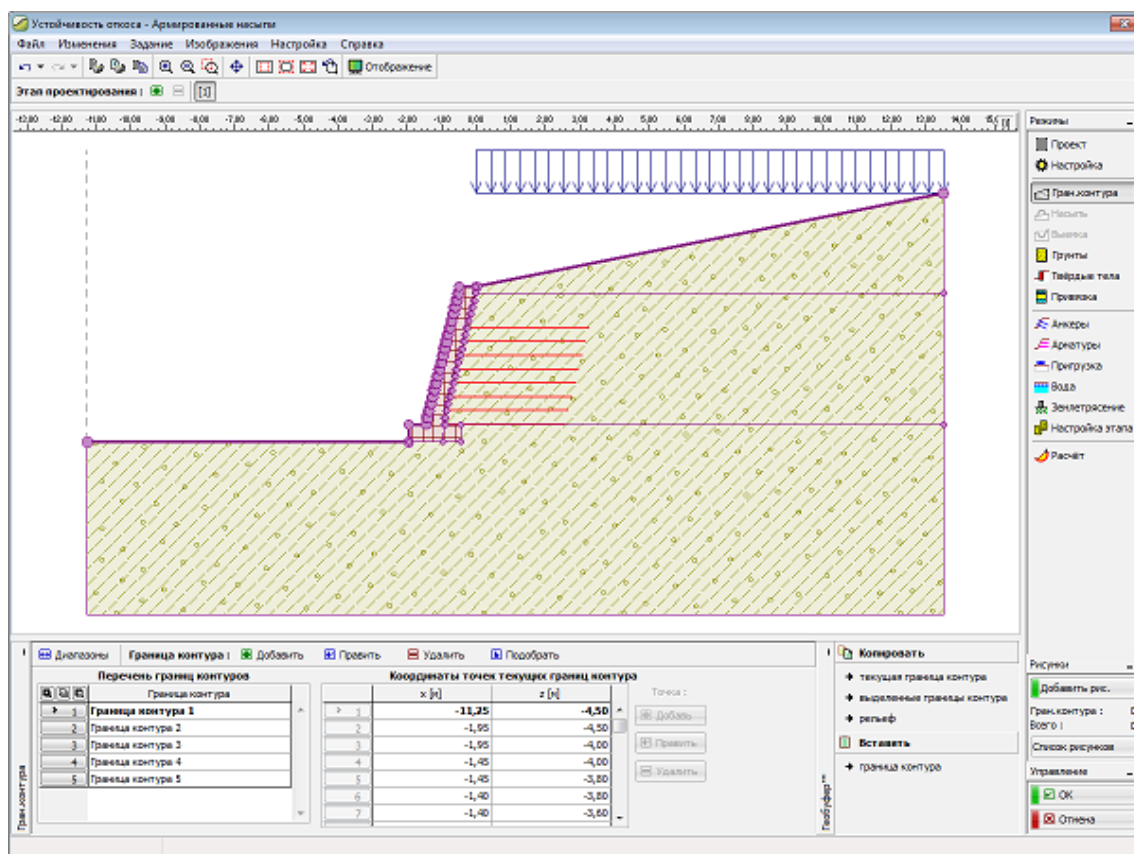


Рамка «Глобальная устойчивость»

## Устойчивость

Нажатием на кнопку **«Устойчивость»** запускается программа **«Устойчивость откоса»** и в программу передаются все необходимые данные. В программе Устойчивость откоса можно анализировать общую устойчивость конструкции стены. Кнопка недоступна, если программа **«Армированные насыпи»** не установлена.

После выполнения расчёта нажатием кнопки **«ОК»** передаются результаты в т.ч. рисунки в протокол расчёта в программе **«Армированные насыпи»**.



Рамка «Устойчивость»

## Программа Отдельные фундаменты

Программа предназначена для проектирования и анализа фундаментов мелкого заложения по разным стандартам. Программа рассчитывает вертикальную и горизонтальную несущие способности, осадку и крен фундамента мелкого заложения, а также подбирает размеры несущей арматуры.

**Справка для программы «Отдельные фундаменты» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект    Настройка    Профиль    Испытания    Грунты    Привязка    Заложение

Нагрузка	Геометрия	Обрез фундамента	DMT Гравий- песчаная подушка	Материал	Пригрузка	Вода, несжимаемо е основание
Настройка этапа	1.ПС - несущая способность фундамента	2.ПС - осадка и крен фундамента	Подбор размеров			

- Стандарты и методы расчёта
- Теория расчётов в программе «**Отдельные фундаменты**»:
 

Напряжение в массиве грунта	Параметры пород	Анализ устойчивости основания	Осадка	Измерение бетонных конструкций
--------------------------------	--------------------	-------------------------------------	--------	--------------------------------------
- Справка относительно результатов на выходе
- Информация общего характера о работе в пользовательской среде программ GEO5
- Общие операции для всех программ

## Проект

В рамку «Проект» задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой текстовой и графической информации.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (метрическую / дюймовую). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «Геобуфера».

Рамка «Проект»



## Настройка

В **рамку «Настройка»** предназначена для ввода основных **«Настроек»** программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой **«Выбрать настройки»** выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из **«Перечня настроек»**.

Кнопка **«Администратор настройки»** открывает диалоговое окно **«Администратор настройки»**, в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

Кнопка **«Добавить в администратор»** позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

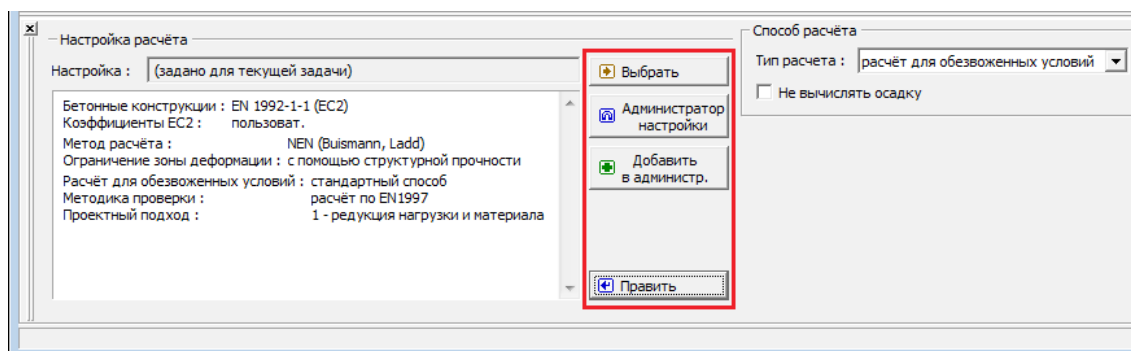
Кнопка **«Править»** позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в **«Задано для текущей задачи»**. После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку **«Добавить в администратор»** и добавляем настройку в **«Администратор настройки»**.

Настройка **«Задано для текущей задачи»** обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладках **«Материалы и стандарты»**, **«Осадка»** и **«Отдельные фундаменты»**.

Для расчёта вертикальной несущей способности плоского фундамента можно выбрать из четырёх типов расчётов:

- **расчёт для обезвоженных условий**
- **расчёт для необезвоженных условий**
- **расчёт отдельного фундамента на скальном основании**
- **с заданием несущей способности грунта основания  $R_d$**



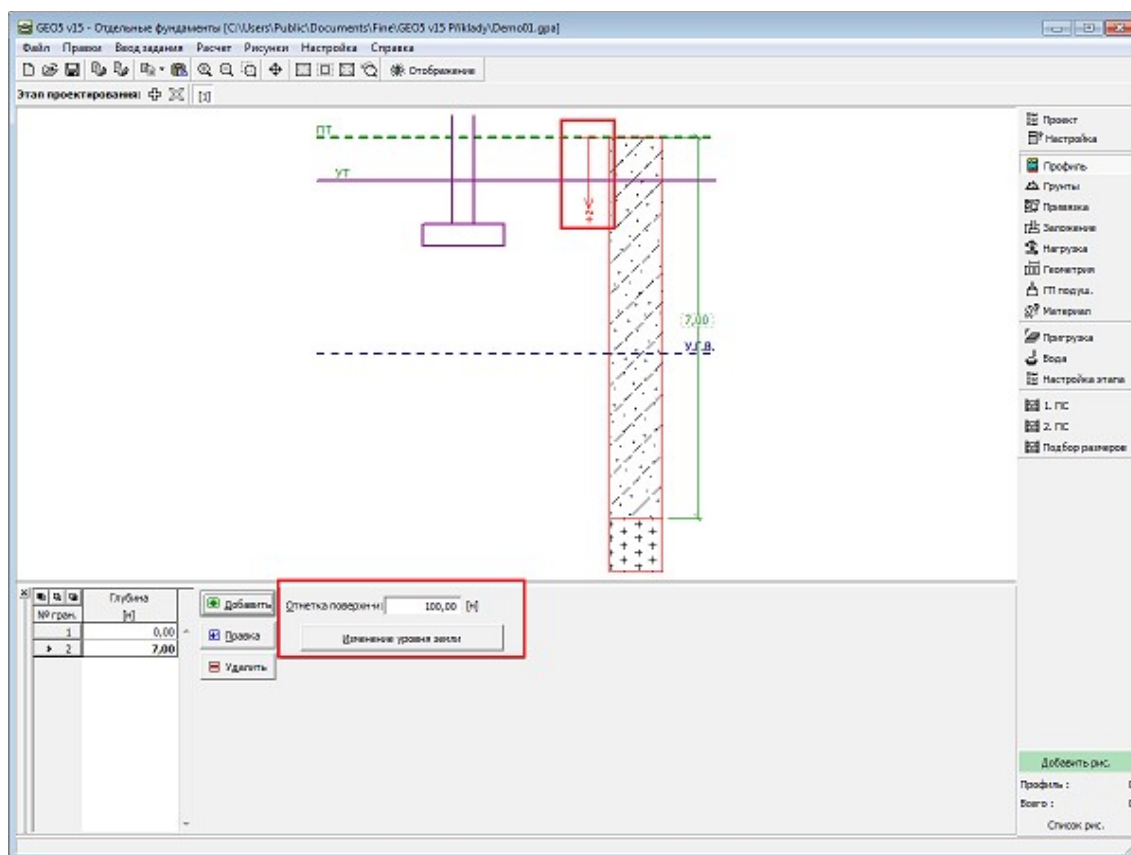
Рамка «Настройка»

## Профиль

В рамке «Профиль» есть таблица со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи активных отметок (размерных чисел).

Добавление границы выполняется в диалоговом окне «Создать границу контура». Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне «Изменение уровня земли» и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы «Рельеф».



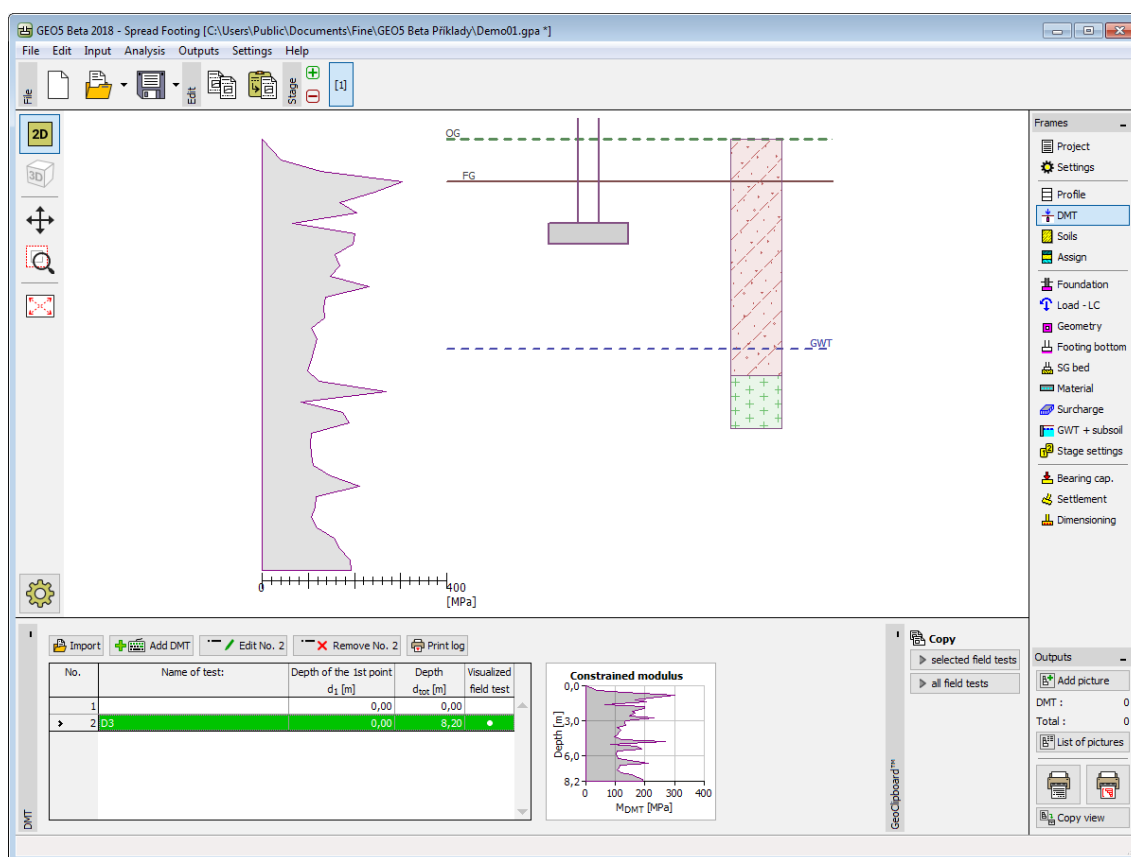
Рамка «Профиль»

## Испытания DMT

В рамке «Испытания DMT» задаём способ ввода дилатометрического модуля в программу: или в виде параметра грунта (ставим флажок у команды «Задавать  $M_{DMT}$  как параметр грунта»), или загрузкой дилатометрического испытания (DMT).

В случае считывания испытаний отображается таблица со списком введённых дилатометрических испытаний (DMT).





Рамка «Испытания DMT»

Если при обработке **дилатометрического испытания** будут замерены нулевые значения **дилатометрического модуля**  $MDMT$ , то программа позволяет автоматическую корректировку ошибки измерения - взамен нулевого значения в расчёт принимается арифметическое среднее ближайших нижнего и верхнего ненулевого значений  $MDMT$ .

Результаты дилатометрического испытания (DMT) можно импортировать с помощью кнопки «Импорт» в формате **UNI** (\*.uni).

Испытания DMT можно передавать в рамках программ «Отдельные фундаменты», «Ограждение котлованов анализ» и «Стратография» через «Геобуфер».

**Примечание:** Рамка доступна только в случае, что в рамке «Настройка» выбран метод «Расчёт с помощью дилатометра» (закладка «Осадка»).

## Грунты

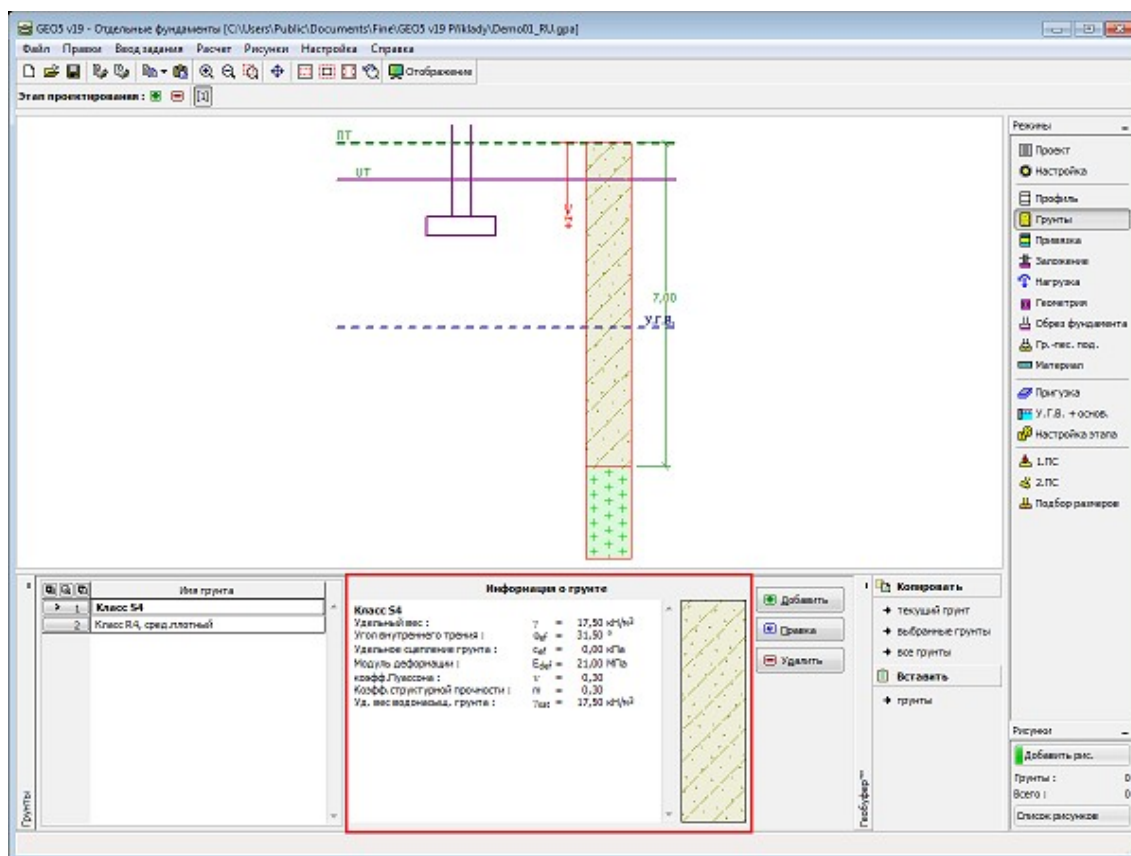
В **рамке «Грунты»** есть **таблица** со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. Если в таблице выбрано несколько грунтов, то информация по отдельным грунтам упорядочена в последовательном порядке.

**Добавление** грунта проводится в **диалоговом окне «Добавление новых грунтов»**.

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Базовые данные», «Подъёмная сила», «Устойчивость основания» и «Осадка».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью

«Геобуфера».



Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать **базу данных грунтов** по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Параметры грунтов могут отличаться между собой в зависимости от выбора типа расчёта и методики проверки (рамка «**Настройка**», закладки «**Отдельные фундаменты**», «**Осадка**»).

В зависимости от типа расчёта различаем:

- **расчёт для обезвоженных условий**: стандартный способ - использование **эффективных** параметров сопротивления сдвигу грунтов  $c_{ef}$ ,  $\varphi_{ef}$ .
- **расчёт для необезвоженных условий**: вертикальная несущая способность фундамента (основания) зависит от тотальной связности грунта  $c_u$ . Параметр  $\varphi_{ef}$  вводят только для расчёта **давления грунта** при поиске решения по **горизонтальной несущей способности фундамента**.
- **расчёт фундамента на скальном основании**: для этого типа расчёта в программу

задают угол внутреннего трения грунта  $\varphi$ , прочность на простое сжатие  $\sigma_c$ , коэффициент  $D$  для учёта нарушений горного массива, прочностной параметр грунта  $m_i$  и Geological Strength Index.

Подробное описание теоретической основы дано в разделе «Расчёт несущей способности фундамента».

**Добавление новых грунтов**

Идентификация  
Имя : Суглинок низкой пластичности, консистенция пластичная  
Суглинок низкой пластичности, консистенция пластичная

**Базовые данные**

Удельный вес :  $\gamma =$  20,00 [кН/м<sup>3</sup>] 20,0  
Угол внутреннего трения :  $\varphi_{ef} =$  21,00 [°] 19-23  
Удельное сцепление грунта :  $c_{ef} =$  12,00 [кПа] 8-16

Просадка - одометрический модуль  
коэфф. Пуассона :  $\nu =$  0,40 [-] 0,4  
Тип  $E_{зем.}$  : постоянное  
Расчёт осадки : задать  $E_{def}$   
Модуль деформации :  $E_{def} =$  2,25 [МПа] 1,5-3

Просадка - расчёт зоны деформации  
Коефф. структурной прочности  $m =$  0,10 [-] 0,1 - 0,2

Противодавление  
Расчёт взвешивающего усилия: стандартный  
Удельный вес водонасыщенного  $\gamma_{sat} =$  17,50 [кН/м<sup>3</sup>]

Отображение  
Цвет  
Категория узоров GEO  
Узор Ил

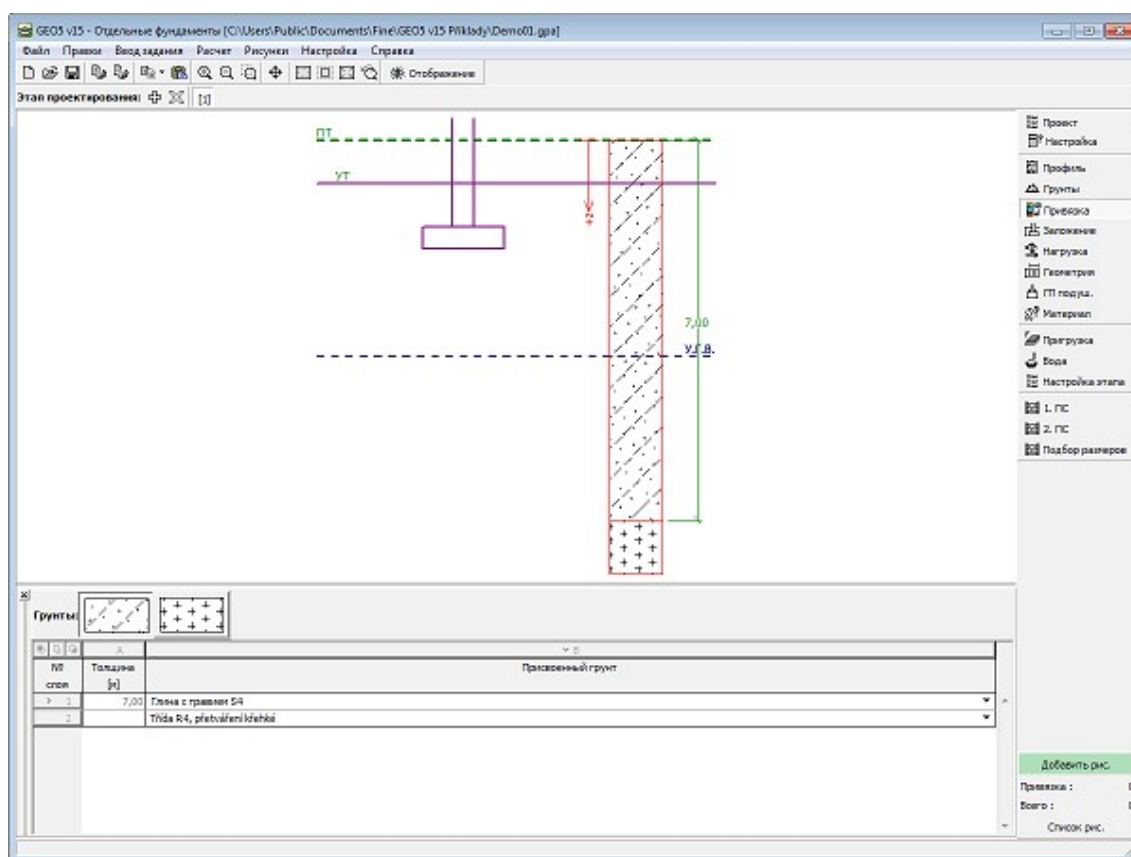
Классификация  
Определить  
Стереть  
Добавить  
Отмена

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В рамке «Привязка» есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).



Рамка «Привязка»

## Заложение

В **рамке «Заложение»** в выпадающем списке выбирают тип фундамента. Выбранный тип вместе с графической подсказкой («**Схема геометрии**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Значения можно редактировать или в рамке введя их в вводные поля, или на рабочем столе с помощью **активных отметок**. В рамке выбирают удельный вес кровли (слоя грунта над фундаментом).

Программа предлагает следующие типы фундаментов:

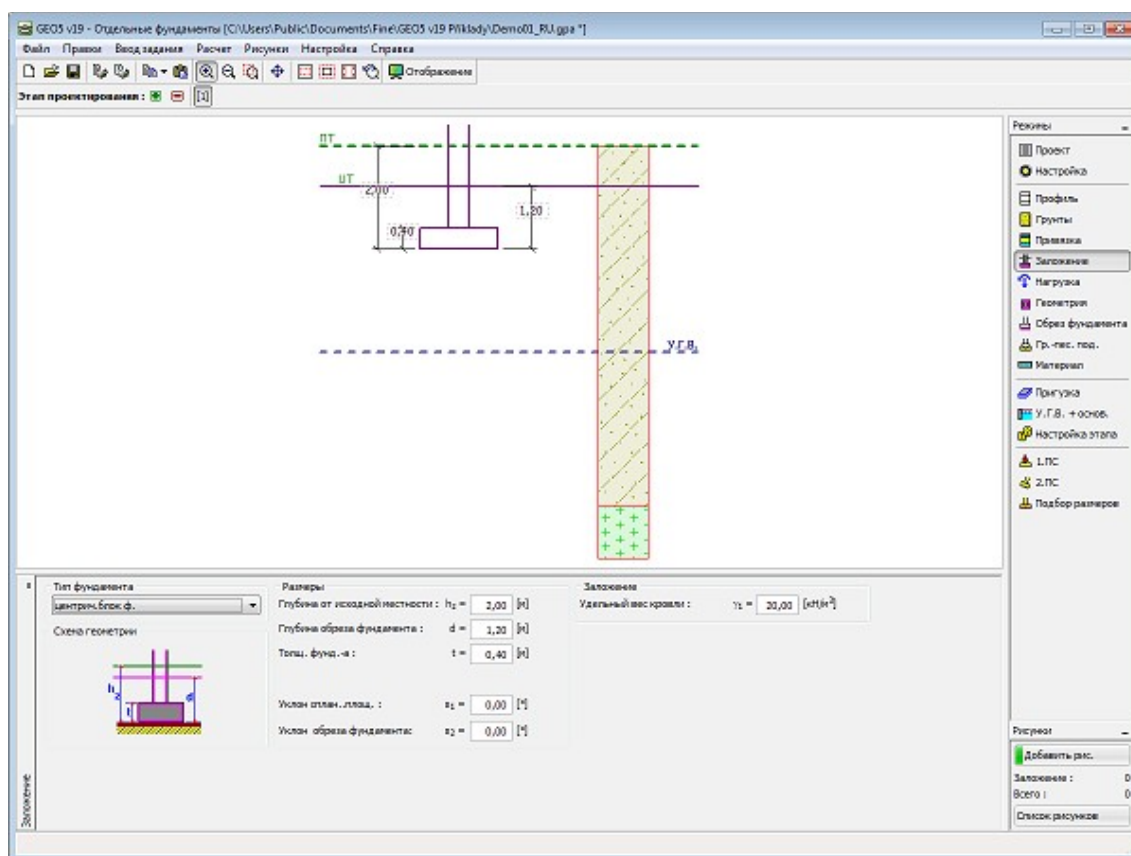
- **Центрический отдельный фундамент**
- **Внецентрический**
- **Ленточный**
- **Ступенчатый центрический**
- **Ступенчатый внецентрический**
- **Круговой отдельный фундамент**
- **Круговой ступенчатый**
- **Центрический с «вудом»**
- **Внецентрический с «вудом»**

Профиль грунта задают от отметки **исходной земли**. Несущая способность фундамента обусловлена критерием **глубина спланированной местности**. В случае, что спланированная площадка лежит выше отметки исходной земли, необходимо задать одинаковую глубину спланированной и исходной земли а в основании задать слой насыпки нового грунта. В этой рамке задают тоже **толщину фундамента**.

Фундамент в конечном счёте как правило засыпают грунтом - задаётся его удельный вес

(**Удельный вес кровли  $\gamma_l$** ). В расчёте выполненном по **предельным состояниям** масса кровли умножается на коэффициент  $\gamma_{m\gamma}$ , заданный в закладке «Отдельные фундаменты».

Для фундаментов на **обезвоженном основании** (тип расчёта задают в рамке «Настройка») можно задать уклон спланированной местности и обреза фундамента. В остальных случаях территория и обрез фундамента приняты горизонтальными.



Рамка «Заложение»

## Нагрузка

В **рамке «Нагрузка»** есть **таблица** со списком заданных нагрузок. **Добавление** нагрузки выполняется в **диалоговом окне «Создать нагрузку»**. Силы задаются согласно конвенции, отрисованной в правой части диалогового окна.

В диалоговом окне задают тип нагрузки:

- **Проектная** нагрузка в целях проверки **несущей способности фундамента**
- **Полезная** нагрузка в целях расчёта **осадки и крена фундамента**

**Подбор размеров арматуры** для фундамента производится при обоих типах нагрузки.

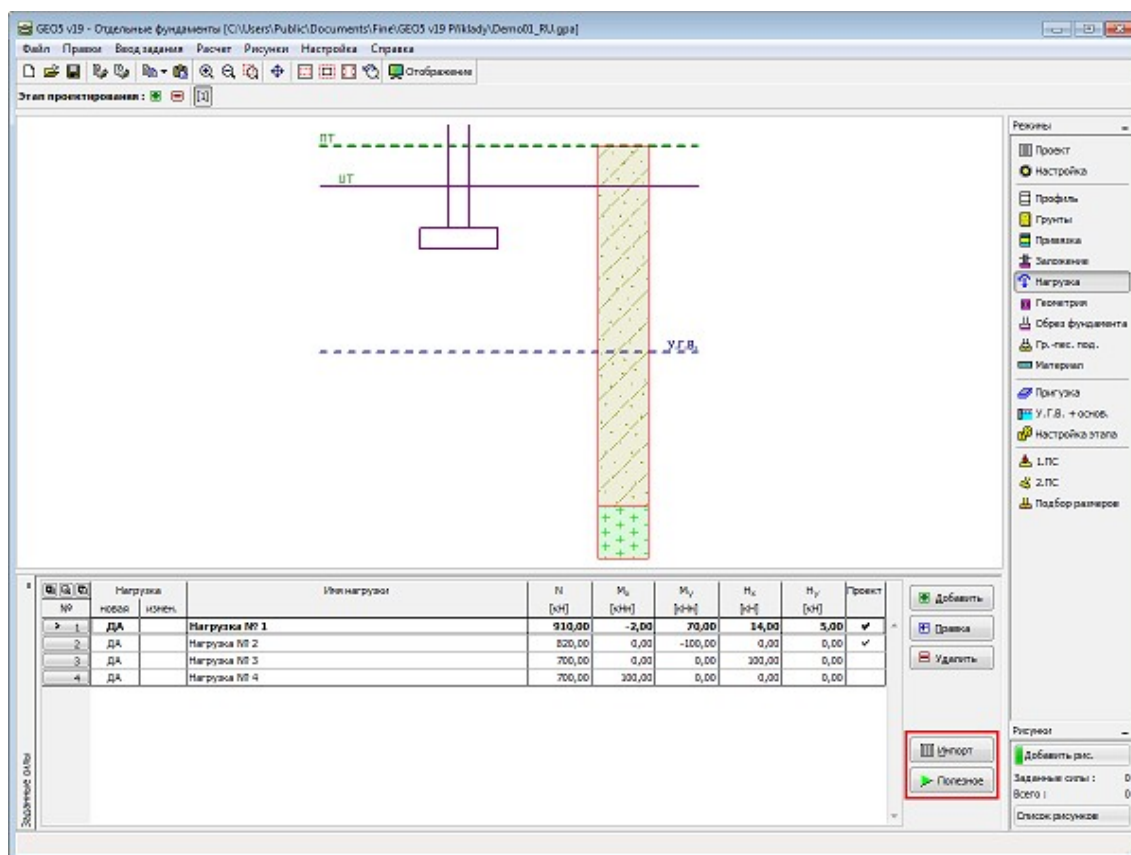
При расчёте по **EN 1997** или **LRFD** (выбирают в закладке «Отдельные фундаменты») предполагается, что проектная нагрузка определена в соответствии с соответствующими стандартами, а отдельные составляющие нагрузки **уже перемножены** на соответствующие **частные коэффициенты** - заданную нагрузку программа дальше **не меняет**.

Нагружение фундамента учитывается всегда в точке **стыка колонны с фундаментом**.

Программа автоматически рассчитывает **собственный вес фундамента и кровли над фундаментом**.

Кнопка «**Рабочая**» позволяет создать рабочую нагрузку по заданным расчётным нагрузкам (расчёт по **коэффициенту безопасности**, или **предельным состояниям**).

Программа может выполнить **импорт нагрузки** после нажатия кнопки «**Импорт**».



Рамка «Нагрузка»

## Геометрия

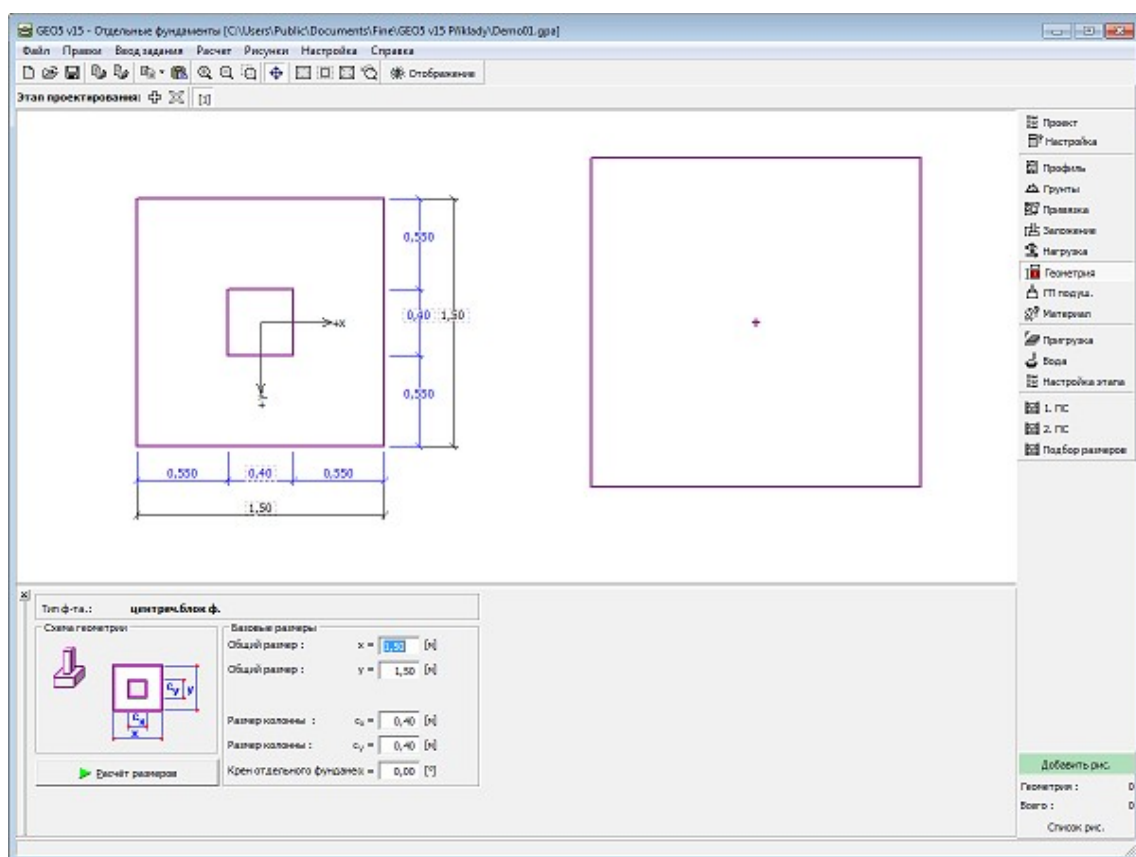
В **рамке «Геометрия»** нажатием кнопки выбирают форму угловой стены. Форма с графической подсказкой («**Схема геометрии**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Редактировать форму стены можно или в рамке, вводя значения в поля ввода, или на рабочем столе с помощью **активных отметок (размерных чисел)**.

**Тип и толщина фундамента** задаются в рамке «**Заложение**».

Программа автоматически выполняет дополнительный расчёт **собственного веса фундамента и кровли над фундаментом**. Удельный вес фундамента задают в рамке «**Материал**». При расчёте по предельным состояниям происходит переумножение собственной массы отдельного фундамента и массы кровли на коэффициенты, заданные в закладке «**Отдельные фундаменты**».

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.





Рамка «Геометрия»

Кнопка «**Расчёт размеров**» открывает диалоговое окно «**Расчёт размеров фундамента**», в котором с помощью программы можно рассчитать размеры фундамента. В диалоговое окно можно или ввести несущую способность грунта основания  $R_d$ , или выбрать опцию «**Расчёт**». В таком случае программа выполняет расчёт размеров фундамента с учётом **заданных параметров** (грунта, профиля, влияния воды, гравийно-песчаной подушки, настройки и т.п.)

При выходе из диалогового окна кнопкой «**ОК**» вычисленные размеры переходят в рамку «**Геометрия**».



Пр. размеров фундам.

Нес.спос.грунта основ. : ☐ Считать ☒ Задать  $R_d = 527,36$  [кПа]

Расчёт размеров ф-та

Расч. размеры ф-та:  $x = 1,60$  [м]  $y = 1,40$  [м]

Смещ.цент. колон. :  $dx = 0,00$  [м]  $dy = 0,00$  [м]

Соб. вес ф-та:  $G = 22,67$  [кН]

Соб.вес грунта под фундам. :  $Z = 43,26$  [кН]

Контактное напряжение  $\sigma = 474,85$  кПа < 527,36 кПа

ОК Отмена

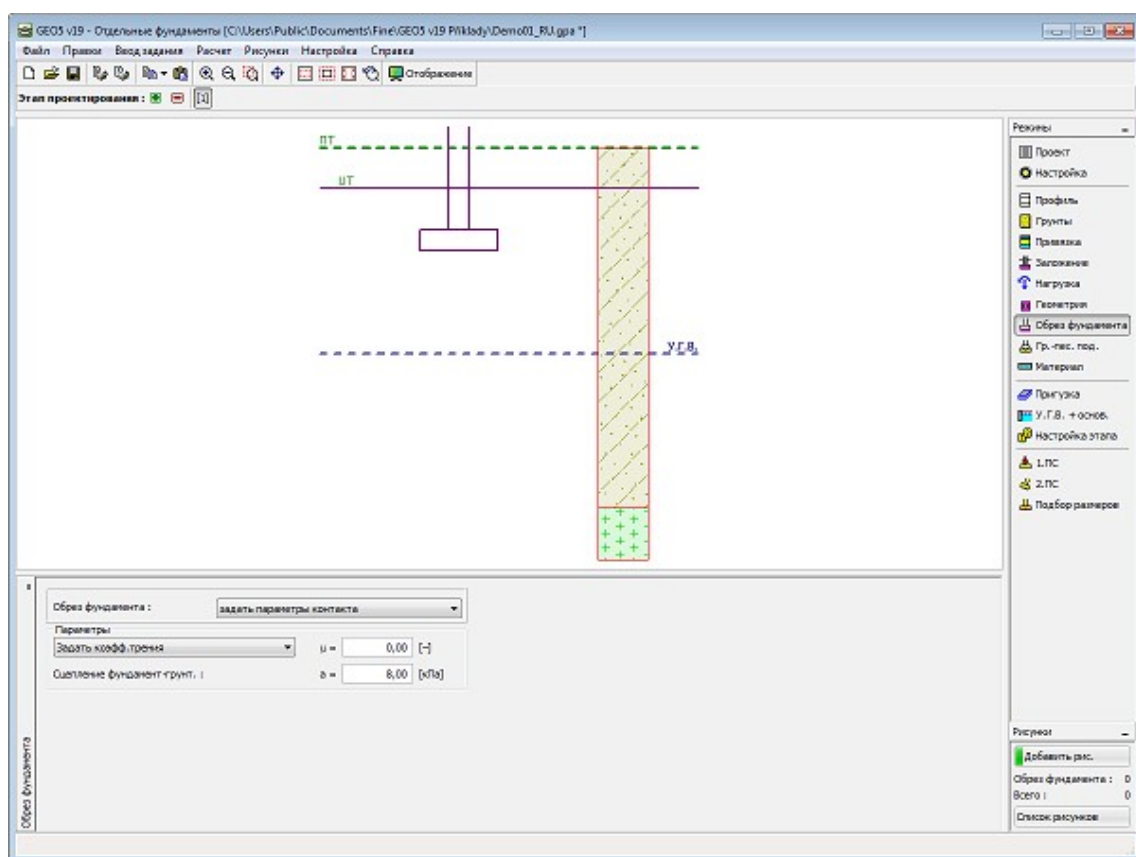
Диалоговое окно «Расчёт размеров фундамента»

## Обрез фундамента

В рамку «Обрез фундамента» задаём характеристики воздействия обреза фундамента:

- **грунт - геологический разрез** - стена заложена в грунте **присвоенном** из геологического разреза, который задаётся в рамке «Профиль»
- **грунт - ввести параметры контакта** - задаём параметры контакта подошвы фундамента конструкции с грунтом. При выборе «**задать угол трения фундамент-грунт**» в программу вводим угол трения между фундаментом и грунтом  $\psi$  [°]. При выборе «**задать коэффициент трения**» в программу вводим коэффициент трения  $\mu$  [-]. В обоих случаях задаём сцепление между фундаментом и грунтом  $a$  [кПа].

Исходные данные заданные в эту рамку влияют на **несущую способность грунта основания**.



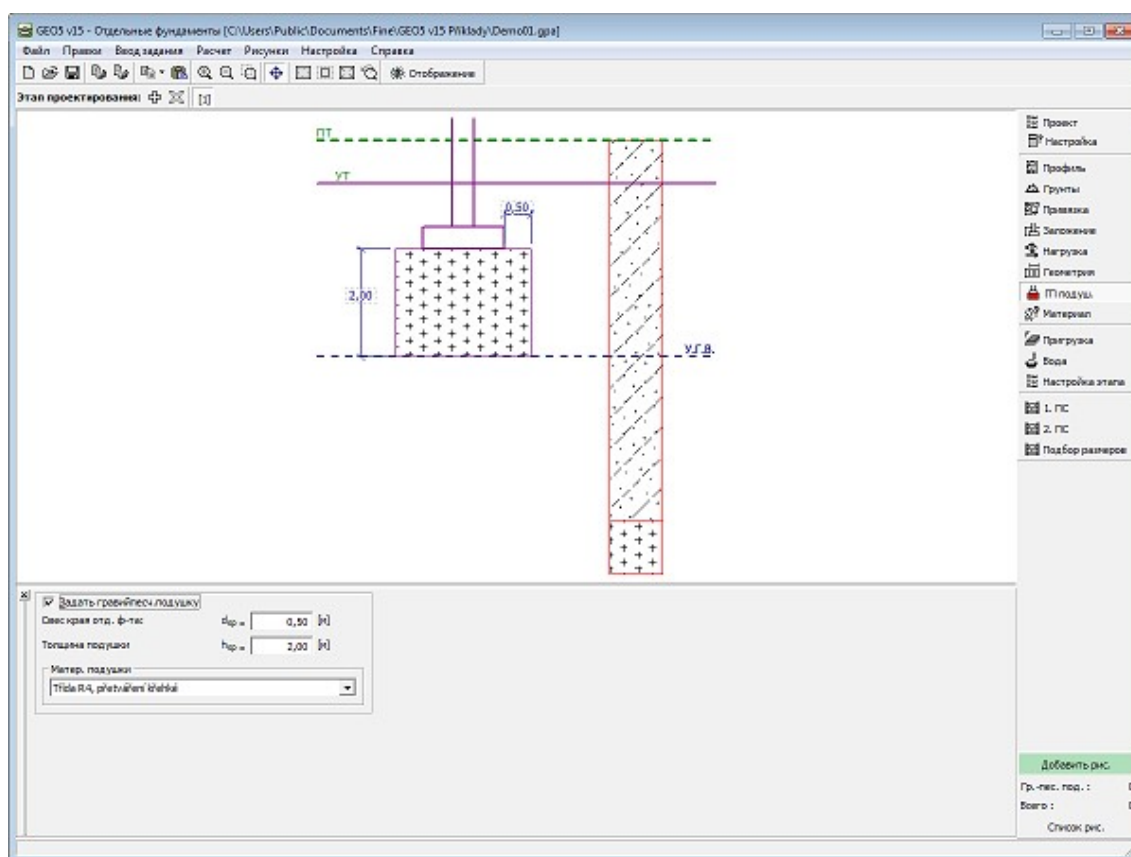
Рамка «Обрез фундамента»

## Гравий-песчаная подушка

В рамку **«Гравий-песчаная подушка»** задают параметры гравий-песчаной подушки под фундаментом. Задают толщину подушки и её величину её выхода за внешние края фундамента. Значения можно редактировать или в рамке в вводных полях, или на рабочем столе с помощью **активных отметок**.

Заполнитель подушки выбирают в выпадающем списке грунтов, заданных в режиме **«Грунты»**.

Заданная гравий-песчаная подушка влияет на расчёт **несущей способности фундамента** и на **осадку фундамента**.



Рамка «Гравий-песчаная подушка»

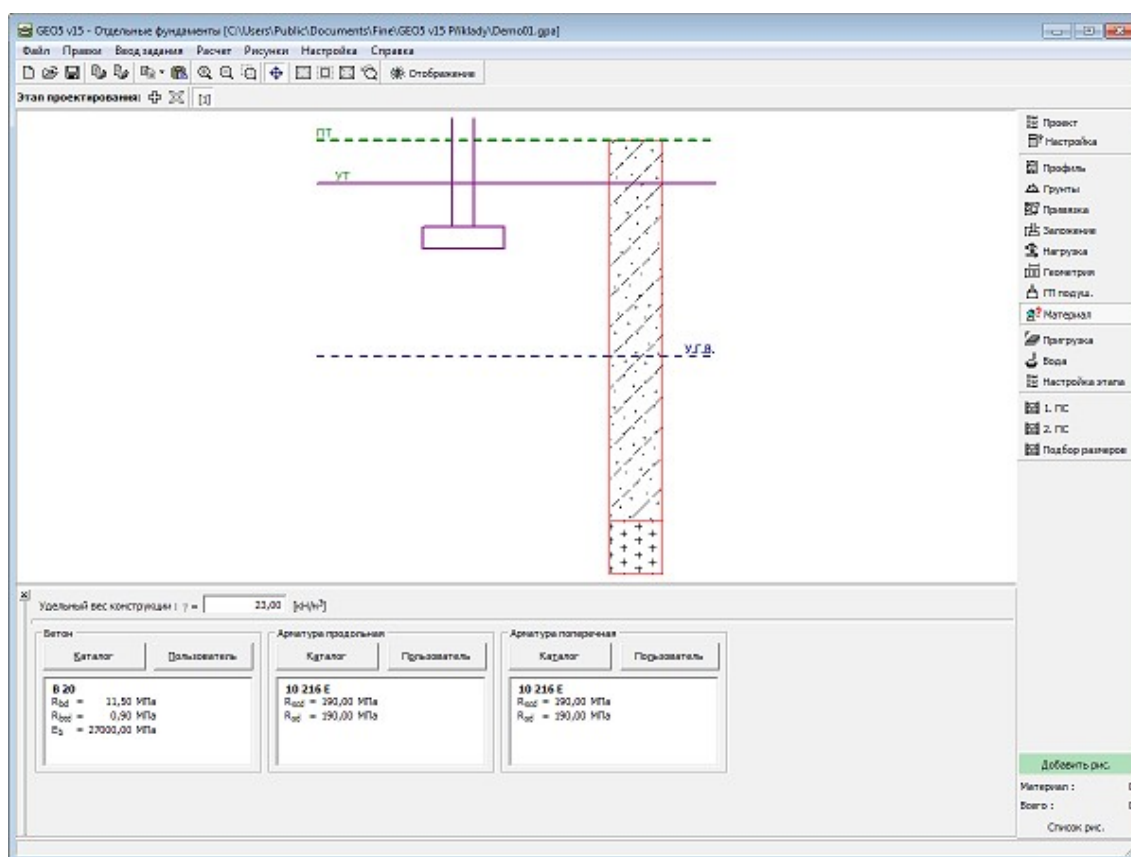
## Материал

В **рамку «Материал»** задают характеристики используемых материалов. В вводном поле в верхней части рамки задаём **удельный вес конструкции**.

Для выбора материала можно использовать две опции:

- кнопкой **«Каталог»** открыть диалоговое окно **«Каталог материалов»** (для бетона или стальной арматуры) и в списке выбрать нужный тип материала
- кнопкой **«Пользователь»** открыть диалоговое окно **«Редактор материала-бетон»** (для бетона) или диалоговое окно **«Редактор материала-арматурная сталь»** (для продольной и поперечной стальной арматуры) и задать нужные характеристики материала вручную.

Содержимое каталогов меняется в соответствии с настройкой стандарта по проектированию **бетонных** и **стальных** конструкций в закладке **«Материалы и стандарты»**.



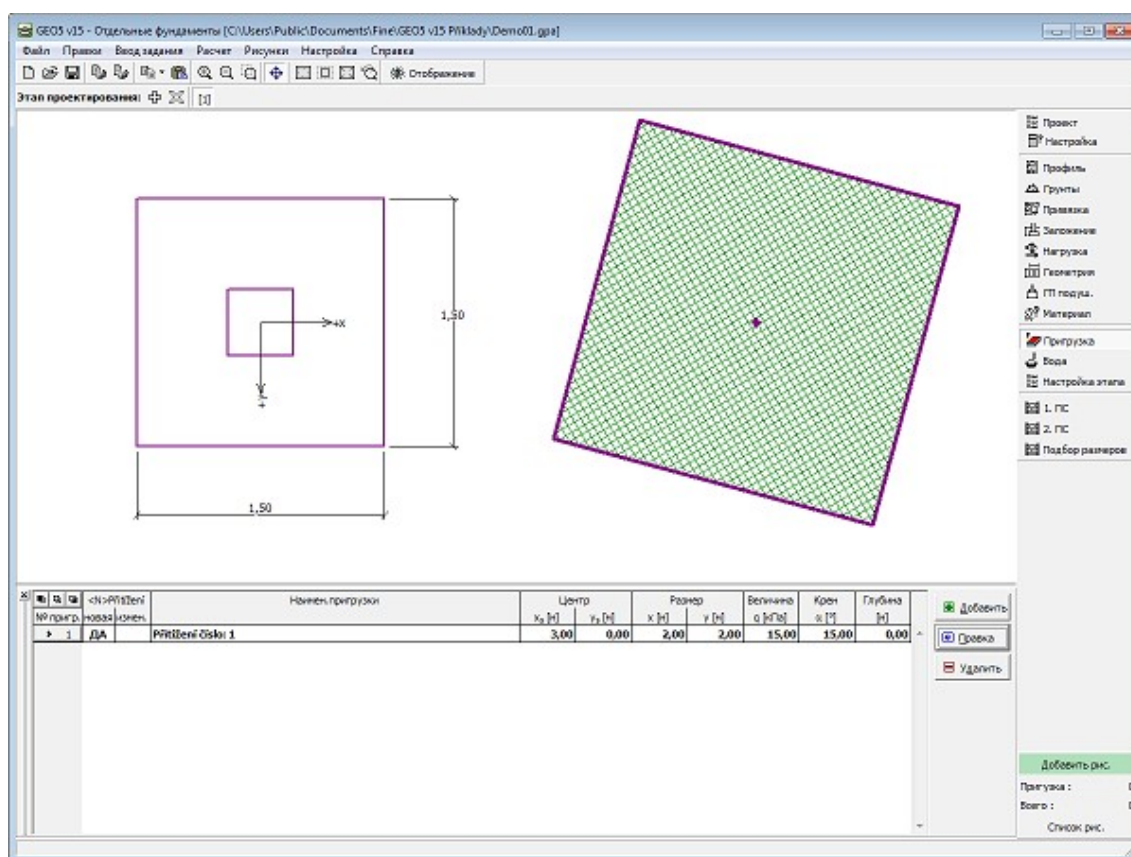
Рамка «Материал»

## Пригрузка

Рамка «**Пригрузка**» содержит таблицу со списком заданных пригрузок. Добавление пригрузки выполняется в диалоговом окне «**Создать пригрузку**». Значения задают по схеме «**Геометрия**» отрисованной в правой части диалогового окна. Заданные пригрузки можно редактировать тоже на рабочем столе с помощью **активных объектов**.

Если глубина задаваемой пригрузки отличается от глубины заложения фундамента, то задают координату «z» от среза фундамента конструкции, со знаком плюс в глубину.

Пригрузка учитывается только при **расчёте осадки** и крена фундамента, когда она увеличивает **прирост напряжения** в грунте под фундаментом. В **расчётах несущей способности** фундамента пригрузка не принимается во внимание - она учёт бы увеличивал несущую способность.



Рамка «Пригрузка»

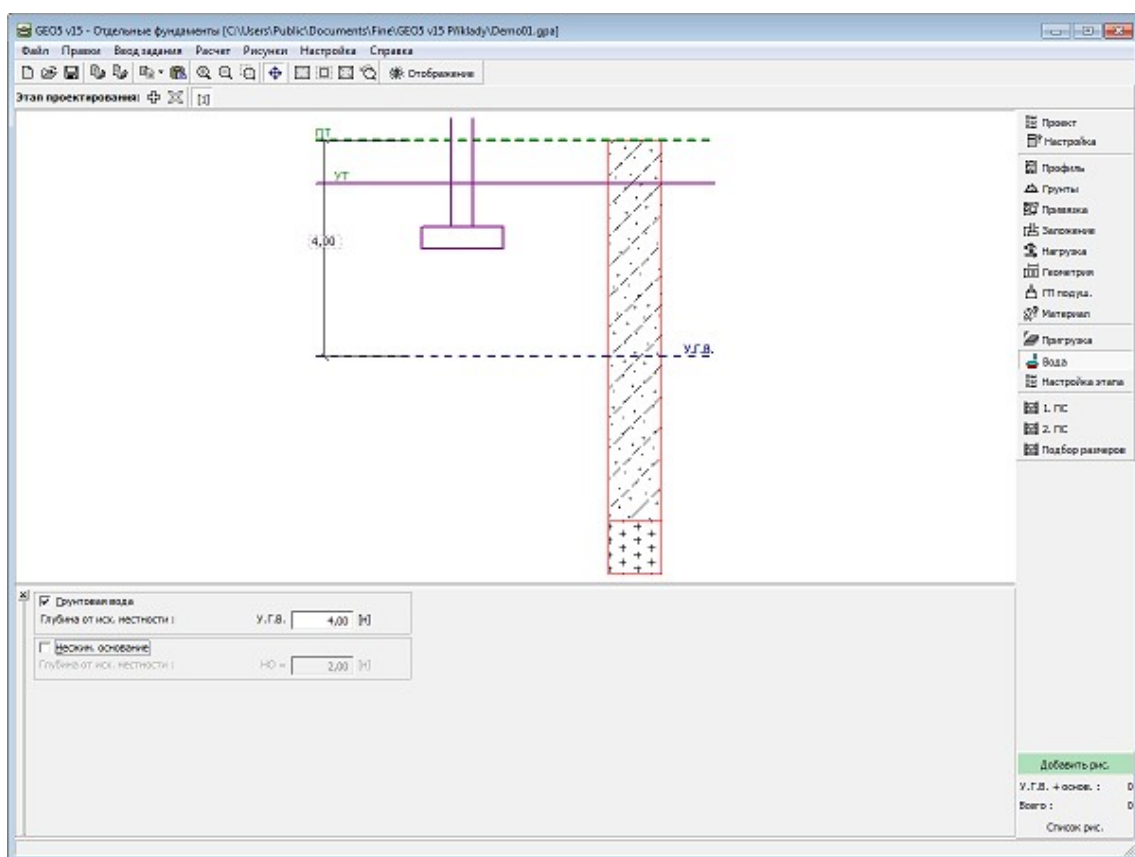
## Вода, несжимаемое основание

В **рамке «Вода + НО»** задают **глубину уровня грунтовой воды** и **глубину уровня несжимаемого основания**.

Значения можно редактировать или в рамке в поле ввода данных, или на рабочем столе с помощью **активных отметок**.

**Влияние воды** сказывается в изменении **геостатического напряжения**.

**Несжимаемое основание** урезает **зону деформации** под фундаментом и влияет на уменьшение величины осадки.



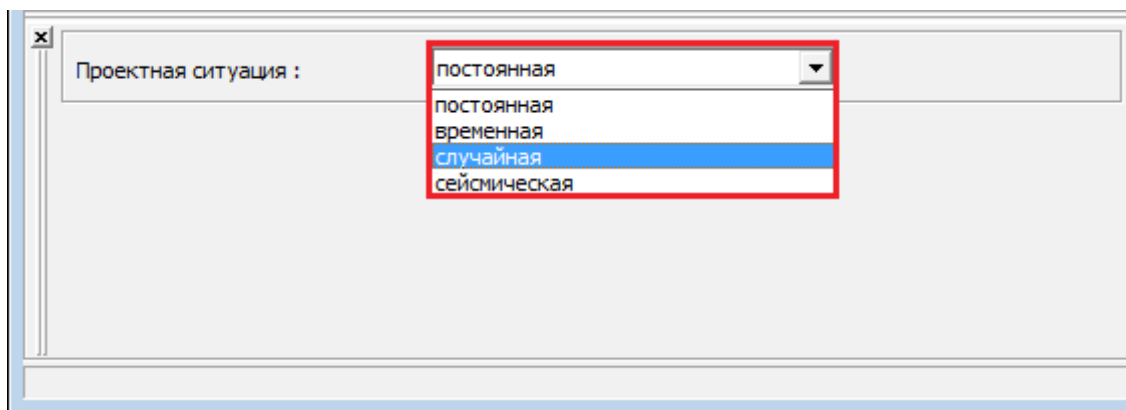
Рамка «Вода, несжимаемое основание»

## Настройка этапа

В рамку «**Настройка этапа**» задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования.

Внешний вид рамки зависит от выбора **методики проверки**.



Рамка «Настройка этапа»

## 1.ПС - несущая способность фундамента

В рамке «1. ПС» проверяется **вертикальная и горизонтальная несущие способности фундамента**. В рамке можно выполнять **несколько расчётов**. Проверку можно выполнить по отдельным нагрузкам, или же программа находит **нагрузку с максимальным воздействием** (по выбору в выпадающем списке).

Расчёт выполняется по теории заданной в закладке «Отдельные фундаменты». В закладке выбирают тоже **методику проверки** (по EN 1997, по LRFD, коэффициент запаса, предельные состояния).

Среди параметров **вертикальной несущей способности** выбирают **форму контактного напряжения** (общий вид формы, прямоугольник). Форма контактного напряжения с проставленными размерами отрисована в левой части рабочего стола.

У обоих предельных состояний (несущая способность, пригодность к нормальной эксплуатации) программа проверяет **эксцентриситет фундамента**. Значение максимального допустимого эксцентриситета фундамента  $e_{alw}$  задают в рамке «Настройка» в закладку «Отдельные фундаменты».

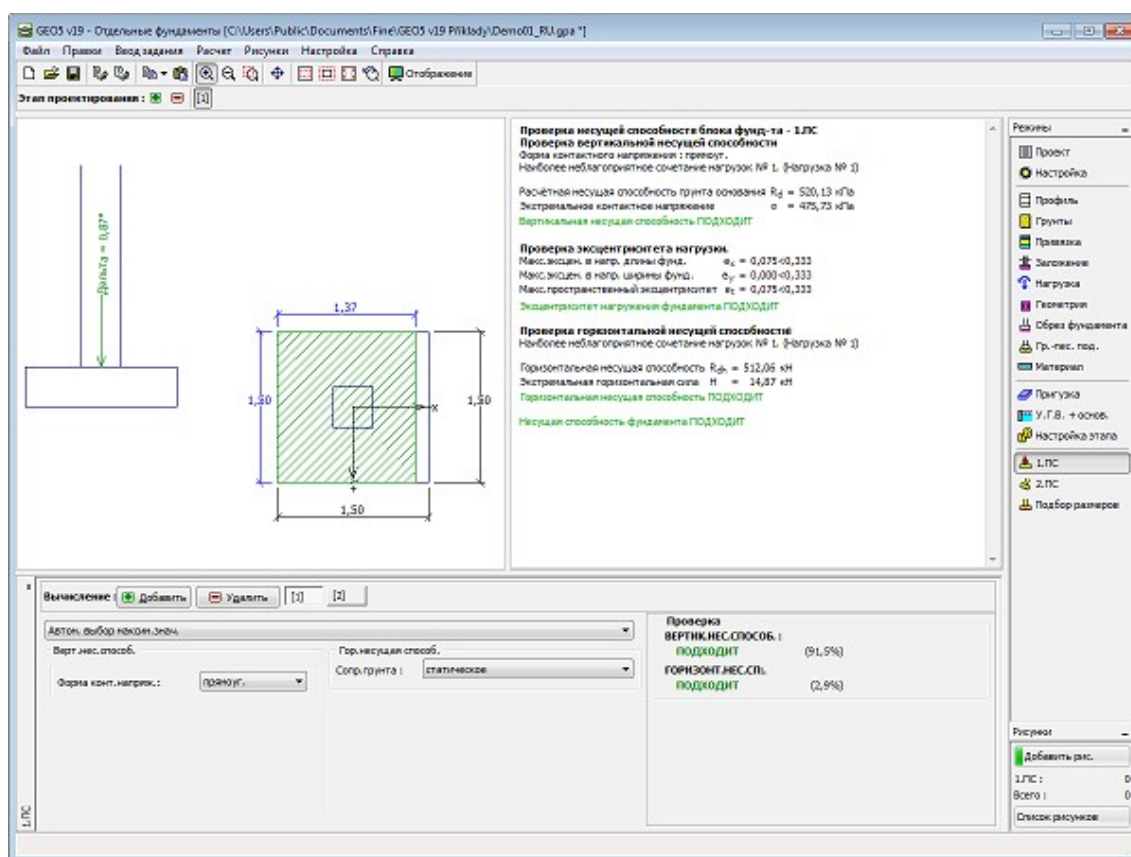
Среди параметров **горизонтальной несущей способности** выбирают тип сопротивления грунта, который можно задавать в виде **статического давления, пассивного давления** или **пониженного пассивного давления**.

Для расчёта горизонтальной несущей способности тоже можно изменить, т.е. **уменьшить параметры грунта** (угол трения конструкция-грунт, сцепление конструкция-грунт).

При **проверке сопротивления взвешивающему усилию** меняется вид диалогового окна «Проверка растягиваемого отд. фонд-та» в соответствии с заданным методом расчёта в рамке «Настройка».

Подробная выписка результатов проверки изображается в правой части рабочего стола. Стилль рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».





Рамка «1. Предельное состояние - несущая способность фундамента»

## 2.ПС - осадка и крен фундамента

В **рамке «2. ПС»** выполняется расчёт осадки и крена фундамента. В рамке можно выполнять **несколько расчётов**. Проверку можно выполнять или по отдельным нагрузкам, или же программа находит нагрузку с максимальным эффектом (выбирают в выпадающем списке).

**Расчёт осадки и крена фундамента** выполнен в соответствии с теорией заданной в закладке «Отдельные фундаменты».

У обоих предельных состояний (несущая способность, пригодность к нормальной эксплуатации) программа проверяет **эксцентриситет фундамента**. Значение максимального допустимого эксцентриситета фундамента  $e_{alw}$  задают в рамке «**Настройка**» в закладку «Отдельные фундаменты».

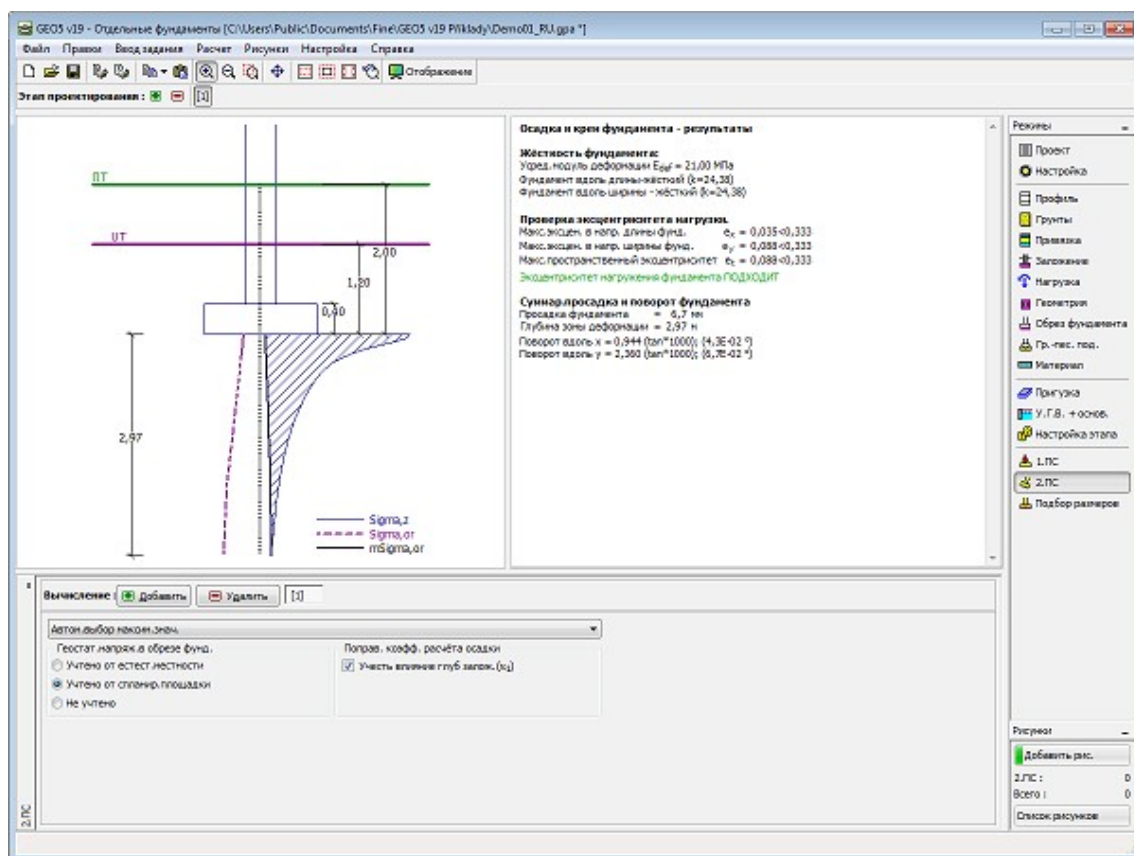
От **напряжения в обресе фундамента** можно вычесть геостатическое напряжение, учитываемое:

- от исходной земли
- от спланированной территории
- не учитывается

Кривая **геостатического напряжения и прироста напряжения** под фундаментом отрисована в левой части рабочего стола. Отметка под фундаментом представляет **глубину зоны деформации**. Напряжение отрисовано под точкой фундамента с **характерной деформацией**.

В рамку можно задавать тоже **коэффициенты редукции расчёта осадки**.

Подробная выписка результатов проверки изображается в правой части рабочего стола. Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».



Рамка «2. Предельное состояние - осадка и крен фундамента»

## Подбор размеров

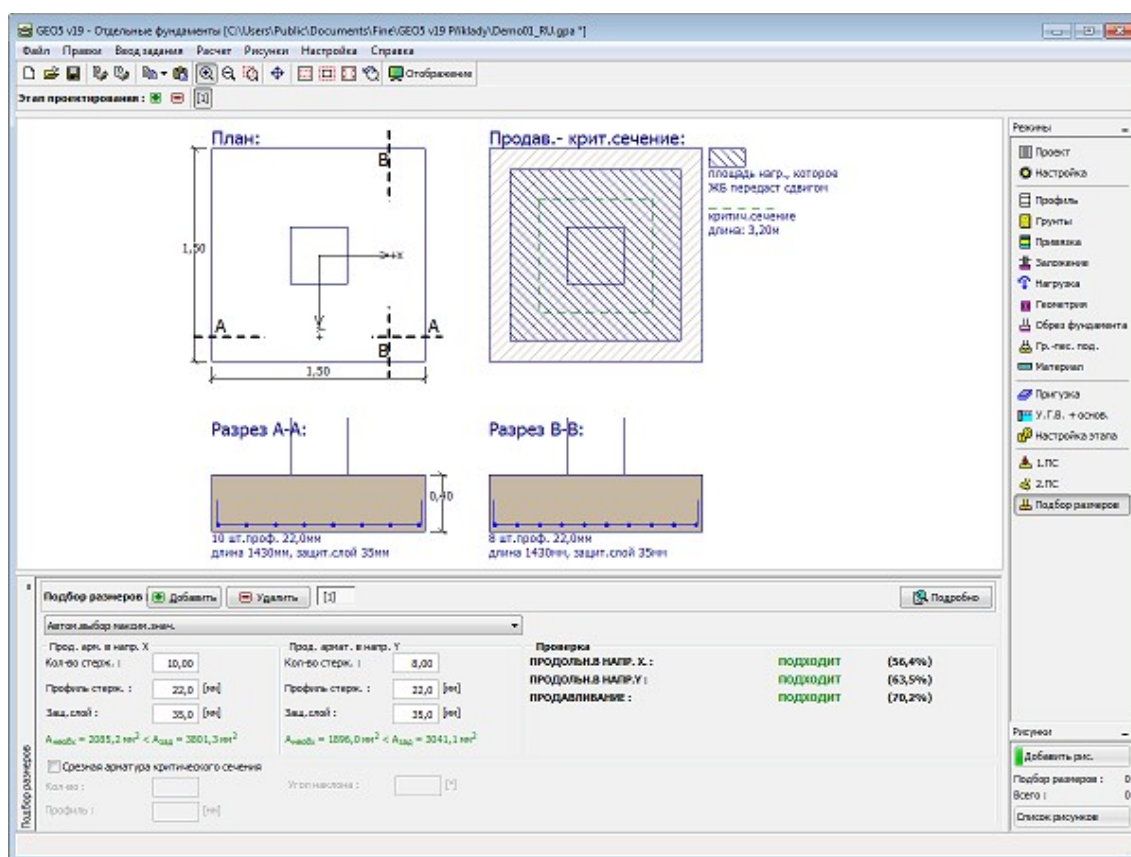
В **рамке «Подбор размеров»** предлагают и проверяют продольную арматуру фундамента и проверяют фундамент на продавливание. Проверку можно выполнять по отдельным нагрузкам, или же программа автоматически находит **нагрузку с максимальным эффектом** ( по выбору в выпадающем списке).

Программа рассчитывает напряжение в обресе фундамента и **определяет внутренние силы** в отдельных сечениях..

**Подбор размеров железобетонной конструкции** производится по стандарту, заданному в закладке «**Материалы и стандарты**».

Вычисленные данные отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются после любого изменения данных и настройки в рамке. Кнопка «**Подробно**» вызывает диалоговое окно, в котором находится подробная выписка результатов подбора размеров.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка стиля изображения**».



Рамка «Подбор размеров»

## Программа Отдельные фундаменты СРТ

Программа предназначена для проектирования и анализа фундаментов мелкого заложения на основании результатов **статических пенетрационных испытаний (CPT)** и **стандартных пенетрационных испытаний (SPT)**. Программа рассчитывает **вертикальную несущую способность**, **осадку** а также **подбирает размеры несущей арматуры**.

**Справка для программы «Отдельные фундаменты СРТ» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Испытания CPT	Испытания SPT	Классификация грунтов	Профиль	Грунты
Привязка	Вода	Заложение	Нагрузка	Геометрия	Материал	Несущая способность
Подбор размеров						

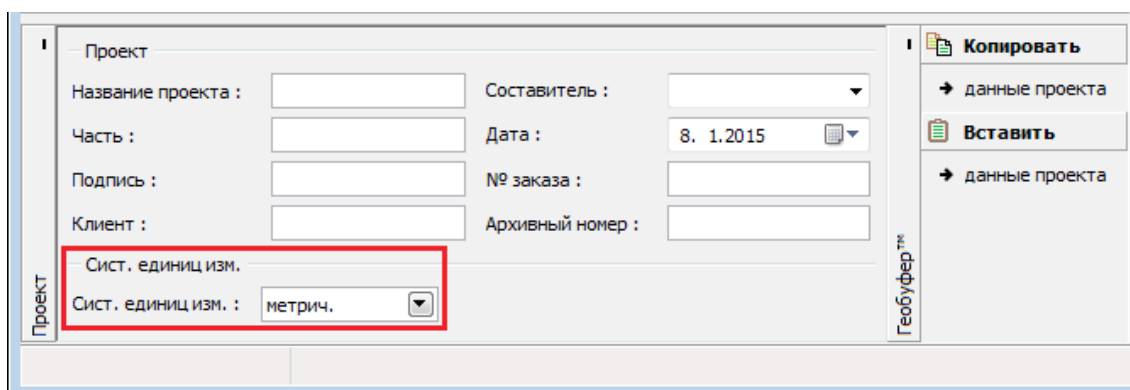
- Стандарты и методы расчёта

- Теория к расчётам в программе «**Отдельные фундаменты СРТ**»:
  - Напряжение в грунте
  - Отдельные фундаменты СРТ
  - Полевые испытания
- Информация по **выходам**
- Общая информация по работе в **пользовательской среде** программ GEO5
- **Общие операции** для всех программ

## Проект

В **рамку «Проект»** задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации о проекте, описания проекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в **выдаваемой текстовой и графической информации**.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (**метрическую / дюймовую**). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «**Геобуфера**».



Рамка «Проект»

## Настройка

**Рамка «Настройка»** предназначена для ввода основных «**Настроек**» программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** для отдельных стран. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой «**Выбрать настройки**» выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из «**Перечня настроек**».

Кнопка «**Администратор настроек**» открывает диалоговое окно «**Администратор настроек**», в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

Кнопка «**Добавить в администратор**» позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка «**Править**» позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в «**Задано для текущей задачи**». После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку «**Добавить в администратор**» и добавляем настройку в «**Администратор настройки**».

Настройка «**Задано для текущей задачи**» обычно формируется при импорте предшествующих данных.

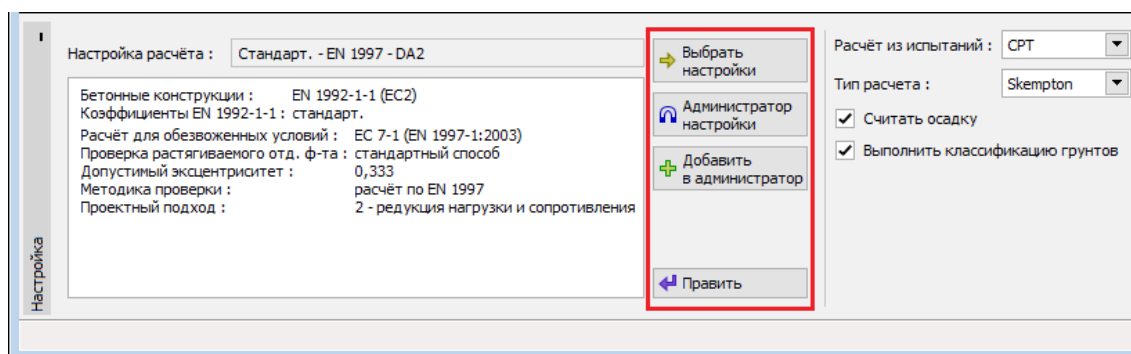
Настройка параметров расчёта производится в закладках «**Материалы и стандарты**».

В рамке выбираем тип испытания (**CPT**, **SPT**), использованный для расчёта **несущей способности** и **осадки** фундамента мелкого заложения. В зависимости от выбора типа испытаний будет изображена или рамка «**Испытания CPT**» или «**Испытания SPT**».

Для статического пенетрационного испытания (CPT) выбираем метод расчёта несущей способности (**Meyerhof**, **Schmertmann**, **Skempton**).

В случае расчёта по методу Meyerhof (**CPT** или **SPT**), не будет доступа к рамкам «**Профиль**», «**Грунты**» и «**Привязка**». Все расчёты будут выполняться только по заданным испытаниям.

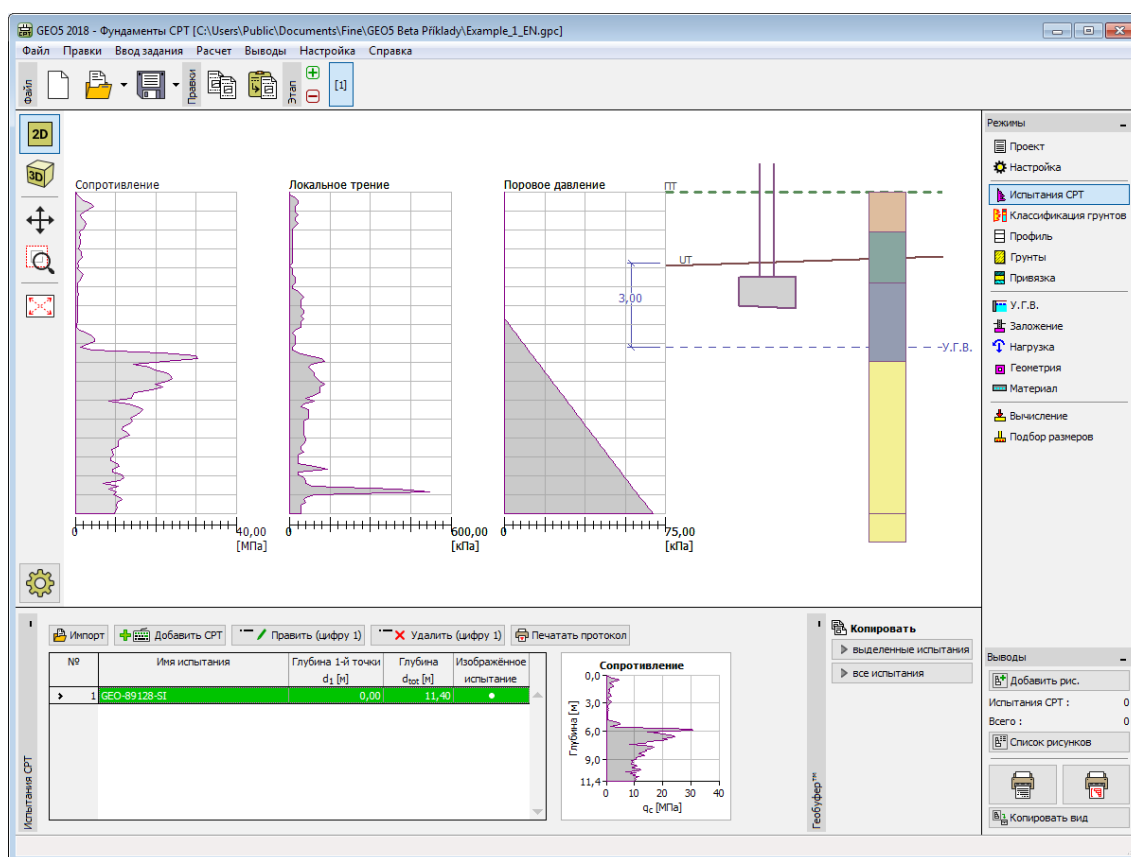
Рамка предлагает также выбор расчёта осадки или **классификацию грунтов** на основании испытаний CPT.



Рамка «Настройка»

## Испытания CPT

В рамке «**Испытания CPT**» находитесь **таблица** со списком заданных **испытаний** статической пенетрации (CPT).



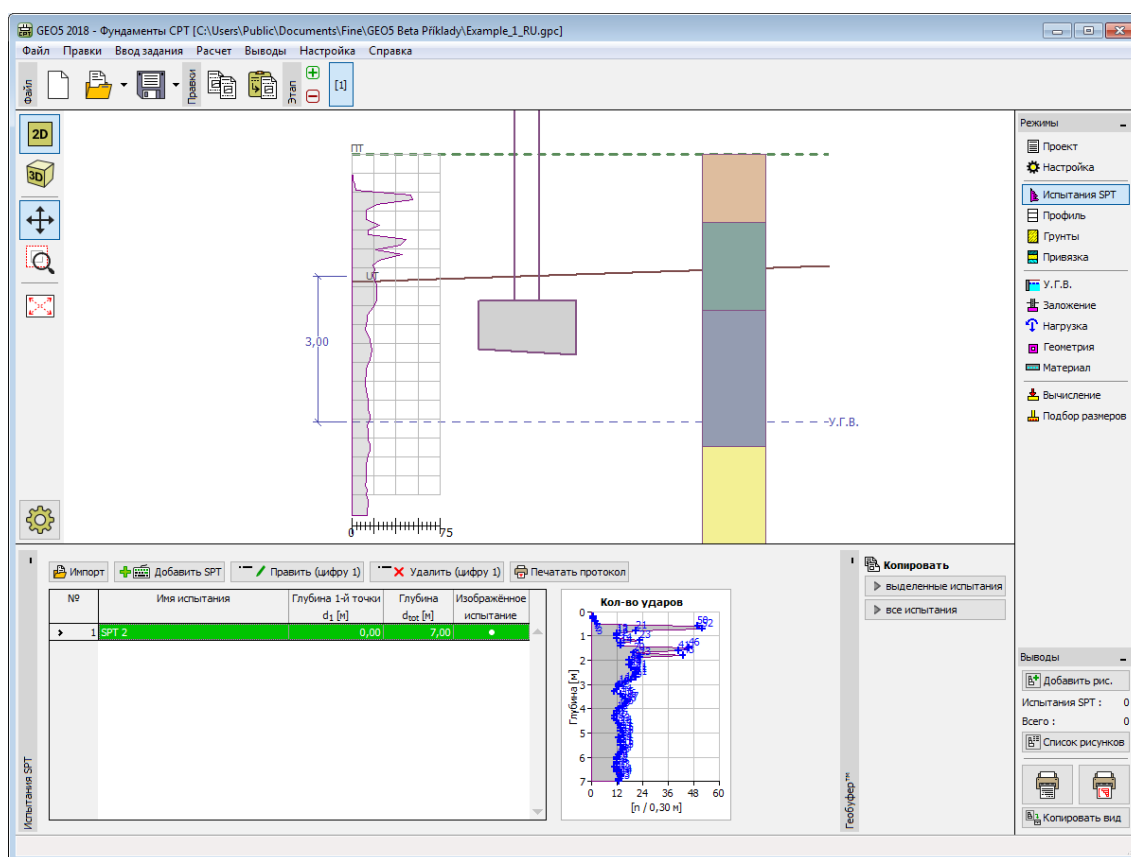
Рамка «Испытания CPT»

Результаты испытаний CPT можно **импортировать** в форматах **GEF (\*.gef)**, **CPT (\*.cpt)**, **TXT (\*.txt)** а **AGS (\*.ags)**.

Испытания CPT можно передавать в рамках программ «**Свая CPT**», «**Отдельные фундаменты CPT**» и «**Стратография**» через «**Геобуфер**».

## Испытания SPT

В **рамке «Испытания SPT»** находится **таблица** со списком заданных **стандартных пенетрационных испытаний (SPT)**.



Рамка «Испытания SPT»

Результаты стандартных пенетрационных испытаний (SPT) можно также **импортировать** в разных форматах (напр., \*.TXT, \*.CSV, \*.XLSX, \*.ODS).

Испытания SPT можно передавать в рамках программ «**Микросвая**», «**Отдельный фундамент SPT**» и «**Стратиграфия**» через «**Геобуфер**».

## Классификация грунтов

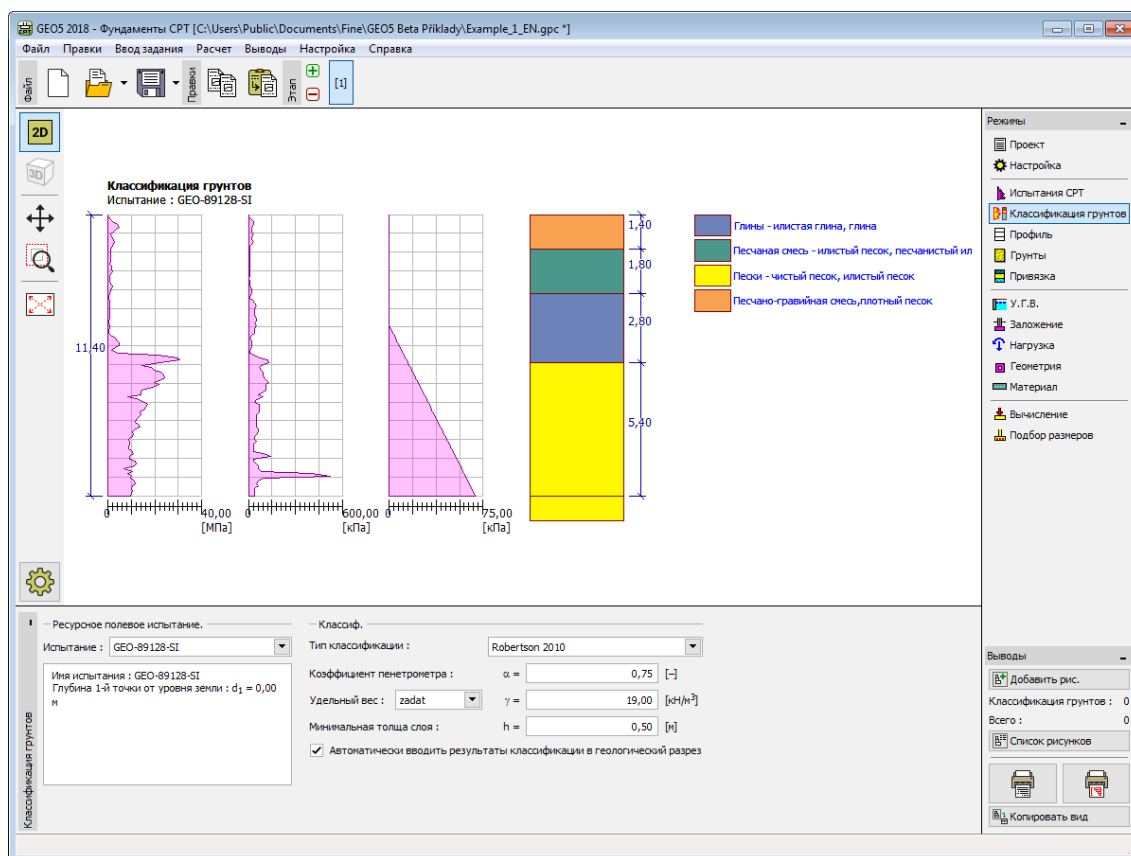
**Классификация грунтов** Robertson (1986 или 2010) позволяет определить поведение грунта и некоторые его параметры непосредственно по результатам **испытания CPT** - в таком случае отпадает необходимость задавать входные параметры **грунтов**. Сгенерированные параметры грунтов рекомендуем перед **расчётом** проверить.

В **рамке «Классификация грунтов»** выбираем **испытание для классификации** (определено в рамке «**Испытания CPT**»). Классификация (сортировка) грунта выполняется по **Robertson** (1986 или 2010).

Далее в рамку задаём **коэффициент пенетрометра**  $\alpha$  [-]. Значение удельного веса грунта  $\gamma$  можно задавать или одинаковым для всех слоёв грунта, или программа автоматически **вычисляет** значение для каждого слоя в отдельности из значений **испытаний CPT**. В рамку можно задать минимальную толщину слоя грунта  $h$  [м]. Это влияет на расположение и количество слоёв отдельных грунтов в геологическом **профиле** решаемой задачи. Если зачеркнуть опцию «**Автоматически вводить результаты классификации в геологический профиль**», то при любом изменении данных в этой рамке автоматически присваивается сгенерированный геологический профиль во всё задачу. Ручную привязку грунта к геологическому профилю при отмене предыдущей опции выполняем с помощью



кнопки «Вставить профиль и грунты».



Рамка «Классификация грунтов»

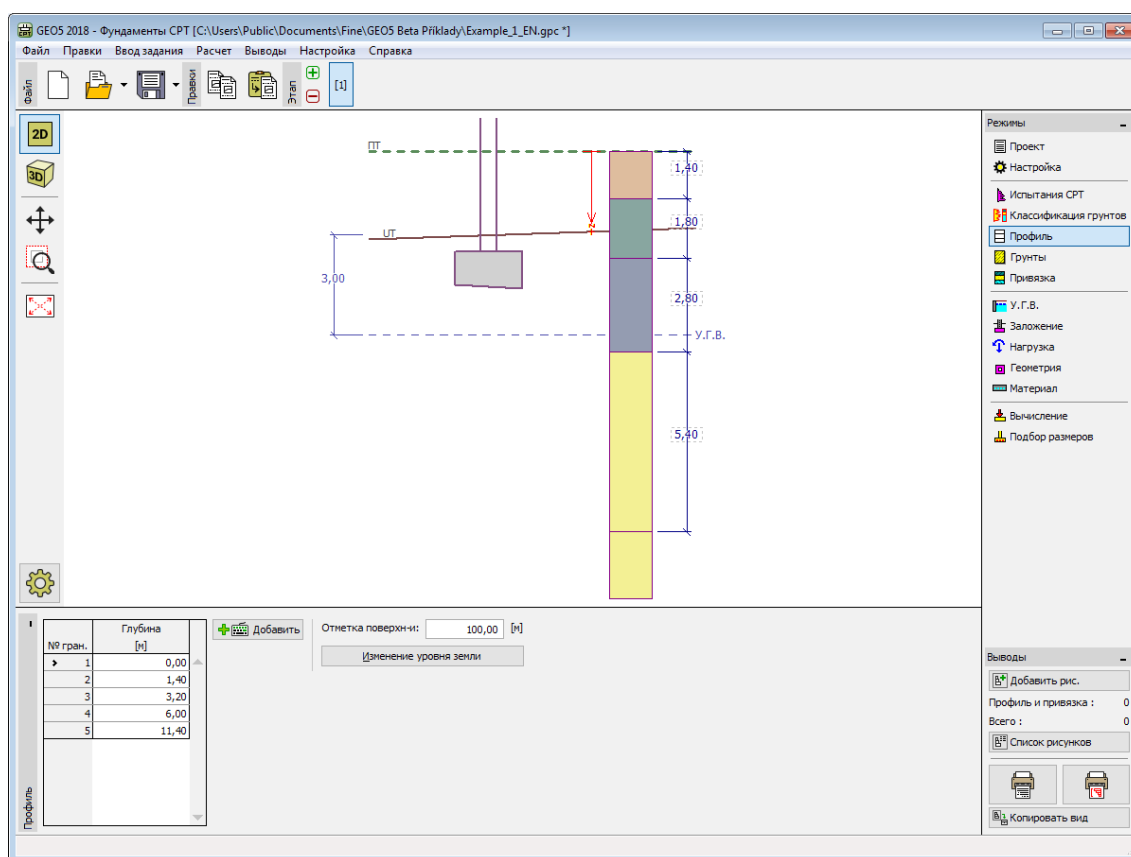
## Профиль

В рамке «Профиль» есть таблица со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи активных отметок (размерных чисел).

Добавление границы выполняется в диалоговом окне «Создать границу контура». Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне «Изменение уровня земли» и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы «Рельеф».

К рамке «Профиль» нет доступа при расчёте несущей способности по методу Meyerhof (CPT или SPT).



Рамка «Профиль»

## Грунты

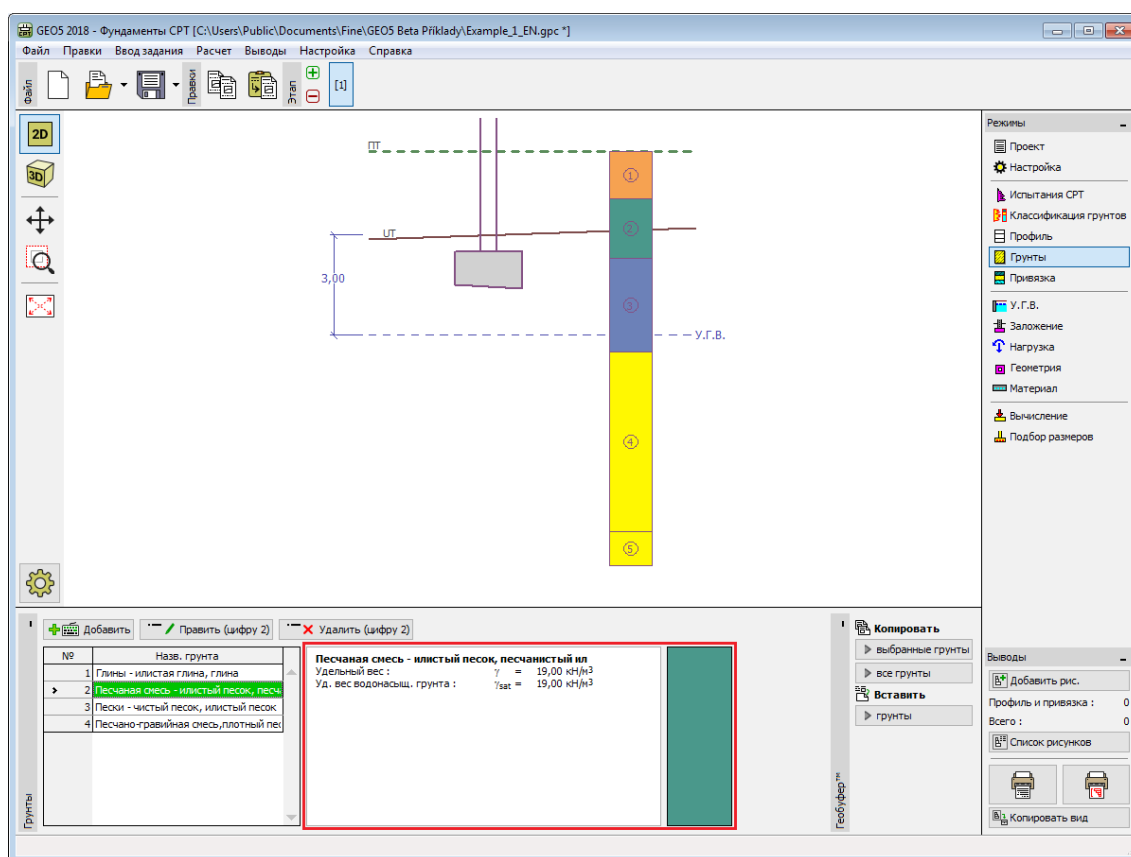
В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. Если в таблице выбрано несколько грунтов, то информация по отдельным грунтам упорядочена в последовательном порядке.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе «Отдельные фундаменты СРТ» задаём только объёмный вес грунта  $\gamma$  и объёмный вес водонасыщенного грунта  $\gamma_{sat}$ . Эти характеристики применены для расчёта геостатического напряжения, или подъёмной силы.

К рамке «Грунты» нет доступа при расчёте несущей способности по методу Meyerhof (СРТ или SPT).

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта**.

The screenshot shows a software dialog box titled "Добавление новых грунтов" (Add new soils). It has a tabbed interface with the "Базовые данные" (Basic data) tab selected and highlighted with a red rectangle. The "Идентификация" (Identification) tab shows the name "Песчаная смесь - илистый песок, песчаный ил". The "Базовые данные" tab contains fields for "Удельный вес" (Unit weight)  $\gamma = 19,00$  [кН/м³] and "Уд. вес водонасыщ. грунта" (Unit weight of saturated soil)  $\gamma_{sat} = 19,00$  [кН/м³]. There is also a "Подъёмная сила" (Buoyancy) section with a dropdown set to "стандартный" (standard). To the right, the "Отображение" (Display) section shows color and pattern settings, and the "Классификация" (Classification) section has buttons for "Определи" (Determine), "Стереть" (Erase), "+ Добавить" (Add), and "X Отмена" (Cancel).

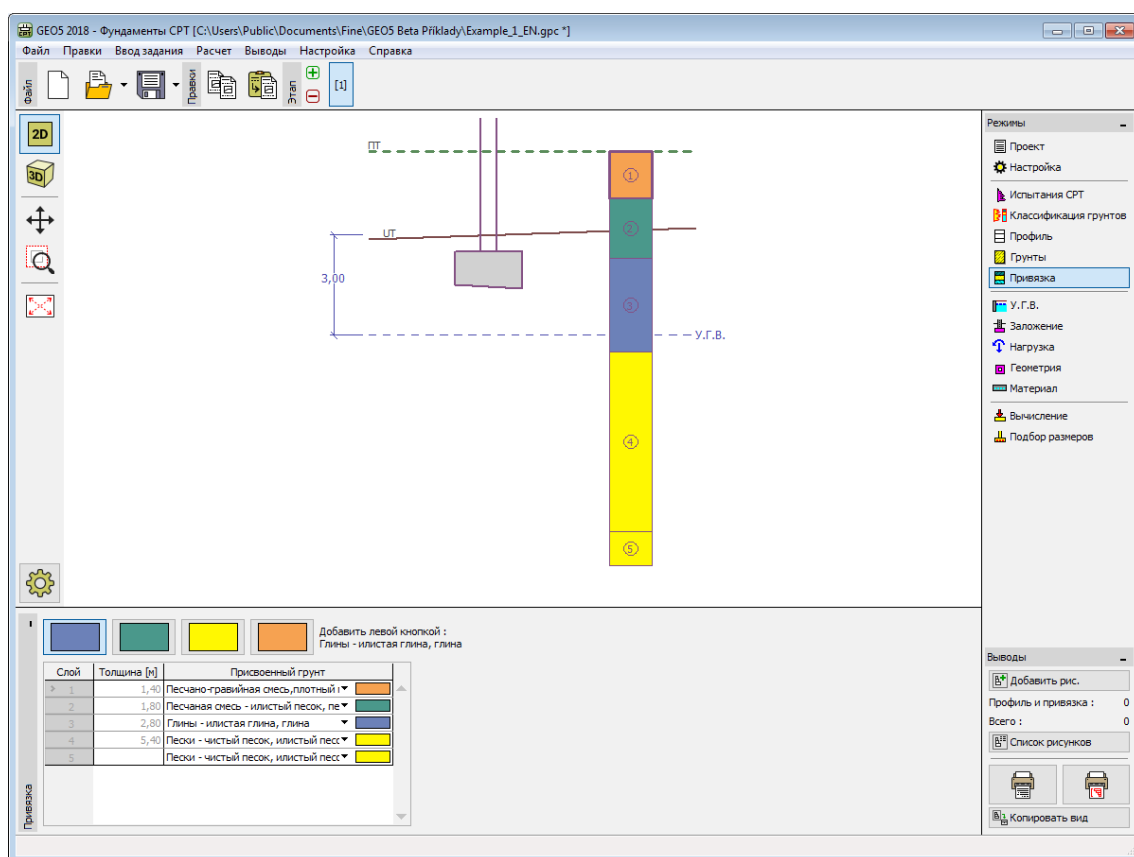
Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В рамке «Привязка» есть список слоёв профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).

Рамка «Привязка» не доступна при расчёте несущей способности по методу Meyerhof (CPT или SPT).

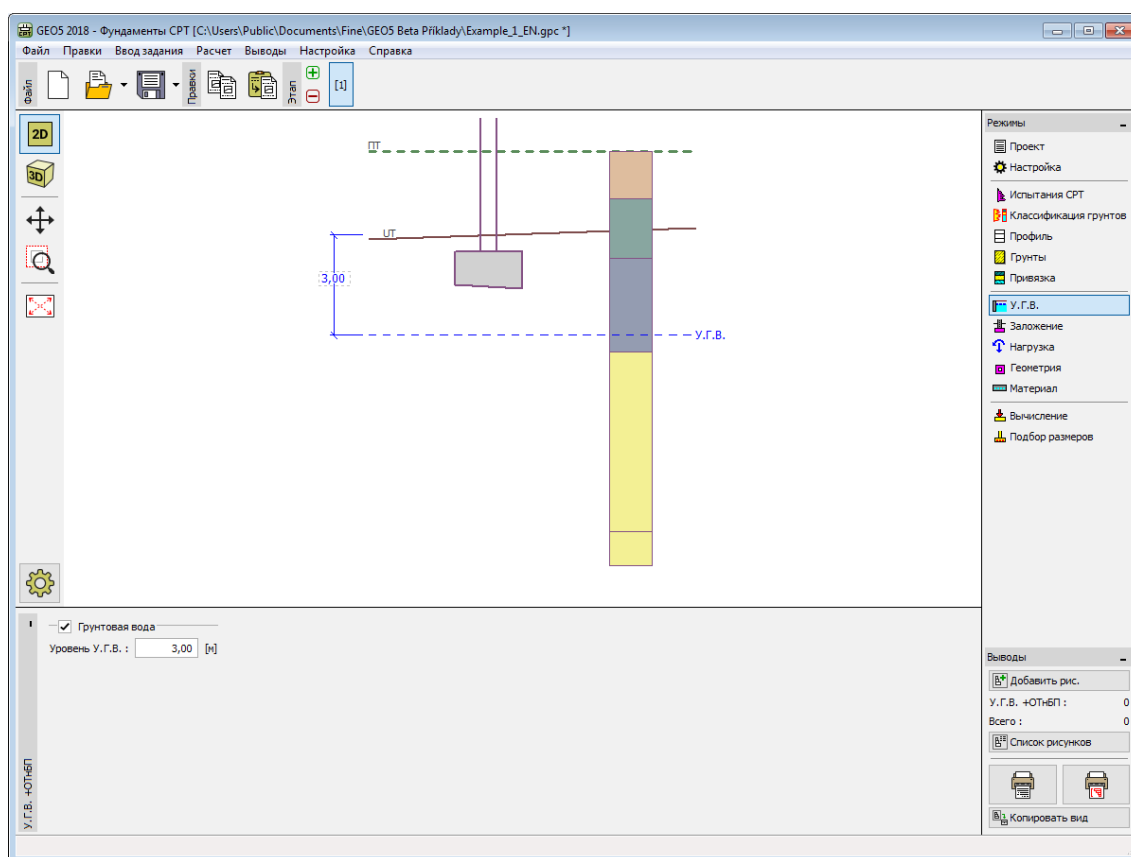


Рамка «Привязка»

## Вода

В **рамке «Вода»** задают **глубину уровня грунтовой воды**. Значения можно редактировать или в рамке в поле ввода данных, или на рабочем столе с помощью **активных отметок**.

**Влияние воды** сказывается в изменении **геостатического напряжения** под фундаментом.



Рамка «Вода»

## Заложение

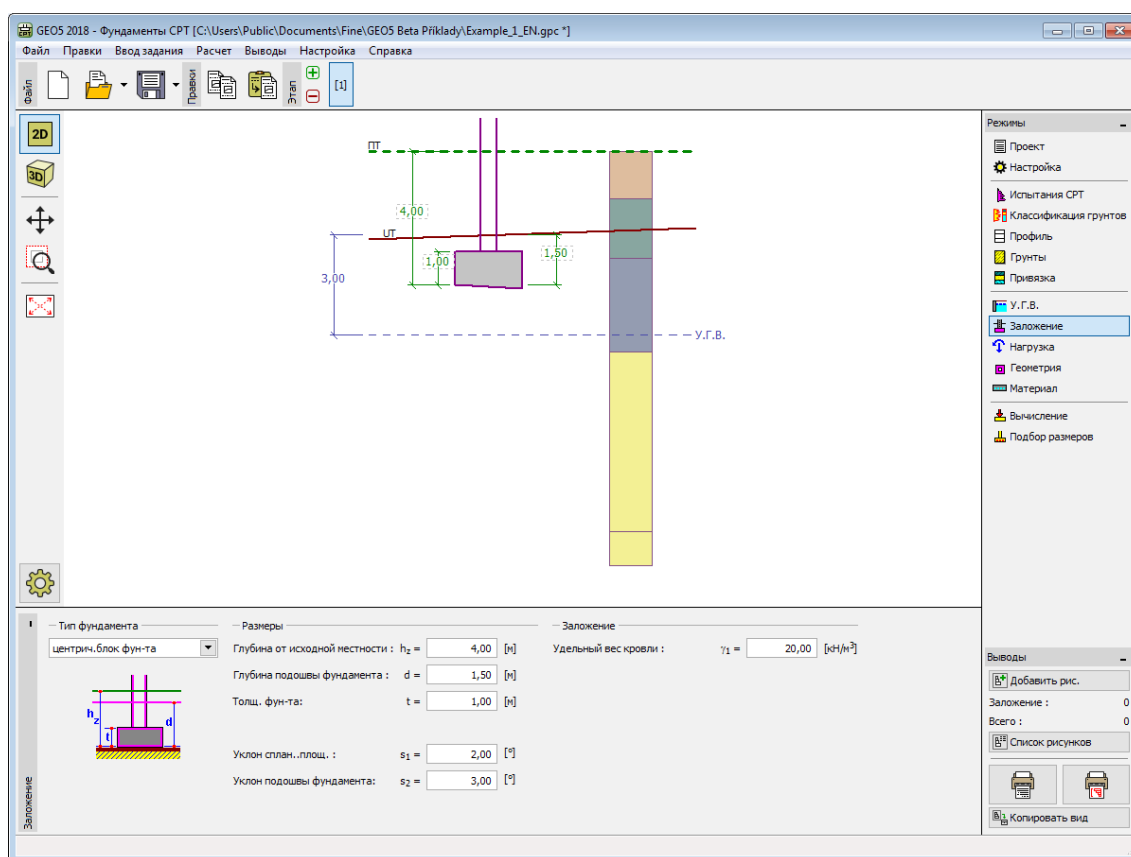
В **рамке «Заложение»** в выпадающем списке выбираем тип фундамента. Выбранный тип вместе с графической подсказкой («**Схема геометрии**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Значения можно редактировать или в рамке, введя их в вводные поля, или на рабочем столе с помощью **активных отметок**. В рамке выбирают удельный вес кровли (слоя грунта над фундаментом).

Программа предлагает следующие типы фундаментов:

- **Центрический**
- **Внецентрический**
- **Ленточный**
- **Ступенчатый центрический**
- **Ступенчатый внецентрический**
- **Центрический с вутом**
- **Внецентрический с вутом**
- 

Профиль грунта задают от отметки **исходной земли**. Решающий критерий несущей способности фундамента - это глубина спланированной местности. В случае, что спланированная площадка лежит выше отметки исходной земли, необходимо задать одинаковую глубину у спланированной и у исходной земли, а в основание задать слой насыпки нового грунта. В этой рамке задают тоже **толщину фундамента**.

Фундамент после изготовления обычно засыпают грунтом - задают его удельный вес (**Удельный вес кровли  $\gamma_l$** )



Рамка «Заложение»

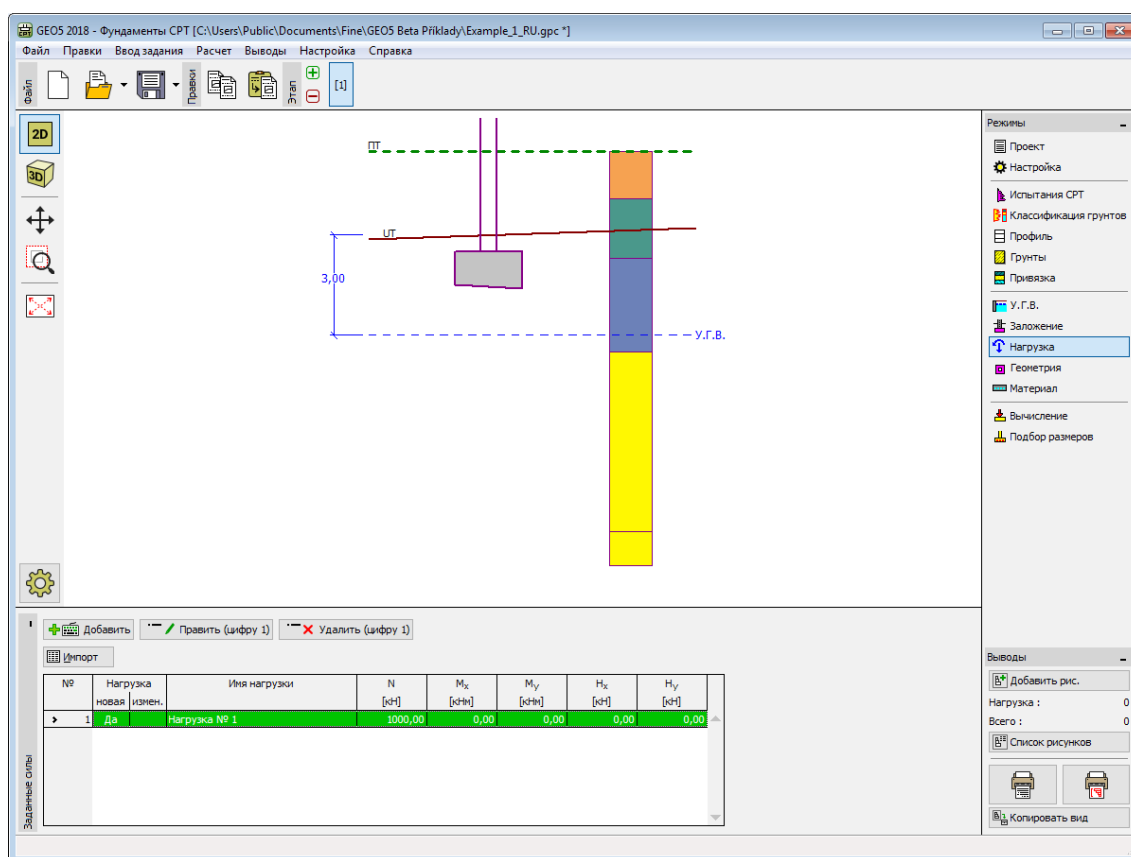
## Нагрузка

В рамке «**Нагрузка**» есть **таблица** со списком заданных нагрузок. **Добавление** нагрузки выполняется в **диалоговом окне «Создать нагрузку»**. Силы задаются согласно конвенции, отрисованной в правой части диалогового окна.

Нагружение фундамента принимается всегда в точке соединения колонны с фундаментом. Программа автоматически рассчитает **собственный вес фундамента и кровли над фундаментом**.

Программа также может выполнить **импорт нагрузки** после нажатия кнопки «**Импорт**».





Рамка «Нагрузка»

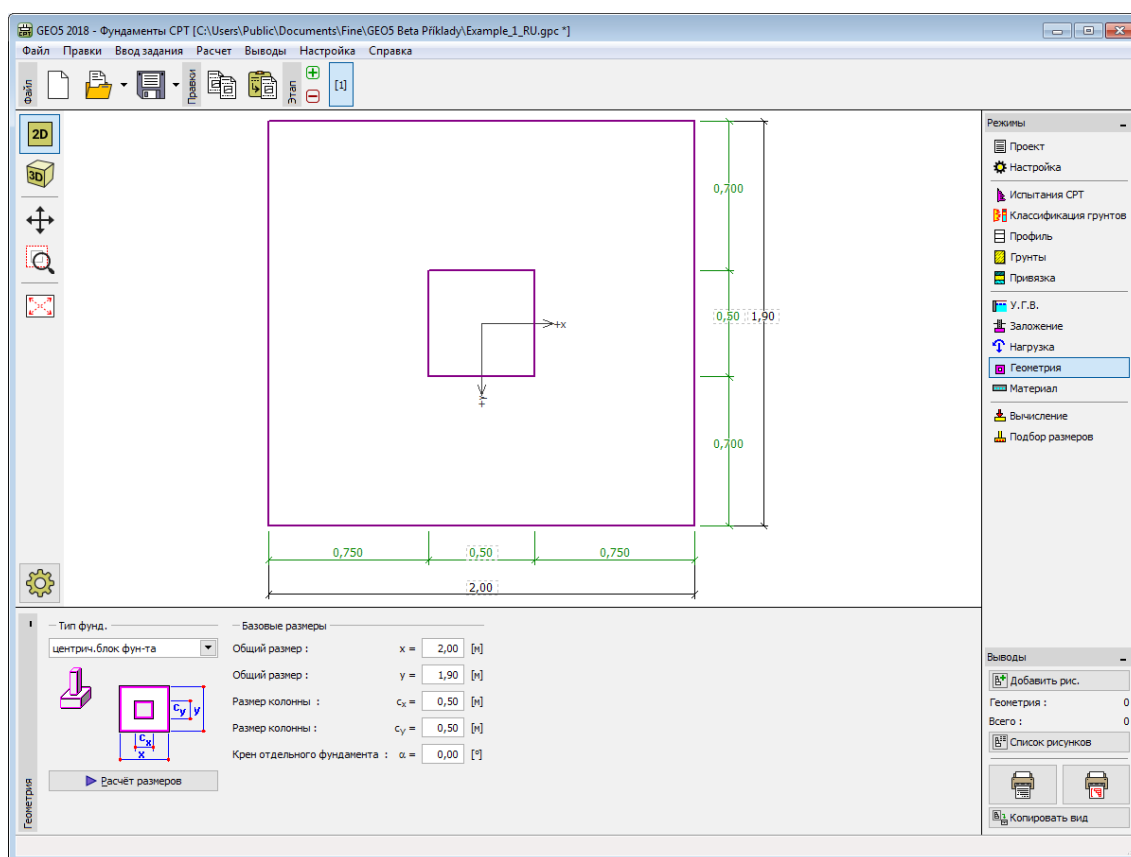
## Геометрия

В **рамке «Геометрия»** задаём форму фундамента. Форма с графической подсказкой («**Схема геометрии**») задаваемых значений отображается в левой части рамки. Значения можно редактировать или в рамке, вводя значения в поля ввода, или на рабочем столе с помощью **активных отметок**

**Тип и толщина фундамента** задаются в рамке «**Заложение**».

Программа автоматически выполняет дополнительный расчёт **собственного веса фундамента** и **кровли над фундаментом**. Удельный вес фундамента задают в рамке «**Материал**».

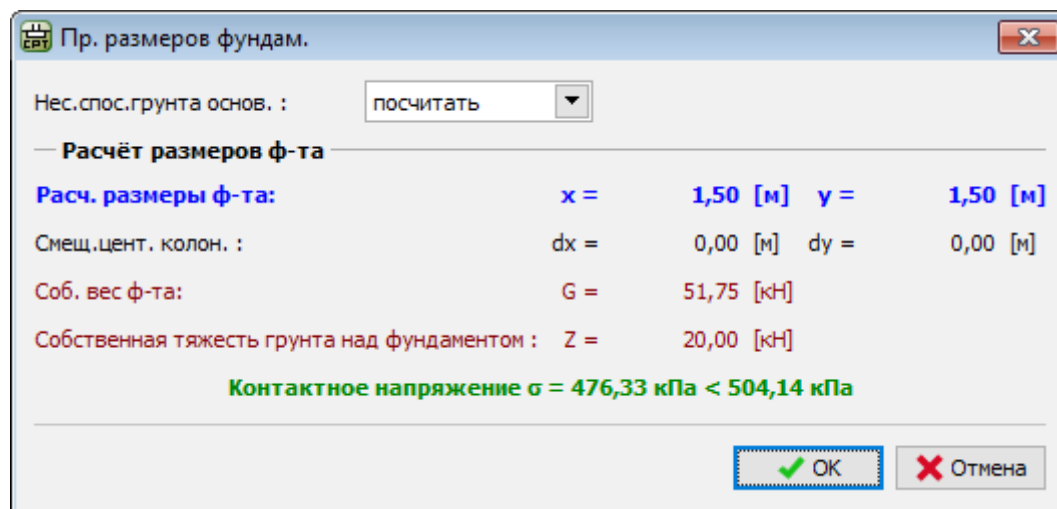
Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.



Рамка «Геометрия»

Кнопка «**Расчёт размеров**» открывает диалоговое окно «**Расчёт размеров фундамента**», в котором с помощью программы можно рассчитать размеры фундамента. В диалоговое окно можно задать несущую способность грунта основания  $R_d$ , или выбрать опцию «**Расчёт**». В таком случае программа выполняет расчёт размеров фундамента с учётом **заданных параметров** (грунта, профиля, влияния воды, гравийно-песчаной подушки, настройки и др.)

При выходе из диалогового окна кнопкой «**ОК**» вычисленные размеры переходят в рамку «**Геометрия**».



*Диалоговое окно «Расчёт размеров фундамента»*

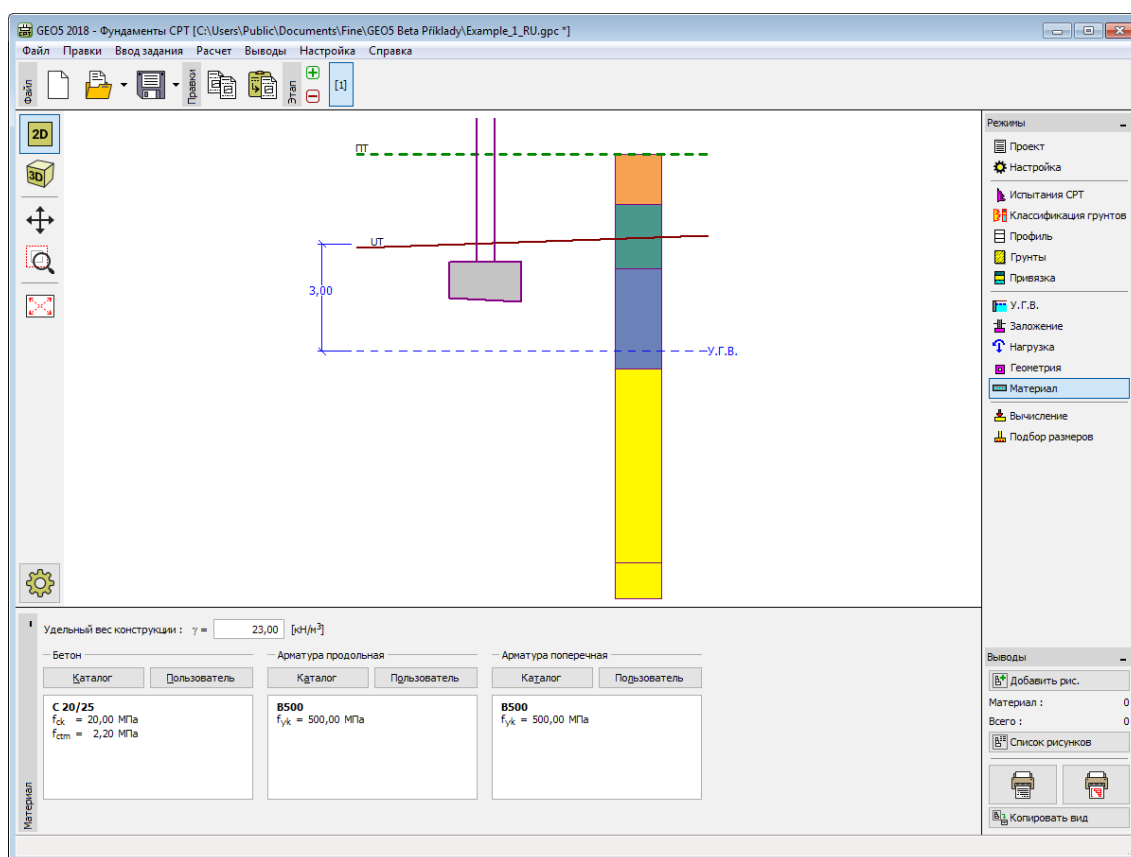
## Материал

В **рамку «Материал»** задают характеристики используемых материалов. В вводном поле в верхней части рамки задаём **удельный вес конструкции**.

Для настройки параметров материала можно использовать две опции:

- кнопкой **«Каталог»** открыть диалоговое окно **«Каталог материалов»** и в списке выбрать нужный материал
- кнопкой **«Пользователь»** открыть диалоговое окно **«Редактор материала»** и задать нужные характеристики материала вручную

Содержимое каталогов меняется в соответствии с настройкой стандарта по проектированию **бетонных** конструкций в закладке **«Материалы и стандарты»**.



*Рамка «Материал»*

## Расчёт

В **рамке «Расчёт»** проверяем **вертикальную несущую способность** и **осадку фундамента**. В рамке может быть выполнено **несколько расчётов**. Проверку можно выполнять или по отдельным нагрузкам, или программа находит **самую критическую нагрузку** (можно выбрать в выпадающем списке).

Для обоих предельных состояний (несущая способность, применимость) программа проверяет **внецентренность фундамента**. Значение максимально допустимой

внецентренности фундамента задаём в левой части рамки.

Расчёт выполняется в зависимости от **типа заданных испытаний** в рамке «**Настройка**», в которой для испытаний CPT выбираем также **метод расчёта**.

Расчёт можно выполнить для **самого неблагоприятного испытания**, для **усреднённых результатов всех заданных испытаний**, или для **конкретного испытания**, выбранного в выпадающем списке.

Далее выбираем **коэффициент запаса для расчёта несущей способности**. Для всех методов расчётов на основании испытаний CPT или SPT рекомендовано применить коэффициент запаса  $SF = 3$ .

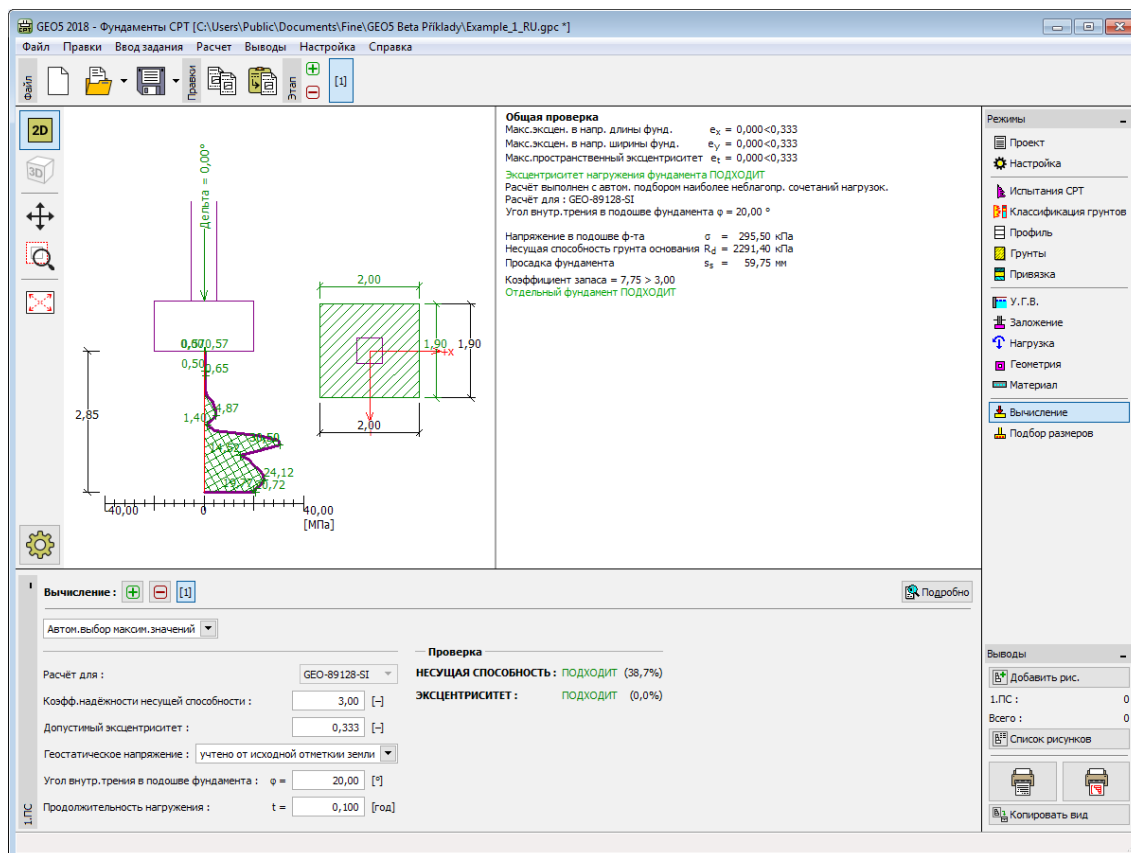
Для расчёта **осадки** можно от **напряжения в подошве фундамента** вычесть геостатическое напряжение, которое принимается:

- от исходной отметки земли
- от спланированного рельефа
- не принято во внимание

В случае наклона подошвы фундамента, или расчёта по методу **Schmertmann** необходимо задавать угол трения грунта  $\varphi$  в подошве фундамента.

При расчёте несущей способности по результатам испытаний SPT tests (**метод Meyerhof**) можно задавать корреляцию для водонасыщенных тонкозернистых песков.

Подробная выписка результатов проверки отображается в правой части рабочего стола. Способ изображения рисунка можно менять в рамке «**Настройка рисования**».



Рамка «несущая способность фундамента»

## Подбор размеров

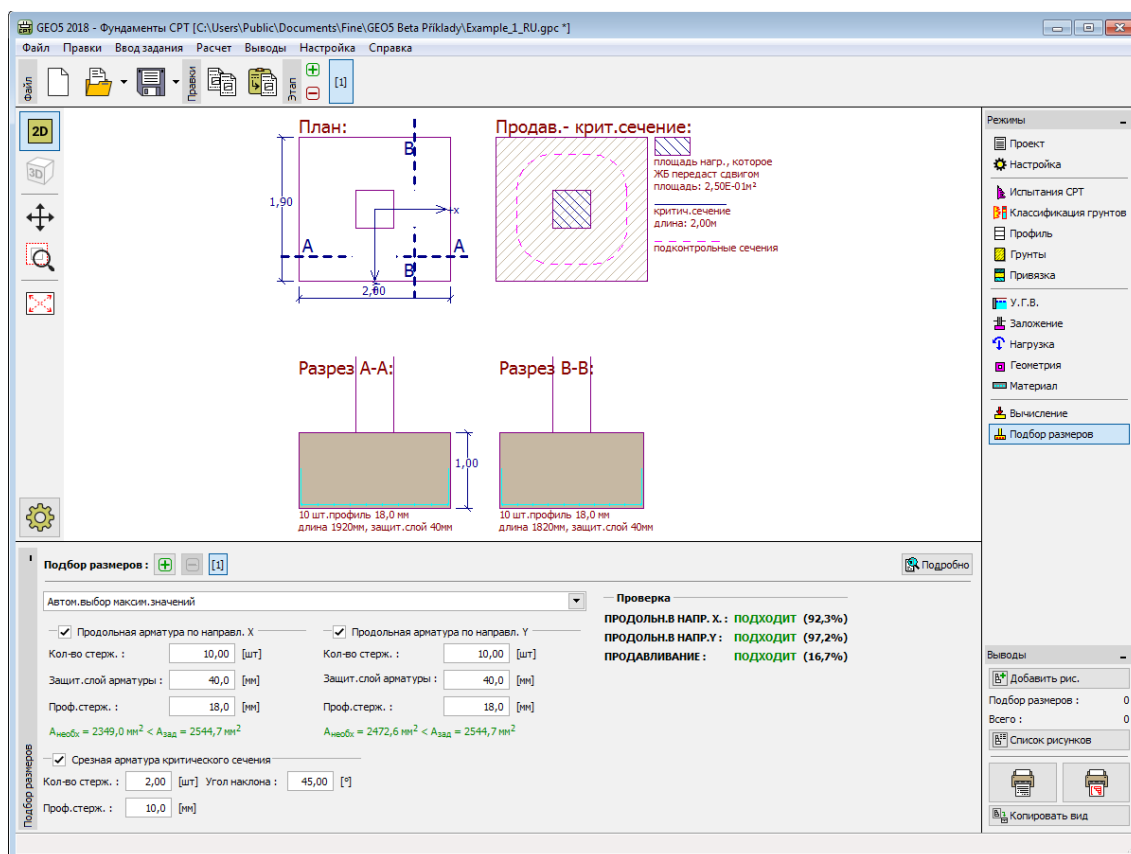
В рамке «Подбор размеров» предлагают и проверяют продольную арматуру фундамента и проверяют фундамент на продавливание. Проверку можно выполнять по отдельным нагрузкам, или же программа автоматически находит **нагрузку с максимальным эффектом** ( по выбору в выпадающем списке).

Программа рассчитает напряжение в подошве фундамента и **определил внутренние силы** в отдельных сечениях.

**Подбор размеров железобетонной конструкции** производится по стандарту, заданному в закладке «Материалы и стандарты».

Вычисленные данные отображаются на рабочем столе и немедленно обновляются после любого изменения данных и настройки в рамке. Кнопка «**Подробнее**» вызывает диалоговое окно, в котором находится подробная выписка результатов подбора размеров.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка стиля изображения**».



Рамка «Подбор размеров»

## Программа Сваи

Программа предназначена для анализа вертикальной несущей способности сжимаемой или растягиваемой сваи, осадки сваи и горизонтальной несущей способности одиночной сваи. Анализ может быть выполнен или по стандарту EN 1997-1, или классическим способом (предельные состояния, коэффициент безопасности, стандарт ČSN 73 1002).

**Справка для программы «Сваи» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Профиль	Модуль реакции основания	Грунты	Привязка	Нагрузка
Геометрия	Материал	Вода, несжимаемое основание	Отрицательное боковое сопротивление	Настройка этапа	Вертикальная несущая способность (аналитическое решение)	Вертикальная несущая способность (метод пружины)
Осадка (Poulos)	Осадка (Masopust)	Горизонтальная несущая способность	Горизонтальная несущая способность (метод Бромса)			

- Стандарты и методы расчёта
- Теория расчётов в программе «Сваи»:
 

Напряжение в массиве грунта	Анализ свай	Измерение бетонных конструкций
-----------------------------	-------------	--------------------------------
- Справка относительно результатов на выходе
- Информация общего характера о работе в пользовательской среде программ GEO5
- Общие операции для всех программ

## Проект

В рамку «Проект» задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой текстовой и графической информации.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (метрическую / дюймовую). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «Геобуфера».

Рамка «Проект»

## Настройка

В **рамку «Настройка»** предназначена для ввода основных **«Настроек»** программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой **«Выбрать настройки»** выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из **«Перечня настроек»**.

Кнопка **«Администратор настройки»** открывает диалоговое окно **«Администратор настройки»**, в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют которая из Настроек будет визуализована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

Кнопка **«Добавить в администратор»** позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка **«Править»** позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в **«Задано для текущей задачи»**. После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку **«Добавить в администратор»** и добавляем настройку в **«Администратор настройки»**.

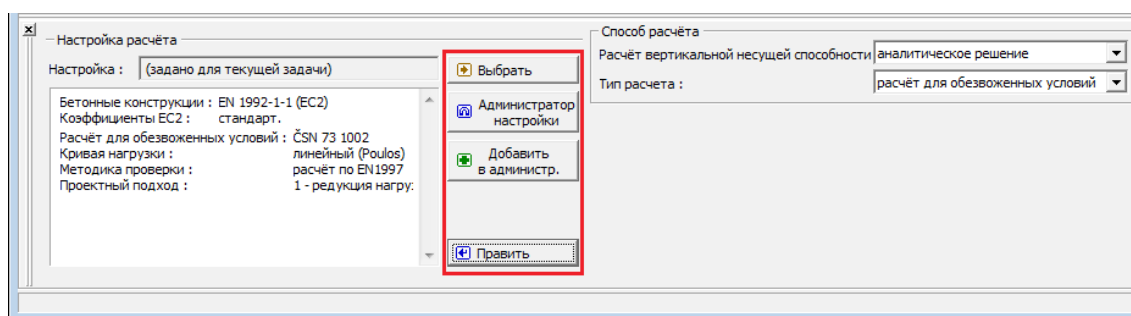
Настройка **«Задано для текущей задачи»** обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладках **«Материалы и стандарты»**, и **«Сваи»**.

Расчёт вертикальной несущей способности одиночной сваи можно выполнить по **классической теории** или при помощи **метода пружины**, причем имеются два типа расчётов:

- **расчёт для обезвоженных условий** (CSN 73 1002, Эффективное напряжение, NAVFAC DM 7.2)
- **расчёт для необезвоженных условий** (Tomlinson, NAVFAC DM 7.2)





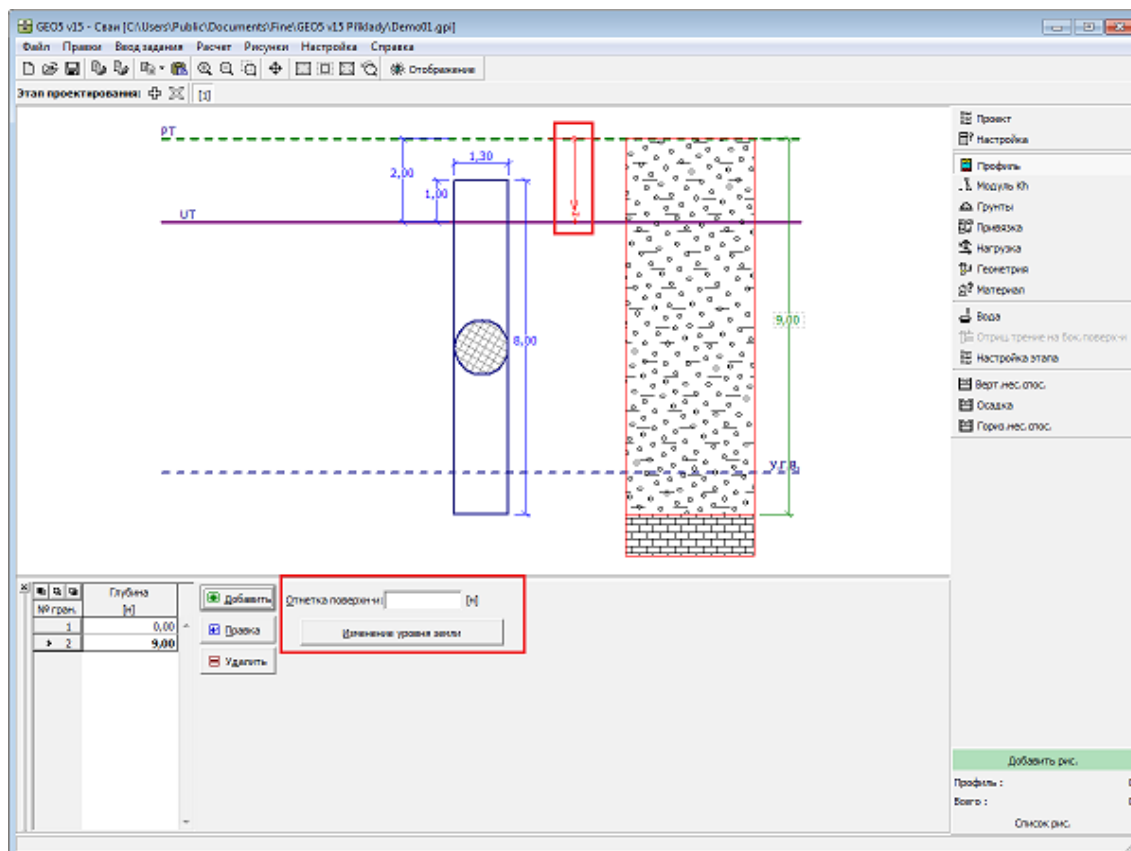
Рамка «Настройка»

## Профиль

В рамке «Профиль» есть таблица со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи активных отметок (размерных чисел).

Добавление границы выполняется в диалоговом окне «Создать границу контура». Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне «Изменение уровня земли» и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы «Рельеф».

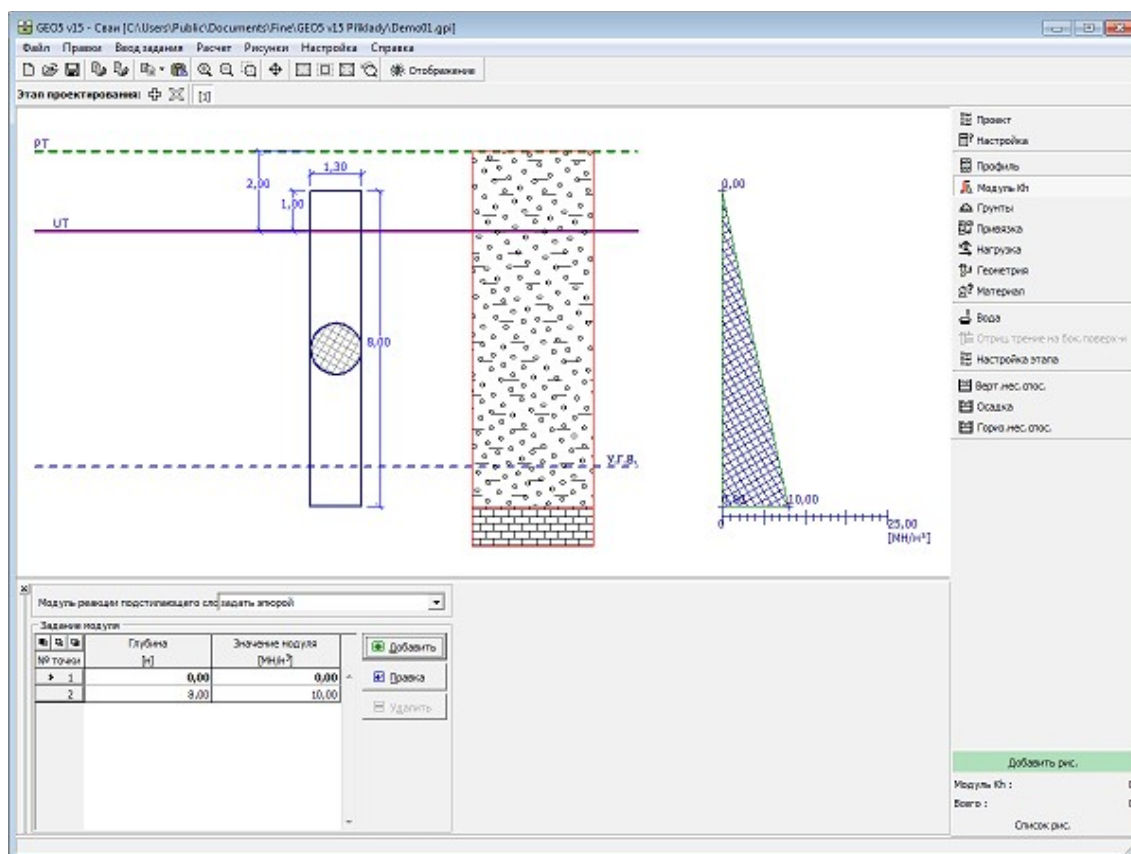


Рамка «Профиль»

## Модуль реакции основания

В выпадающем списке выбирают **способ расчёта модуля реакции основания**; в рамку «Грунты» задают характеристики грунтов соответствующие выбранному варианту и необходимые для выполнения расчёта.

При выборе «**Задать диаграммой**» в рамке изобразится **таблица**, в которую **вводят** значения модуля реакции основания вдоль сваи.



Рамка «Модуль реакции основания»

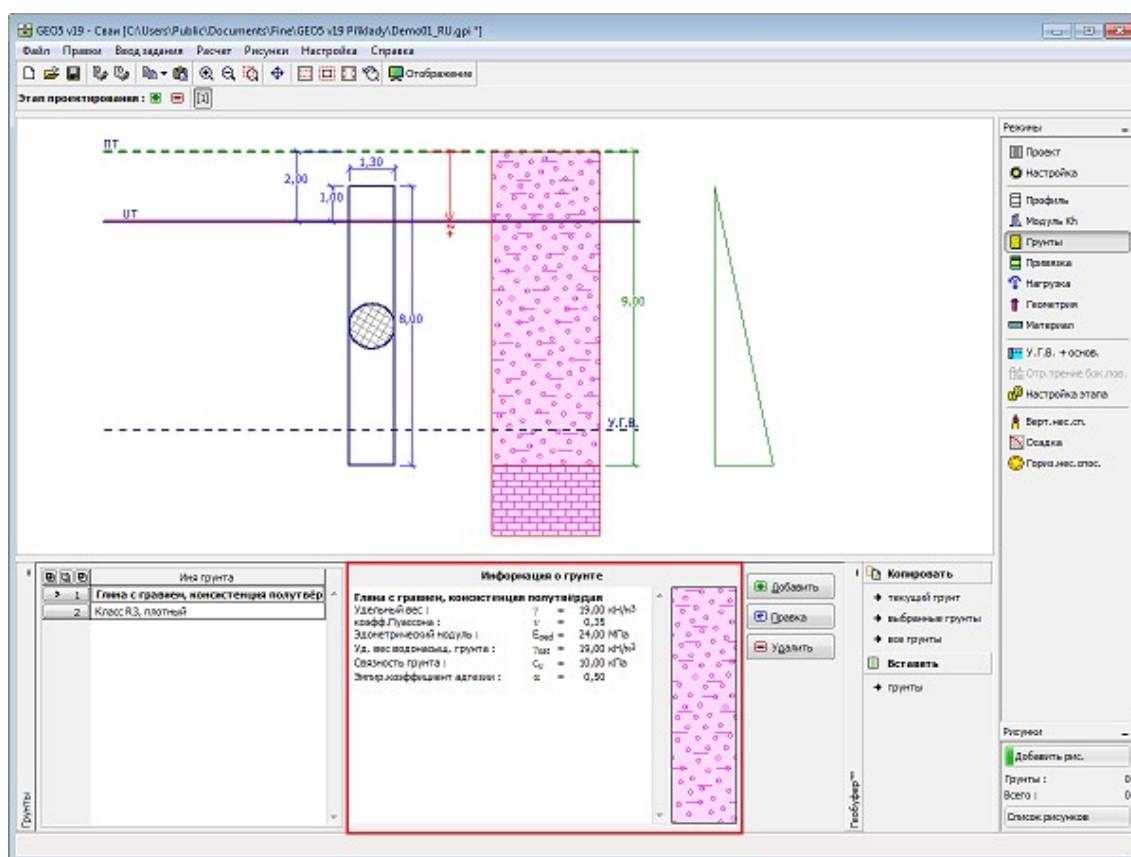
## Грунты

В рамке «Грунты» есть **таблица** со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. Если в таблице выбрано несколько грунтов, то информация по отдельным грунтам упорядочена в последовательном порядке.

**Добавление** грунта проводится в **диалоговом окне «Добавление новых грунтов»**.

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «**Базовые данные**», «**Подъёмная сила**», «**Эдометрический модуль**», «**Модуль реакции основания**», «**Эмпирический коэффициент адгезии**» и «**Коэффициент консистенности**». Задаваемые параметры грунтов зависят от настройки **модуля реакции основания** и теории расчёта, которую задают в закладке «Сваи».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «**Геобуфера**».



Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать **базу данных грунтов** по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Дальше задают параметры в зависимости от настройки в рамке «**Настройка**» и закладке «**Сваи**».

По типу расчёта различают:

- **расчёт для обезвоженных условий**: стандартно применяются эффективные параметры сопротивления сдвигу грунтов  $c_{ef}$ ,  $\varphi_{ef}$  («**ЧСН 73 1002**», «**Эффективное напряжение**»).
- **расчёт для необезвоженных условий**: задают **тотальную связность** грунта  $c_u$  («**Tomlinson**»).
- **метод NAVFAC**: сочетает оба типа расчётов. Для каждого слоя грунта можно выбирать по какому типу будет выполнен расчёт - для обезвоженного грунта (несвязный грунт) или необезвоженного (связный).

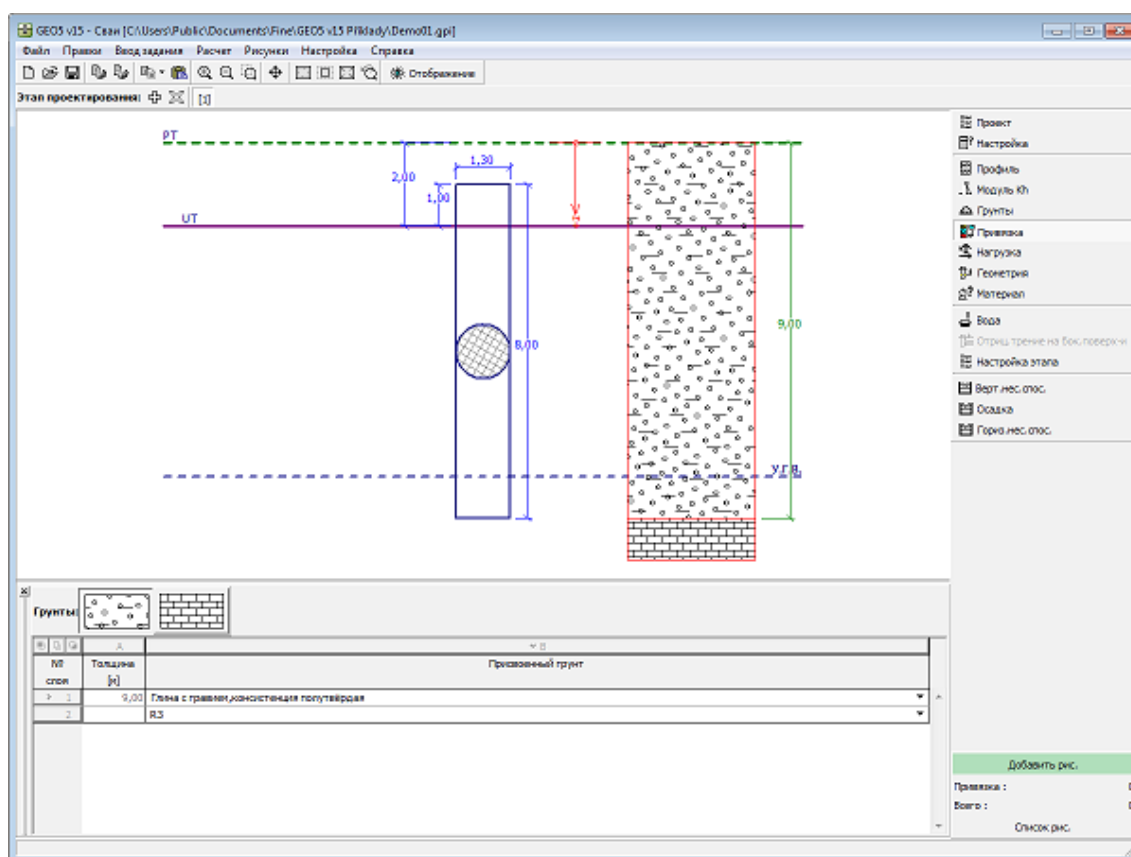
Соответствующая теория подробно описана в главе «Расчёт свай».

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В рамке «Привязка» есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).



Рамка «Привязка»

## Нагрузка

В рамке «**Нагрузка**» есть таблица со списком заданных нагрузок. Добавление нагрузки выполняется в диалоговом окне «**Создать нагрузку**». Силы задаются согласно конвенции, отрисованной в правой части диалогового окна.

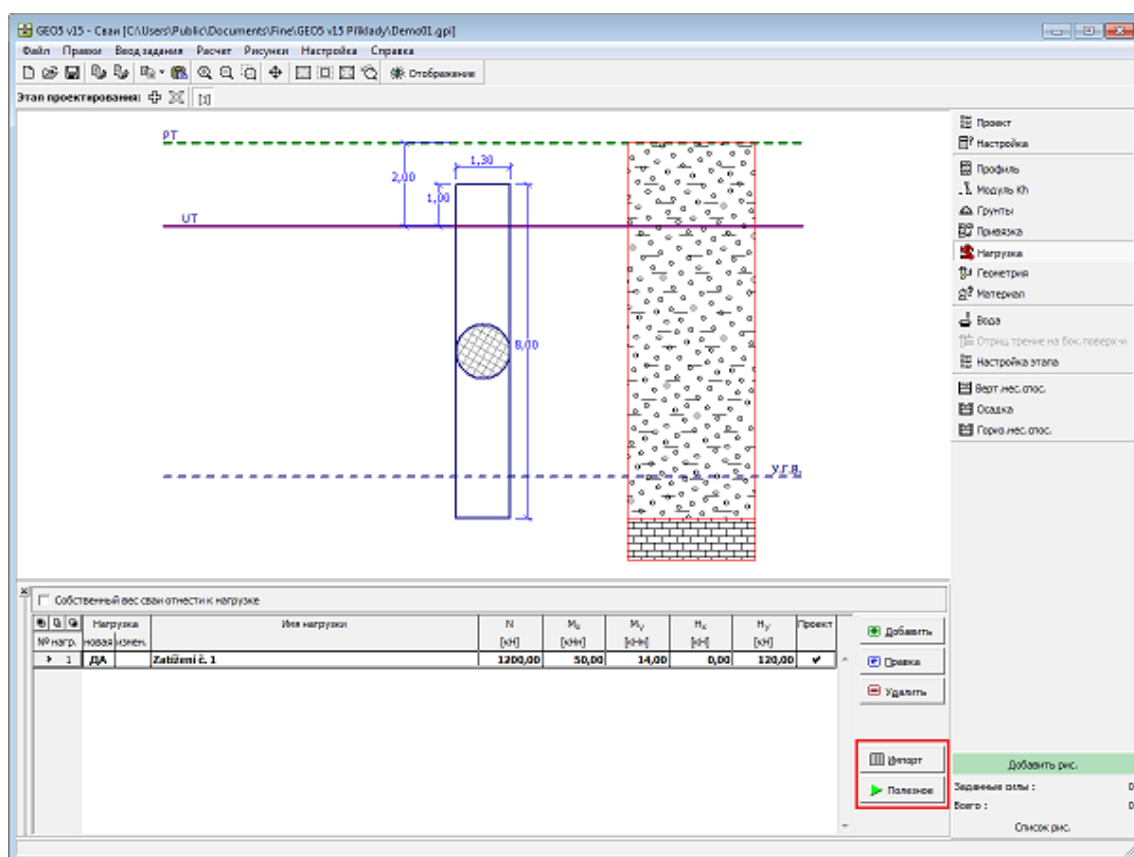
В диалоговом окне задают тип нагрузки:

- **Проектная (раньше Расчётная)** нагрузка предназначена для проверки вертикальной и горизонтальной несущей способности сваи.
- **Полезная (раньше Рабочая)** нагрузка предназначена для расчёта осадки сваи (Poulos, Masopust).

При расчёте по **EN 1997** или **LRFD** (выбирают в закладке «**Сваи**») предполагается, что проектная нагрузка определена в соответствии с соответствующими стандартами, а отдельные составляющие нагрузки **уже перемножены** на соответствующие **частные коэффициенты** - заданную нагрузку программа дальше **не меняет**.

Кнопка «**Рабочая**» позволяет создать рабочую нагрузку по заданным расчётным нагрузкам (расчёт по коэффициенту безопасности, или предельным состояниям).

Программа может выполнить импорт нагрузки после нажатия кнопки «**Импорт**».



Рамка «Нагрузка»

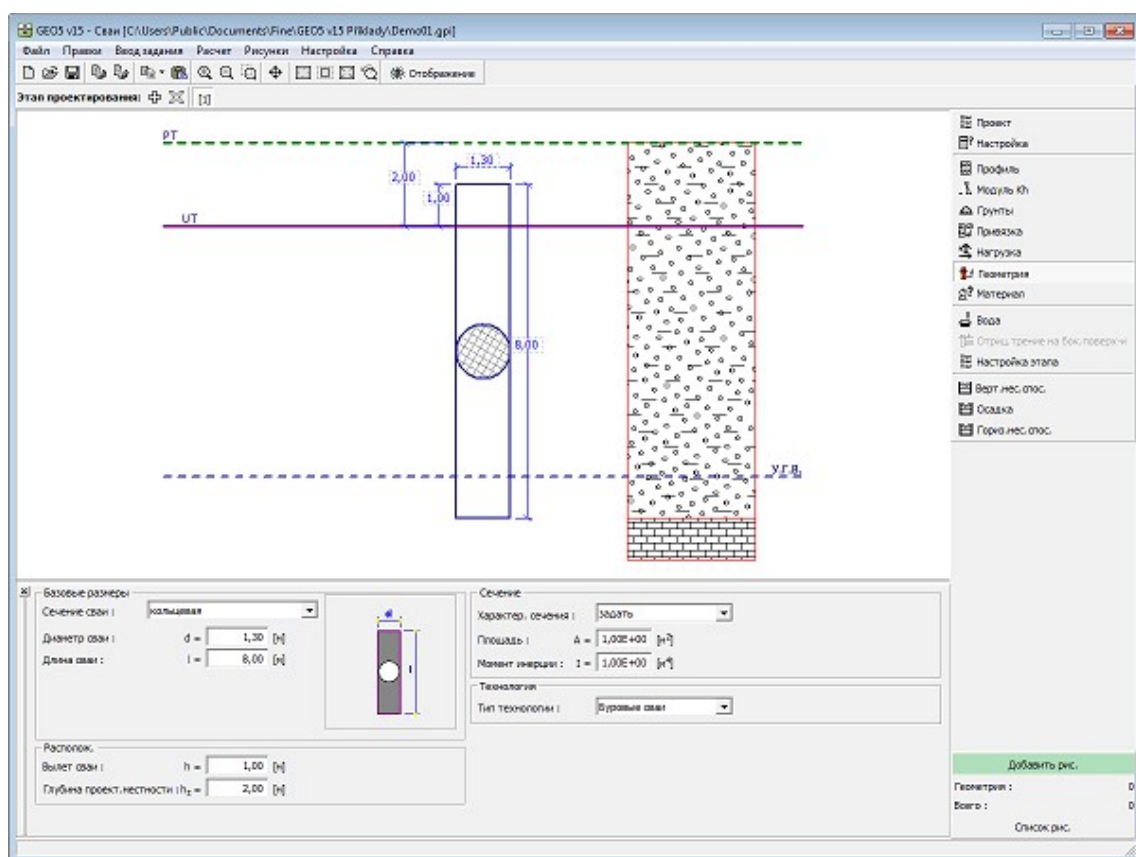
## Геометрия

В **рамке «Геометрия»** в выпадающем списке выбирают **поперечное сечение сваи** (круглое, круглое переменное, труба, квадрат, прямоугольник, двутавр, пользовательское....).

Для выбранного типа сечения в выпадающем списке выбирают материал (**бетон, сталь, древесина**) и технологию производства (**буровые, забивные, CFA**).

Далее, задают расположение сваи (вылет сваи, проектная глубина). Вылет сваи может быть отрицательным - в этом случае свая **«заглублена»** в грунт.

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.



Рамка «Геометрия»

## Материал

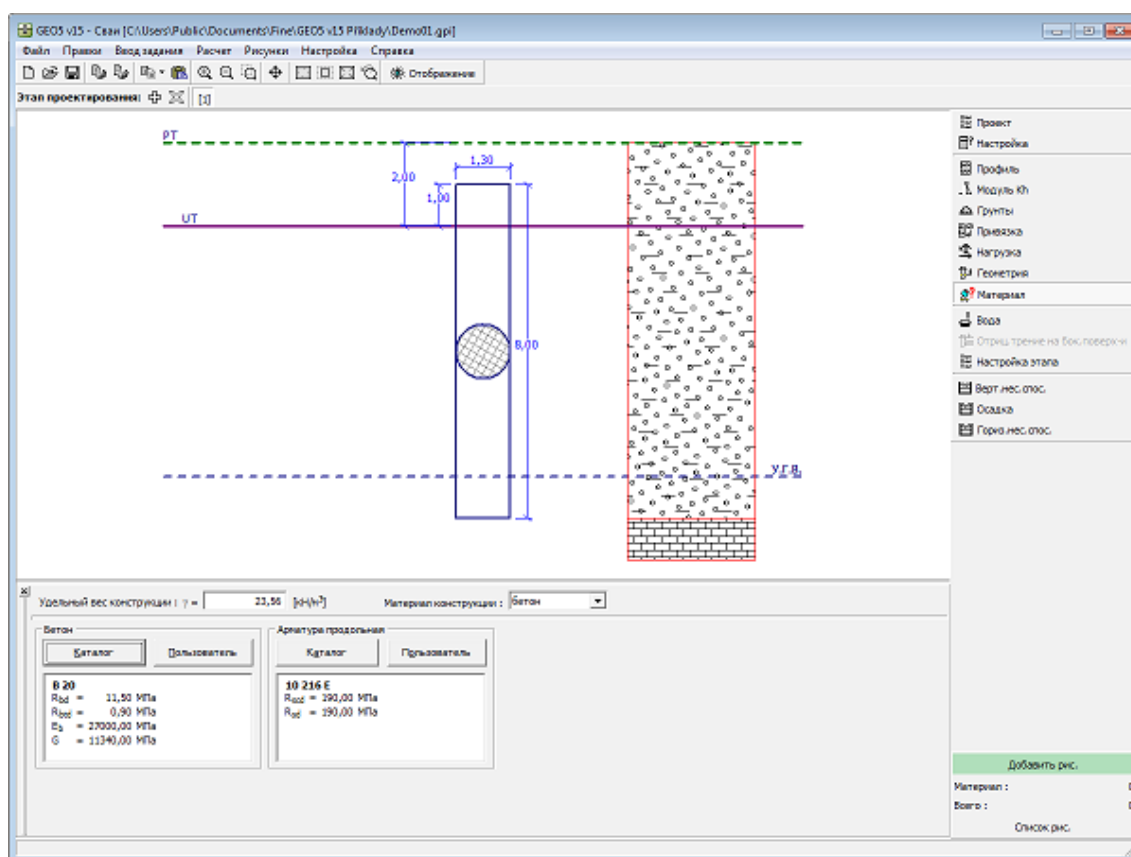
В **рамке «Материал»** задают характеристики используемого материала. В поле ввода данных в верхней части рамки задают **удельный вес конструкции**. Вид рамки меняется в соответствии с выбранным материалом (**бетон, сталь, древесина, пластмасса**) в рамке «Геометрия».

Для установки параметров материала можно использовать две опции

- кнопкой «**Каталог**» открыть диалоговое окно «**Каталог материалов**» и из списка выбрать нужный материал.
- кнопкой «**Пользователь**» открыть диалоговое окно «**Редактор материала**» и ввести нужные характеристики материала вручную.

Содержимое каталогов меняется в соответствии с настройкой соответствующего стандарта по проектированию **бетонных, стальных, или деревянных** конструкций в закладке «**Материалы и стандарты**».





Рамка «Материал»

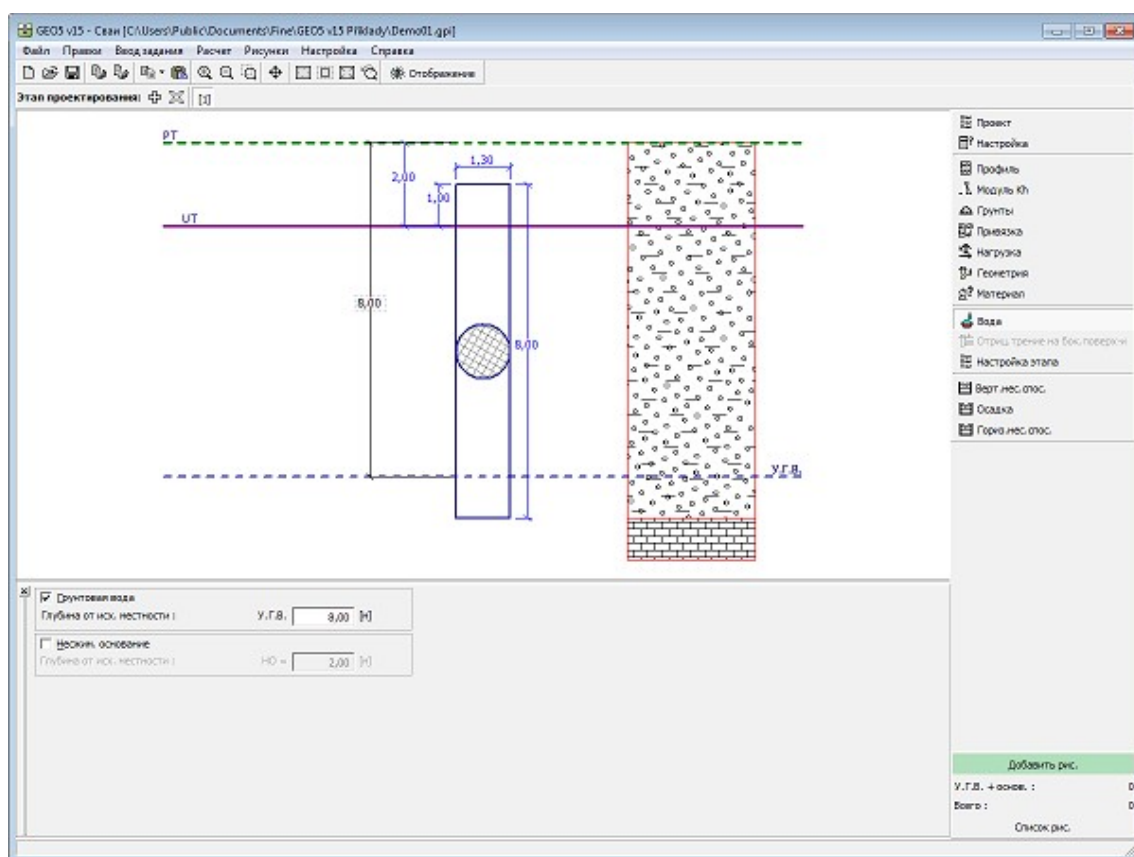
## Вода, несжимаемое основание

В **рамке «Вода + НО»** задают **глубину уровня грунтовой воды** и **глубину уровня несжимаемого основания**.

Значения можно редактировать или в рамке в поле ввода данных, или на рабочем столе с помощью **активных отметок**.

**Влияние воды** сказывается в изменении **геостатического напряжения**.

**Несжимаемое основание** урезает **зону деформации** под фундаментом и влияет на уменьшение величины осадки.

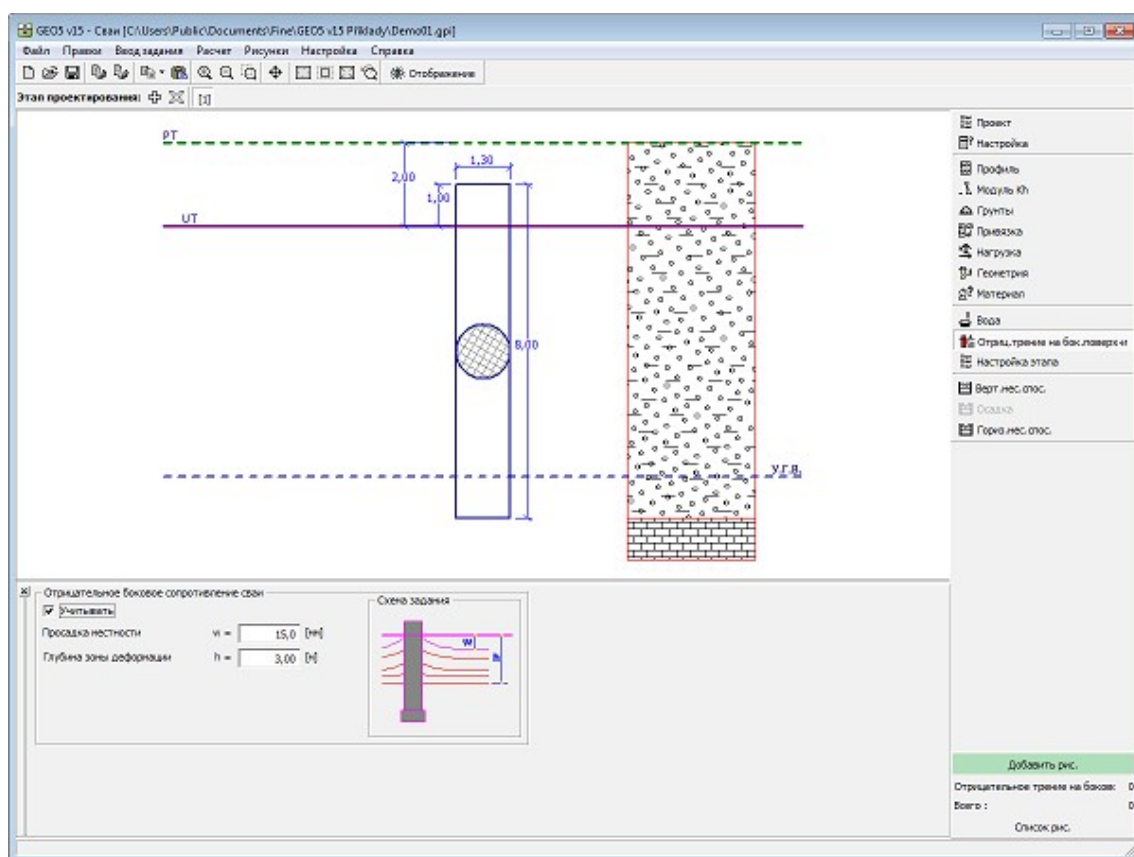


Рамка «Вода, несжимаемое основание»

## Отрицательное боковое сопротивление

В рамке «**Отрицательное боковое сопротивление**» задают осадку окружающего грунта и глубину зоны деформации. Способ учёта влияния отрицательного сопротивления боковой поверхности свай описан в теоретическом разделе.

Настройка в рамке доступна лишь при условии, что в рамке «**Настройка**» установлен метод пружины.

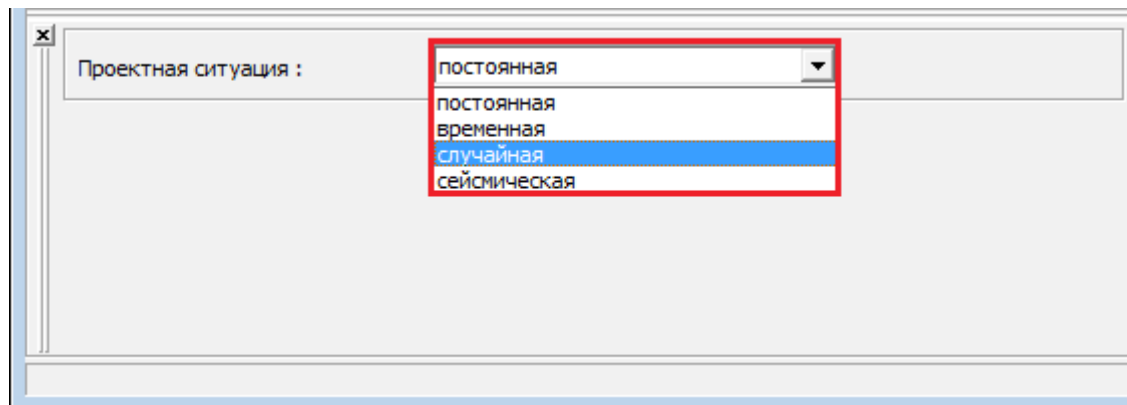


Рамка «Отрицательное боковое сопротивление»

## Настройка этапа

В **рамку «Настройка этапа»** задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования.



Рамка «Настройка этапа»

## Вертикальная несущая способность - аналитическое решение

В рамке «Вертикальная несущая способность» проверяется вертикальная несущая способность сваи. В рамке можно выполнять **несколько расчётов**. Проверять можно или по отдельным нагрузкам, или программа находит нагрузку с **максимальным воздействием** (в соответствии с выбором в выпадающем списке). Внешний вид рамки меняется в зависимости от настройки в рамке «Настройка».

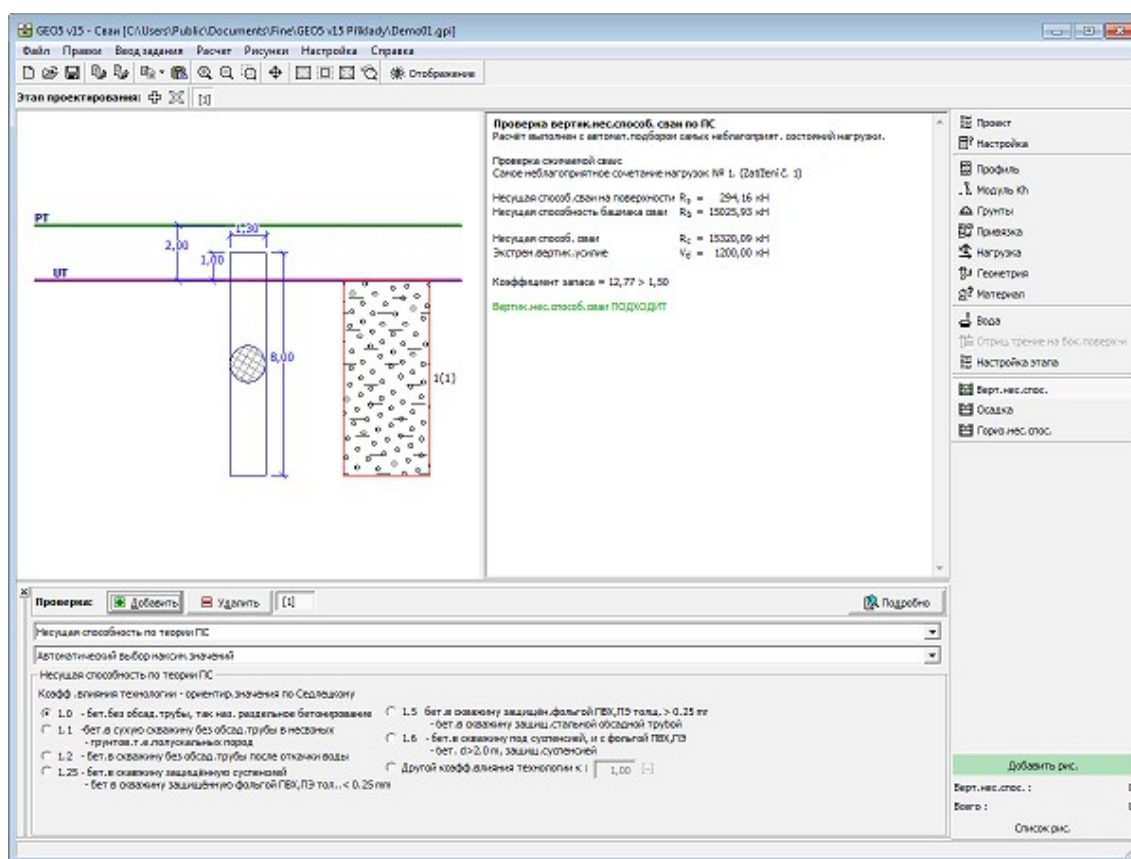
Расчёт выполняется по теории заданной в закладке «Сваи». В закладке выбирают также **методику проверки** (EN 1997-1, коэффициент безопасности, предельные состояния).

Расчёт вертикальной несущей способности одиночной сваи **аналитическим способом** выполняется для:

- **Обезвоженных условий** (CSN 73 1002, Эффективное напряжение, NAVFAC DM 7.2)
- **Необезвоженных условий** (Tomlinson, NAVFAC DM 7.2)

Кнопкой «**Подробнее**» открывается диалоговое окно с подробной выпиской результатов анализа.

Результаты расчёта отображаются в правой части рабочего стола. Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».



Рамка «Вертикальная несущая способность» - аналитическое решение

## Вертикальная несущая способность - метод пружины

В рамке «**Вертикальная несущая способность**» проверяется **вертикальная несущая способность сваи**. После входа в эту рамку программа автоматически выполнит расчёт. В рамке можно выполнять **несколько расчётов**. Проверять можно или по отдельным нагрузкам, или программа сама находит нагрузку с **максимальным воздействием** (по выбору в выпадающем списке).

Расчёт выполняется по **методу пружины**. После любого изменения в параметрах расчёта «**Максимальная деформация**», «**Коэффициент увеличения предельного бокового сопротивления от технологии**» или «**Способ определения зоны деформации**» программа автоматически пересчитывает результаты.

Зону деформации можно рассчитать двумя способами:

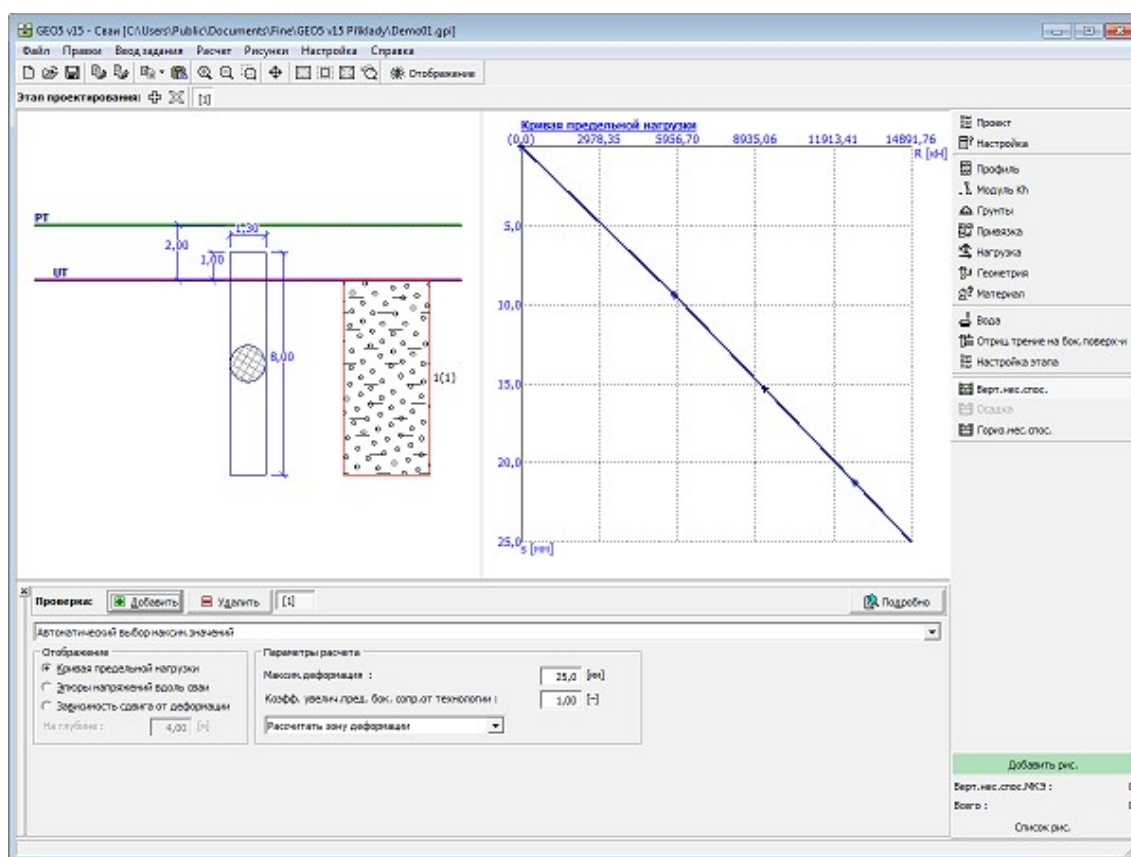
- Стандартный расчёт глубины зоны деформации под подошвой выполняется по теории описанной в теоретическом разделе справки «**Глубина зоны деформации**», а глубину зоны деформации боковой поверхности сваи задают как  $k$ -кратное диаметра сваи. При этом значение  $k$  возрастает от единицы  $1$  при нулевом нагружении до  $2,5$  при достижении предельного бокового сопротивления.
- При другом способе глубину зоны деформации под подошвой и на боковой поверхности консервативно определяют как  $k$ -кратное диаметра сваи, причём значение  $k$  выбирают. В процессе последовательного увеличения расчётного нагружения сваи значение  $k$  для глубины зоны деформации боковой поверхности меняется от  $1$  до заданного значения при выходе на предельное боковое сопротивление. Значение  $k$  для глубины зоны деформации под подошвой в процессе расчёта остаётся постоянным.

При втором способе, применяющемся в более ранней версии Geo4 при значении  $k = 2,5$  получаемые результаты были менее точными и, как правило, занижали несущую способность сваи. Поэтому вновь введён метод определения глубины зоны деформации путём расчёта; метод рекомендован к использованию и в настройке установлен как стандартный.

В левой части рамки переключаем между результатами расчёта (**кривая предельной нагрузки, эпюры напряжений вдоль сваи, зависимость сдвига от деформации**). Расчёт сдвига от деформации выполняется для заданной глубины, измеряемой от головы сваи. С изменением глубины происходит перерасчёт результатов.

Кнопкой «**Подробно**» открывается диалоговое окно с подробной выпиской результатов анализа.

Результаты расчёта отображаются в правой части рабочего стола. Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».



Рамка «Вертикальная несущая способность» - метод пружины

## Осадка - линейная кривая нагрузки (Poulos)

В рамке **«Осадка»** отображается **кривая нагрузки сваи**. В рамке можно выполнять **несколько расчётов**.

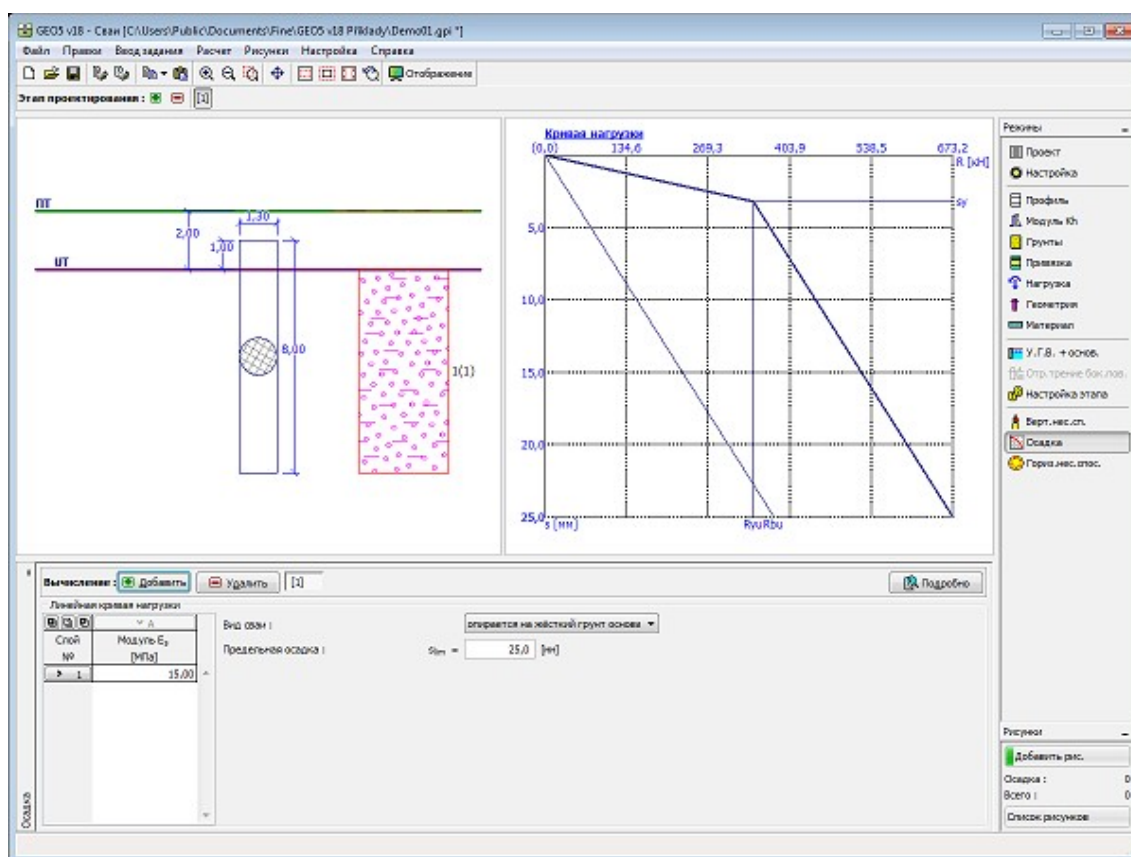
Дальше нужно ввести значение предельной осадки. Программа **построит кривую нагрузки сваи**, всегда такую, чтобы была **получена предельная осадка**.

Расчёт выполняется в соответствии с выбранной теорией расчёта осадки (**линейной**). Теорию расчёта выбирают в закладке **«Сваи»**. В левой нижней части рамки находится таблица, в которой задают значения **секущего модуля деформации** для соответствующих слоёв грунтов.

**Результаты расчёта** отображаются в правой части рабочего стола. Кнопкой **«Подробно»** открывается диалоговое окно с подробной выпиской результатов проверки.

Результаты расчёта (кривая нагрузки сваи) отображены в правой части рабочего стола. Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне **«Настройка рисования»**.





Рамка «Осадка» - линейная кривая нагрузки (Poulos)

## Осадка - нелинейная кривая нагрузки (Masopust)

В рамке «Осадка» отображается кривая нагрузки сваи. В рамке можно выполнять несколько расчётов.

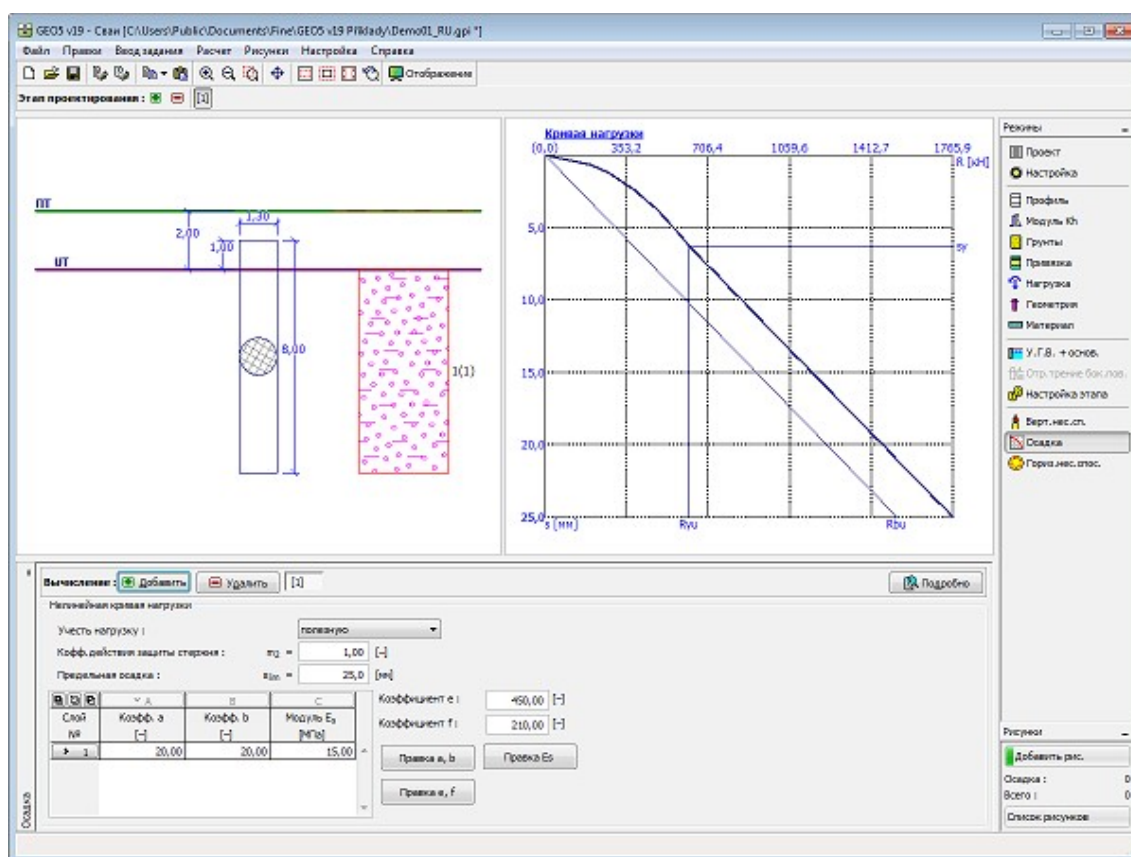
В выпадающем списке выбирают тип предусматриваемой нагрузки (**проектная, полезная**). Далее можно задать коэффициент влияния защиты тела сваи. Кривую нагрузки сваи рассчитывают всегда до **предельной осадки 25 мм**.

Расчёт выполняется в соответствии с выбранной теорией расчёта осадки (**нелинейной**). Теорию расчёта выбирают в закладке «Сваи». В нижней части рамки находится таблица, позволяющая редактировать заданные параметром щелчком мыши. Кнопки «Правка $a$ ,  $b$ », «Правка $e$ ,  $f$ », «Правка $E_s$ » вызывают диалоговые окна с подсказкой по задаваемым параметрам **коэффициентов регрессии** и **секущего модуля деформации**. Кнопкой «ОК» из соответствующего диалогового окна можно передать заданные параметры для данного слоя в таблицу.

Кнопкой «Подробно» открывается диалоговое окно с подробной выпиской результатов анализа.

Результаты расчёта (кривая нагрузки сваи) отображаются в правой части рабочего стола. Стил рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».





Рамка «Осадка» - нелинейная кривая нагрузки сваи (Masopust)

## Горизонтальная несущая способность -упругое полупространство

В рамке «Горизонтальная несущая способность» программа рассчитывает **внутренние сил на свае** и проверяет несущую способность сечения (бетонного, стального, деревянного).

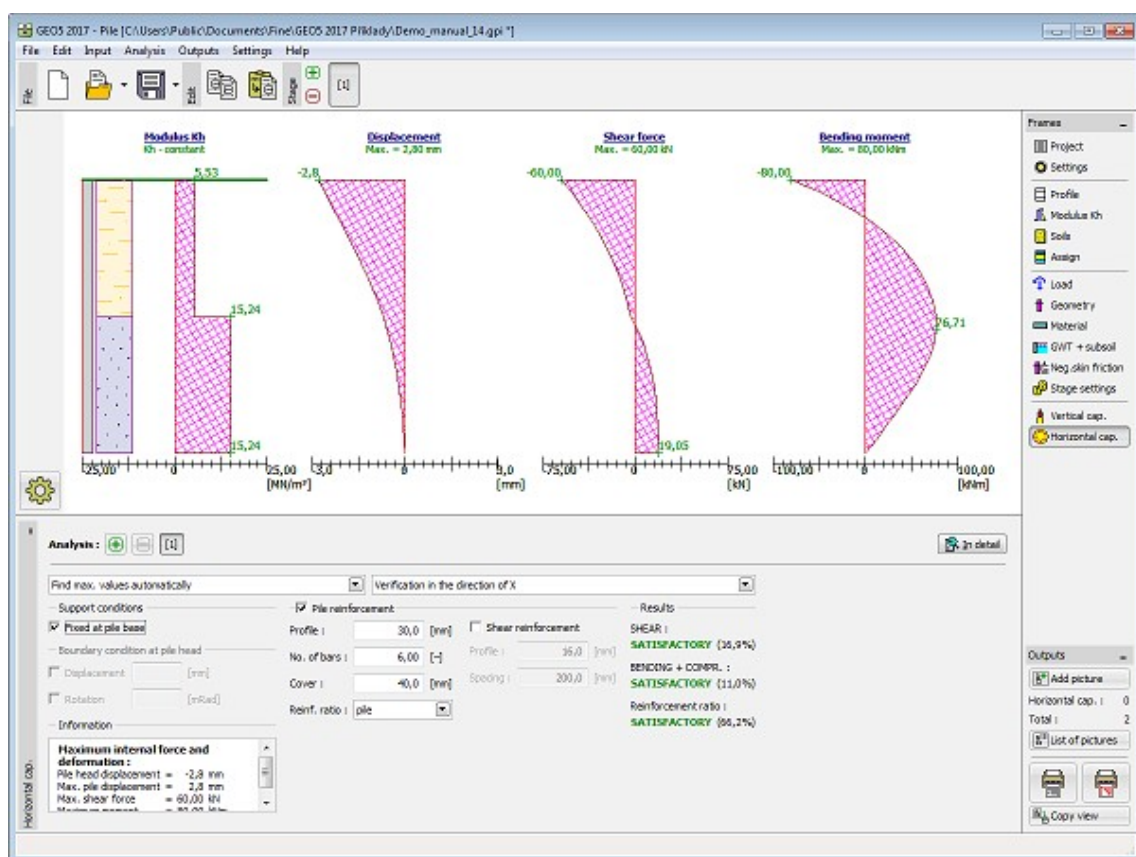
Внутренние силы можно рассчитать для:

- отдельных заданных нагрузок
- деформирующей нагрузки
- нагрузки с максимальным воздействием

Для проверки с деформирующей нагрузкой нужно ввести **краевые условия в голове сваи** (деформация и поворот).

У всех типов нагрузки можно задавать **заделку** сваи в пите.

В выпадающем списке выбирают направление, в котором будет выполнена проверка сваи ( $x, y$ ; проверка в направлении максимального воздействия).



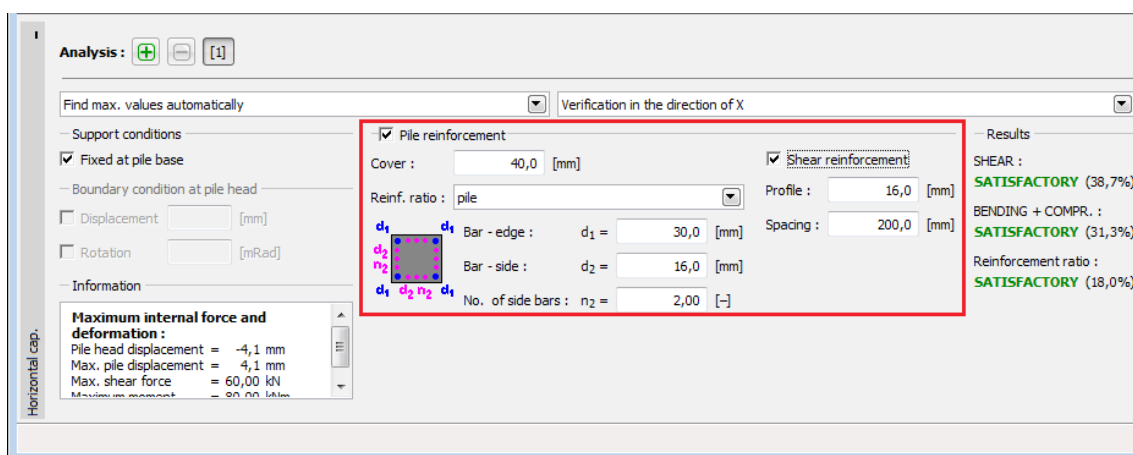
Рамка «Горизонтальная несущая способность» - внутренние силы и деформация

С учётом сечения и использованного материала программа проверяет несущую способность сечения. (Сечение и материал сваи задают в рамке «Геометрия».) В отдельных особых случаях (пользовательское сечение, бетонная труба) отображаются только внутренние силы и деформация а проверку сечения нельзя сделать.

## Бетон

В случае **железобетонной** сваи можно задавать **на проверку армировку сваи** по соответствующему стандарту, который выбираем в закладке «Материалы и стандарты». Сваю проверяют на **сдвиг, изгиб и сжатие**, а также **проверяют коэффициенты армирования**. Армирование программа задавать с помощью флажка «**Армирование сваи**». Если флажок отсутствует, то программа проверку сваи не выполняет.

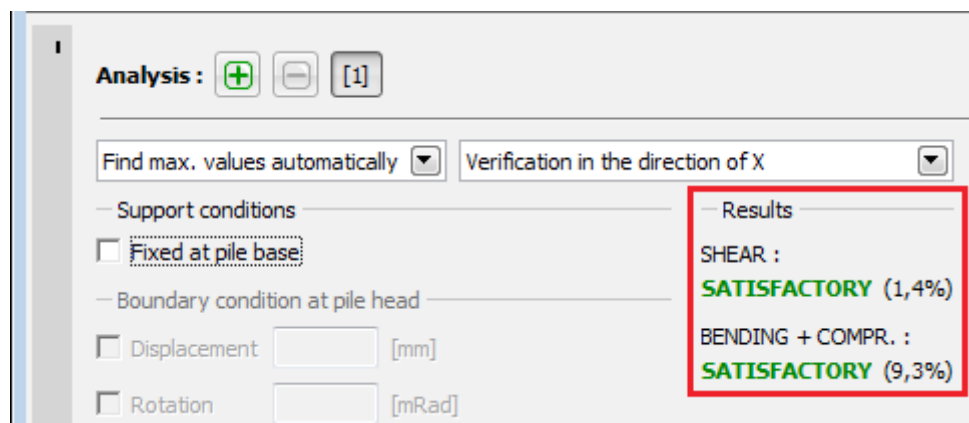
У сваи круглого сечения задают **профиль, кол-во профилей и бетонную обшивку арматуры**. Армирование сваи квадратного сечения задают по рисунку.



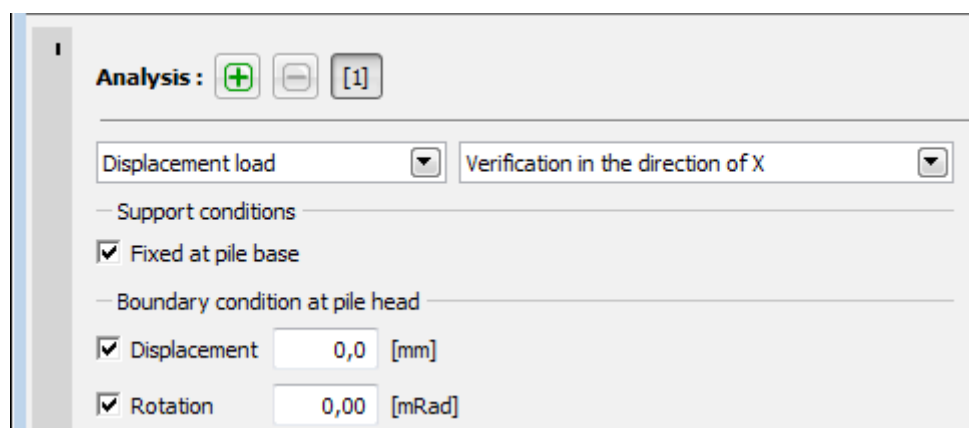
Проверка ж/б сваи - задание параметров арматуры

## Сталь, Древесина

Свая проверяется на **сдвиг, изгиб и сжатие**.



Проверка сваи на сдвиг, изгиб и сжатие



Проверка сваи не выполняется

Кнопкой «**Подробно**» открывается диалоговое окно с подробной выпиской результатов анализа.

Результаты расчёта отображаются на рабочем столе. Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».

## Горизонтальная несущая способность - метод Бромса

В рамке «Горизонтальная несущая способность» проверяют горизонтальную несущую способность одиночной сваи. Рамка позволяет выполнять несколько расчётов. Проверку можно выполнять по отдельно заданным нагрузкам или же программа находит нагрузку с максимальным воздействием (выбирают в выпадающем списке).

Для сваи из железобетона задают профиль арматуры, количество профилей и защитной слой арматуры, которые влияют на жёсткость сваи при изгибе.

Входными данными для расчёта горизонтальной несущей способности сваи являются характеристики материала сваи (модуль упругости, или прочность данного материала), геометрия сваи (длина сваи  $l$  и её диаметр  $d$ ) а также нагрузка на сваю сдвигающей силой, или изгибающим моментом.

В расчётах по методу Бромса программа пренебрегает ранее заданными слоями грунтов и проверяет горизонтальную несущую способность одиночной сваи только по грунту, определяемому в рамке «Горизонтальная несущая способность». Параметры грунтов задают в зависимости от типа грунта:

- **связный** - задают **тотальное сцепление грунта**  $c_u$ , **модуль реакции основания**  $k_h$ , коэффициент несущей способности сечения  $\gamma_k$  и коэффициент редукции несущей способности  $\gamma_{Qi}$ ,
- **несвязный** - задают **эффективный угол внутреннего трения грунта**  $\varphi$ , **удельный вес грунта**  $\gamma$ , **коэффициент реакции основания**  $n_h$ , коэффициент несущей способности сечения  $\gamma_k$  и коэффициент редукции несущей способности сваи  $\gamma_{Qi}$ .

В рамку задают также критерии типа сваи:

- **стандарт** - в данном случае коэффициент жёсткости сваи  $\beta^*l$ , или  $\eta^*l$  программой автоматически вычисляется,
- **пользовательские** - в данном случае пользователь может сам настраивать значение коэффициента жёсткости сваи  $\beta^*l$ , или  $\eta^*l$  для проверки короткой сваи или сваи средней величины.

Посадка головы сваи возможна двумя способами:

- **свободная** - возможен поворот головы сваи,
- **с заделкой** - поворот головы сваи невозможен. Как правило это такие сваи, которые сопряжены с плоским свайным ростверком или кустом свай.

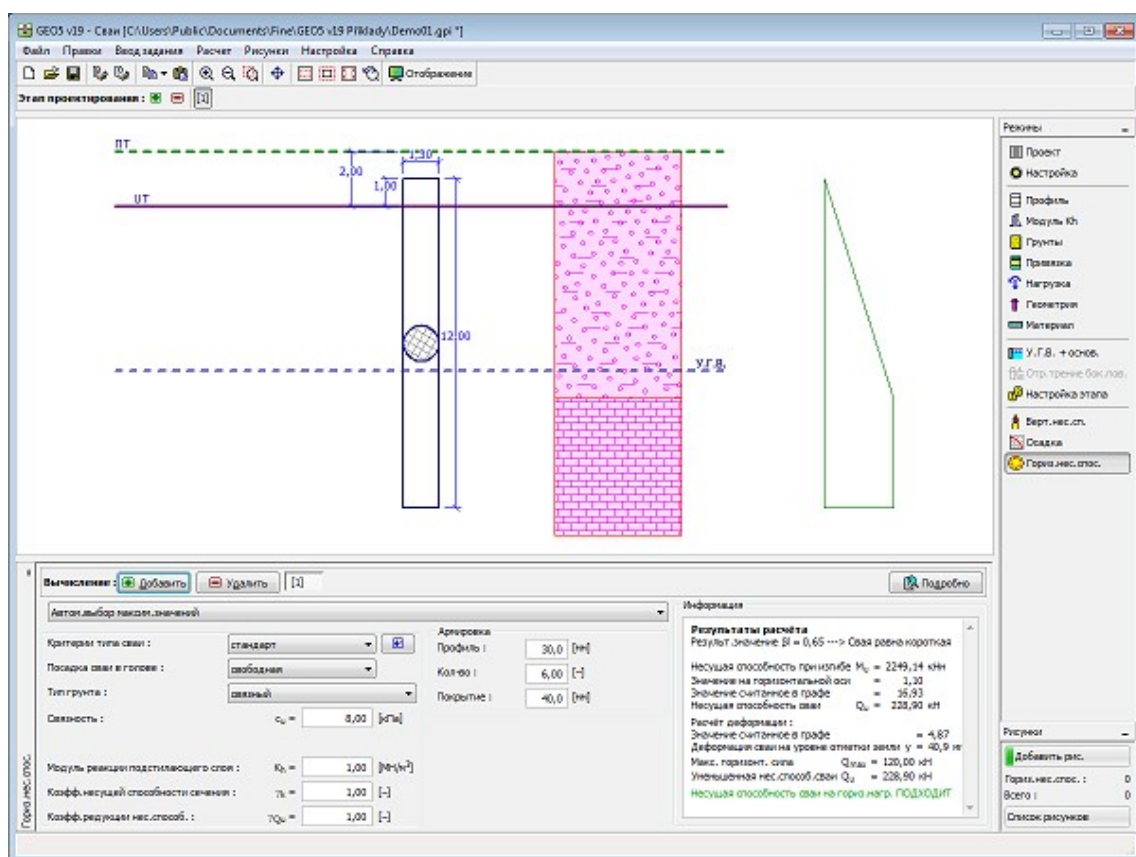
**Коэффициент несущей способности сечения**  $\gamma_k$  уменьшает прочность в изгибе сечения сваи  $M_u$ .

**Коэффициент редукции несущей способности**  $\gamma_{Qi}$  уменьшает общее значение горизонтальной несущей способности одиночной сваи  $Q_u$ .

В результате расчёта получаем горизонтальную несущую способность одиночной сваи  $Q_u$  и деформацию сваи на уровне земли  $u$ .

Кнопка «Подробно» открывает диалоговое окно, в котором находится подробная выписка результатов проверки.

Результаты расчёта отображены на рабочем столе. Изображение рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».



Рамка «Горизонтальная несущая способность»- Метод Бромса

## Программа Свая СРТ

Программа предназначена для анализа несущей способности и осадки одиночной сваи или куста свай на основании результатов статических пенетрационных испытаний (СРТ).

**Справка для программы «Свая СРТ» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Испытания СРТ	У.Г.В. + НПС	Классифика ция грунтов	Профиль	Грунты
Привязка	Конструкци я	Геометрия	Несущая способность	Осадка		

- Стандарты и методы расчёта

- Теория расчётов в программе «Свая СРТ»:

Напряжение в массиве грунта

Анализ свай

- Справка относительно **результатов на выходе**
- Информация общего характера о работе в **пользовательской среде** программ GEO5
- **Общие операции** для всех программ

## Проект

В **рамку «Проект»** задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой **текстовой и графической информации**.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (**метрическую / дюймовую**). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «**Геобуфера**».

Рамка «Проект»

## Настройка

В **рамку «Настройка»** предназначена для ввода основных «**Настроек**» программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой «**Выбрать настройки**» выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из «**Перечня настроек**».

Кнопка «**Администратор настройки**» открывает диалоговое окно «**Администратор настройки**», в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

Кнопка «**Добавить в администратор**» позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка «**Править**» позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в «**Задано для текущей задачи**». После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то



нажимаем кнопку «**Добавить в администратор**» и добавляем настройку в «**Администратор настроек**».

Настройка «**Задано для текущей задачи**» обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладке «**Сваи СРТ**».

Далее, в этой рамке определяется, будет ли в расчёте учтено влияние **отрицательного трения на боковой поверхности**. Параметры отрицательного трения на боковой поверхности задают в рамку «**У.Г.В. + НПС**».

В рамке можно разрешить расчёт типа поведения грунта по испытанию - **классификацию грунтов**, что выполняется в рамке «**Классификация грунтов**».

При расчёте по **EN 1997** нужно задать дополнительные коэффициенты:

Коэффициент неопределённости модели  $\gamma_{cal}$ . понижает рассчитанную **вертикальную несущую способность** свай.

Значения коэффициентов  $\xi_3$  и  $\xi_4$  можно или задавать, или программа дополнительно вычислит **стандартные значения**, в зависимости от количества испытаний.

Настройка расчёта : (задано для текущей задачи)

Методика проверки : EN 1997-2  
Тип расчёта : EN 1997-2

Выбрать настройки  
Администратор настроек  
Добавить в администратор  
Править

Учесть отриц. трение на бок. поверхности свай  
☒ Выполнить классификацию грунтов

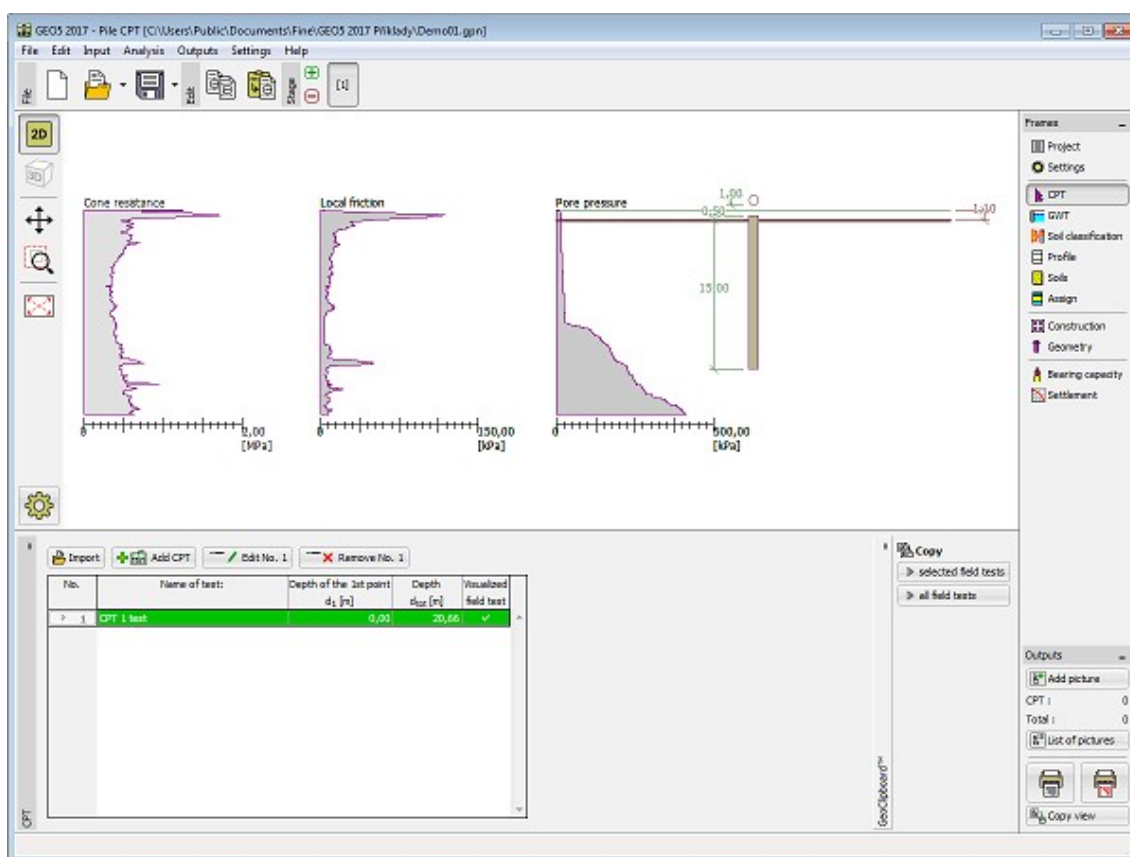
Коэфф. неопределённости модели :  $\gamma_{cal} = 1,00$  [-]  
Коэффициенты  $\xi_3, \xi_4$  : ввести  
Коэффициент :  $\xi_3 = 1,40$  [-]  
Коэффициент :  $\xi_4 = 1,40$  [-]

Рамка «Настройка»

## Испытания СРТ

В рамке «**Испытания СРТ**» находится **таблица** со списком заданных **испытаний статической пенетрации (СРТ)**.





Рамка «Испытания CPT»

Результаты испытаний CPT можно **импортировать** в форматах **GEF (\*.gef)**, **CPT (\*.cpt)**, **TXT (\*.txt)** а **AGS (\*.ags)**.

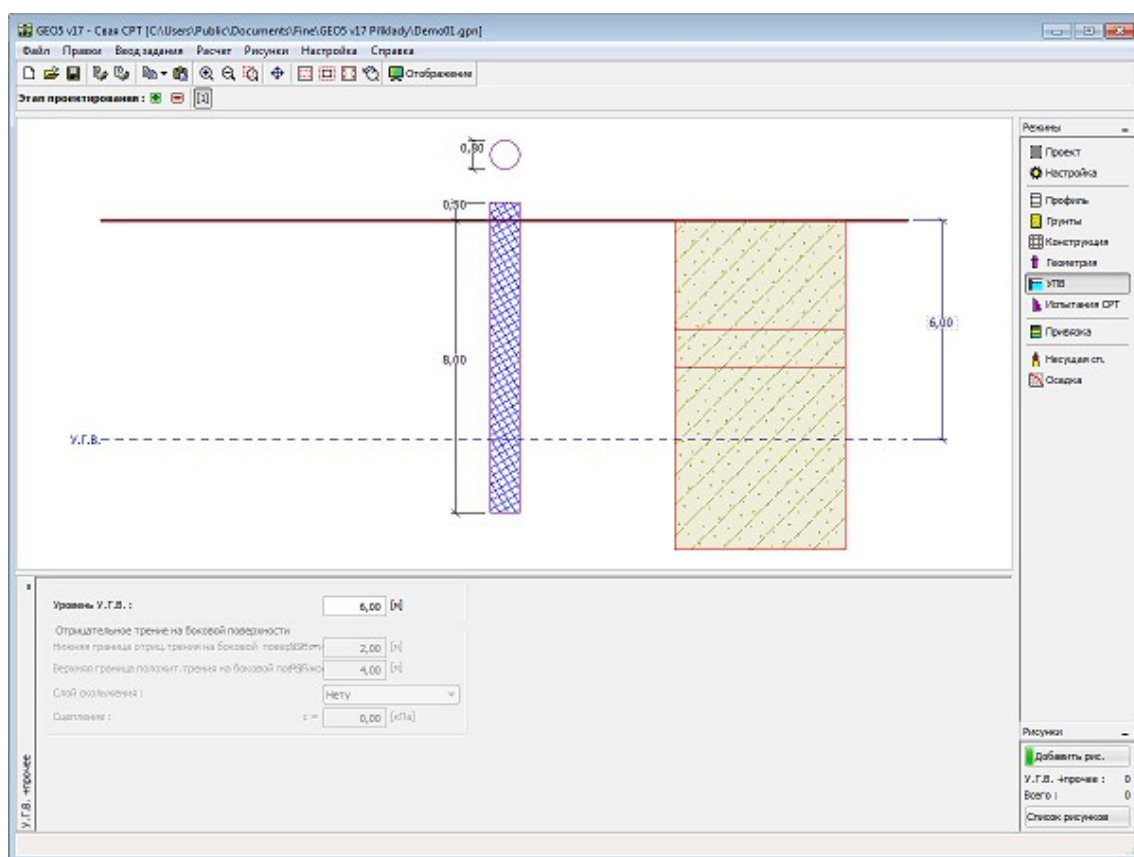
Испытания CPT можно передавать в рамках программ «**Свая CPT**», «**Отдельные фундаменты CPT**» и «**Стратография**» через «**Геобуфер**».

## У.Г.В. + НПС

В **рамку «У.Г.В.»** («**У.Г.В. + НПС**») задают **глубину уровня грунтовой воды** и глубину уровня **несжимаемого подстилающего слоя**.

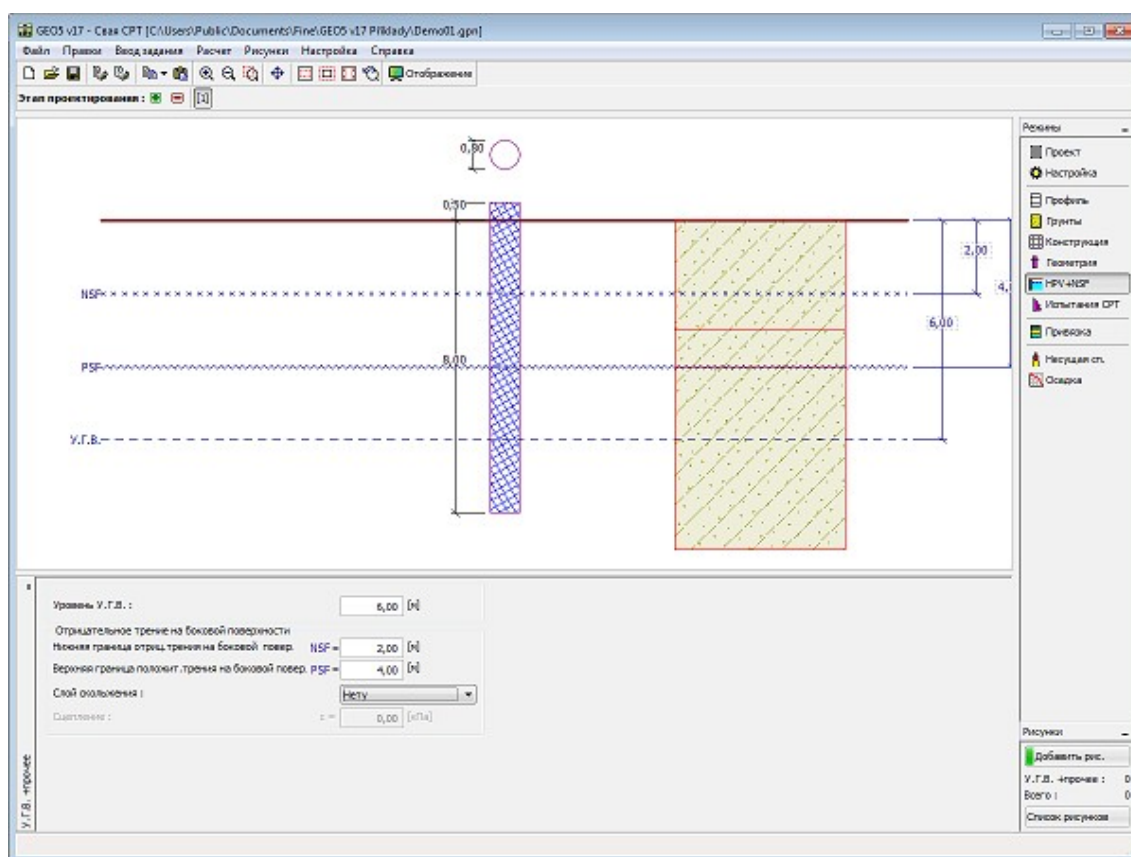
Редактирование данных возможно или в рамке (значения вводим в вводные поля, или на рабочем столе с помощью **активных отметок**. **Влияние воды** показывает изменение **геостатического напряжения**.

**Несжимаемый подстилающий слой** урезает **зону деформации** под фундаментом и влияет на уменьшение величины осадки.



Рамка «У.Г.В.» - без учёта влияния НПС

Если в рамке «**Настройка**» установлена опция «**Учитывать влияние отрицательного трения на боковой поверхности**», то в рамке «**У.Г.В. + НПС**» активируется возможность ввести входные параметры отрицательного трения на боковой поверхности - границы области, где учитывается влияние **отрицательного бокового трения**, или область скольжения и её материал или сцепление.



Рамка «У.Г.В.» - с учётом влияния НПС

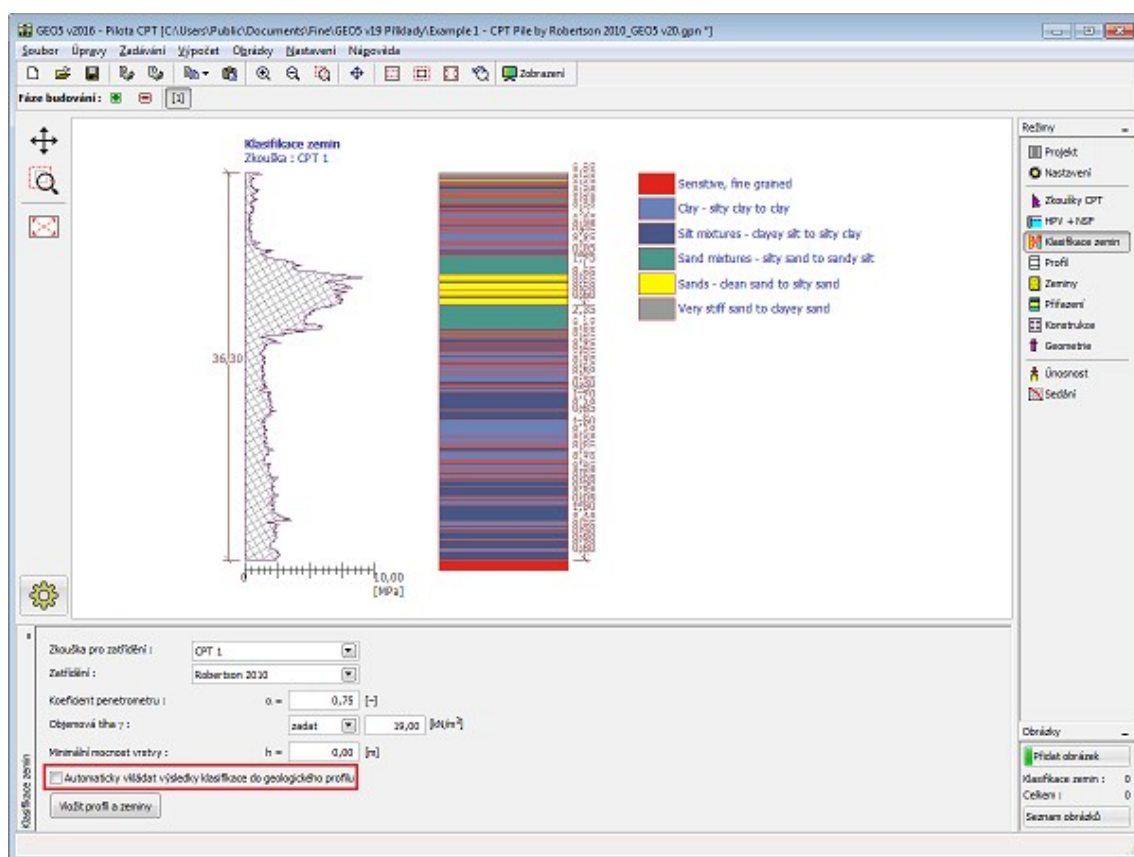
## Классификация грунтов

**Классификация грунтов** Robertson (1986 или 2010) позволяет определить поведение грунта и некоторые его параметры непосредственно по результатам **испытания CPT** - в таком случае отпадает необходимость задавать входные параметры **грунтов**. Сгенерированные параметры грунтов рекомендуем перед **расчётом** проверить.

В **рамке «Классификация грунтов»** выбираем **испытание для классификации** (определено в рамке «**Испытания CPT**»). Классификация грунта выполняется по **Robertson** (1986 или 2010).

Далее в рамку задаём **коэффициент пенетromетра**  $\alpha$  [-]. Значение удельного веса грунта  $\gamma$  можно задавать или одинаковым для всех слоёв грунта или программа автоматически **вычисляет** значение для каждого слоя в отдельности из значений **испытаний CPT**. В рамку можно задать минимальную толщину слоя грунта  $h$ . Это влияет на расположение и количество слоёв отдельных грунтов в геологическом **профиле** решаемой задачи.

Если зачеркнуть опцию «**Автоматически вводить результаты классификации в геологический профиль**», то при любом изменении данных в этой рамке автоматически присваивается сгенерированный геологический профиль в задачу. Ручную привязку грунта к геологическому профилю при отмене предыдущей опции выполняем с помощью кнопки «**Вставить профиль и грунты**».



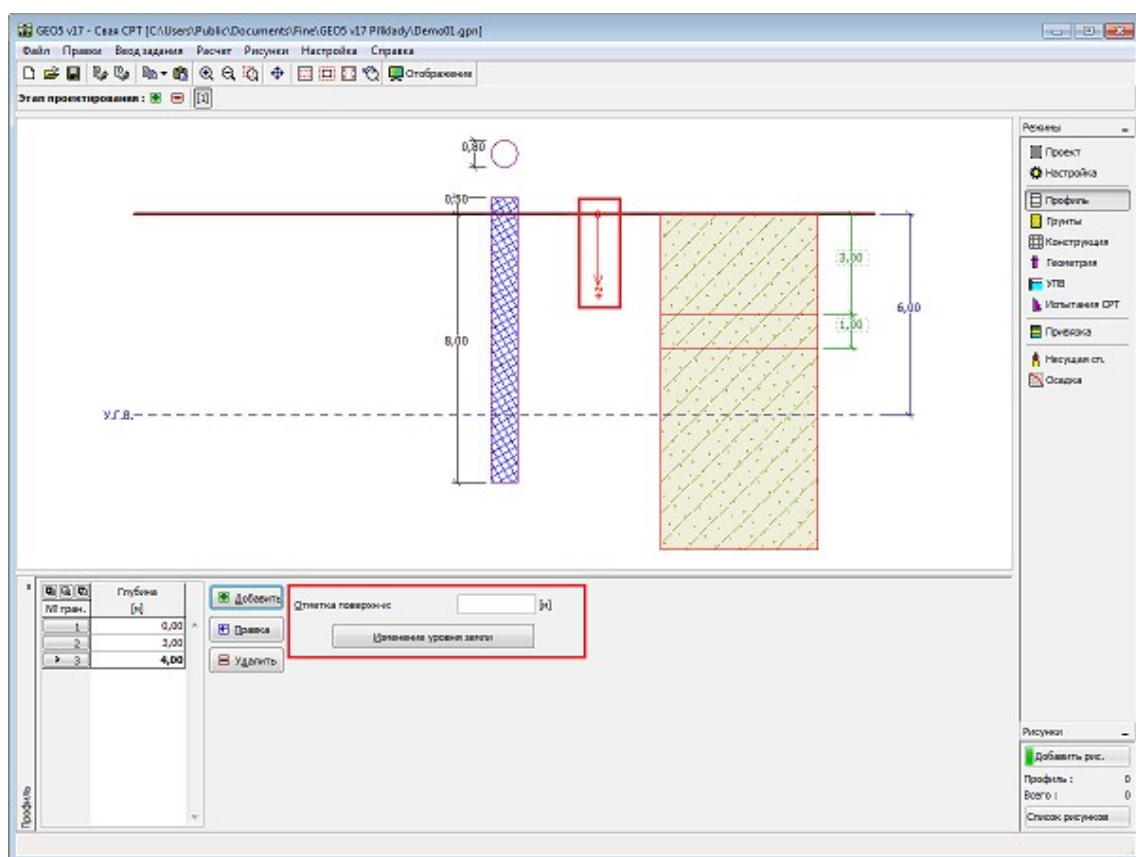
Рамка «Классификация грунтов»

## Профиль

В рамке «Профиль» есть таблица со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи активных отметок (размерных чисел).

Добавление границы выполняется в диалоговом окне «Создать границу контура». Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне «Изменение уровня земли» и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы «Рельеф».



Рамка «Профиль»

## Грунты

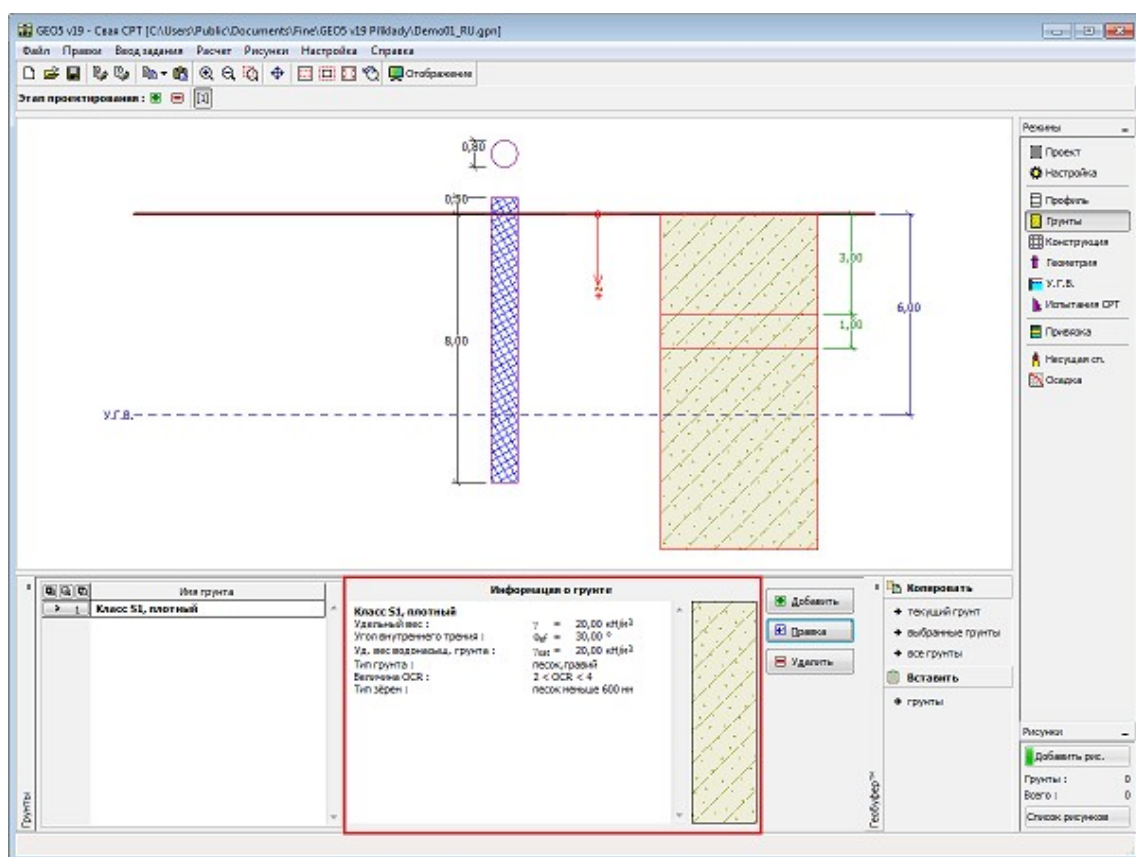
В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. Если в таблице выбрано несколько грунтов, то информация по отдельным грунтам упорядочена в последовательном порядке.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Базовые данные» и «Подъёмная сила».

Задаваемые параметры грунтов зависят от заданной теории расчётов в закладке «Сваи СРТ».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта** и **угол внутреннего трения грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать **базу данных грунтов** по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Соответствующая теория подробно описана в главе «Анализ в программе Свая СРТ».

При расчёте **бокового трения** по EN 1997-2, NEN 6743 и LCPC (Bustamante) программа задаёт **коэффициент редукции бокового трения**  $\alpha_s$ . Для крупнозернистых пород - **песок, гравий** ещё определяется значение **переуплотнения (OCR)** и тип, или, величина зёрен.

The screenshot shows a software dialog box titled "Добавление новых грунтов" (Add new soils). It has a tabbed interface with the "Базовые данные" (Basic data) tab selected and highlighted with a red rectangle. The dialog is divided into several sections:

- Идентификация** (Identification): A text field for "Имя:" (Name) containing "Глина с гравием, консистенция полутвёрдая" (Clay with gravel, semi-solid consistency).
- Базовые данные** (Basic data):
  - Удельный вес:  $\gamma =$  19,00 [кН/м³] 19,0
  - Угол внутреннего трения:  $\varphi_{ef} =$  29,00 [°] 26-32
  - Противодавление: "Расчёт взвешивающего усилия:" (Calculation of weighing force) set to "стандартный" (standard).
  - Удельный вес водонасыщенного:  $\gamma_{sat} =$  20,00 [кН/м³]
- Расчёт трения на боковой поверхности** (Calculation of friction on the side surface):
  - Тип расчёта  $\alpha_s$ : "посчитать" (calculate)
  - Тип грунта: "песок, гравий" (sand, gravel)
  - Величина OCR: "2 < OCR < 4"
  - Тип зёрен: "песок меньше 600 нм" (sand less than 600 nm)
- Отображение** (Display):
  - Цвет: A color selection bar showing a yellowish-brown color.
  - Категория узоров: "GEO"
  - Узор: A pattern selection box showing a diagonal hatched pattern, labeled "Суглинок с гравием" (Silt with gravel).
- Классификация** (Classification): Buttons for "Определи" (Determine), "Стереть" (Erase), "Добавить" (Add), and "Отмена" (Cancel).

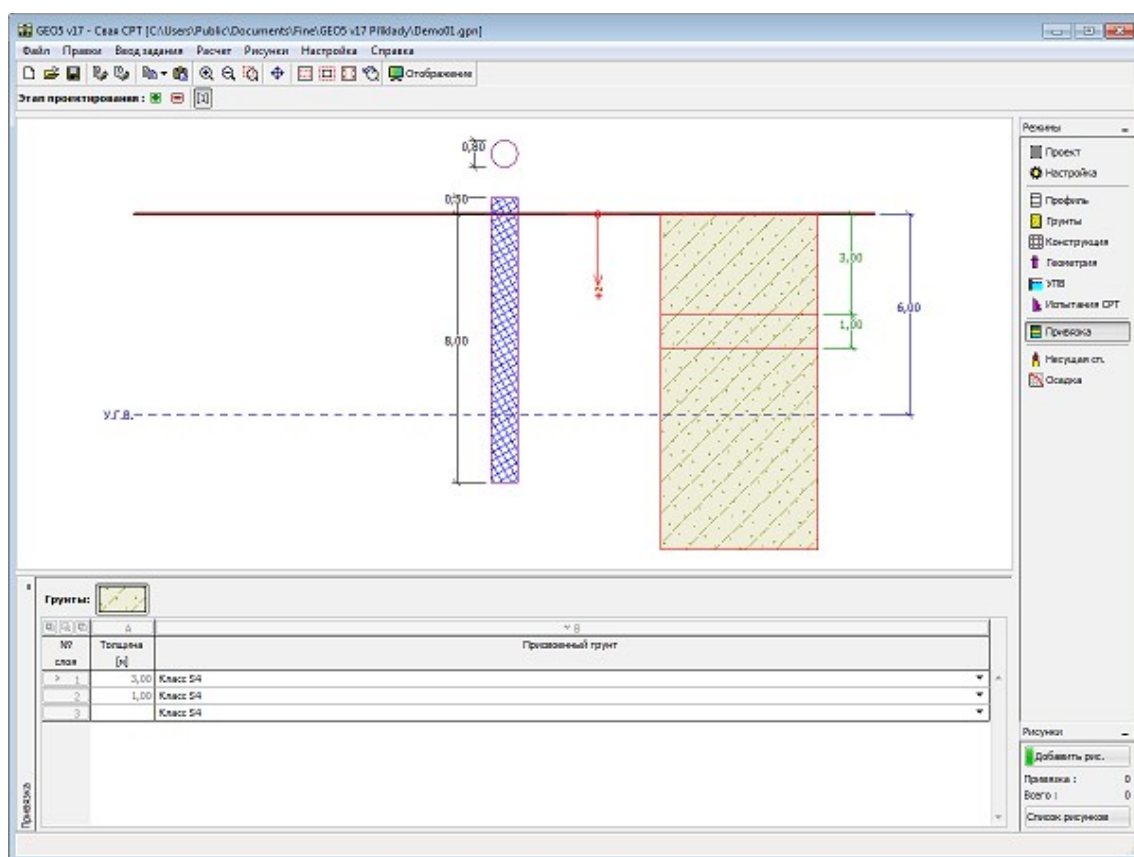
Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В **рамке «Привязка»** есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).



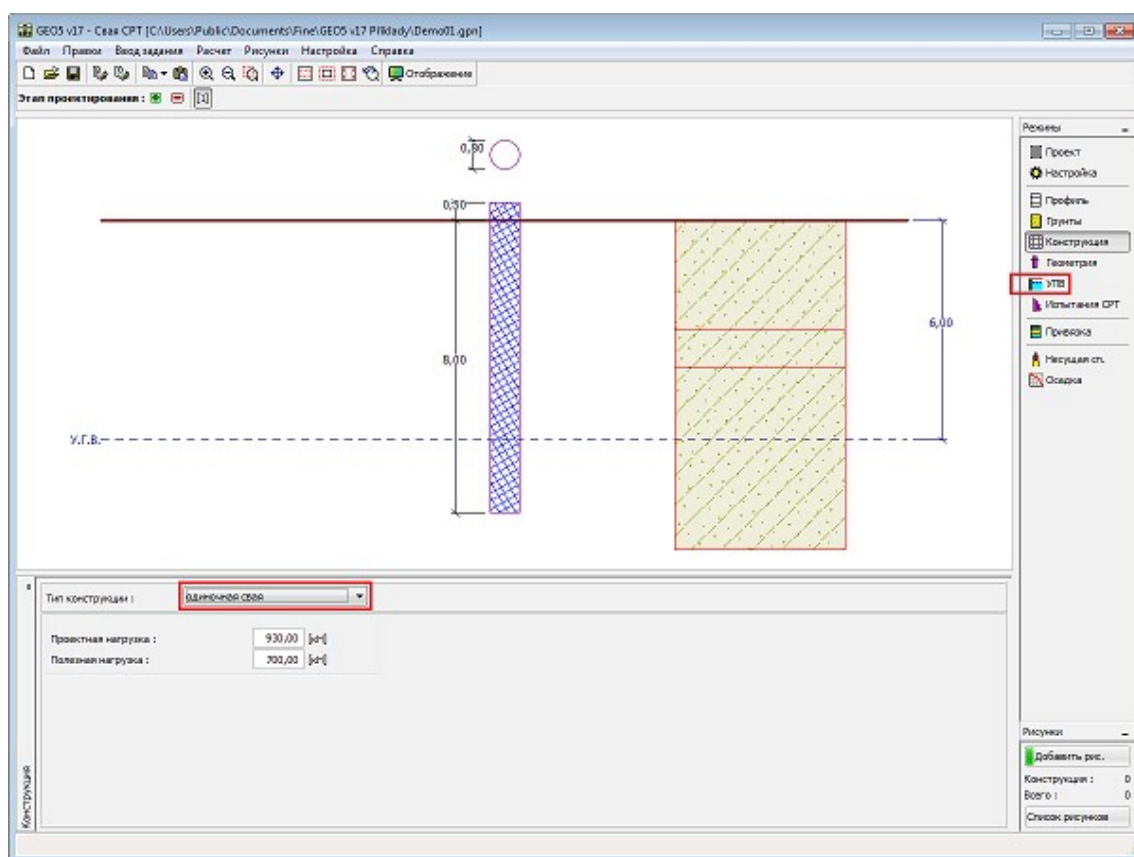


Рамка «Привязка»

## Конструкция

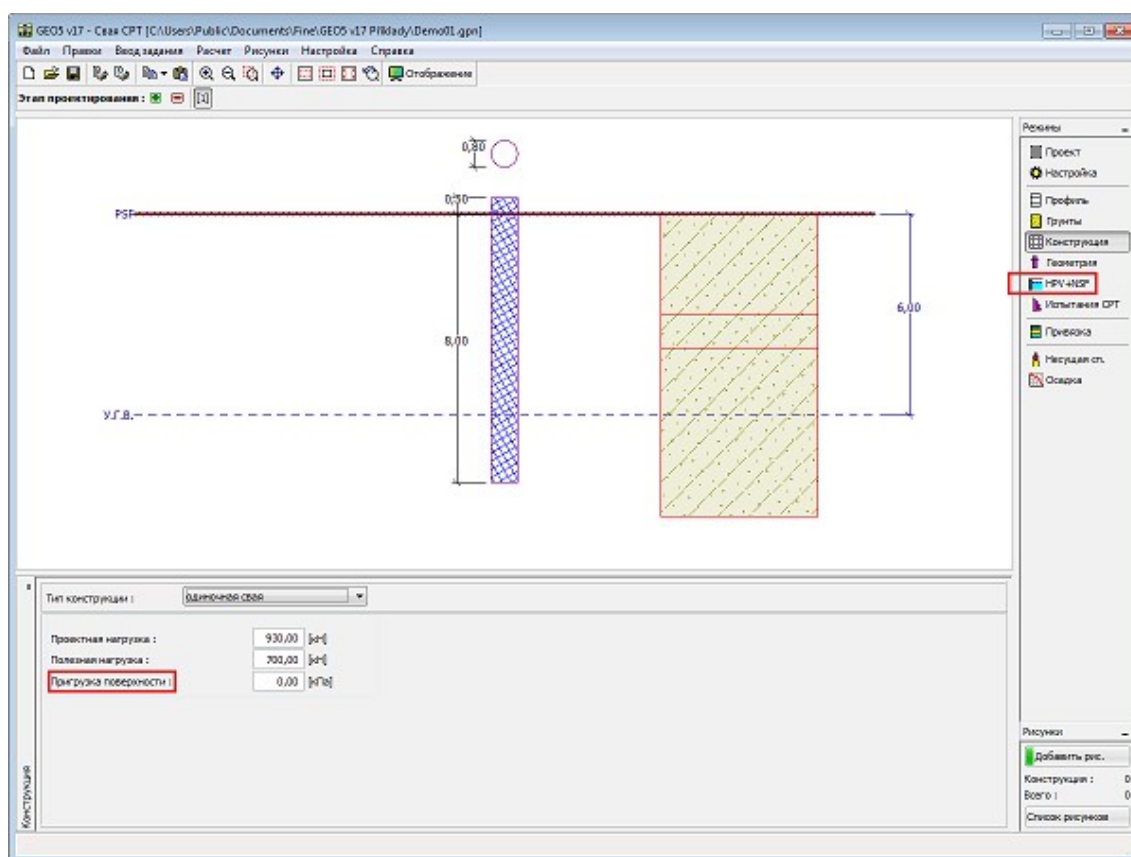
В рамке «**Конструкция**» выбирают тип конструкции - одиночная свая или куст свай, и задают величину нагрузки - проектной и нормированной. При расчёте **собственной несущей способности** принимают во внимание проектную (расчётную) нагрузку, а **расчёт осадки** выполняется для нормированных значений; при расчёте по стандарту NEN - для обоих видов нагрузки (состояние 1B и 2).

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.



Рамка «Конструкция» - одиночная свая

Когда в рамке «Настройка» установлена опция «Учитывать влияние отрицательного бокового трения», то в рамке «У.Г.В. + НПС» можно задать и **пригрузку поверхности**.

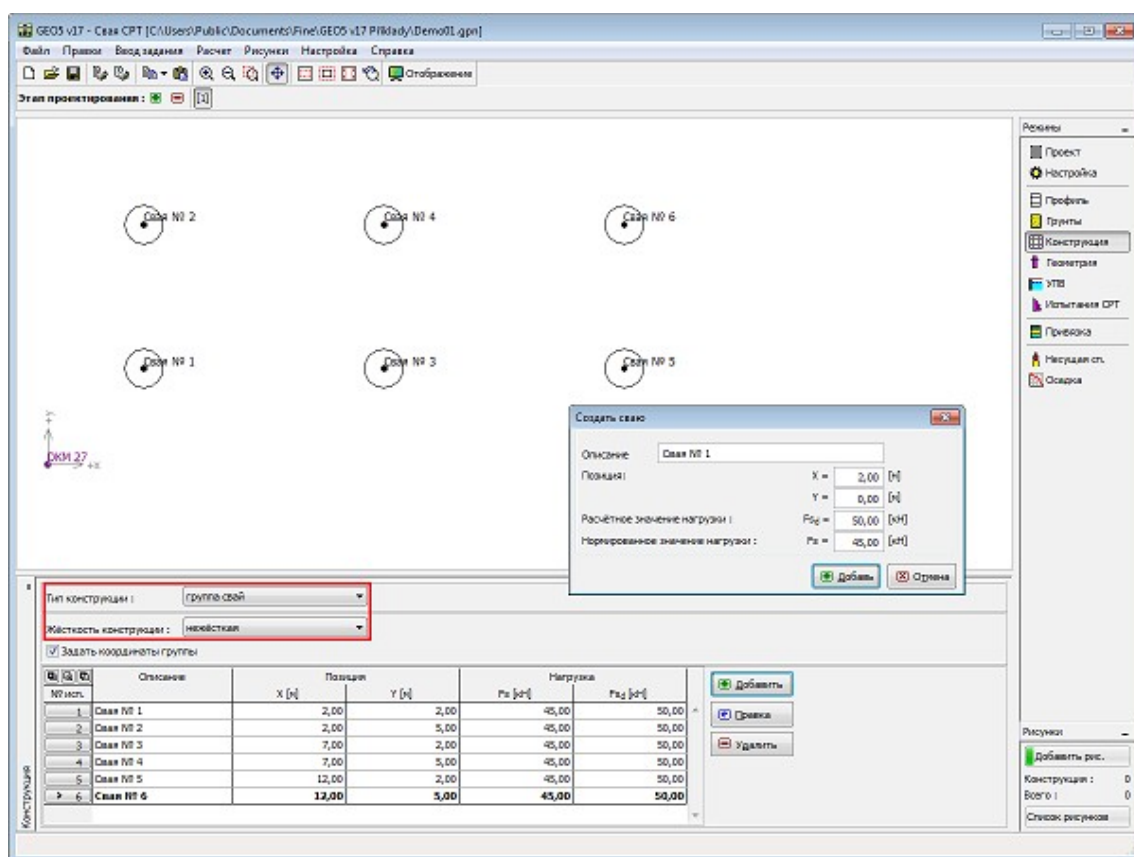


Рамка «Конструкция» - одиночная свая (влияние НПС)

## Куст свай

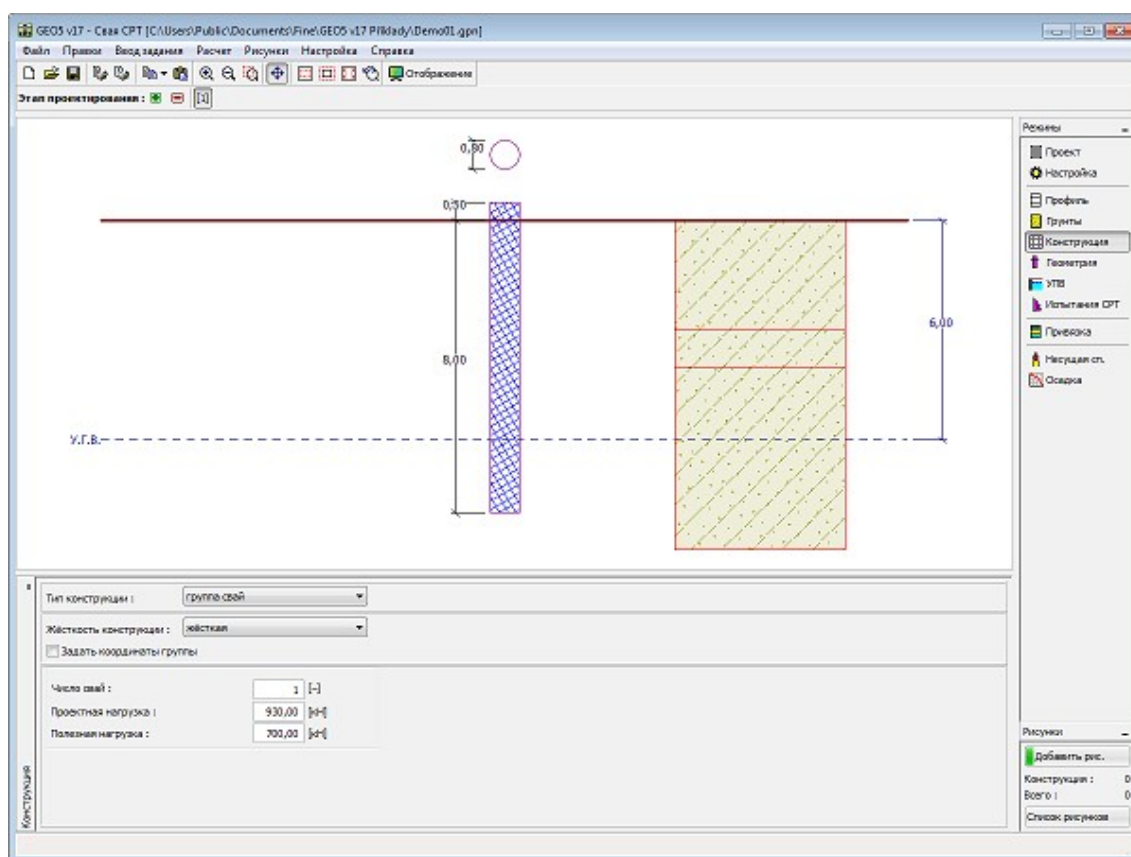
Для **куста свай** задают жёсткость конструкции. По жёсткости конструкции и выполняют общий расчёт и проверку конструкции. Но для этого должна быть выполнена основная предпосылка: в жёсткой конструкции все сваи имеют одинаковую осадку, а в податливой - каждая свая отдельно. При расчёте в соответствии с NEN6743 в рамку задают и способ выполнения СРТ.

Для жёстких и нежёстких конструкций можно задавать расположение свай с помощью их координат. В таком случае задают координаты каждой сваи (в координатной системе  $x,y$ ) а также нагрузку, приложенную к каждой заданной свае. Если в рамке «**Настройка**» установлена опция «**Учитывать влияние отрицательного трения на боковой поверхности**», то в рамке «**У.Г.В. + НПС**» можно задавать также пригрузку поверхности. **Добавление** сваи выполняется в **диалоговом окне «Создать сваю»**.



Рамка «Куст свай» - задаём расположение свай с помощью координат

В случае, что пользователем не заданы координаты расположения свай, параметры задают непосредственно в рамке «Конструкция». При выборе жёсткой конструкции можно задавать количество свай под конструкцию (в таком случае сваи равномерно расположены).



Рамка «Куст свай»

## Геометрия

В **рамку «Геометрия»** задаём форму **сечения сваи** (круглое, прямоугольное, круглое с расширением, прямоугольное с расширением) и тип сваи (завинченные, бетонированные на месте; завинченные промышленные; выполненные сквозным шнеком...и т.п.). В полях ввода для выбранного сечения задаём размеры сечения.

Кроме этого, в рамку задаём **материал сваи** (дерево, бетон, сталь) и **геометрию расположения сваи** (длина погружения сваи в грунт, вылет сваи и глубина планировки территории). Выбранная форма с графической подсказкой задаваемых значений отображается в правой части рамки.

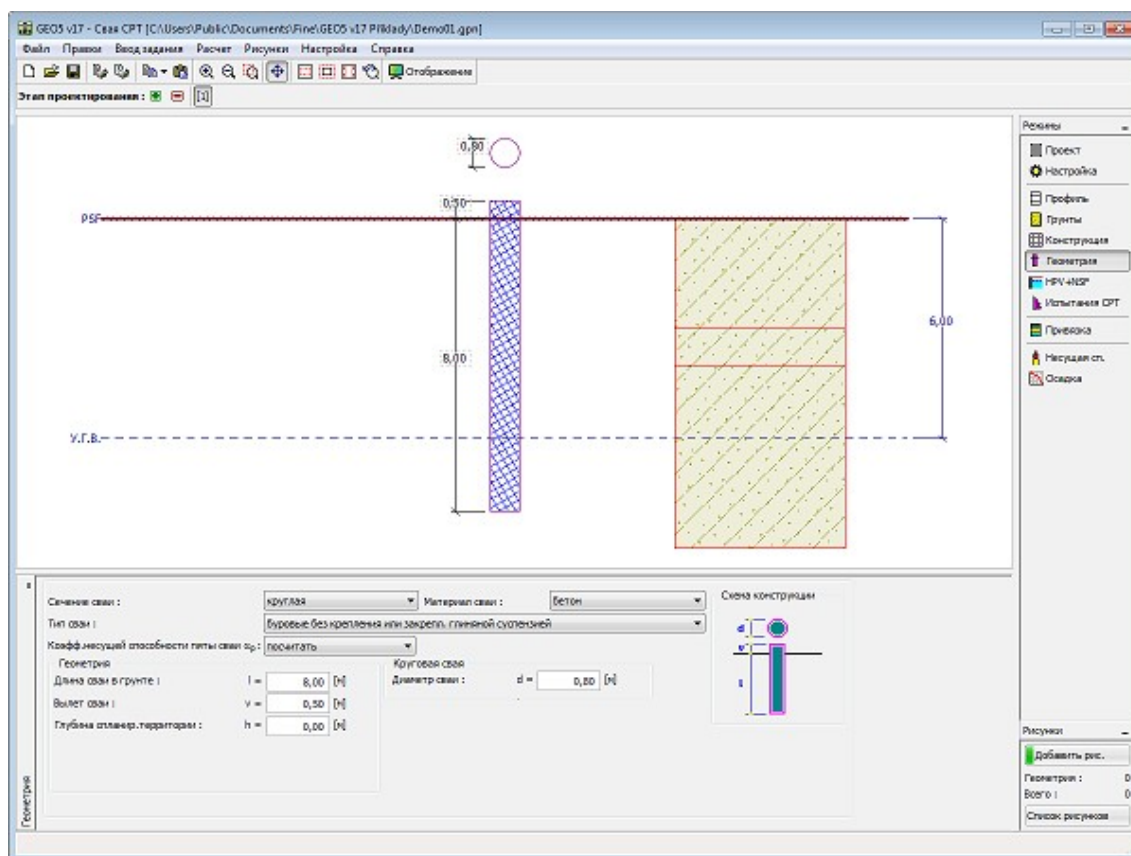
В случае, что до установки свай произошла планировка исходного рельефа, на котором выполнялись испытания СРТ, происходит **редукция** замеренных показаний сопротивления пенетрации в результате понижения геостатического напряжения.

В средней части рамки задаём **коэффициент несущей способности пятки сваи  $\alpha_p$** .

Коэффициент стандартно досчитывается автоматически в зависимости от типа сваи и окружающего её грунта.

При расчёте свай прямоугольного сечения вводят **коэффициент формы сваи  $s$**  для редукции несущей способности в пятке. При расчёте свай с расширенной пяткой вводят **коэффициент влияния расширенной пятки  $\beta$** , уточняющий несущую способность сваи в расширенной пятке.

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.



Рамка «Геометрия»

## Эффект планировки рельефа

В случае, что на исходном рельефе, на котором выполнялись испытания СРТ, произошла выемка грунта до установки свай, имеет место понижение замеренных показаний сопротивления пенетрации во всех точках испытания в результате понижения геостатического напряжения, а именно:

$$q_{c,i,red} = q_{c,i} \cdot \chi_i$$

где:

- $q_{c,i,red}$  - уменьшенное сопротивление пенетрации в i-слое
- $q_{c,i}$  - первоначальное сопротивление пенетрации i-слое
- $\chi_i$  - коэффициент редукции в i-слое

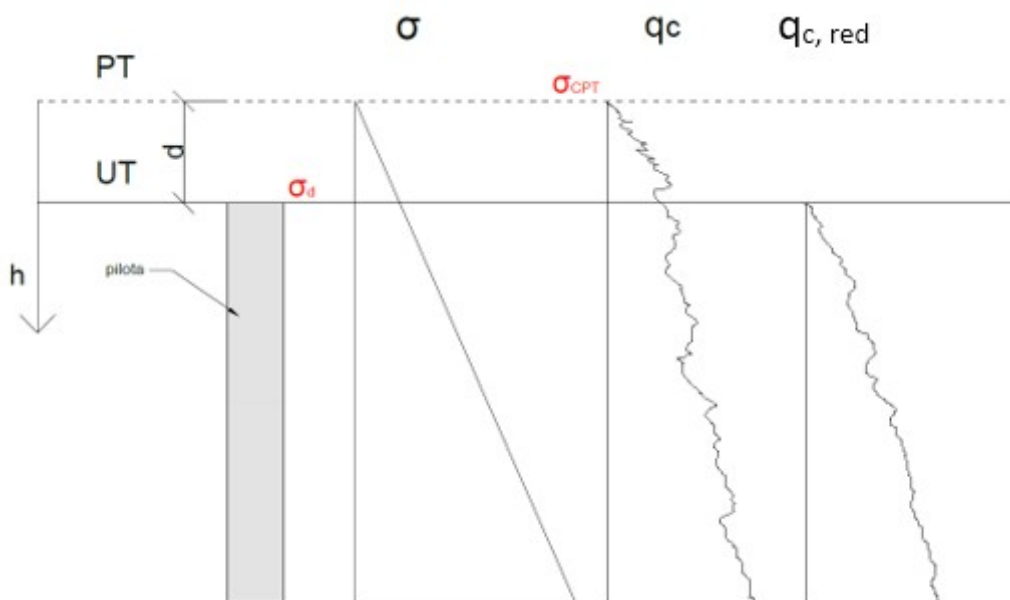
Коэффициент редукции  $\chi_i$  определяется следующим образом:

$$\chi_i = \frac{\sigma_{z,i} - \sigma_d + \sigma_{CPT}}{\sigma_{z,i}}$$

$$\chi \in (0,1)$$

Где:  $\sigma_{z,i}$  - первоначальное геостатическое напряжение в i-слое

- $\sigma_d$  - первоначальное геостатическое напряжение в месте спланированного рельефа (на глубине  $d$ )
- $\sigma_{CPT}$  - первоначальное геостатическое напряжение в месте первой точки испытания



*Редукция сопротивления пенетрации под влиянием планировки рельефа*

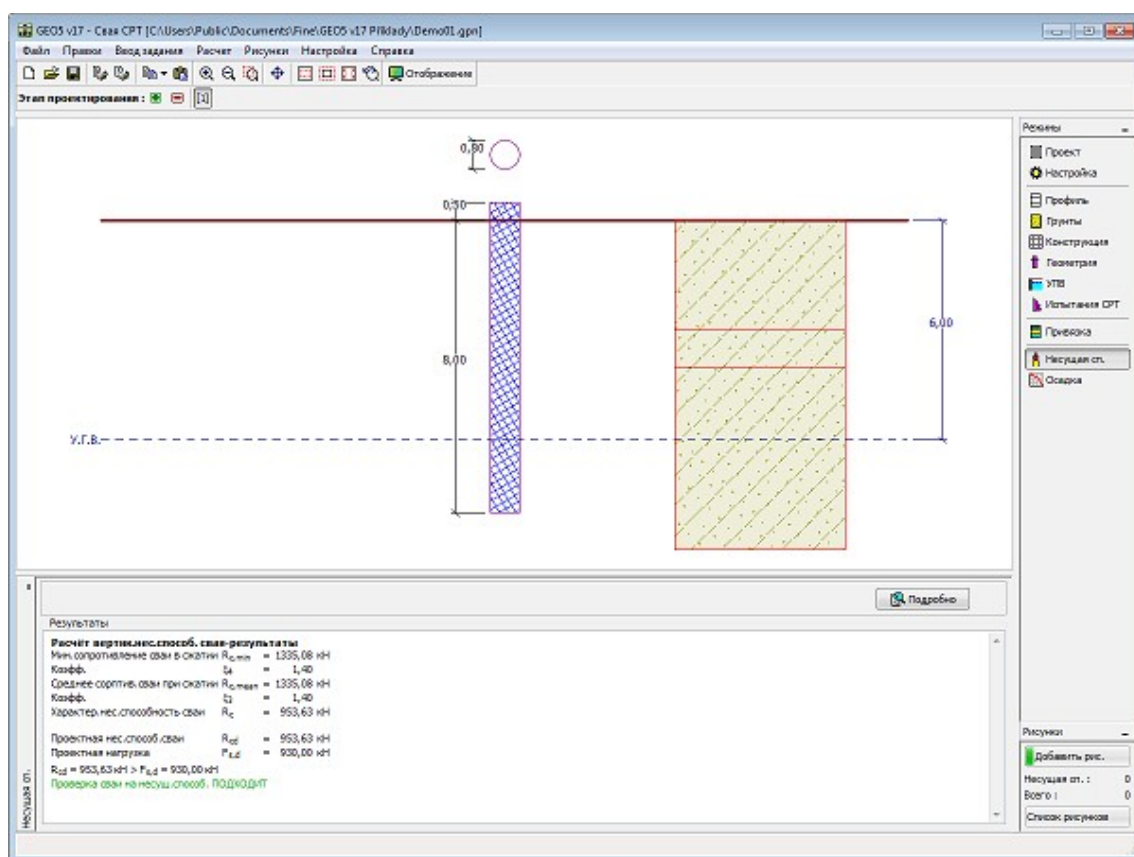
Если испытания CPT проводились на рельефе после его планировки, то редукция не происходит.

## Несущая способность

В рамке «Несущая способность» проверяется **вертикальная несущая способность свай**. Результаты расчёта отображены в нижней части рамки. Кнопка «Подробно» открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов проверки.

Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».





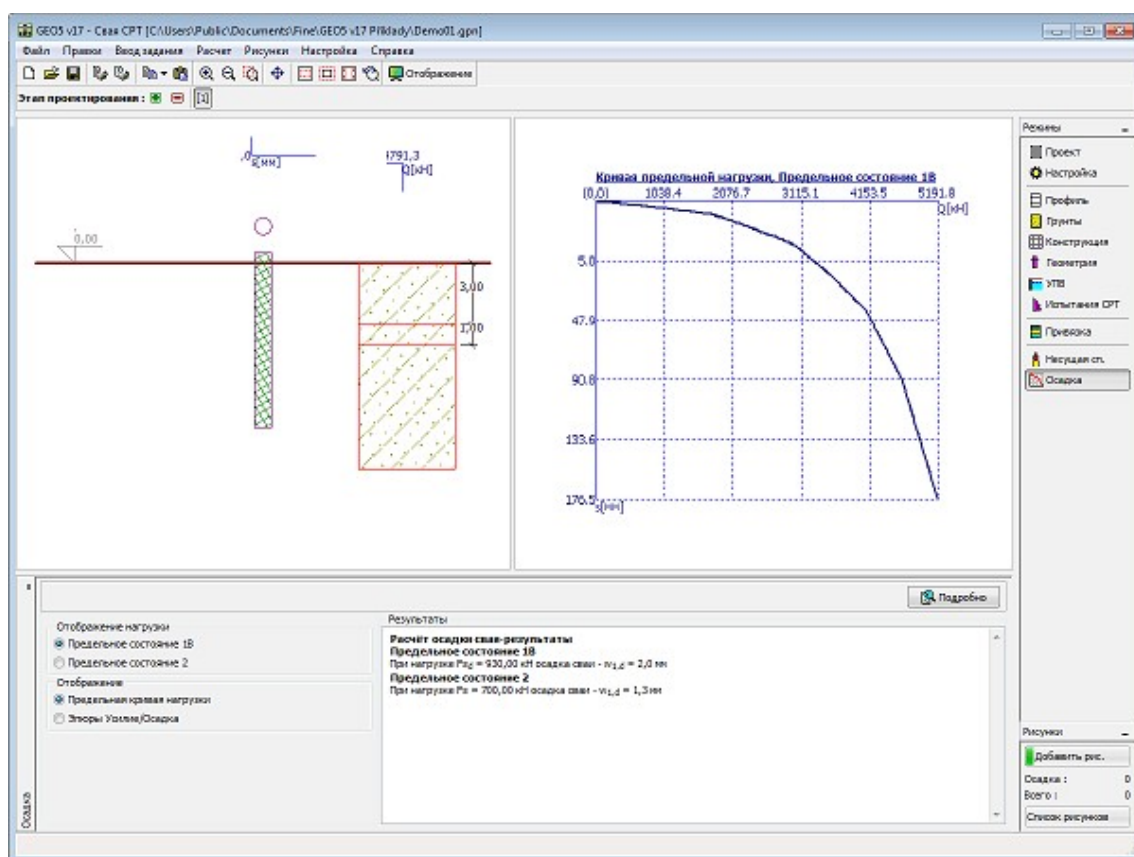
Рамка «Несущая способность»

## Осадка

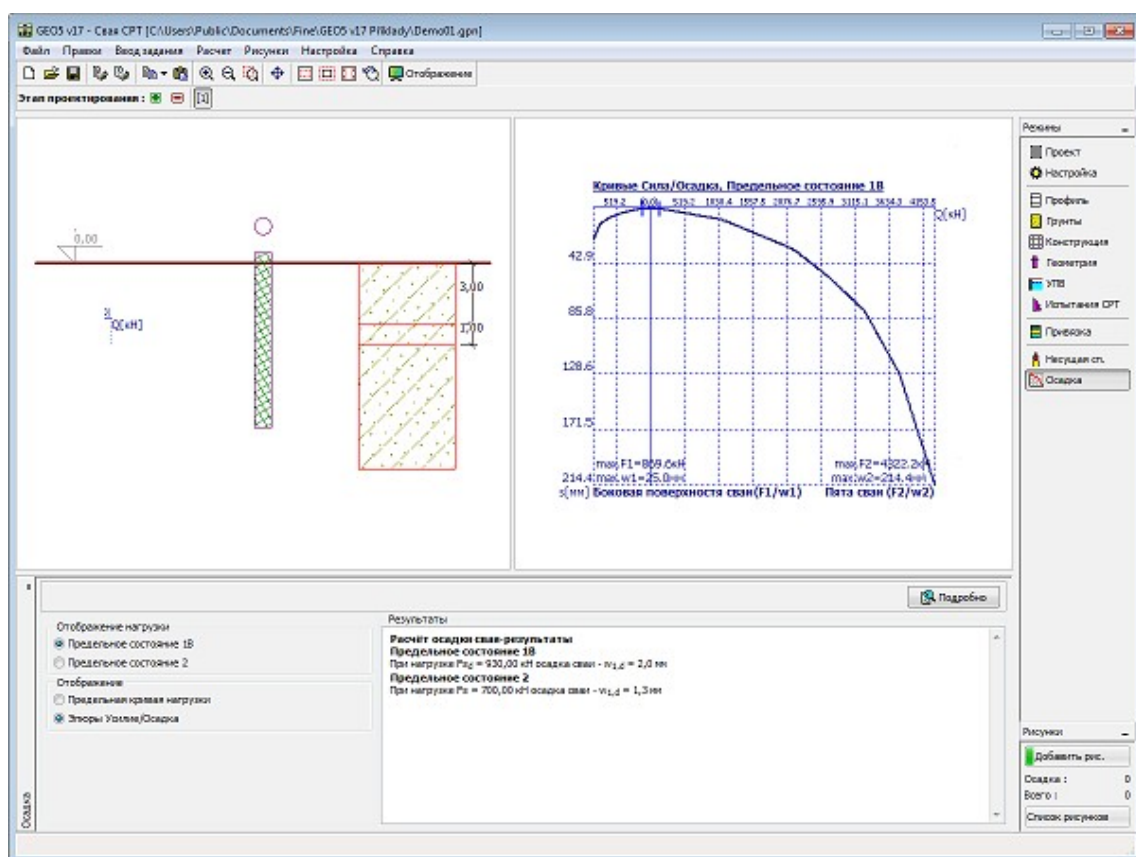
В рамке «**Осадка**» рассматривается осадка свай. Результаты расчёта отображены в правой нижней части рамки. Кнопка «**Подробнее**» открывает диалоговое окно, в котором находится подробная выписка результатов проверки.

При расчёте осадки по стандарту NEN6743 наряду с кривой предельной нагрузки вырисовывается кривая зависимости **сила/осадка**.

Результаты расчёта отображены в верхней части рамки. Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».



Рамка «Осадка» - Кривая предельной нагрузки



Рамка «Осадка» - Эпюры сила/осадка

## Программа Куст свай

Программа предназначена для расчёта куста свай с жёсткой фундаментальной плитой с помощью метода пружин (МКЭ) или аналитического решения. В общем нагрузка от куста свай приложена к центру фундаментальной плиты. Геологический профиль формируют горизонтальные пласты (слои) грунтов или пород. Сваи могут быть висячие, сваи-стойки или заделанные в подстилающий слой.

**Справка для программы «Куст свай» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

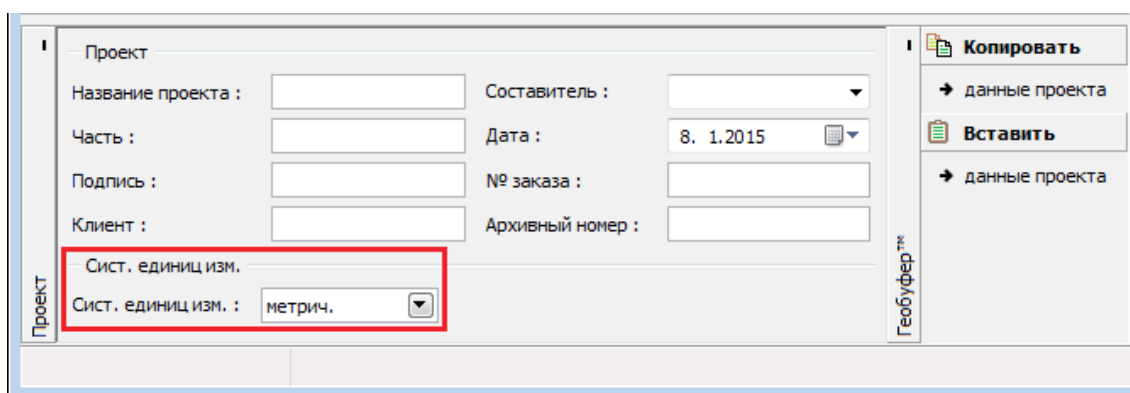
Проект	Настройка	Конструкции	Геометрия	Материал	Нагрузка	Профиль
Грунты	Привязка	Вода	Отрицательное боковое сопротивление	Вертикальный пружинный модуль	Горизонтальный пружинный модуль	Настройка этапа
Вертикальная несущая способность грунта	Осадка (связный грунт)	Осадка (несвязный грунт)	Расчёт (метод пружины)	Подбор размеров	Несущая способность	

- [Стандарты и методы расчёта](#)
- Теория расчётов в программе **«Куст свай»**:
  - [Напряжение в массиве грунта](#)
  - [Куст свай](#)
  - [Подбор размеров железобетонных конструкций](#)
- Справка относительно [результатов на выходе](#)
- Информация общего характера о работе в [пользовательской среде](#) программ GEO5
- [Общие операции ввода](#) для всех программ

## Проект

В [рамку «Проект»](#) задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой [текстовой и графической информации](#).

В рамке можно переключать системы единиц измерения ([метрическую / дюймовую](#)). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью [«Геобуфера»](#).



Рамка «Проект»

## Настройка

В [рамку «Настройка»](#) предназначена для ввода основных [«Настроек»](#) программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой **«Выбрать»** выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из [«Перечня настроек»](#).

Кнопка **«Администратор настройки»** открывает диалоговое окно [«Администратор](#)

**настройки**», в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

Кнопка **«Добавить в администратор»** позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка **«Править»** позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в **«Задано для текущей задачи»**. После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку **«Добавить в администратор»** и добавляем настройку в **«Администратор настройки»**.

Настройка **«Задано для текущей задачи»** обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладках **«Материалы и стандарты»**, и **«Куст свай»**.

В правой части рамки задают способ расчёта - **аналитический метод, метод пружины**, или метод пружины - микросваи.

**Для аналитического решения определяем тип подстилающего слоя:**

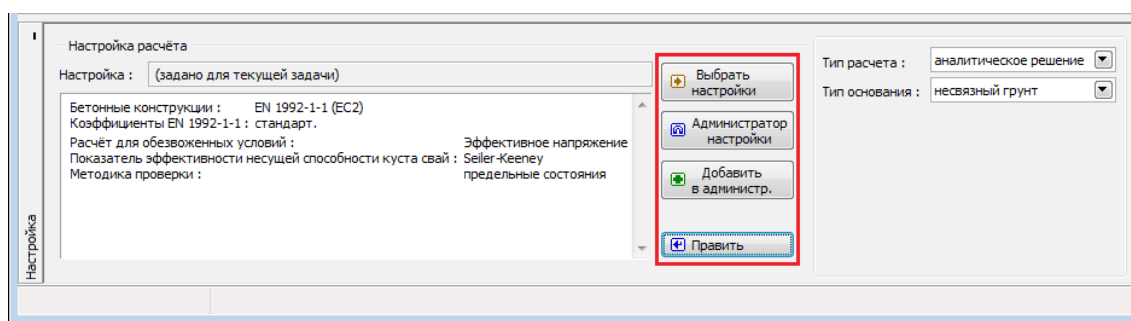
- **несвязный грунт** (расчёт для обезвоженных условий)
- **связный грунт** (расчёт для необезвоженных условий)

**Для метода пружин задают:**

- **посадка свай в подошве** (вертикальное воздействие свай)
- **присоединение свай к плите**
- **модуль реакции подстилающего слоя** (горизонтальное воздействие свай)

**Для метода пружин-микросваи задают:**

- **присоединение свай к плите**
- **модуль реакции подстилающего слоя** (горизонтальное воздействие свай)



Рамка «Настройка»

## Конструкция

В **рамку «Конструкция»** задают **размеры фундаментной плиты** в соответствии с данной схемой, **количество свай (микросвай)**, **диаметр свай** и расположение свай.



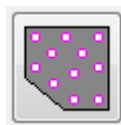
*Преднастройка конфигурации куста свай*

## Сваи

Сваи в кусте имеют одинаковый диаметр. Чтобы правильно спроектировать куст свай необходимо соблюдать следующие принципы конструирования по:

- числу свай в кусте (3 - 20)
- диаметру свай в кусте (от 0,3м до 4,0 м)
- межсоевому расстоянию свай в кусте ( $s = 1,5d$  до  $6d$ ) -  $d$  - это диаметр отдельных свай в кусте
- расстоянию края плиты фундамента до лицевой стороны крайних свай ( $o = 0$  до  $2d$ )

Если заданная геометрия куста свай не вписывается в какую-нибудь из преднастроенных вышепоказанных конфигураций, то программа позволяет пользователю задать **куст свай в общей форме**. Общую форму куста свай задают с помощью координат точек, или, нажав кнопку **«Геометрия конструкции»**, получают конструкцию, заданную с помощью размерных чисел, которую дальше можно отредактировать.



*Задание куста свай общей конфигурации*

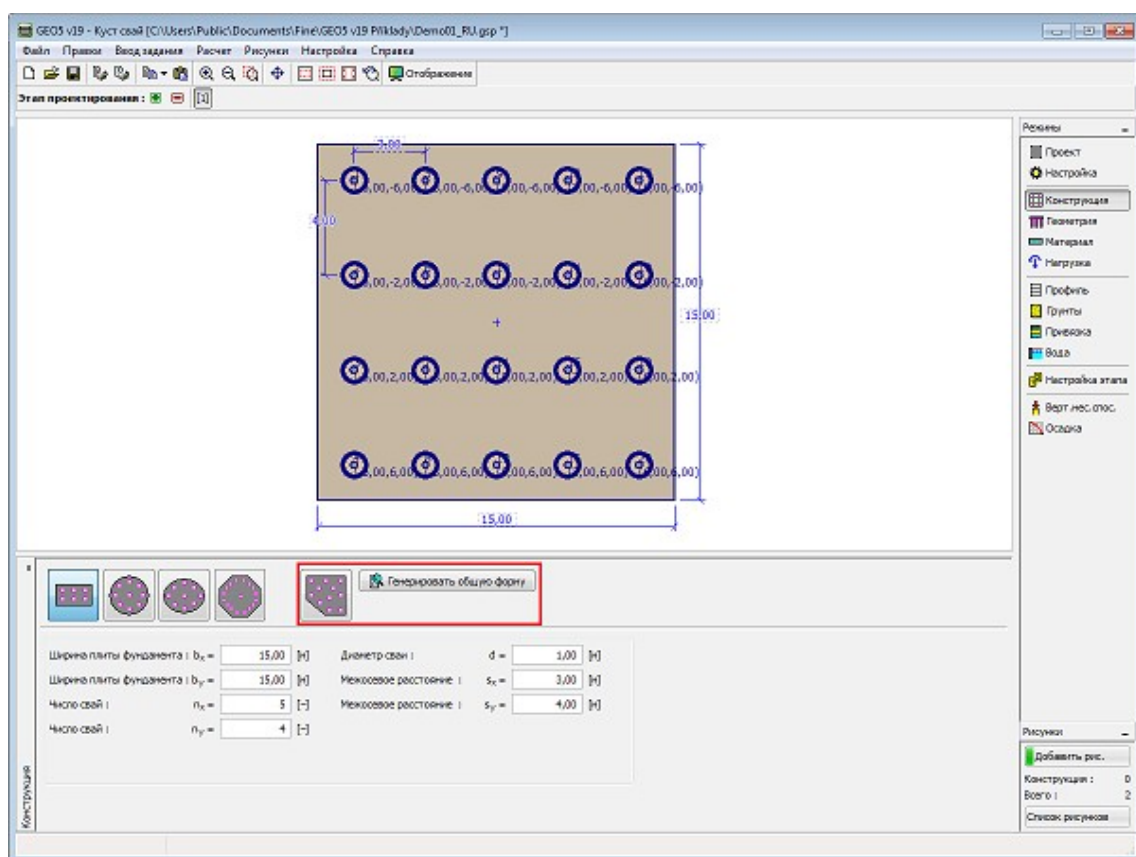
Для куста свай **общей формы** можно задавать отклонение отдельных свай от вертикальной оси  $\alpha$ . Наклонные сваи ( $\alpha \neq 0^\circ$ ) можно использовать только для численных расчётов по **методу пружины**. В **аналитических решениях** все сваи в расчёте принимаются вертикальными ( $\alpha = 0^\circ$ ). Отклонение свай в расчётах **вертикальной несущей способности**, или **осадки куста свай** не принимается во внимание.

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.

## Микросваи

У каждой отдельной сваи в кусте одинаковый диаметр. Чтобы правильно спроектировать куст свай необходимо соблюдать следующие принципы конструирования по:

- количеству микросвай в кусте (3 - 20)



Рамка «Конструкция»

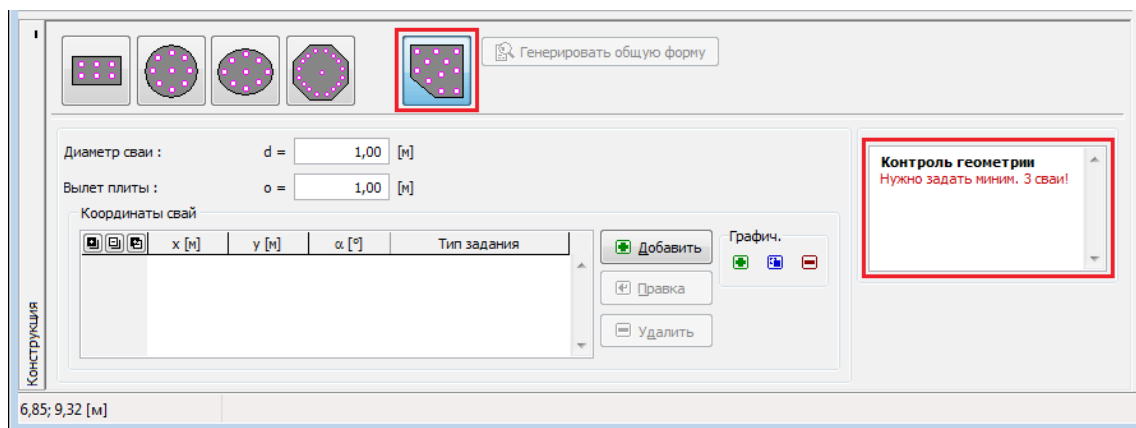
## Куст свай в общей форме

### Задание общей формы куста свай в новой задаче

Программа позволяет задавать общую форму куста свай двумя способами:

#### 1. Задание общей формы куста свай с помощью точек

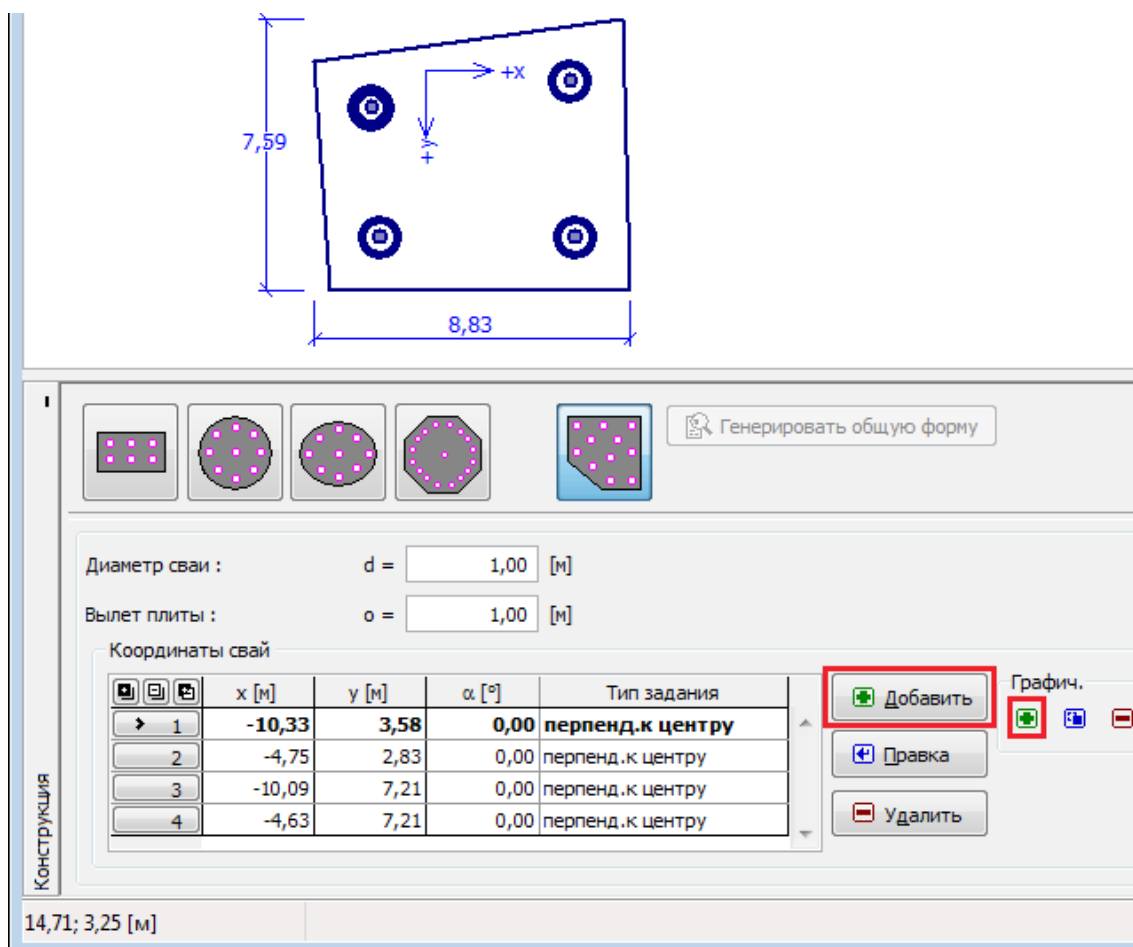
После клика на значок создания куста свай общей формы на горизонтальной строке программа убирает рабочий стол. В куст свай должны быть заданы минимально 3 сваи (при меньшем числе в рамке появляется сообщение об ошибке).



Рамка «Конструкция» - новое задание

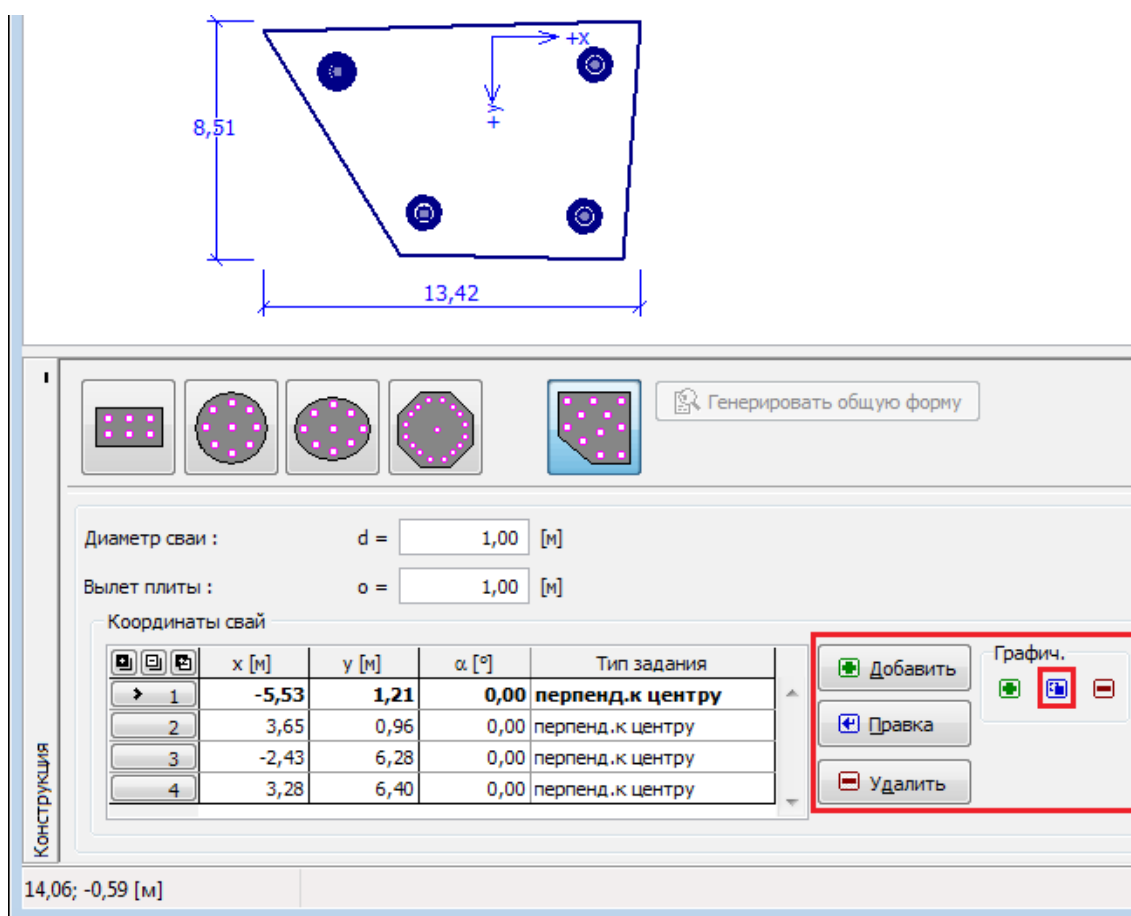


Кнопкой «**Добавить**», открываем диалоговое окно «**Новая точка**» и задаём координаты расположения центров свай в кусте (возможно графическое задание: кликами на рабочем столе курсором мыши).



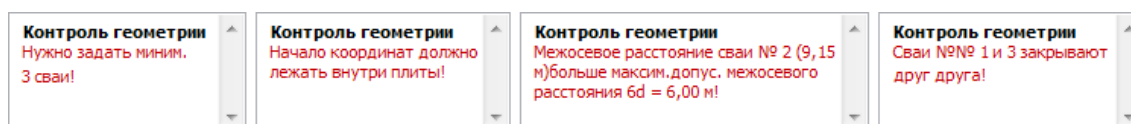
Рамка «Конструкция» - задание общей формы расположения куста свай с помощью точек

Заданные точки записываются в таблицу. Эти данные можно редактировать кнопкой «**Правка**», удалять кнопкой «**Удалить**» или непосредственно кликом на рабочий стол курсором мыши. Точки можно перемещать на рабочем столе курсором мыши, кликнув на специальный значок



Рамка «Конструкция» - правка точек

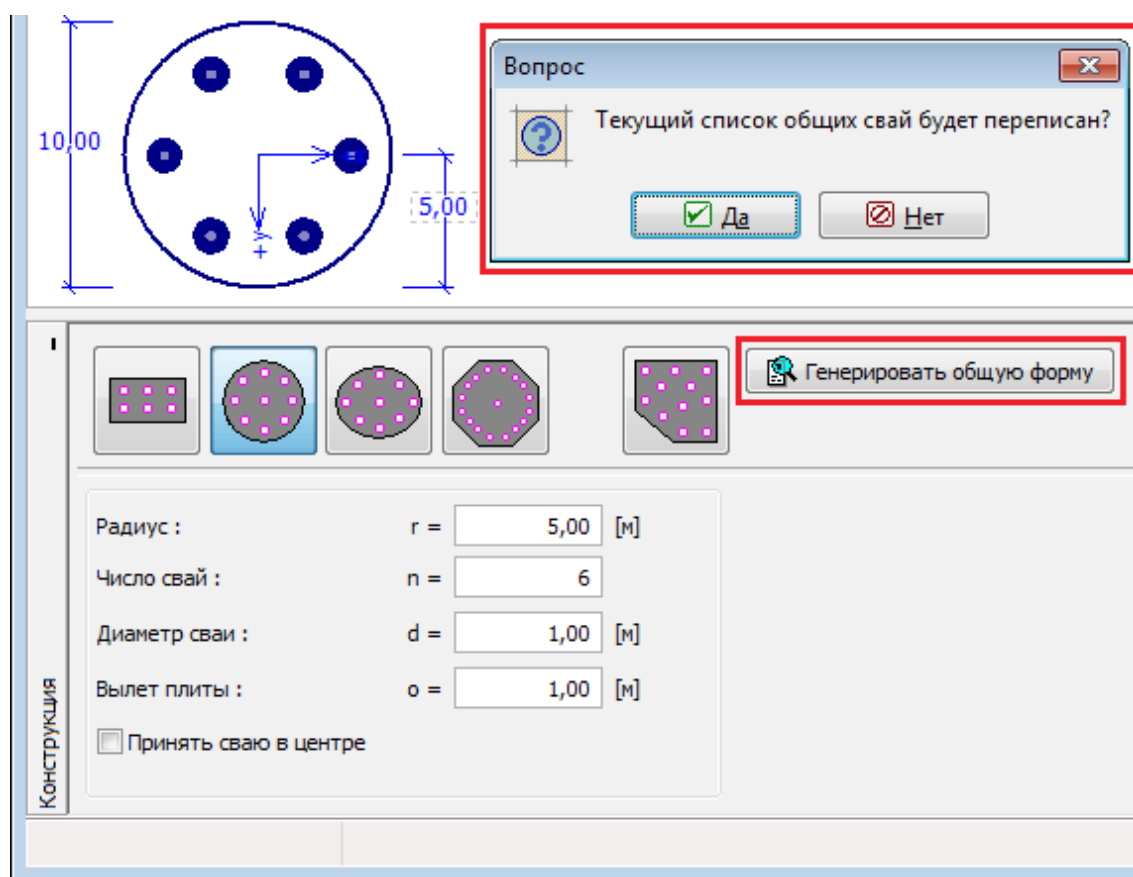
В куст свай должны входить не менее 3 сваи. При неправильном задании (превышение максимально допустимого межсвайного расстояния свай, сваи закрывают друг друга) программа контроля геометрии выдаёт пользователю сообщение об ошибке. Должна последовать корректировка схемы расположения свай в кусте.



Рамка «Конструкция» - сообщение об ошибке при задании куста свай

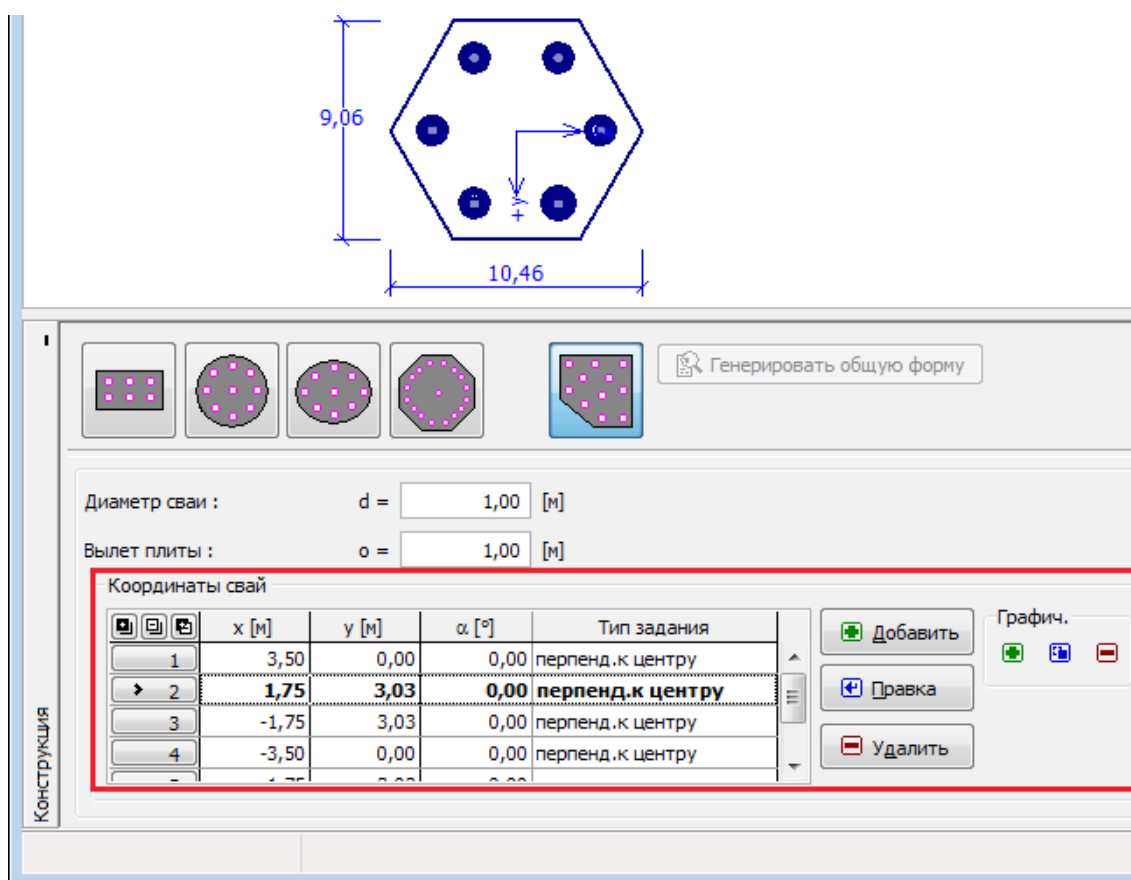
## 2. Задание общей формы куста свай с помощью генератора общей формы

Нажав кнопку «Генерировать общую форму», получаем конструкцию, заданную при помощи схемы конструкции и размеров конструкции, и вводим её в задание общей формы куста свай. Над вновь сгенерированными точками можно работать и сгенерированную форму куста свай отредактировать.



Рамка «Конструкция» - задание общей схемы куста свай с помощью генератора общей формы

Рамка меняет свой вид как в и первом случае задания общей формы куста свай. Со схемой расположения свай работаем таким же образом как было описано выше.



Рамка «Конструкция» - вид рамки после генерирования общей формы

## Геометрия

В **рамке «Геометрия»** задают параметры свай (микросвай). Вид рамки меняется в зависимости от настройки типа расчёта в рамке «**Настройка**» (метод пружины, аналитический метод, метод пружины-микросвай).

Для **метода пружины** и **аналитического метода** задают:

- глубину заложения
- вылет сваи
- толщину плиты фундамента
- длину свай

Для **метода пружины-микросвай** задают:

- толщину плиты фундамента
- длину микросвай
- диаметр корня микросвай
- длину корня
- сопротивление грунта основания - очень важный параметр, в большой степени влияющий на результаты расчёта - величина сопротивления грунта основания зависит не только от грунта основания, но также от технологии изготовления

конструкции и истории нагружения - от заданной нагрузки вычитаем нормальную силу  $N$  величина которой:

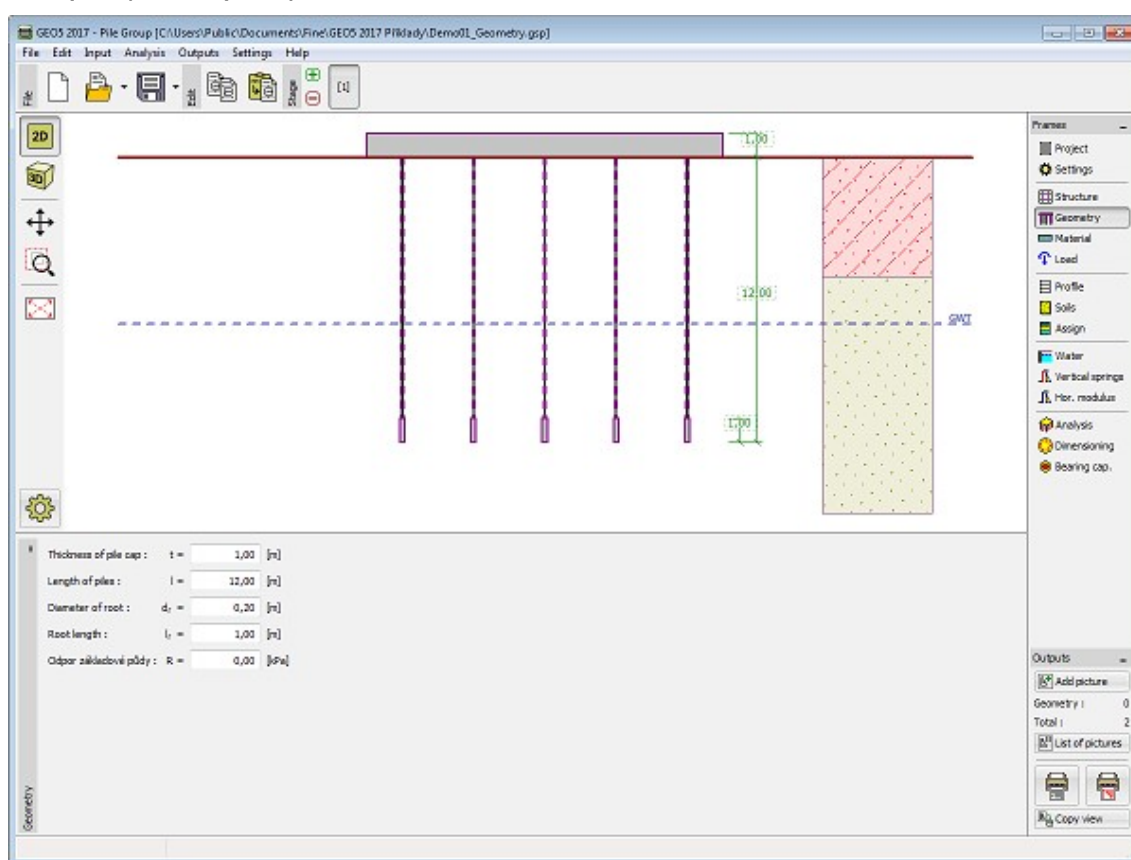
$$N = AR$$

где:  $A$  - площадь фундамента  
 $R$  - заданное сопротивление грунта основания

### Предельные значения сопротивления грунта

- заданное сопротивление равно нулю => вся нагрузка передаётся микросваям, грунт под фундаментом не принимается во внимание.
- заданное сопротивление больше, чем полная нагрузка и собственный вес плиты => микросваям вообще не передаётся нагрузка и осадка фундамента будет равна нулю.

Все сваи (микросваи) в кусте **всегда одинаковой длины**.



Рамка «Геометрия»

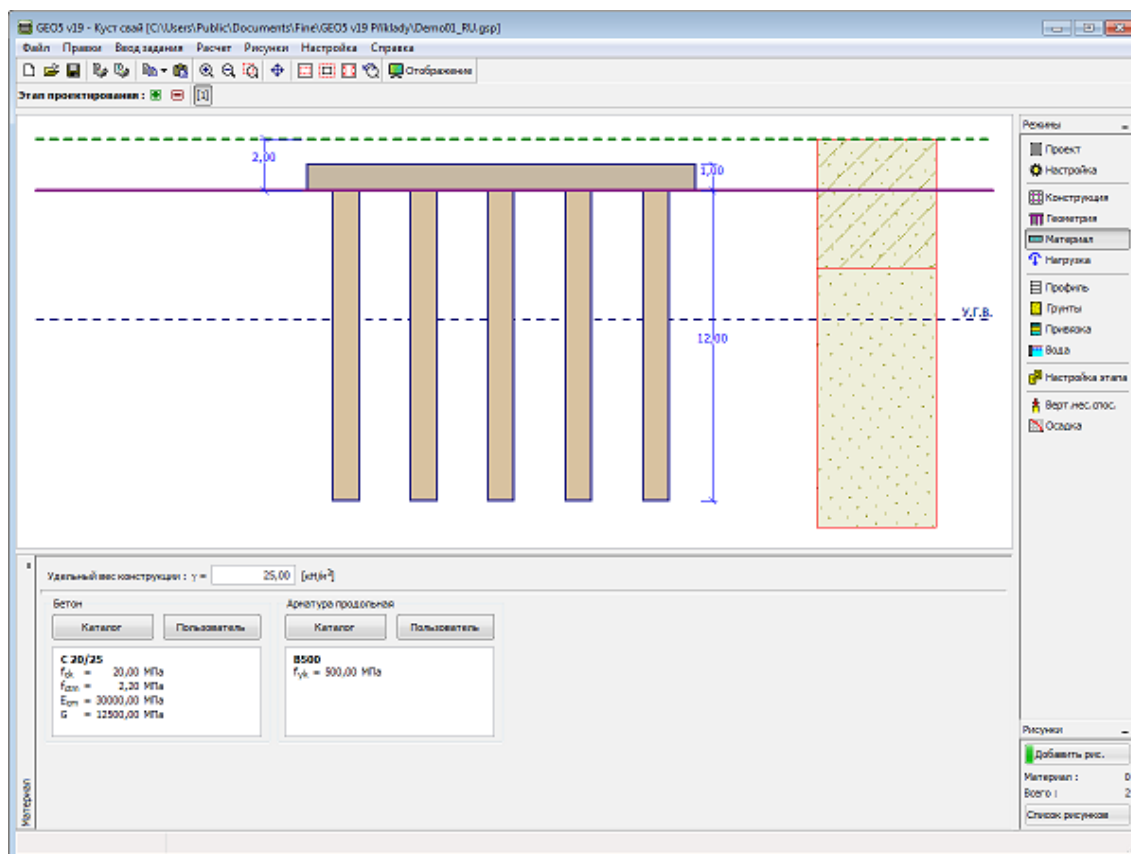
## Материал

В рамке «Материал» задают характеристики используемого материала.

При установке параметров материала можно использовать две опции:

- кнопкой «Каталог» открыть диалоговое окно «Каталог материалов» и из списка выбрать нужный материал.
- кнопкой «Пользователь» открыть диалоговое окно «Редактор материала» и ввести нужные характеристики материала вручную.

Содержимое каталогов меняется в соответствии с настройкой соответствующего стандарта по проектированию **бетонных** или **стальных** конструкций в закладке «**Материалы и стандарты**». В поле ввода в верхней части рамки задают объёмную силу тяжести конструкции.



Рамка «Материал»

## Нагрузка

В **рамке «Нагрузка»** находится **таблица** со списком заданных нагрузок. **Добавление** нагрузки выполняется в **диалоговом окне «Создать нагрузку»**. Силы задаются по конвенции, вырисованной в правой части диалогового окна.

Программа позволяет **импорт нагрузки** - для этого нажимаем кнопку «**Импорт**».

Заданная нагрузка куста свай действует на уровне верхнего основания плиты фундамента, на отметке [0,0]. Эту точку запрещено помещать вне плиты фундамента. Данные можно получить в **любой программе статического расчёта**.

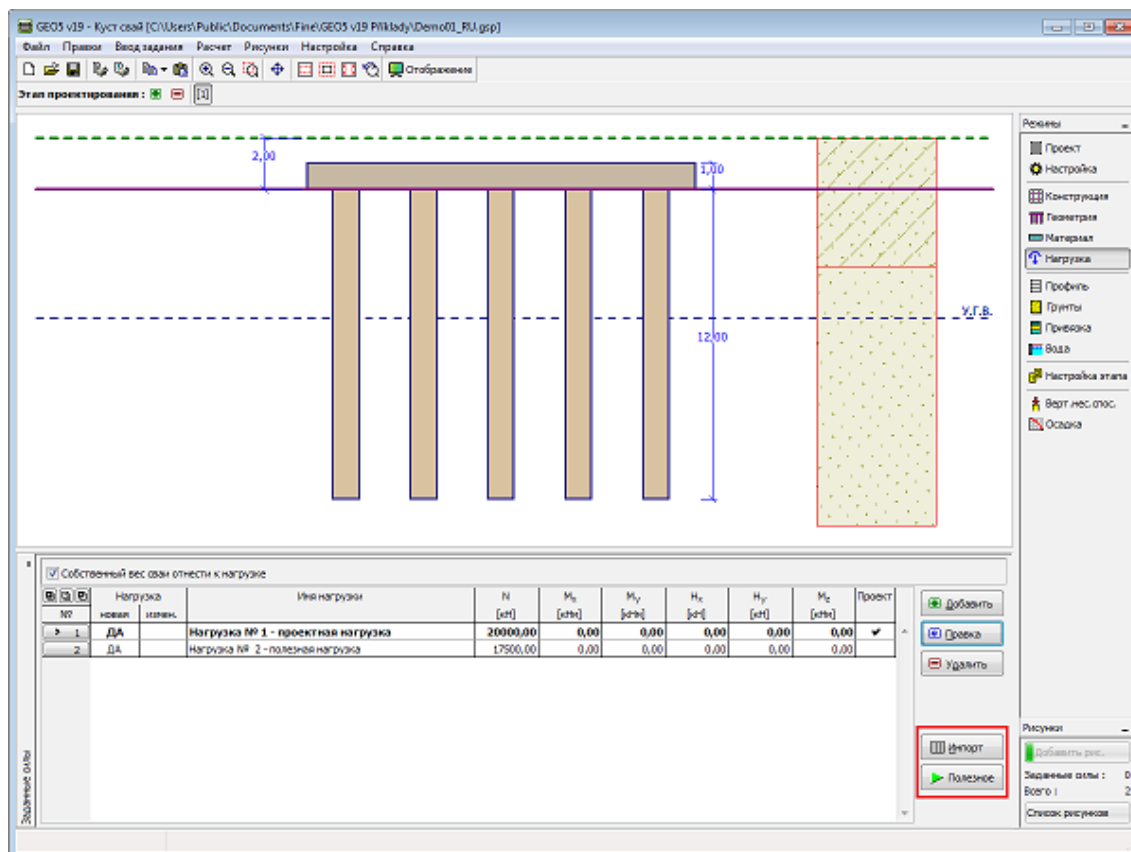
Программа автоматически добавляет **собственный вес плиты фундамента** к заданному нагружению. Программа позволяет также **рассчитать собственный вес свай до нагружения** (кнопка в левой части рабочего стола).

Собственный вес плиты фундамента  $G_{cap}$  программа вычисляет по формуле:

$$G_{cap} = A_{cap} t \gamma$$

где:  $A_{cap}$  – площадь основания плиты фундамента в плане [м<sup>2</sup>]

- $t$  - толщина плиты фундамента [м]  
 $\gamma$  удельный вес конструкции [ $\text{кН}/\text{м}^3$ ]



Рамка «Нагрузка»

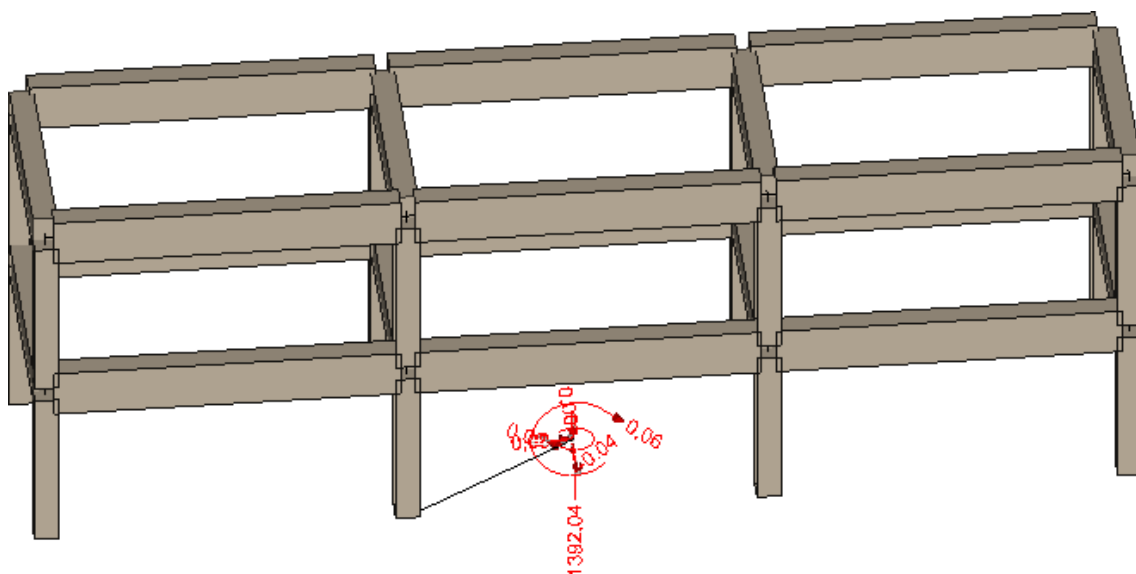
## Определение нагрузки на куст свай

На свайных фундаментах могут быть заложены опоры моста или любые другие конструкции наземных сооружений. Расчёт нагрузки на плиту может оказаться весьма сложным. Приложение нагрузки может действовать на нескольких местах, может быть сосредоточенной (колонна), линейной (стена), сплошной. Далее приводится порядок действий для несложного определения нагрузки в заданной точке при использовании любой статической программы.

1. В основу берём модель конструкции в статической программе
2. Если в **середине плиты фундамента** не определён узел, то его задаём.
3. В узел вводим граничное условие полного **защемления во всех 6 направлениях** (fixed, fixed, fixed, fixed, fixed, fixed)
4. Узел, который не находится на плите фундамента (стержневая модель) нужно соединить с помощью балки с самой конструкцией (жёсткость должна соответствовать жёсткости остальных элементов).
5. Отменяем **все граничные условия** на заданной модели кроме нового узла.
6. Выполняем расчёт - **реакции в узле соответствуют нагрузке**, заданной в программе «**Куст свай**» - возможно использование функции «импорт нагрузки».



**Примечание:** при наличии в конструкции **внутренних шарниров**, их необходимо заменить на жёсткое присоединение, чтобы статическая программа нашла решение.



Конструкция с моделью жёсткой опоры

Load - NotePad

File	Modify	Format	Display	Hint
G1+G2	0,00	0,00	1879,25	-0,05 0,08 0,00
W4:G1+G2	0,00	-162,00	1879,25	728,95 0,08 0,00
Q3:G1+G2	0,00	0,00	3499,25	1079,95 0,08 0,00
Q3:G1+G2+W4	0,00	-97,20	3499,25	1517,35 0,08 0,00
W4:G1+G2+Q3	0,00	-162,00	3013,25	1484,95 0,08 0,00
G1+G2	0,00	0,00	1392,04	-0,04 0,06 0,00
W4:G1+G2	0,00	-108,00	1392,04	485,96 0,06 0,00
Q3:G1+G2	0,00	0,00	2472,04	719,96 0,06 0,00
Q3:G1+G2+W4	0,00	-64,80	2472,04	1011,56 0,06 0,00
W4:G1+G2+Q3	0,00	-108,00	2148,04	989,96 0,06 0,00

Реакции в опоре готовые для импорта в программу «Куст свай»

Consider the self weight of pile

Load No.	new	change	Load name	N [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	H <sub>x</sub> [kN]	H <sub>y</sub> [kN]	M <sub>z</sub> [kNm]	Design
1	YES		2_W4:G1+G2 (2)	0,00	-162,00	1879,25	728,95	0,08	0,00	✓
2	YES		3_Q3:G1+G2 (3)	0,00	0,00	3499,25	1079,95	0,08	0,00	✓
3	YES		4_Q3:G1+G2+W4 (4)	0,00	-97,20	3499,25	1517,35	0,08	0,00	✓
4	YES		5_W4:G1+G2+Q3 (5)	0,00	-162,00	3013,25	1484,95	0,08	0,00	✓
5	YES		1_G1+G2 (6)	0,00	0,00	1392,04	-0,04	0,06	0,00	✓
6	YES		2_W4:G1+G2 (7)	0,00	-108,00	1392,04	485,96	0,06	0,00	✓
7	YES		3_Q3:G1+G2 (8)	0,00	0,00	2472,04	719,96	0,06	0,00	✓
8	YES		4_Q3:G1+G2+W4 (9)	0,00	-64,80	2472,04	1011,56	0,06	0,00	✓
9	YES		5_W4:G1+G2+Q3 (10)	0,00	-108,00	2148,04	989,96	0,06	0,00	✓

Buttons: Add, Edit, Remove, Import, Service

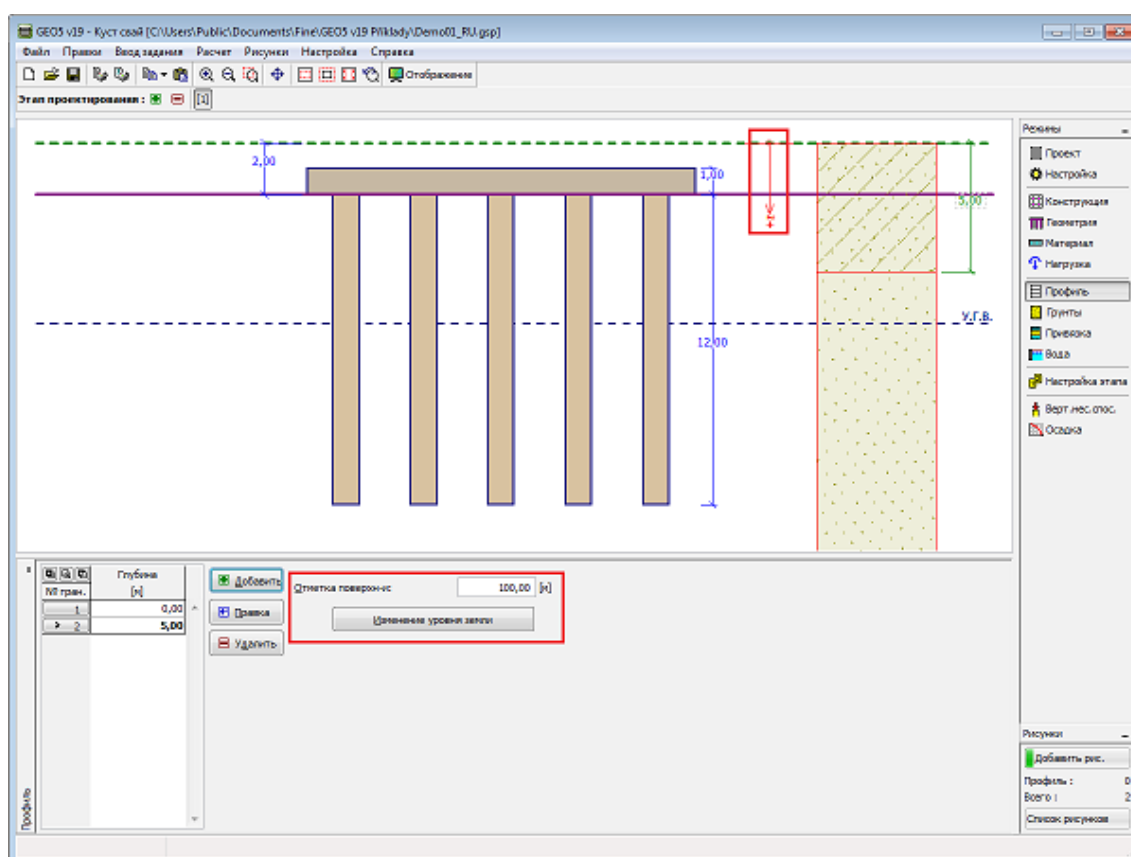
*Импортные данные нагрузки в программе «Куст свай» в рамке «Нагрузка»*

## Профиль

В рамке «**Профиль**» есть **таблица** со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

**Добавление** границы выполняется в **диалоговом окне «Создать границу контура»**.  
Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне «**Изменение уровня земли**» и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы «**Рельеф**».



*Рамка «Профиль»*

## Грунты

В рамке «**Грунты**» есть **таблица** со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. Если в таблице выбрано несколько грунтов, то информация по отдельным грунтам упорядочена в последовательном порядке.

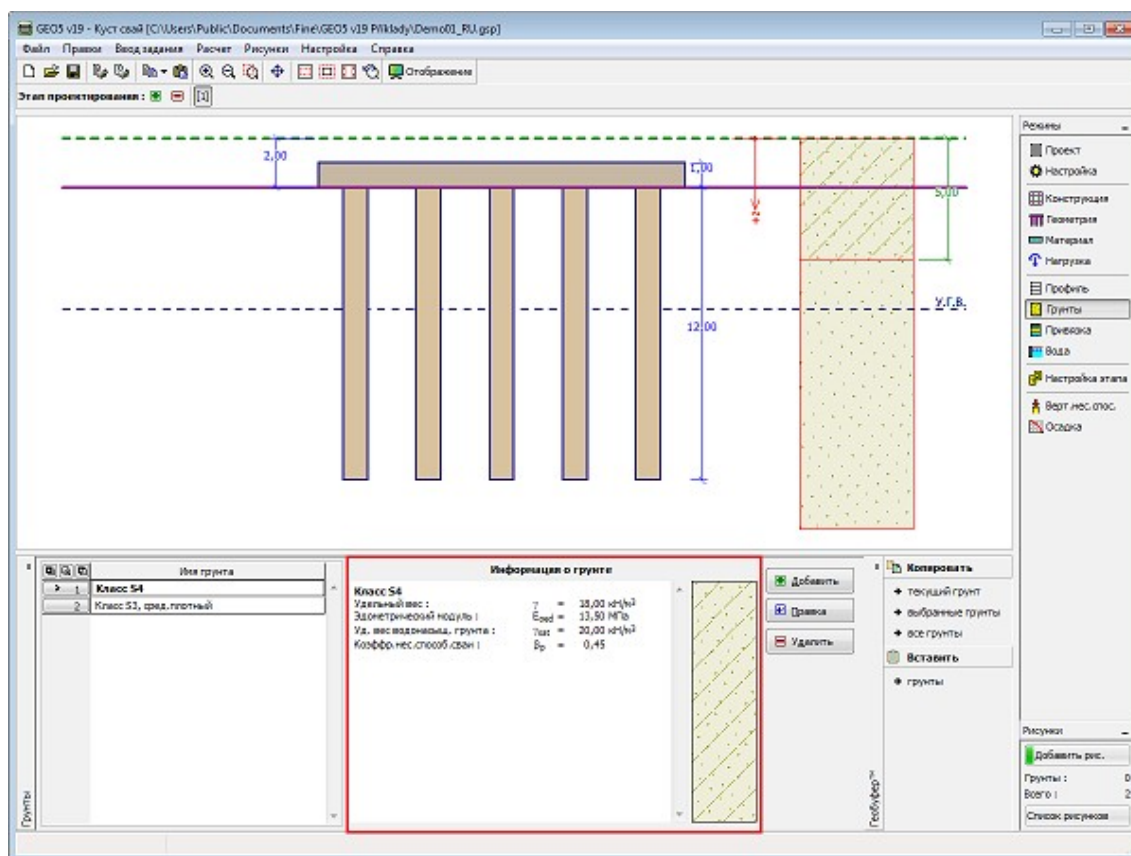
**Добавление** грунта проводится в **диалоговом окне «Добавление новых грунтов»**.

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в

следующих разделах «**Базовые данные**», «**Подъёмная сила**», «**Осадка**» и «**Горизонтальная устойчивость**».

Дальше задают параметры в зависимости от настройки в рамке «**Настройка**» и закладке «**Куст свай**».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «**Геобуфера**».



Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать **базу данных грунтов** по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

Расчёты «**Куст свай**» выполняются в зависимости от выбора типа основания. Для

- **несвязного грунта**: стандартно используются **эффективные** параметры сопротивления сдвигу грунтов  $c_{ef}$ ,  $\varphi_{ef}$
- **связного грунта**: в программу задают только значение **полного** сцепления грунта  $c_u$ , с помощью которого определяют вертикальную несущую способность куста свай

(или блока грунта)

Дальше задают параметры в зависимости от настройки в рамке «**Настройка**» и закладке «**Куст свай**».

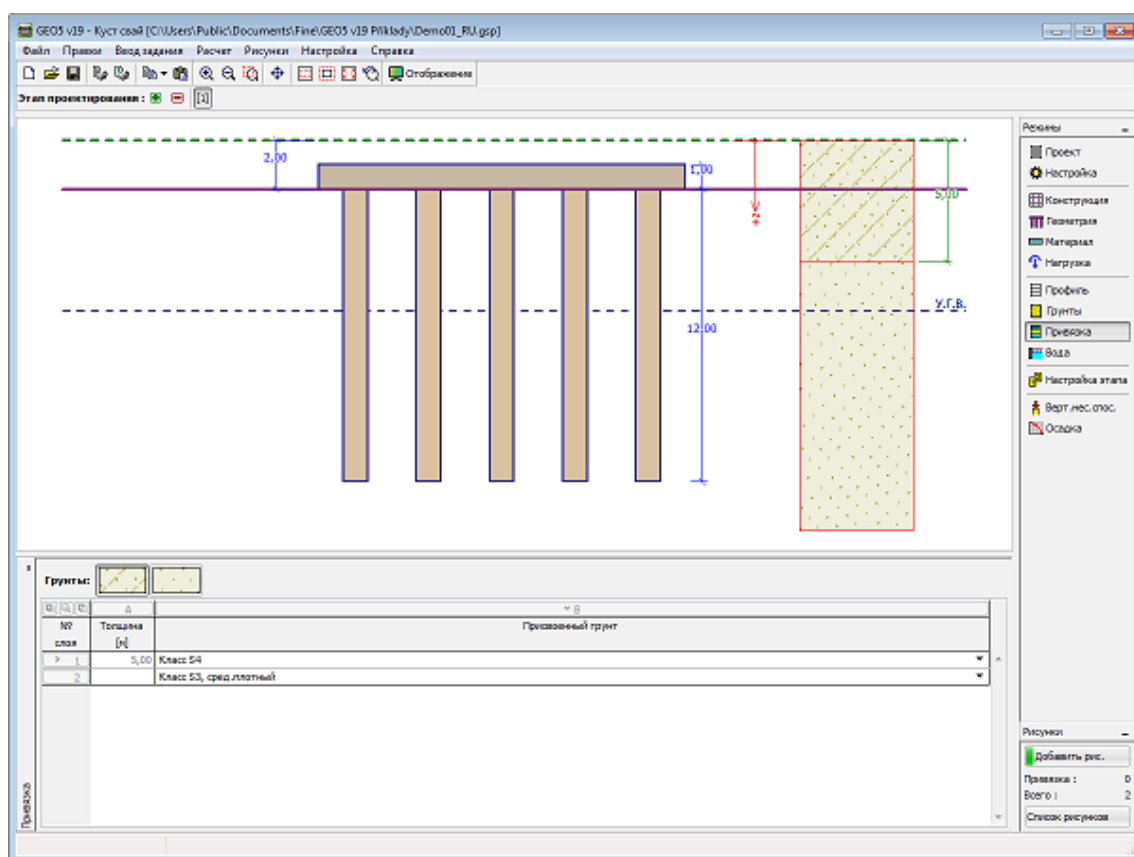
Соответствующая теория подробно описана в главе «**Куст свай**».

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В рамке «**Привязка**» есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).



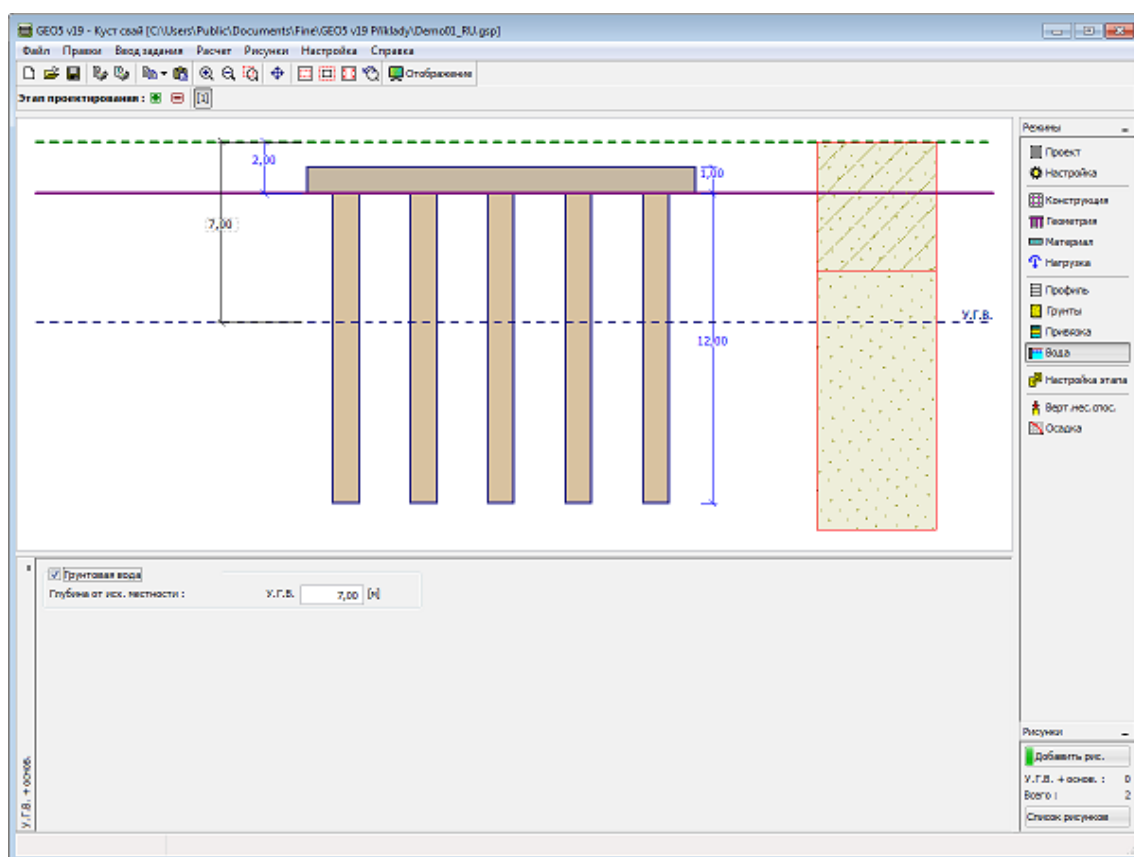
Рамка «Привязка»

## Вода

В рамке «Вода» задают **глубину уровня грунтовой воды**.

Значения можно редактировать или в рамке в поле ввода данных, или на рабочем столе с помощью **активных отметок**.

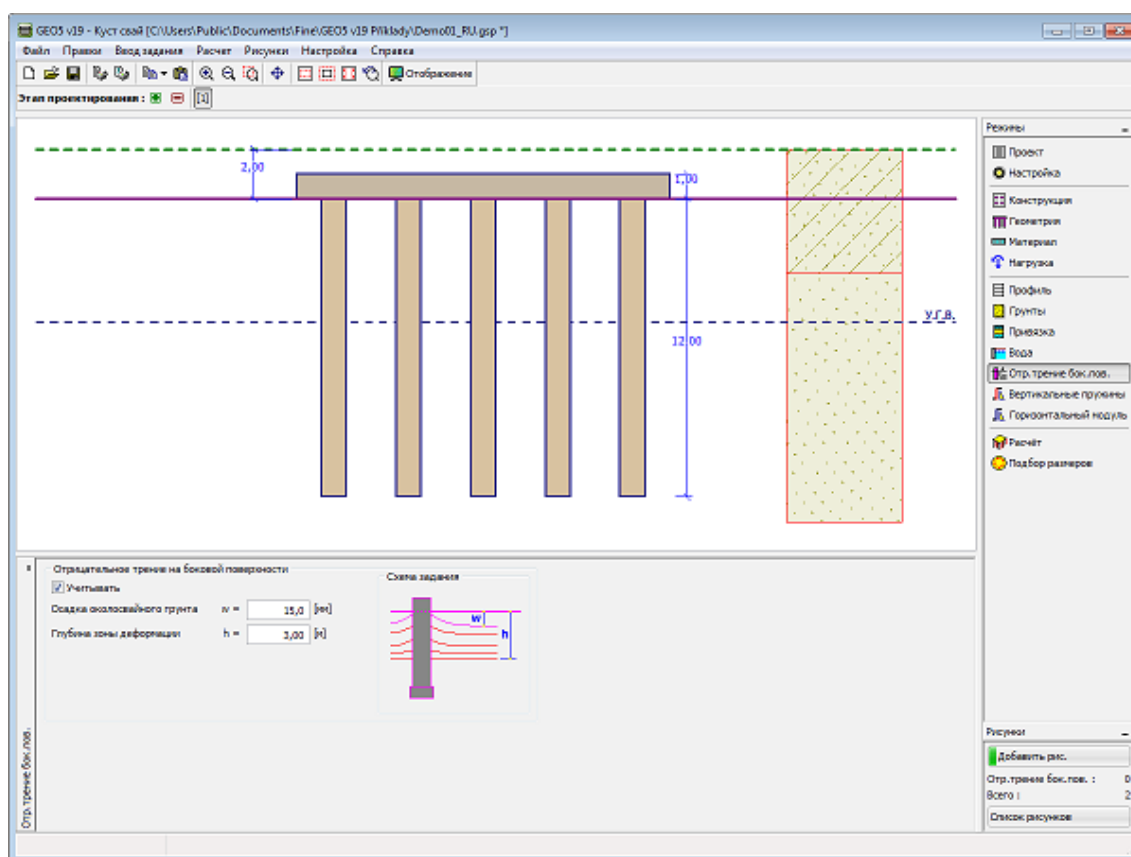
**Влияние воды** сказывается в изменении **геостатического напряжения**.



Рамка «Вода»

## Отрицательное боковое сопротивление

В рамке «**Отрицательное боковое сопротивление**» задают осадку окружающего грунта и глубину зоны деформации. Способ учёта влияния отрицательного сопротивления боковой поверхности сваи описан в теоретическом разделе.



Рамка «Отрицательное боковое сопротивление»

## Вертикальные пружины

Рамка «**Вертикальные пружины**» будет активной только при расчёте висячих свай. Заданные пружины отображены в [таблице](#).

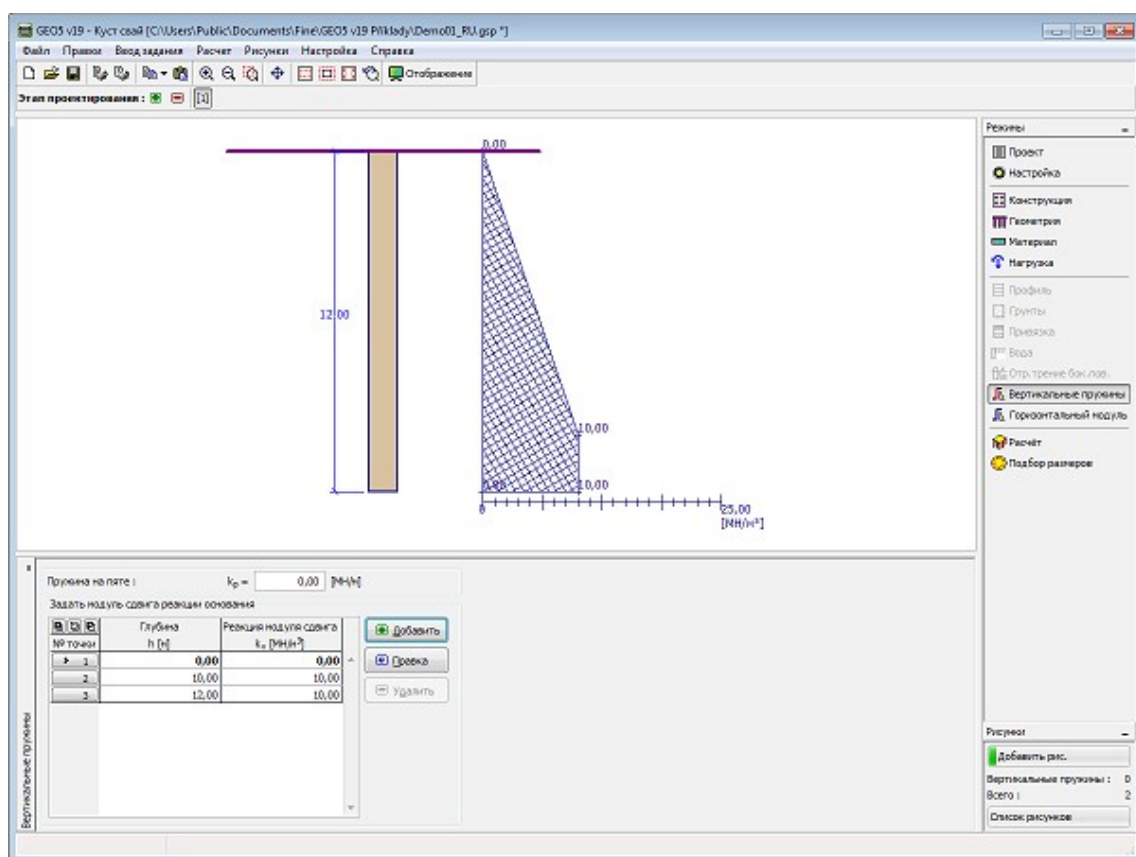
Выбираем «**задать жёсткость пружин**» и задаём:

- Пружина на пятке сваи [ $MH/M$ ]
- Модуль сдвига реакции основания вдоль длины сваи [ $MH/M^3$ ].

Заданные значения одинаковы для всех свай в кусте. В самом расчёте вертикальные жёсткости крайних и внутренних свай куста подвергаются **редукции** соответствующими коэффициентами.

Выбираем «**жёсткость пружин вычислить из параметров грунтов**» и задаём **типичную нагрузку** для расчёта жёсткостей пружин.



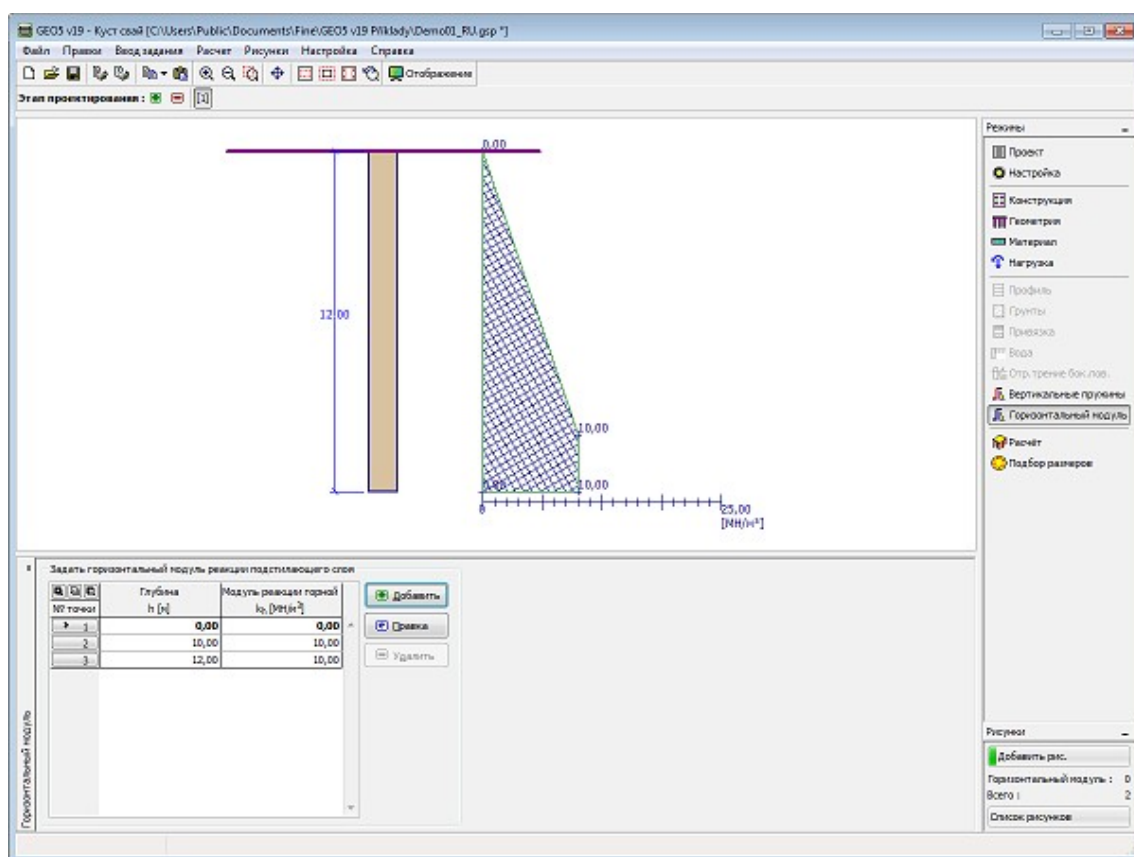


Рамка «Вертикальные пружины»

## Горизонтальный модуль

В **рамку «Горизонтальный модуль»** задают горизонтальный модуль реакции основания, характеризующий поведение сваи в горизонтальном направлении.

**Заданные** значения модуля реакции основания на заданной глубине профиля отображаются в **таблице**.

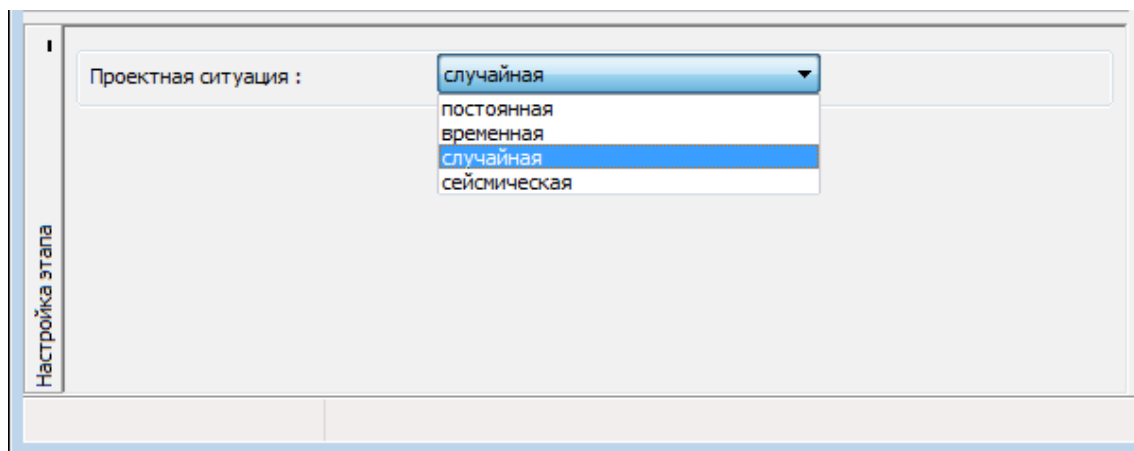


Рамка «Горизонтальный модуль»

## Настройка этапа

В **рамку «Настройка этапа»** задают настройку расчёта, которая действует для текущего этапа проектирования.

Выбор **проектной ситуации** определит с какими коэффициентами запаса будет выполнен расчёт соответствующего этапа проектирования.



Рамка «Настройка этапа»

## Вертикальная несущая способность - аналитическое решение

В рамке «Вертикальная несущая способность» проверяется вертикальная несущая способность куста свай. В рамке можно выполнять **несколько расчётов**.

Проверять можно отдельные сочетания нагрузок или же программа находит **нагрузку с максимальным эффектом** (выбираем в выпадающем списке).

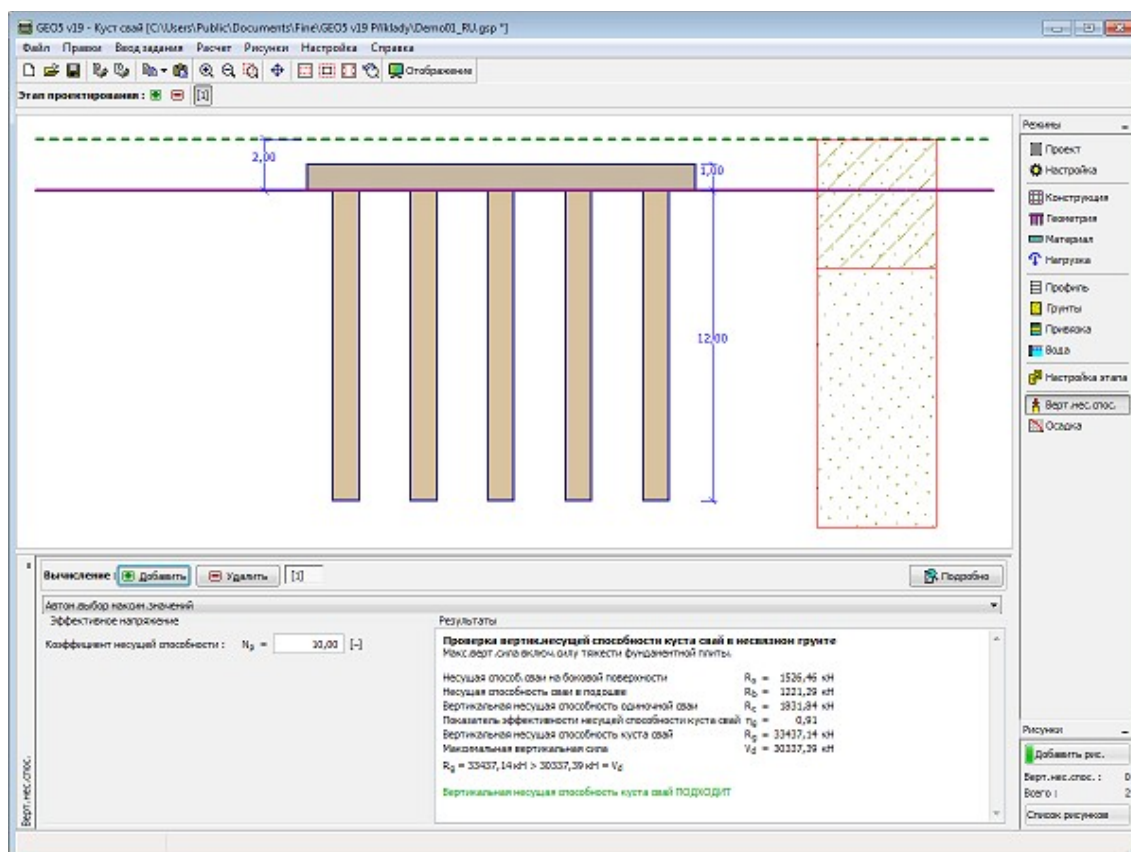
Расчёт выполняется по теории заданной в рамке «Настройка» (аналитическое решение):

- для **связного грунта** (необезвоженные условия) - расчёт несущей способности блока грунта по FHWA
- для **несвязного грунта** (обезвоженные условия) - NAVFAC DM 7.2, Эффективное напряжение, CSN 73 1002

Параметры необходимые для расчёта куста свай по отдельным методам вводим в левой части рамки.

Проверка выполняется по методике заданной в закладке «Куст свай» (коэффициенты запаса, предельные состояния, EN 1997-1).

Кнопка «**Подробно**» открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов проверки. Результаты расчёта отображаются в правой части рабочего стола.

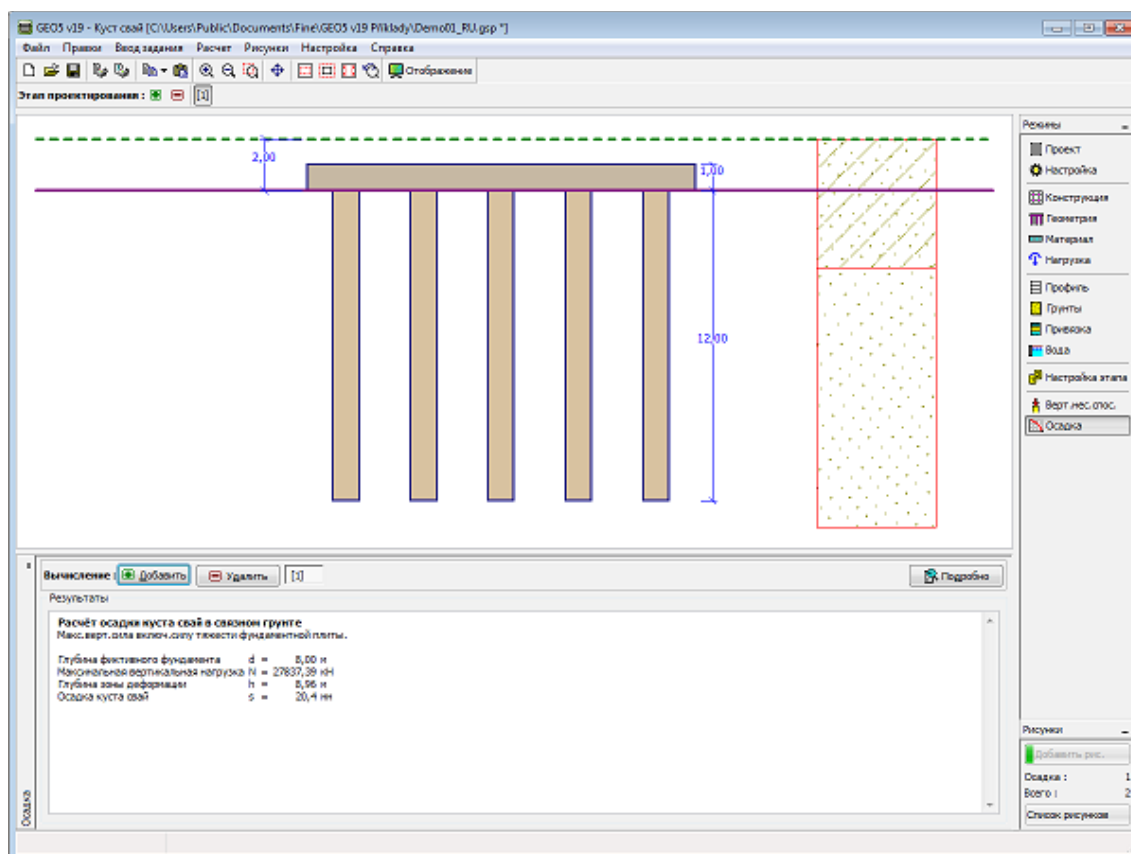


Рамка «Вертикальная несущая способность» - аналитическое решение

## Осадка - связный грунт

В **рамке** производится расчёт «**Осадка**» куста свай в связных грунтах. Расчёт **осадки** выполнен в соответствии с выбранной теорией расчёта осадки в закладке «**Куст свай**». Результаты расчёта отображены в нижней части рабочего стола.

Кнопка «**Подробнее**» открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов проверки.



Рамка «Осадка» - связный грунт

## Осадка - несвязный грунт (кривая нагрузки)

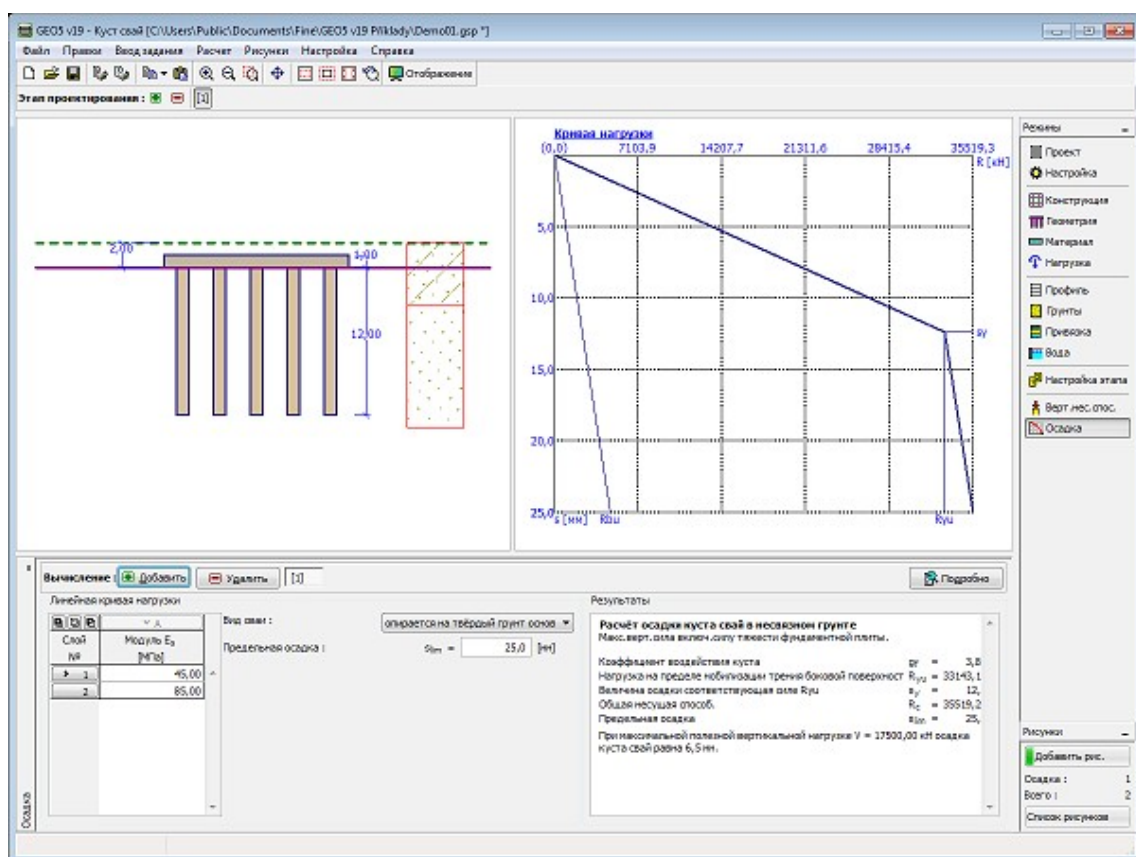
В **рамке** «**Осадка**» отображается **линейная кривая нагрузки** для осадки куста свай в **несвязном грунте**. В рамке можно выполнять **несколько расчётов**.

Расчёт кривой нагрузки куста свай выполняется всегда для заданной **предельной осадки**.

В левой нижней части рамки находится таблица, в которую вводят значение **секущих модулей деформации** для конкретных слоёв грунта.

**Результаты расчёта** отображены в правой части рамки. Кнопка «**Подробнее**» открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов проверки.

Результаты расчёта (кривая нагрузки куста свай) отображаются в правой части рабочего стола.



Рамка «Осадка» - несвязный грунт (кривая нагрузки)

## Расчёт - метод пружины

В этой **рамке** производится расчёт куста свай с помощью **метода пружины**. Нажимаем кнопку **«Расчёт»**.

После выполнения расчёта в правой части рамки (**«Результаты»**) будет отображена информация о **максимальных внутренних силах, деформациях и развороте конструкции**. Отображённые деформации конструкции рассчитаны только для полезных нагрузок. Кнопка **«Подробно»** открывает диалоговое окно с выпиской подробных результатов проверки.

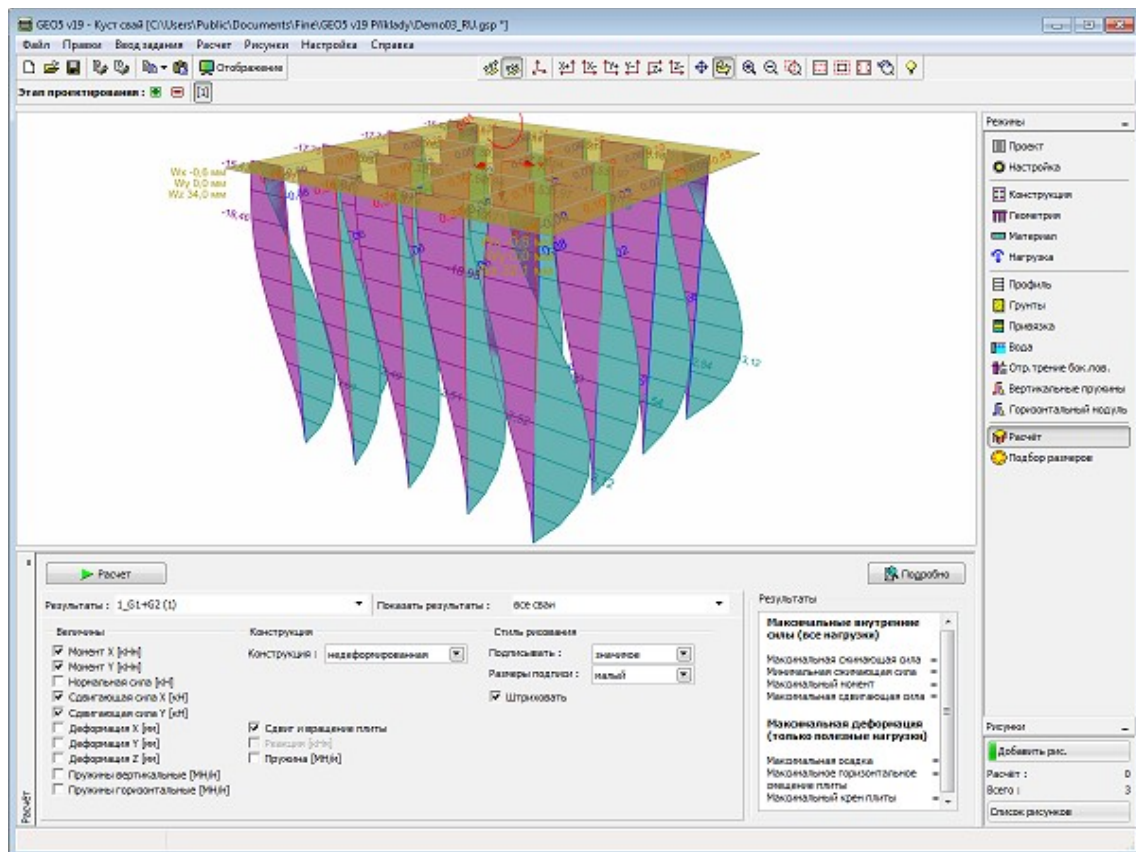
В левой части рамки можно задать вид отображения на экране:

- **Результаты** - можно отображать результаты по отдельным сочетаниям нагрузок или по их огибающей
- **Отобразить результаты** - результаты можно отобразить, или по всем, или по отдельным сваям
- **Величины** - отображение значений отдельных величин (моменты, нормальные и сдвигающие силы, деформации, пружины.....)
- **Конструкция** - позволяет отобразить деформации конструкции (для огибающих по сочетаниям нагрузок будет отображена только конструкция без деформаций), далее отобразить размеры деформаций плиты, реакции и размеры пружин в пятке свай.
- **Стиль рисования** - определяет способ описания отображённых результатов

Изображение результатов можно в любое время добавить в **«Список рисунков»**, и

использовать в протоколе расчёта.

Разворот, увеличение, освещение конструкции можно менять с помощью панели «Управление рисунком». Изображение рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».



Рамка «Расчёт» - метод пружины

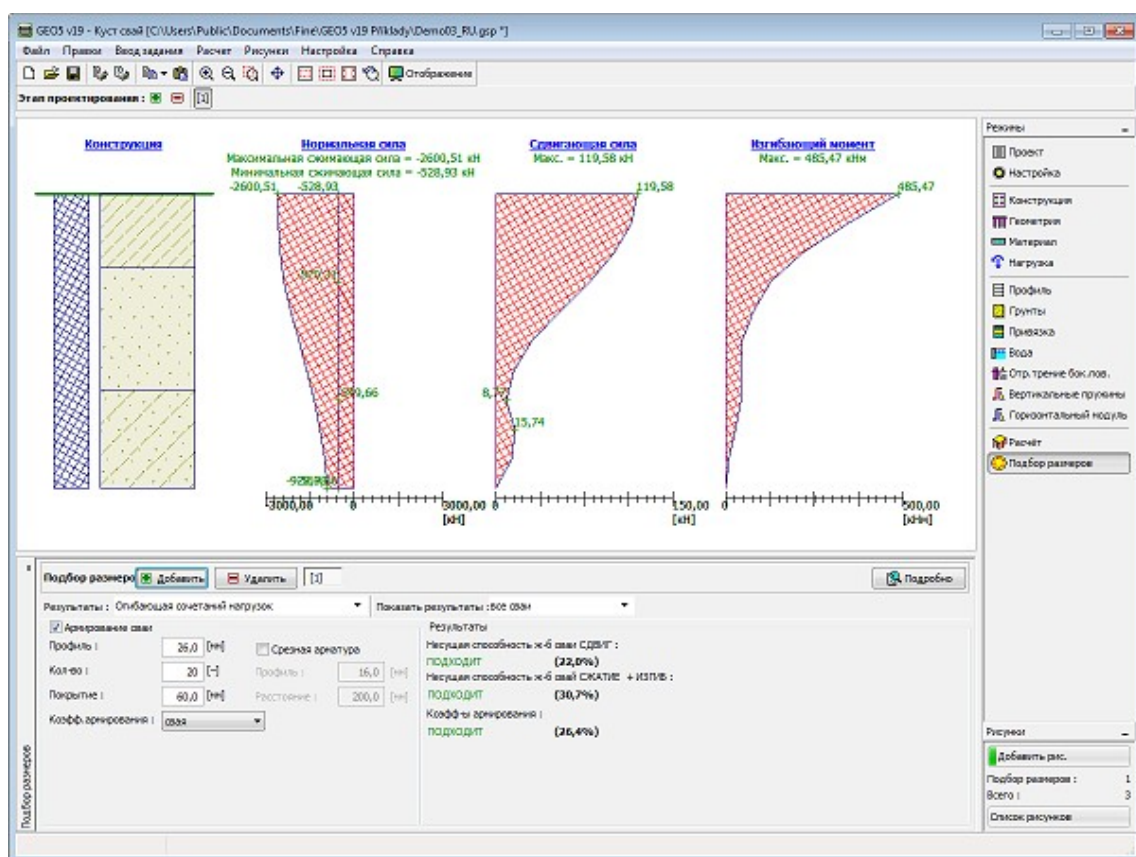
## Подбор размеров

В рамке «Подбор размеров» программа принимает результаты расчёта в рамке «Расчёт». Можно взять, или огибающую нагрузок, или отдельные сочетания нагрузок. Арматуру можно проектировать, или для выбранной сваи, или такую же арматуру для всех свай в кусте.

Проверка железобетонной сваи выполнена в соответствии со стандартом, обозначенным в закладке «Материалы и стандарты».

Изображение рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования».





Рамка «Подбор размеров» - метод пружины

## Несущая способность

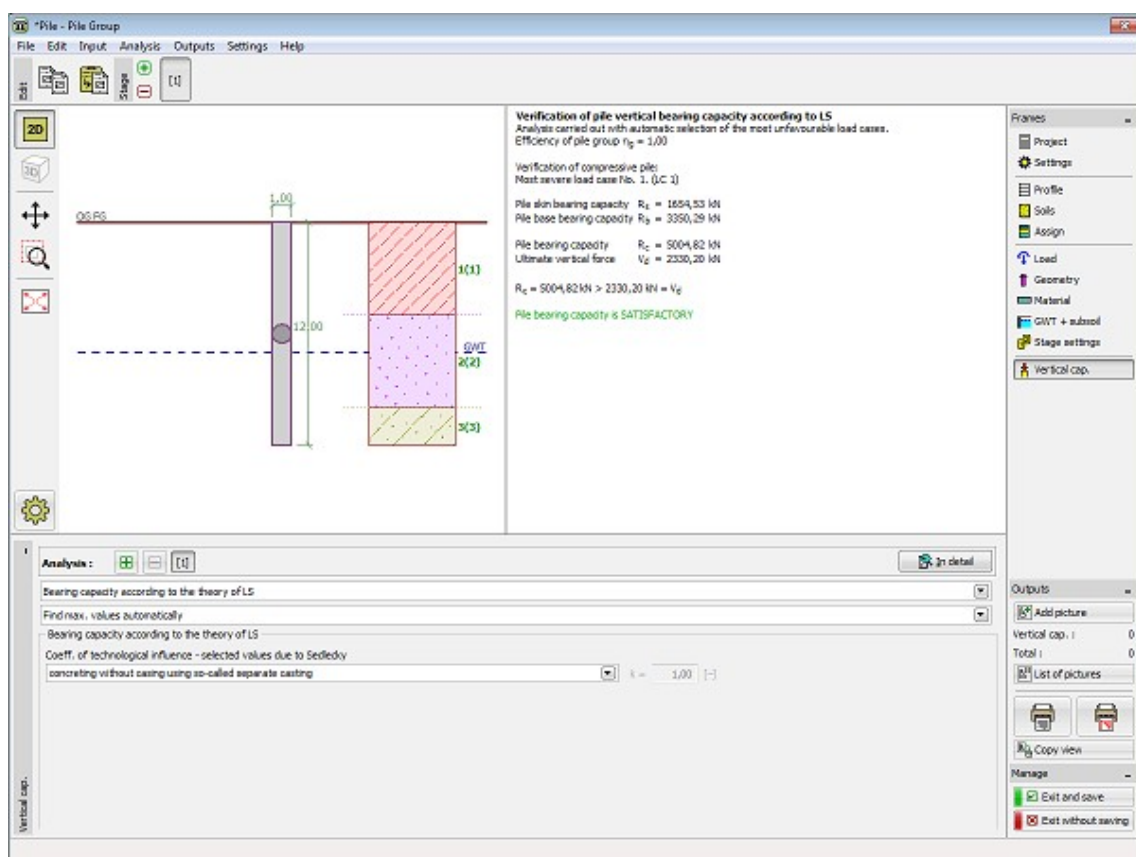
После выбора в рамке «**Настройка**» («**Метод пружины**», «**Метод пружины-Микросваи**») в рамке «**Несущая способность**» запускается программа «**Свая**» или «**Микросвая**»

### Свая

Нажатие кнопки «**Несущая способность**» **запускает программу «Свая»**, в которую передаются все необходимые данные. В программе «**Свая**» можно проверить **вертикальную несущую способность свай**. Если программа «**Свая**» не установлена, кнопка недоступна.

После выполнения расчётов уходим кнопкой «**Завершить и передать**» - результаты и заданные изображения передаются в протокол расчёта в прорамме «**Куст свай**».



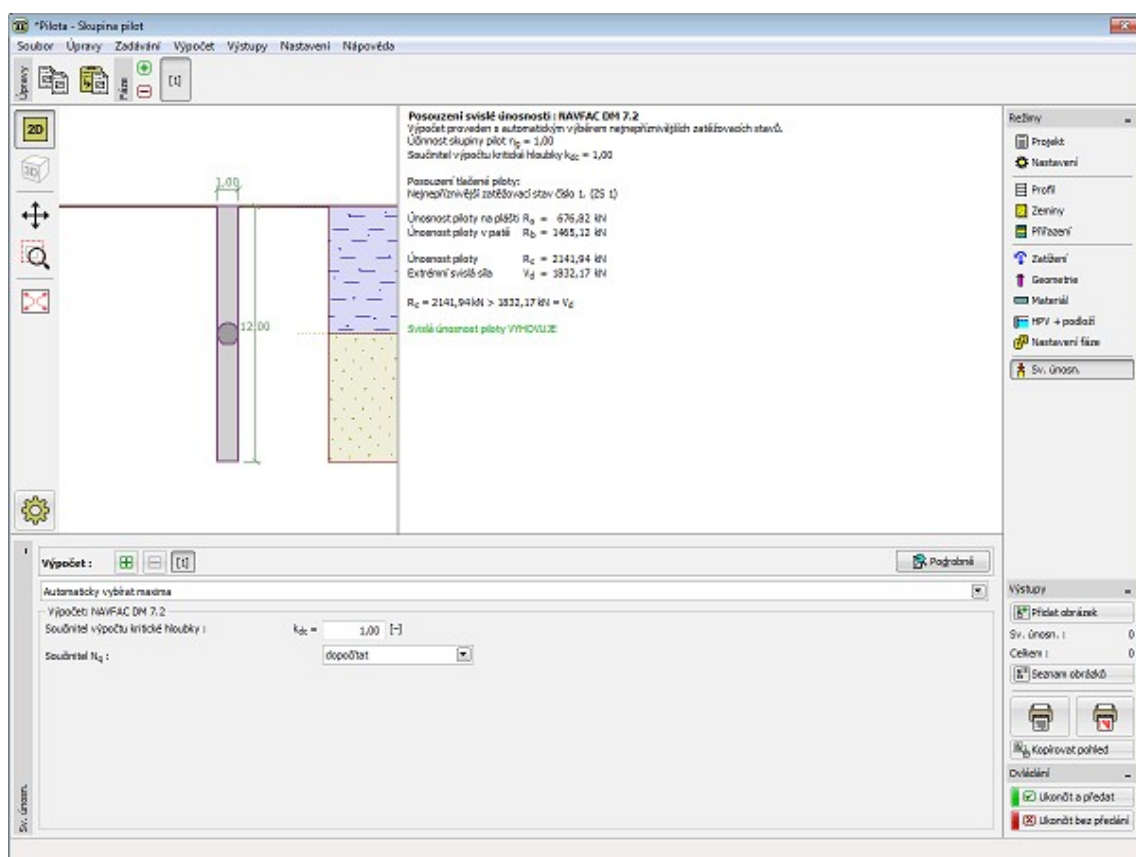


Программа «Свая»

## Микросвая

Нажатие кнопки **«Несущая способность»** запускает программу **«Микросвая»**, в которую передаются все необходимые данные. В программе **«Микросвая»** можно проверить **сечение и корень микросваи**. Если программа **«Микросвая»** не установлена, кнопка недоступна.

После выполнения расчётов уходим кнопкой **«Завершить и передать»** - результаты и заданные изображения передаются в протокол расчёта в программе **«Куст свай»**.



Программа «Микросвай»

## Программа Микросвая

Программа GEO5 Микросвая выполняет анализ трубных микросвай (микросвай укрепленные стальной трубой). В расчёте несущей способности микросвай анализируется корень и ствол микросвай.

**Справка для программы «Микросвая» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Профиль	Грунты	Геометрия	Материал	Привязка
Нагрузка	Вода	Испытания SPT	Испытания - Проверка прессиометр	Проверка сечения	Проверка корня	

- Стандарты и методы расчёта

- Теория расчётов в программе «Микросвая»:

Микросвая

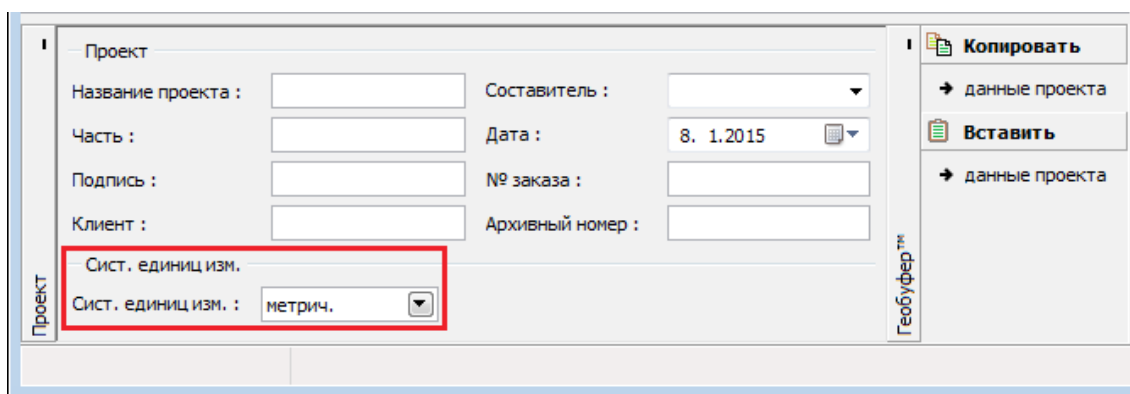
Полевые испытания

- Справка относительно **результатов на выходе**
- Информация общего характера о работе в **пользовательской среде** программ GEO5
- **Общие операции** для всех программ

## Проект

В **рамку «Проект»** задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой **текстовой и графической информации**.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (**метрическую / дюймовую**). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «**Геобуфера**».



Рамка «Проект»

## Настройка

В **рамку «Настройка»** предназначена для ввода основных «**Настроек**» программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой «**Выбрать настройки**» выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из «**Перечня настроек**».

Кнопка «**Администратор настройки**» открывает диалоговое окно «**Администратор настройки**», в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют которая из Настроек будет визуализована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

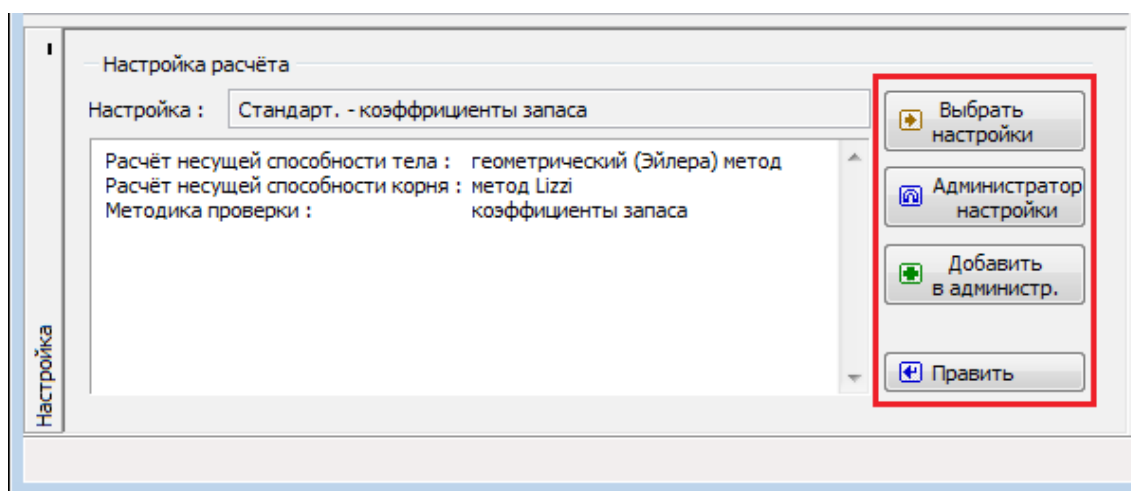
Кнопка «**Добавить в администратор**» позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка «**Править**» позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в

«**Задано для текущей задачи**». После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку «**Добавить в администратор**» и добавляем настройку в «**Администратор настройки**».

Настройка «**Задано для текущей задачи**» обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладке «**Микросваи**».



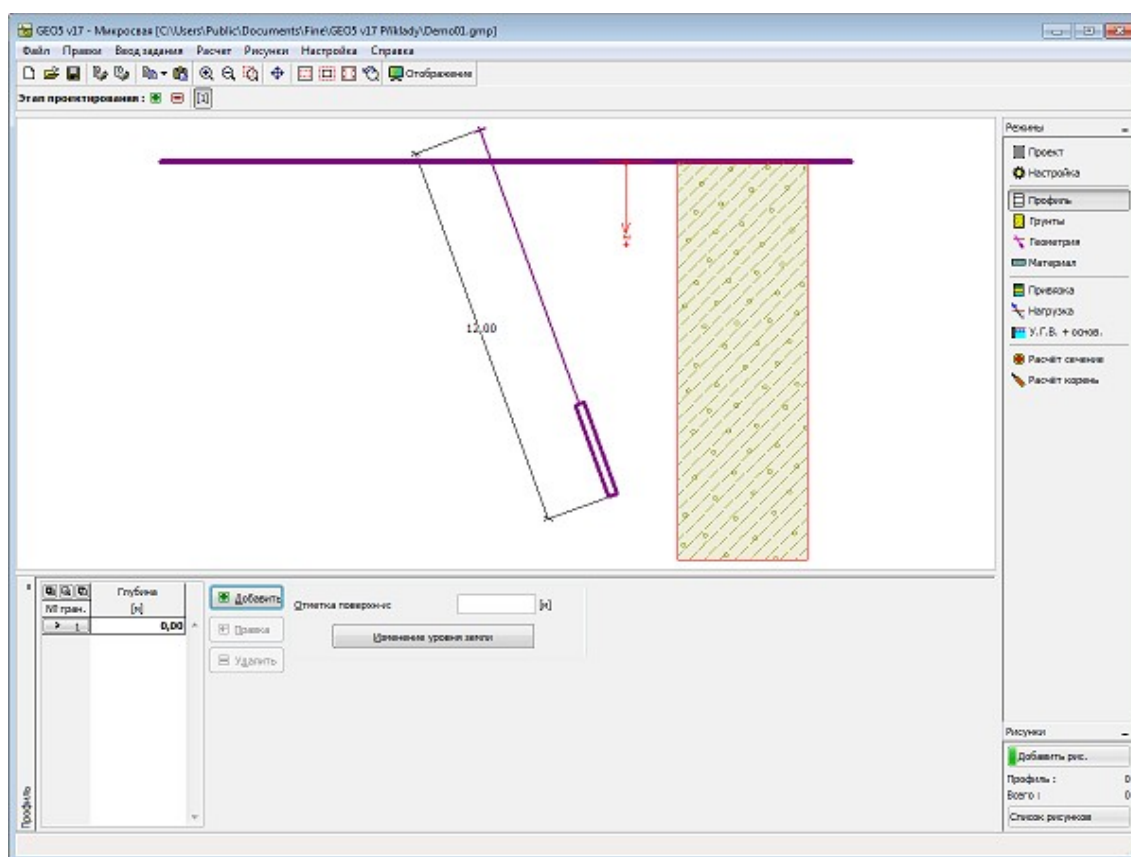
Рамка «Настройка»

## Профиль

В рамке «**Профиль**» есть **таблица** со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи **активных отметок (размерных чисел)**.

**Добавление** границы выполняется в **диалоговом окне** «**Создать границу контура**». Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне «**Изменение уровня земли**» и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы «**Рельеф**».



Рамка «Профиль»

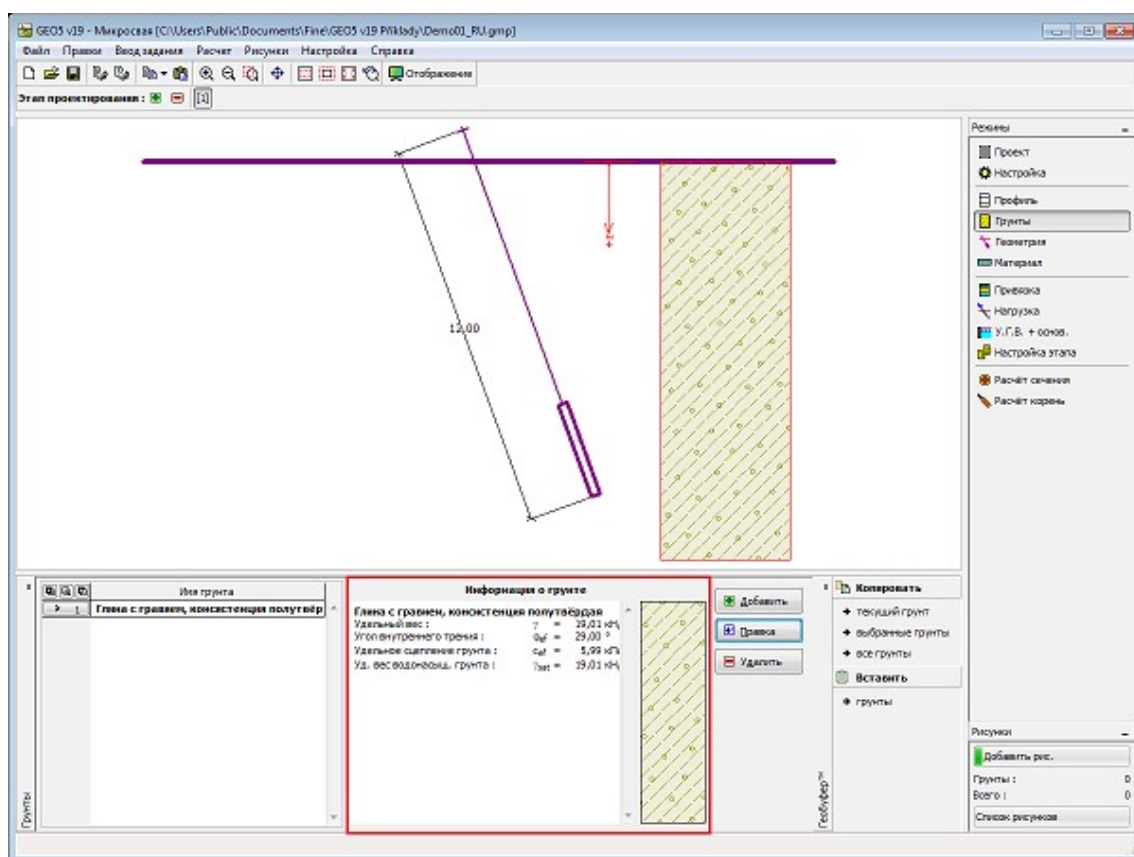
## Грунты

В **рамке «Грунты»** есть **таблица** со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. Если в таблице выбрано несколько грунтов, то информация по отдельным грунтам упорядочена в последовательном порядке.

**Добавление** грунта проводится в **диалоговом окне «Добавление новых грунтов»**.

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: **«Базовые данные»** и **«Подъёмная сила»**. Задаваемые параметры грунтов зависят от заданной теории расчётов в закладке **«Микросваи»**.

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью **«Геобуфера»**.



Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта, угол внутреннего трения грунта и удельное сцепление грунта**. Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать **базу данных грунтов** по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов. Характеристики пород отсутствуют во встроенной базе данных, эти параметры нужно вводить вручную. Ориентировочные параметры пород приведены в теоретической части справки [здесь](#).

При расчёте несущей способности тела по **Salase** ещё нужно задать и модуль упругости грунтов  $E$ .

Соответствующая теория подробно описана в главе «**Микросвая**».

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Геометрия

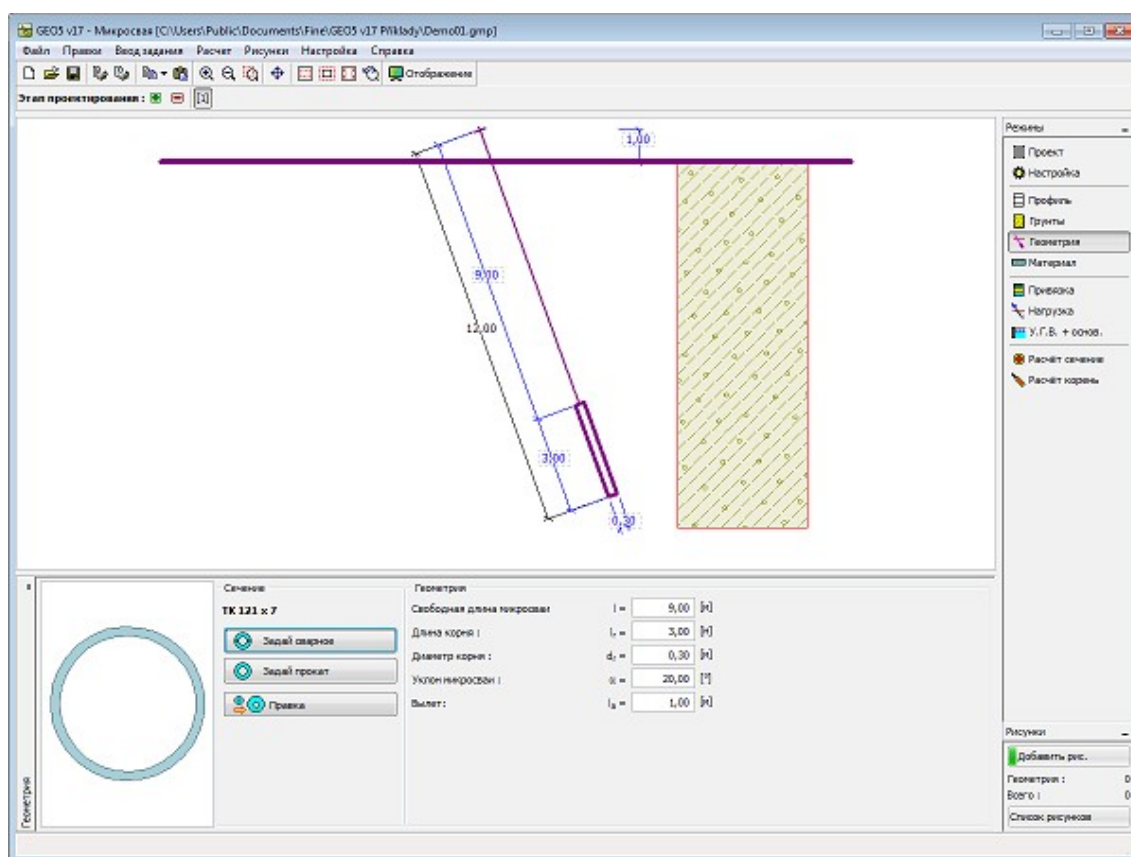
В **рамку «Геометрия»** задают **сечение микросваи** (сварное, прокатное). Выбор сечения с графической подсказкой задаваемых значений отображается в левой части рамки. Сечение микросваи выбирают в диалоговых окнах, которые открываются с помощью кнопок «Задай сварной», «Задай прокат» (прокатные профили выбирают из каталога в диалоговом окне). В диалоговом окне можно открыть информационное окно, в котором дана подробная характеристика выбранного профиля. После выбора сечения разрешено редактирование выбранных характеристик микросваи.

В правую часть рамки вводят исходные геометрические данные:

- Свободная длина микросваи (расстояние головки микросваи до начала корня)
- Длина корня
- Диаметр корня
- Наклон микросваи (интервал от  $-60^\circ$  до  $60^\circ$  от вертикали, плюсовое значение - это отклонение корня против направления часовой стрелки)
- Вылет (расстояние от поверхности земли до конца микросваи (интервал от 0 до 10 м))

Программа позволяет **экспорт** геометрии конструкции в формате \*.DXF.





Рамка «Геометрия»

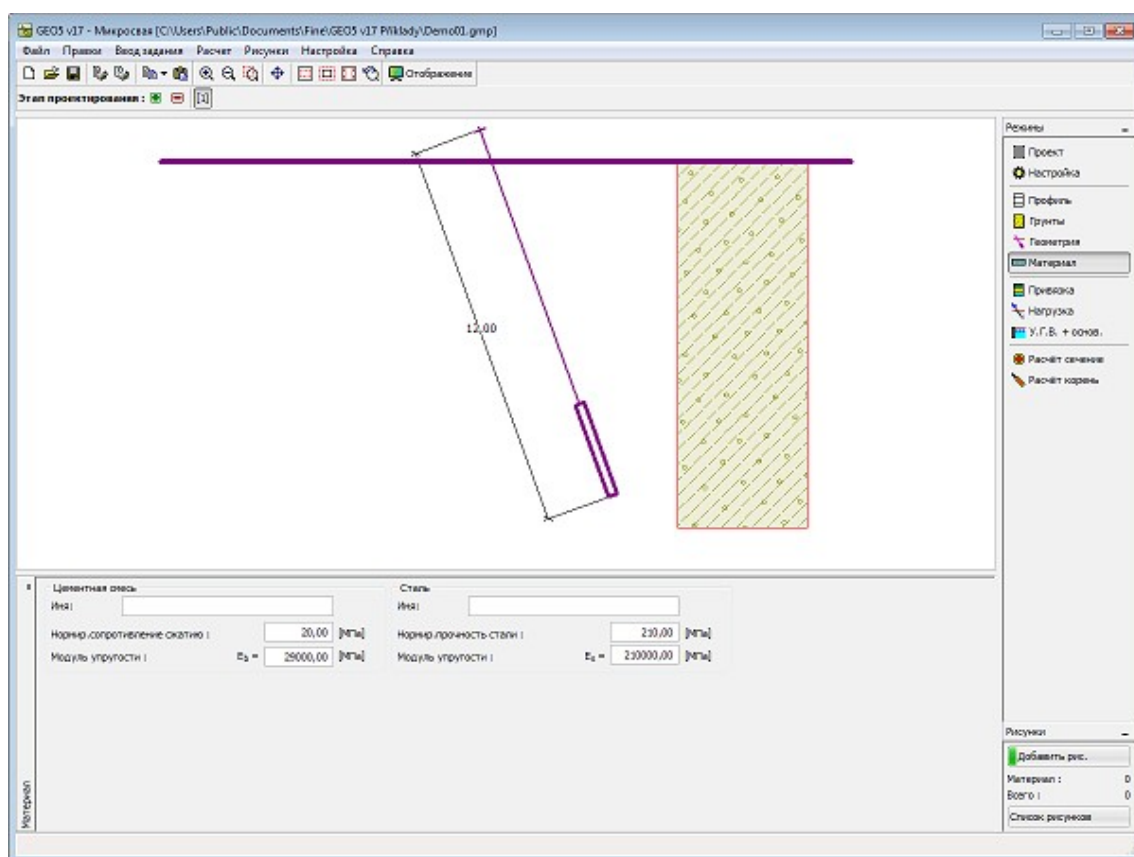
## Материал

В **рамке «Материал»** задают характеристики используемого материала.

Для установки параметров материала можно использовать две опции:- кнопкой **«Каталог»** открыть диалоговое окно **«Каталог материалов»** и из списка выбрать нужный материал.

- кнопкой **«Пользователь»** открыть диалоговое окно **«Редактор материала»** и задать нужные характеристики материала вручную.

Содержимое каталогов меняется в соответствии с настройкой соответствующего стандарта по проектированию бетонных, стальных, или деревянных конструкций в закладке **«Материалы и стандарты»**

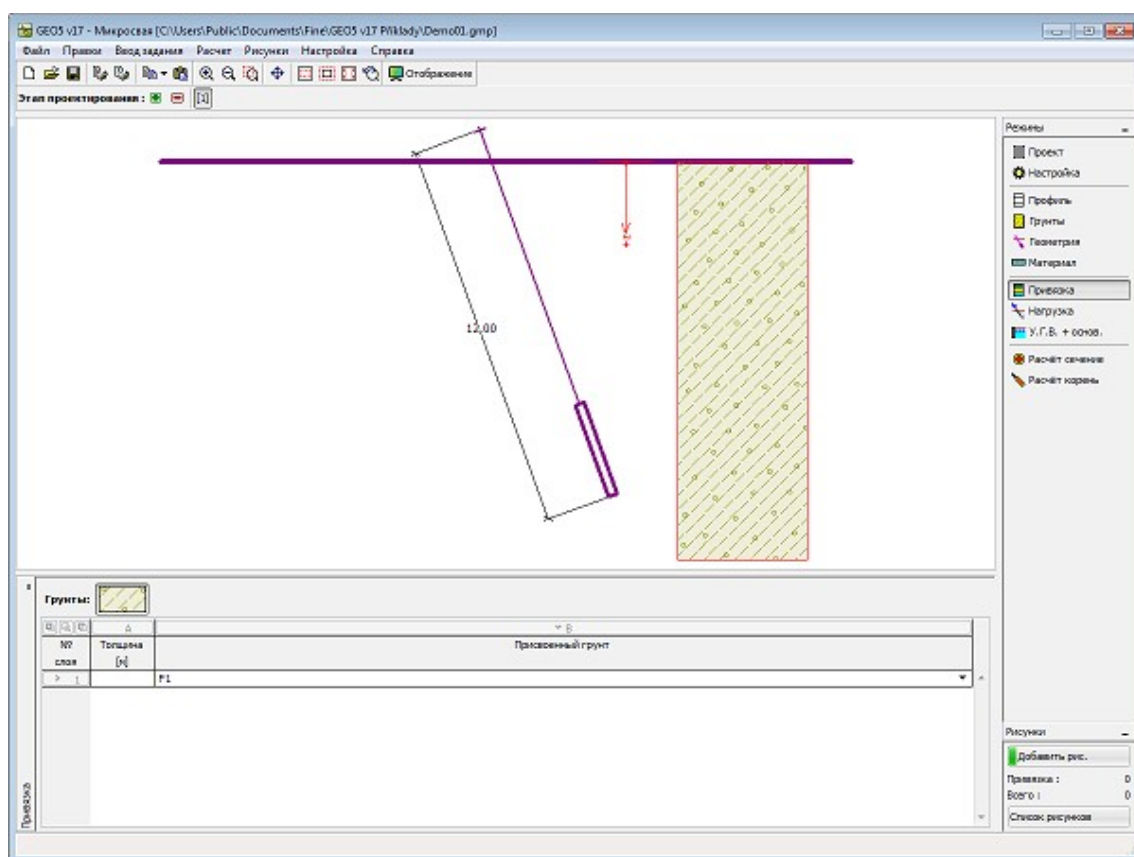


Рамка «Материал»

## Привязка

В **рамке «Привязка»** есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

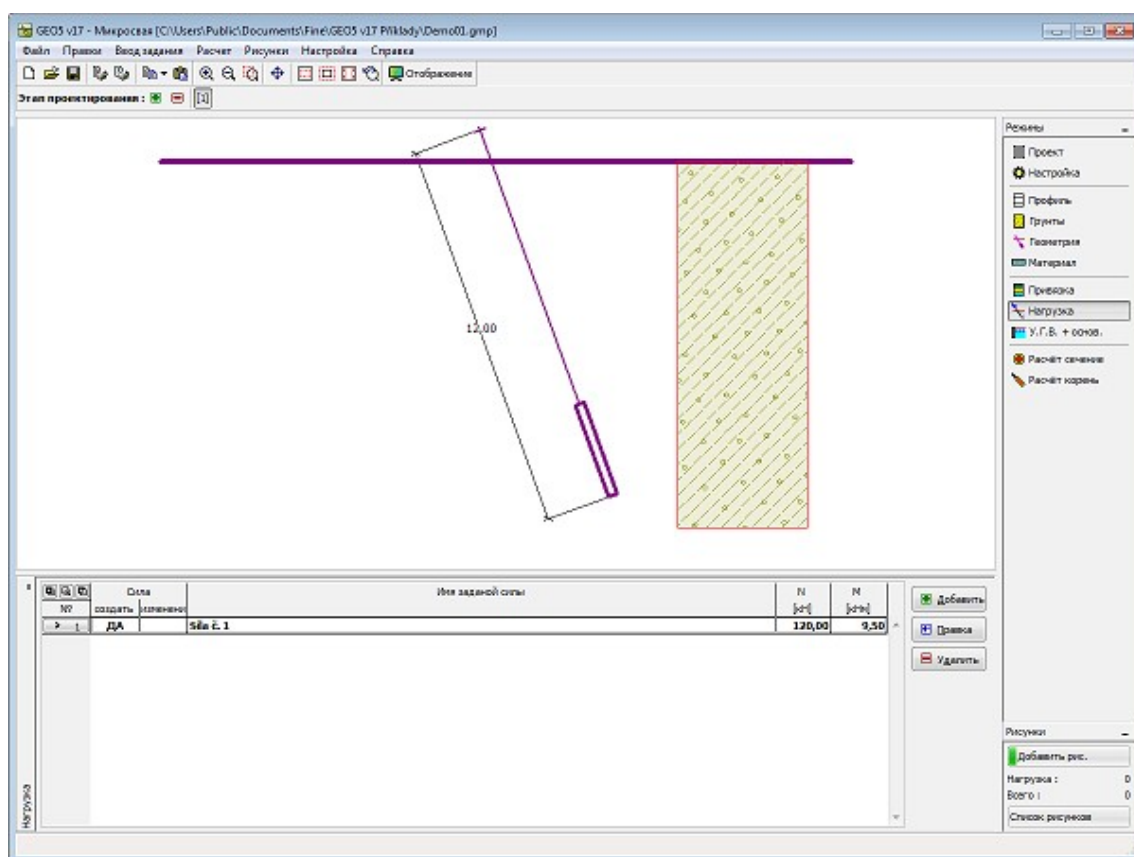
Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).



Рамка «Привязка»

## Нагрузка

В рамке «**Нагрузка**» находится таблица со списком заданных нагрузок. Добавление нагрузки выполняется в диалоговом окне «**Создать нагрузку**». Силы и моменты задаются вырисованные согласно конвенции в правой части диалогового окна.

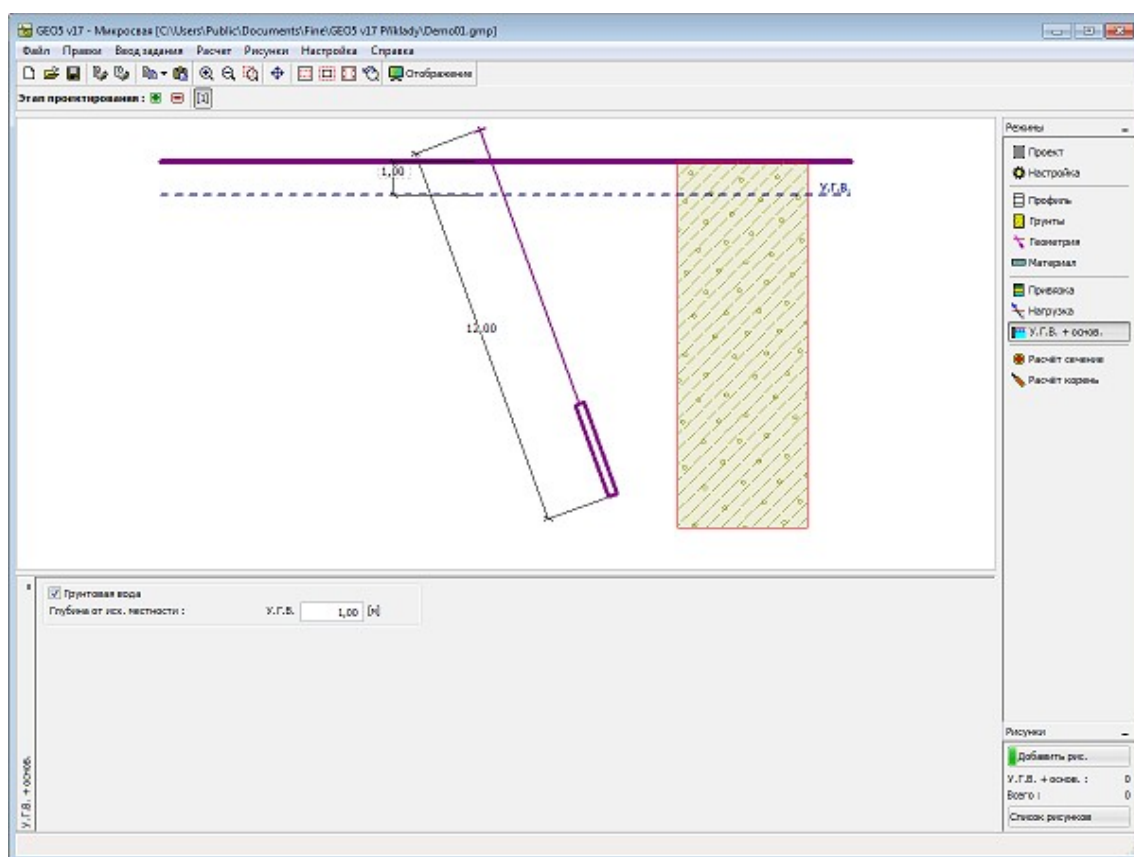


Рамка «Нагрузка»

## Вода

В **рамке «Вода»** задают **глубину уровня грунтовой воды**.

Значения можно редактировать или в рамке в поле ввода данных, или на рабочем столе с помощью **активных отметок**.

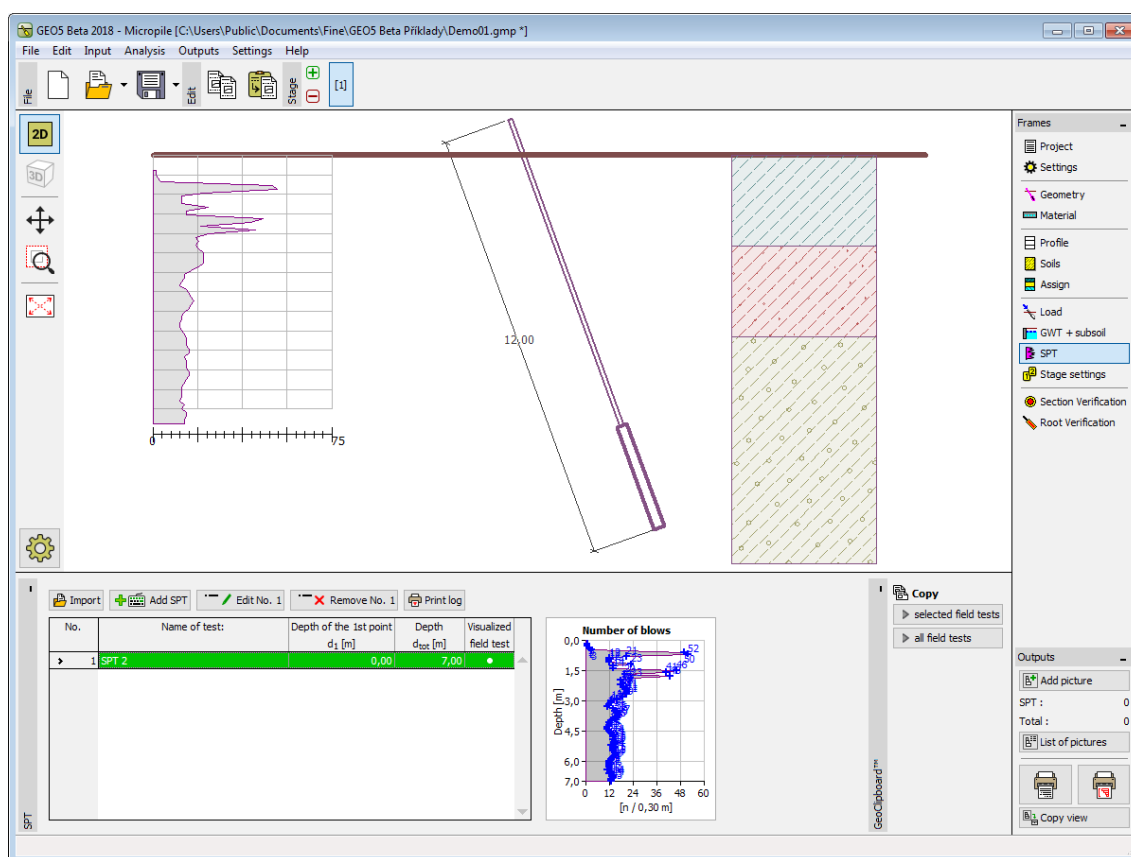


Рамка «Вода»

## Испытания SPT

В рамке «Испытания SPT» находится таблица со списком заданных стандартных пенетрационных испытаний (SPT).

Результаты испытаний (SPT) являются входными данными для метода Бустаманте.



Рамка «Испытания SPT»

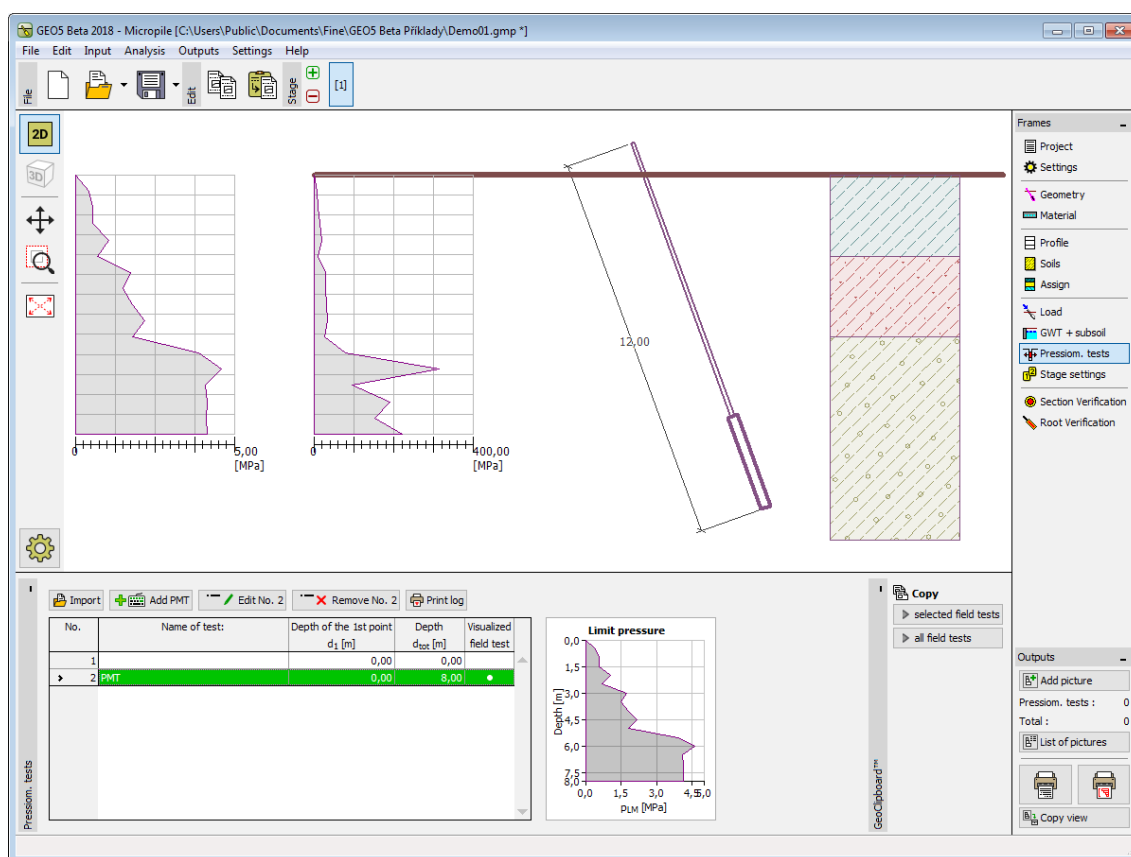
Результаты стандартных пенетрационных испытаний (SPT) можно тоже **импортировать** в разных форматах (напр., \*.TXT, \*.CSV, \*.XLSX, \*.ODS).

Испытания SPT можно передавать в рамках программ «**Микросвая**», «**Отдельный фундамент SPT**», и «**Стратиграфия**» с помощью «**Геобуфера**».

## Испытания прессиометр

В **рамке «Испытания прессиометр»** находится **таблица** со списком заданных точек **прессиометрических испытаний (PMT)**.

Результаты испытаний (PMT) являются входными данными для метода **Бустаманте**.



Рамка «Испытания прессиометр»

Значения прессиометрических испытаний (PMT) можно в программу **импортировать** с помощью файлов в разных форматах (напр., \*.TXT, \*.CSV, \*.XLSX, \*.ODS).

Испытания PMT можно передавать в рамках программ **«Микросвая»**, **«Ограждение котлована анализ»**, **«Стабилизирующая свая»** и **«Стратиграфия»** с помощью **«Геобуфера»**.

## Проверка сечения

В **рамке «Проверка сечения»** отображены результаты расчёта несущей способности тела микросваи. По одному заданию можно выполнять **несколько расчётов**. В левую часть рамки можно ввести модуль реакции подстилающего слоя, и учесть этим **влияние, которое окажет коррозия** на расчёт.

В процессе **проверки тела** микросваи (проверки сечения) сваи работающие на растяжение и сваи работающие на сжатие рассматриваем по-разному.

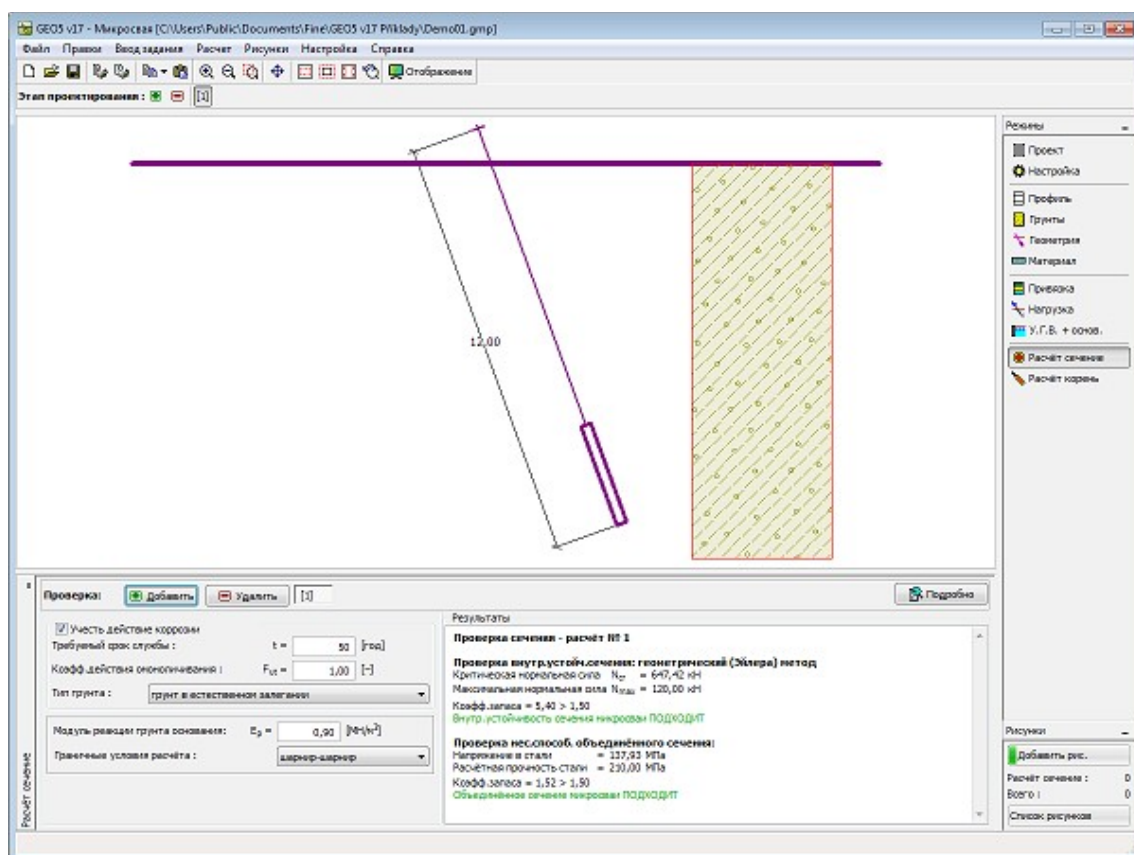
Для растягиваемой микросваи рассчитывается **несущая способность сечения стале-железобетонной конструкции** (прочность на растяжение цементной смеси не принимается во внимание).

Для сжимаемой микросваи проверяется **несущая способность сечения стале-железобетонной конструкции** и **внутренняя устойчивость сечения** в зависимости от метода выбранного в закладке **«Микросваи»**.

В правой части рамки отображаются результаты проверки. Кнопка **«Подробнее»** открывает диалоговое окно, в котором находится подробная выписка результатов



проверки. Изображение рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».



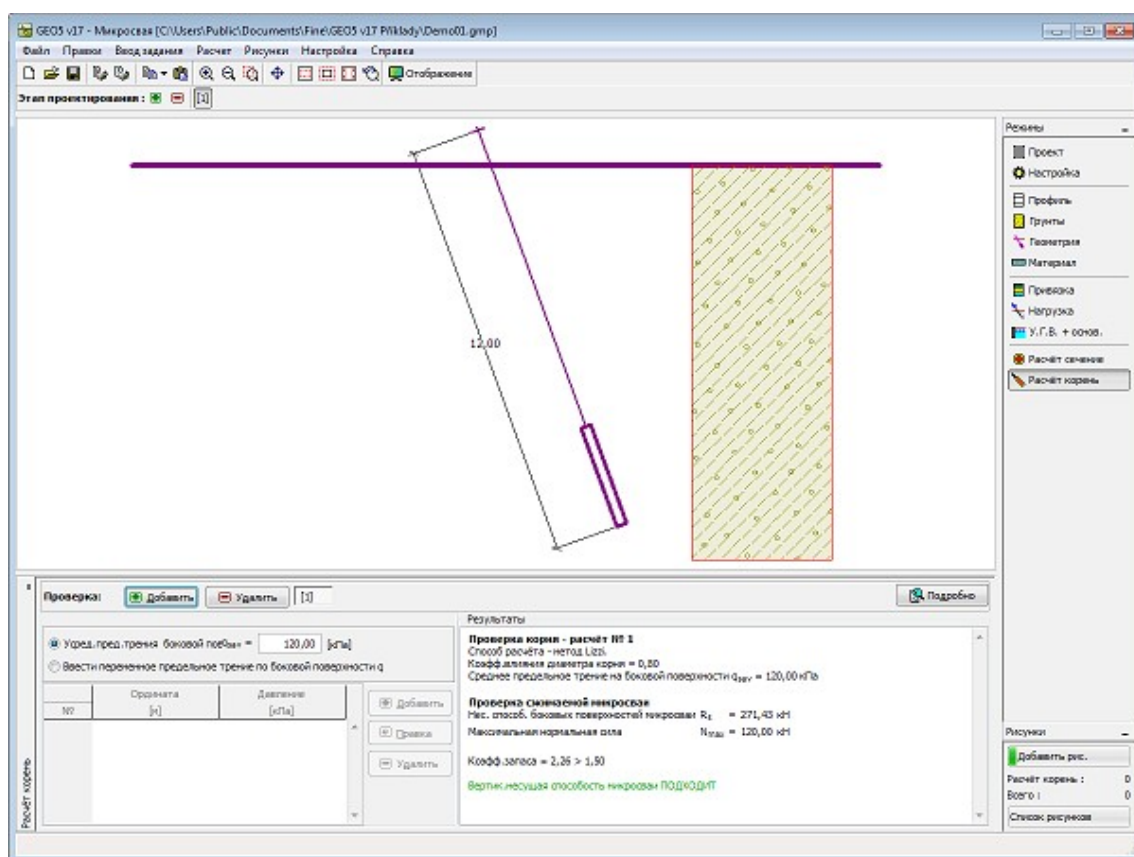
Рамка «Проверка сечения»

## Проверка корня

В **рамке «Проверка корня»** отображаются результаты расчёта. По одному заданию можно выполнять **несколько расчётов**. В левой части рамки можно задать предельное трение на боковой поверхности.

Описание процесса проверки корня микросваи смотри [здесь](#).

В правой части рамки отображаются результаты проверки. Кнопка «**Подробнее**» открывает диалоговое окно с подробной выпиской результатов проверки. Изображение рисунка можно менять в диалоговом окне «**Настройка рисования**».



Рамка «Проверка корня»

## Программа Плита

Программа предназначена для расчёта фундаментной плиты, или плиты перекрытия общей формы по методу конечных элементов.

**Справка для программы «Плита» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Joints	Lines	Macroelement	Openings	Joint refinements
Line refinements	Macroelement	Mesh generation	Joint supports	Line supports	Beams	Internal hinges
Macroelement subsoils	Load cases	Joint loads	Line loads	Macroelement loads	Free point loads	Free line loads
Free area loads	Combination ULS	Combination SLS	Dimensioning parameters	Macroelement dimensioning	Analysis	Values
Distributions						

- Стандарты и методы расчёта
- Теория расчётов в программе «Плита»:
  - Измерение бетонных конструкций
- Справка относительно результатов на выходе
- Информация общего характера о работе в пользовательской среде программ GEO5
- Общие операции для всех программ

## Проект

В рамку «Проект» задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой текстовой и графической информации.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (метрическую / дюймовую). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «Геобуфера».

Рамка «Проект»

## Настройка

В рамку «Настройка» предназначена для ввода основных «Настроек» программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой «**Выбрать настройки**» выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из «**Перечня настроек**».

Кнопка «**Администратор настройки**» открывает диалоговое окно «**Администратор настройки**», в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь

также определяют которая из Настроек будет визуализована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

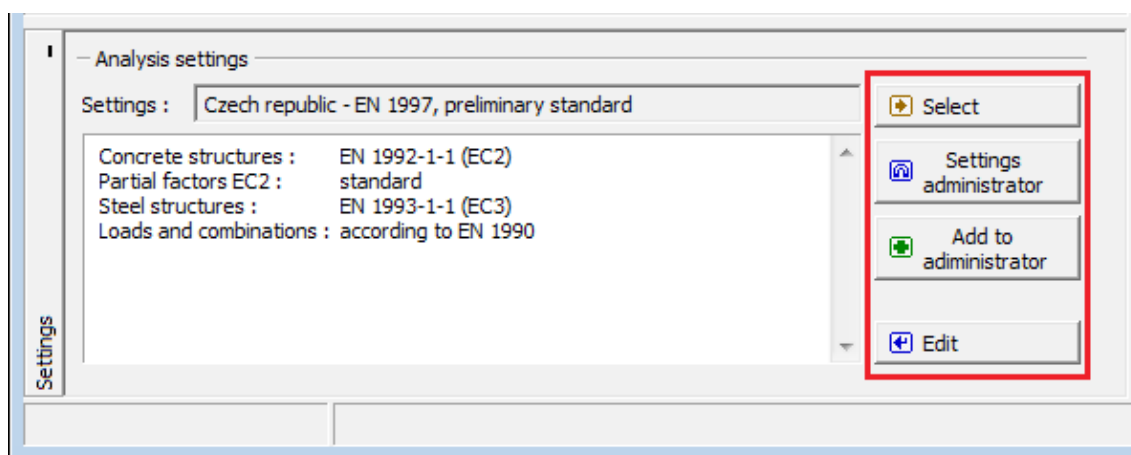
Кнопка **«Добавить в администратор»** позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка **«Править»** позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в **«Задано для текущей задачи»**. После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку **«Добавить в администратор»** и добавляем настройку в **«Администратор настройки»**.

Настройка **«Задано для текущей задачи»** обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Settings of analysis parameters are performed in the **«Materials and standards»** tab.

The program allows the user to specify support dimensions and **reduce dimensioning moments**.

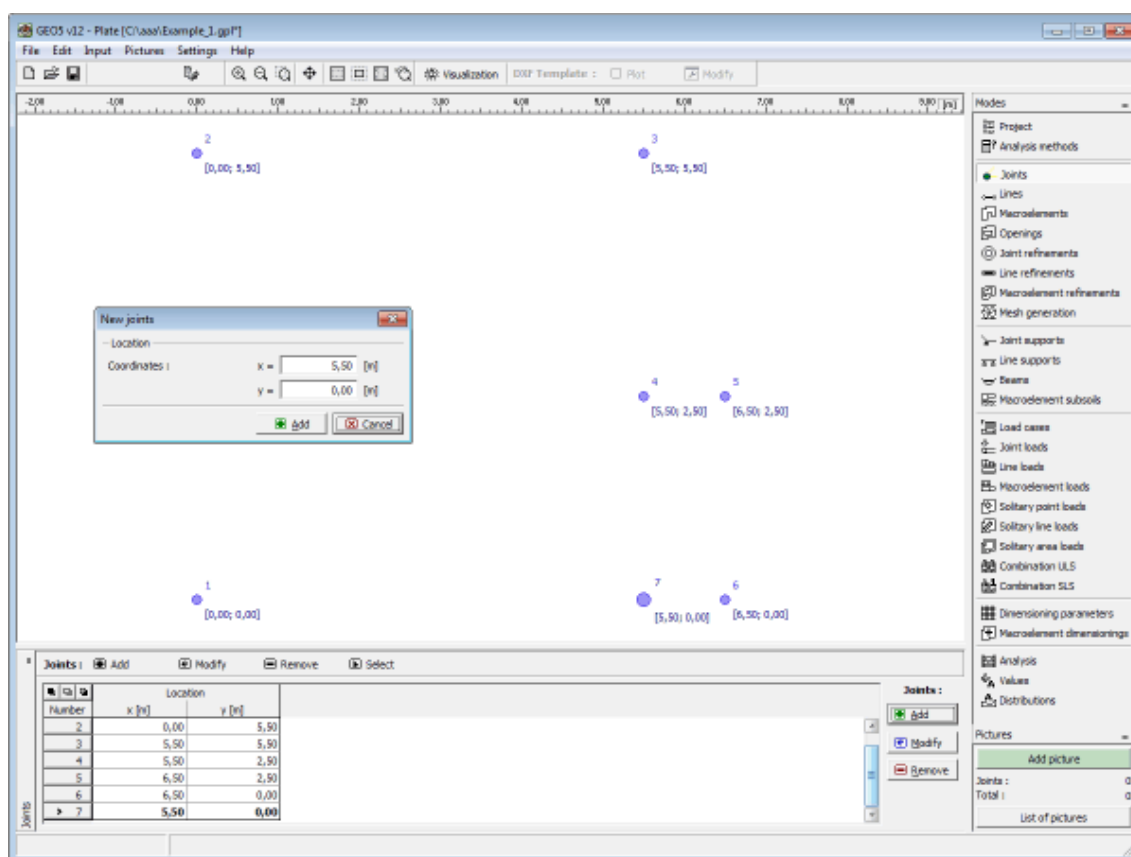


Frame «Settings»

## Joints

The **frame «Joints»** contains a **table** with the list of inputted joints. **Adding** joints is performed in the **«New joints» dialog window**.

The inputted joints can also be edited on the desktop with the help of **active objects**.



Frame «Joints»

## Lines

The **frame «Lines»** contains a **table** with the list of inputted lines. Adding lines is performed in the **«New lines»** dialog window.

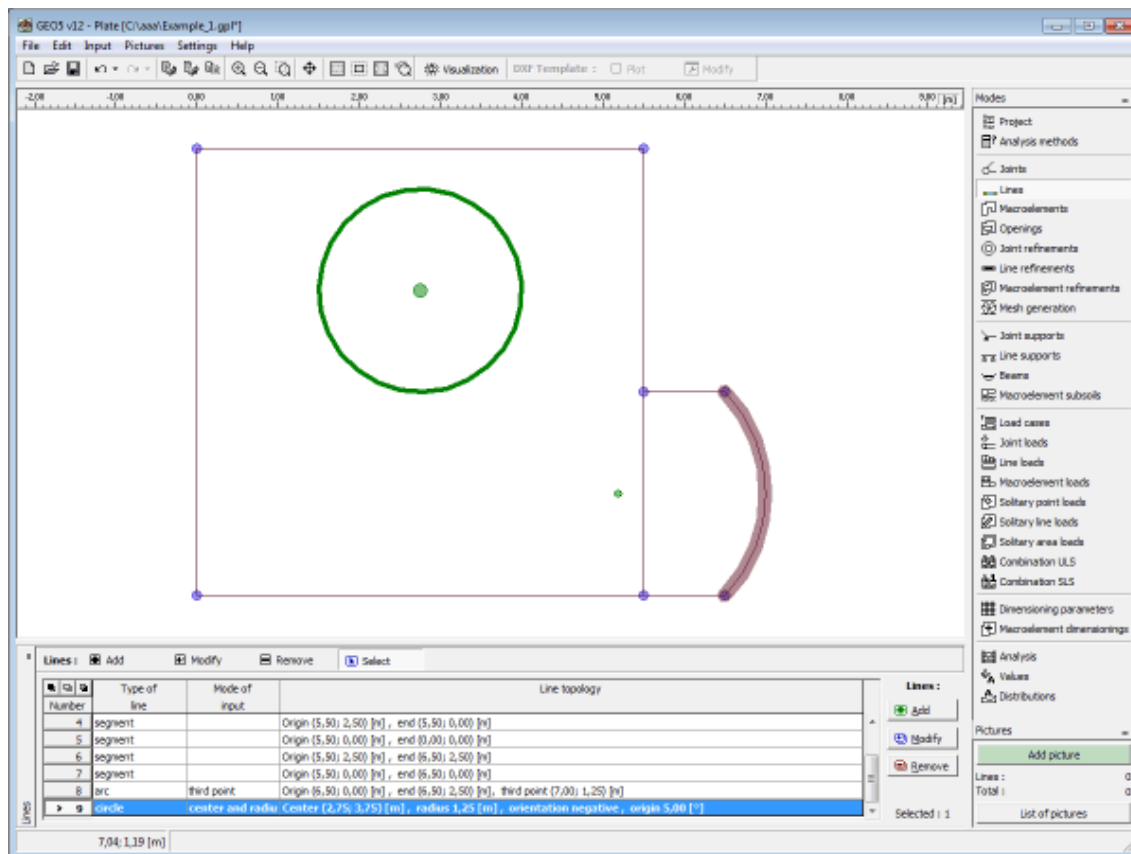
The lines are defined **between individual points** (segments, arcs, circles) or around individual points (circles). The lines may arbitrarily cross or touch each other - intersection of inputted lines are identified by the program automatically when correcting the inputted geometry.

The following modes are available:

- **Line type** A combo list is used to select the desired type of line (segment, arc, circle).
  - **segment** Clicking the left mouse button on the joint introduces the line location.
  - **arc** Use the combo list to choose a particular mode of defining an arc segment (third point, center, radius, height). Clicking the left mouse bottom on the desktop then selects points to define the arc. When selecting one of the following options - center, radius or included angle, you are further requested to select the orientation (positive, negative) from the combo list.
  - **circle** Use the combo list to choose a particular mode of defining a circle (center and radius, three points). Clicking the left mouse button on

the desktop then selects points to define the circle. The combo list is also used to select the orientation (positive, negative).

The lines can also be edited on the desktop with the help of **active objects**.

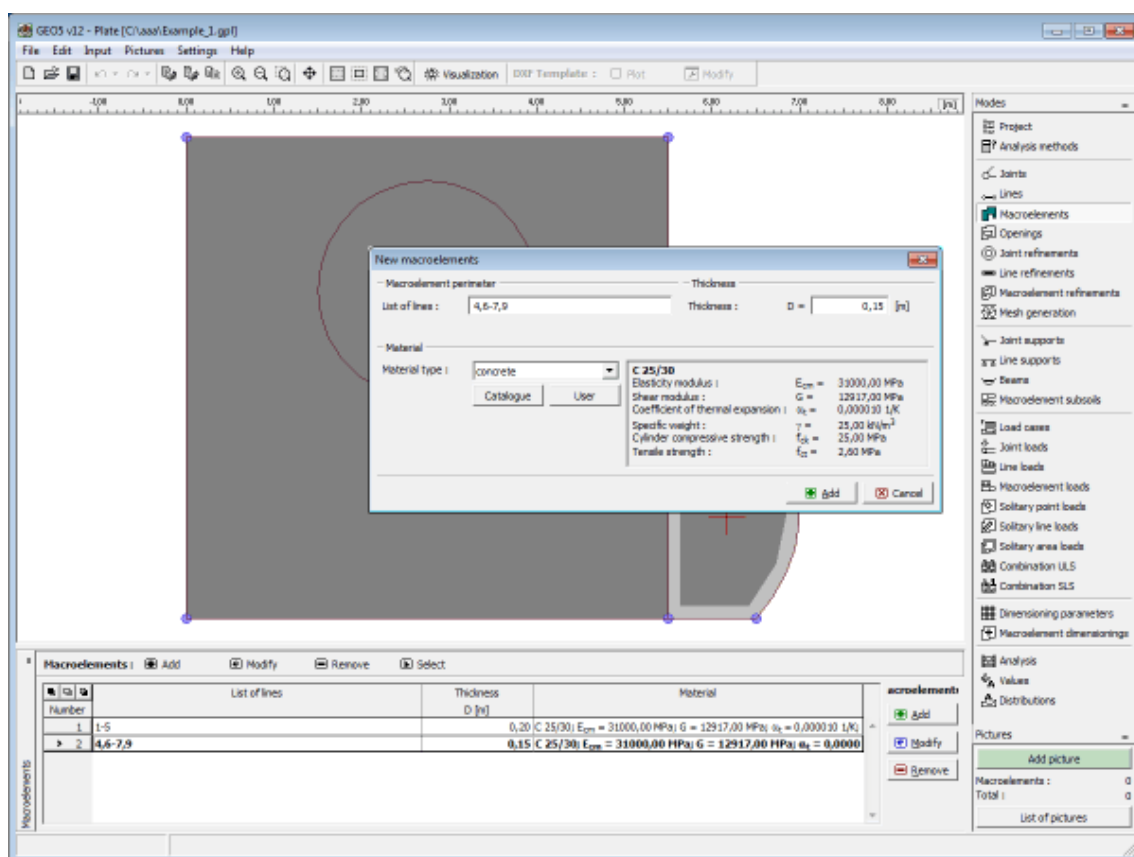


Frame «Lines»

## Macroelements

The **frame «Macroelements»** contains a **table** with the list of input macroelements. Adding macroelements is performed in the **«New macroelements» dialog window**. The dialog window servers to input a list of lines defining the macroelement outline, its thickness and material. The macroelement material can be either selected from the catalog of materials or its material parameters can be input manually using the **«Edit material» dialog window**.

The input macroelements can also be edited on the desktop with the help of **active objects**.



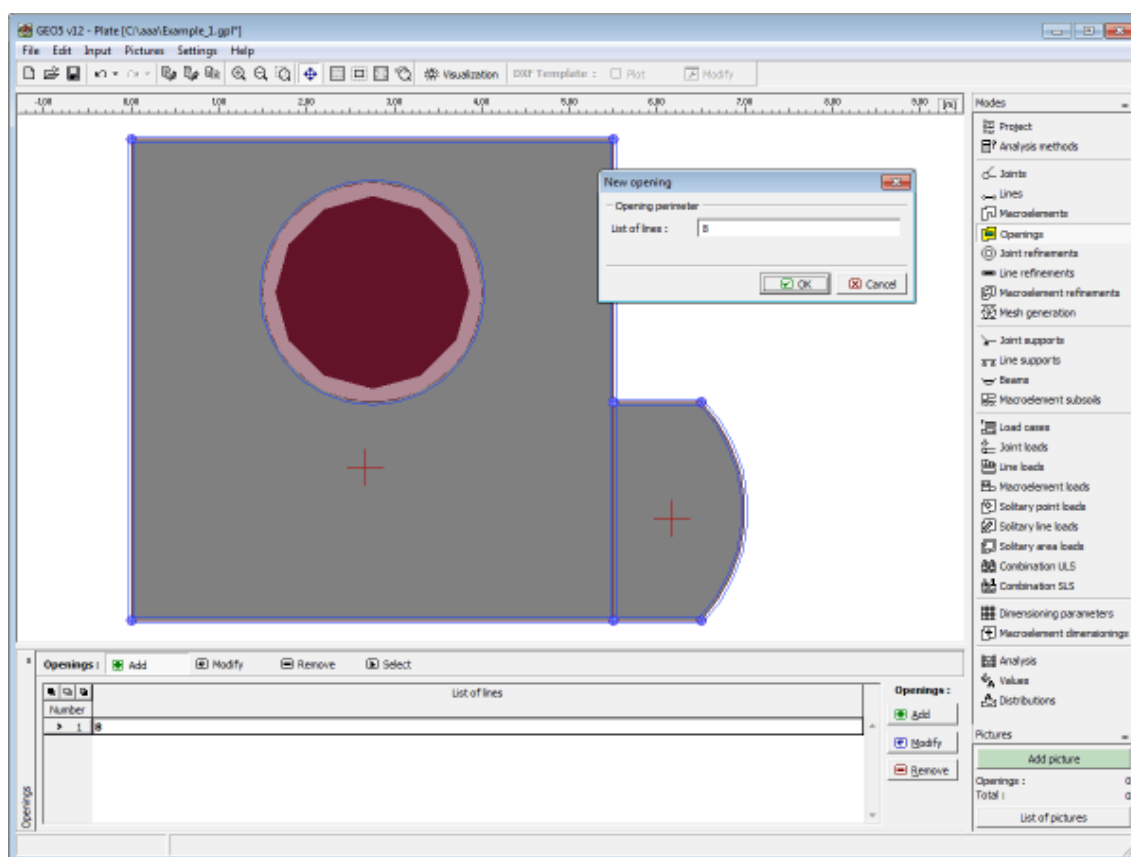
Frame «Macroelements»

## Openings

The **frame «Openings»** contains a **table** with the list of inputted openings. Adding openings is performed in the **«New openings» dialog window**.

The inputted openings can also be edited on the desktop with the help of **active objects**.





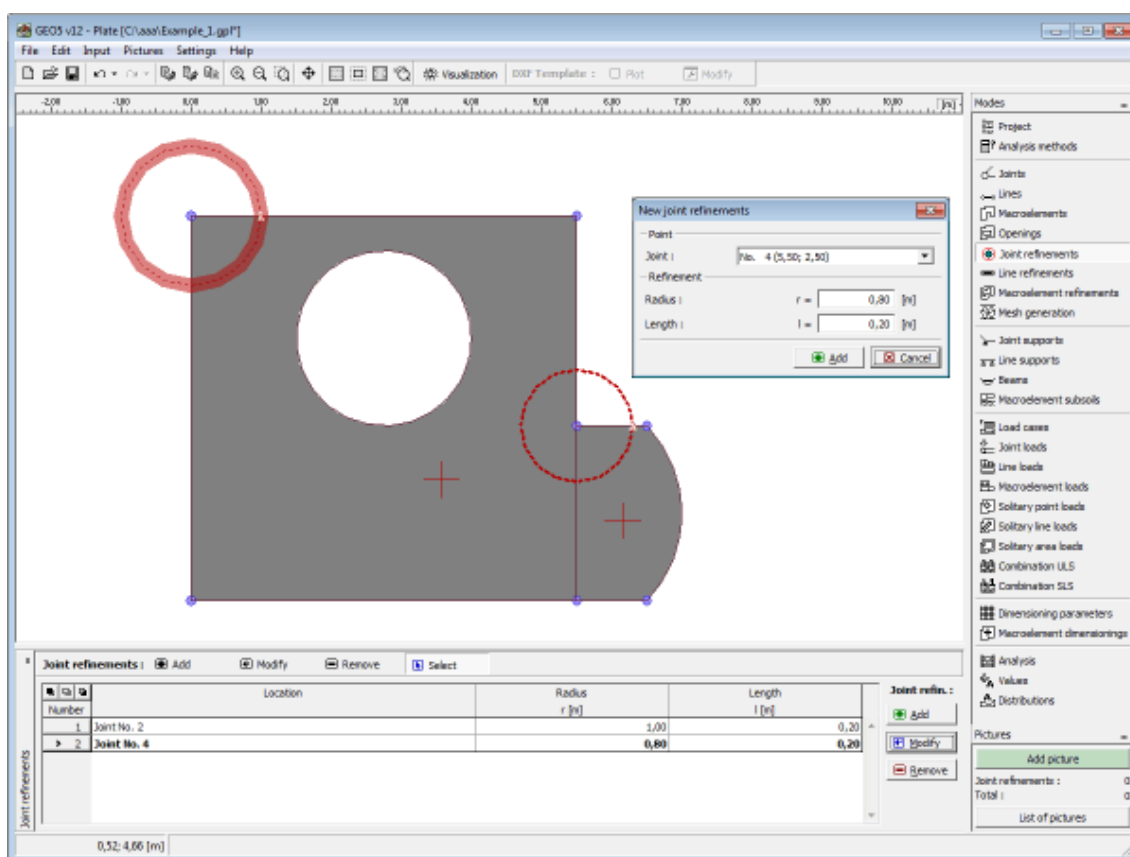
Frame «Openings»

## Joint refinements

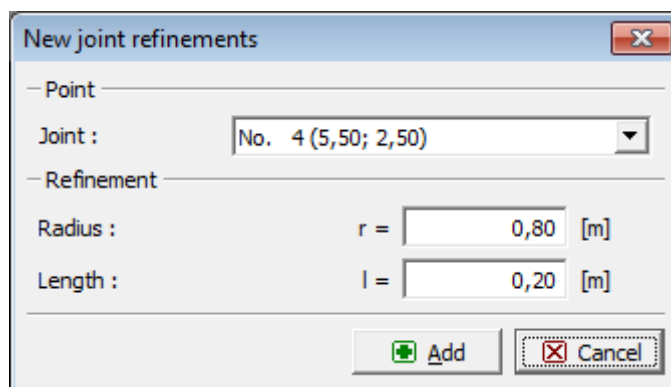
The **frame «Joint refinements»** contains a **table** with the list of inputted joint refinements. Adding joint refinements is performed in the **«New joint refinements» dialog window**.

**Refining the finite element mesh around joints** is an important feature, which allows us to create an appropriate **finite element mesh**.

The inputted joint refinements can also be edited on the desktop with the help of **active objects**.



Frame «Joint refinements»



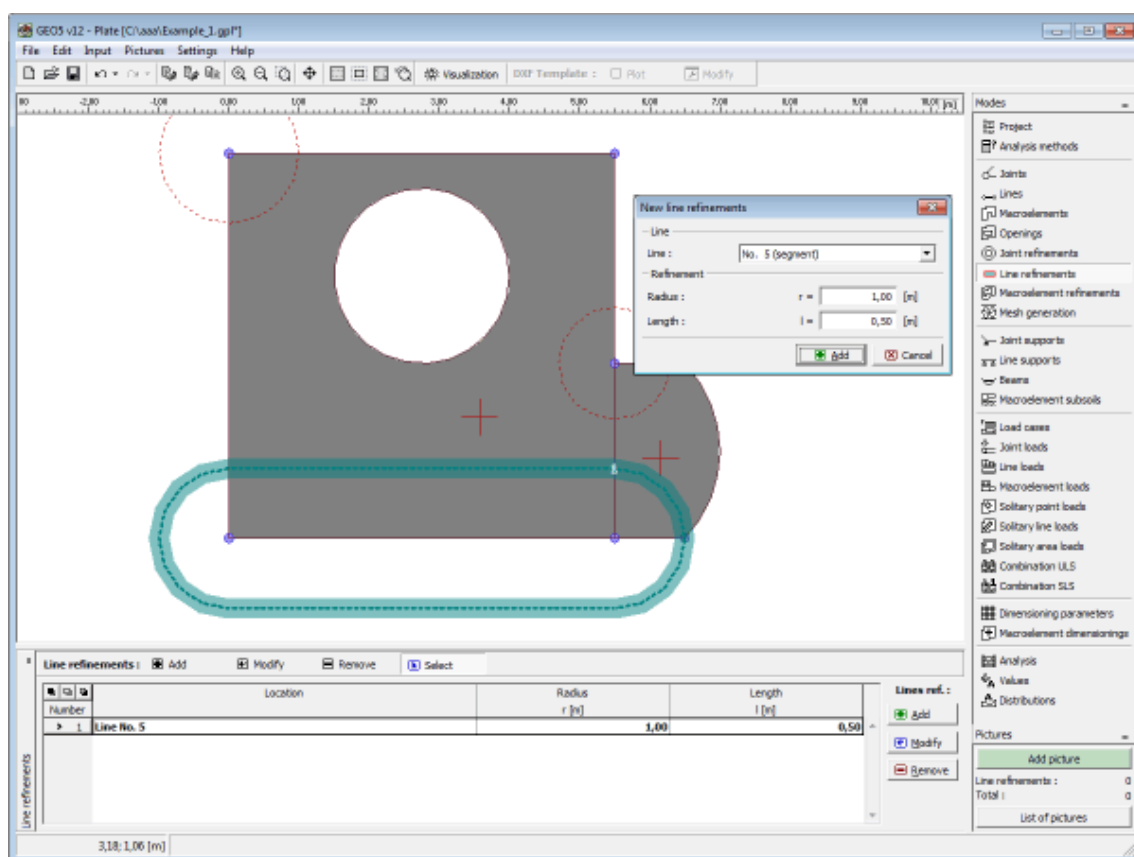
Dialog window «New joint refinements»

## Line refinements

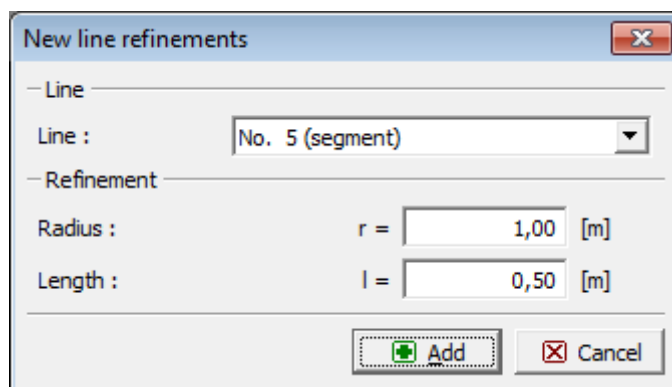
The **frame «Line refinements»** contains a **table** with the list of inputted line refinements. Adding line refinements is performed in the **«New line refinements» dialog window**.

**Refining the finite element mesh around lines** is an important feature, which allows us to create an appropriate **finite element mesh**.

The inputted line refinements can also be edited on the desktop with the help of **active objects**.



Frame «Line refinements»



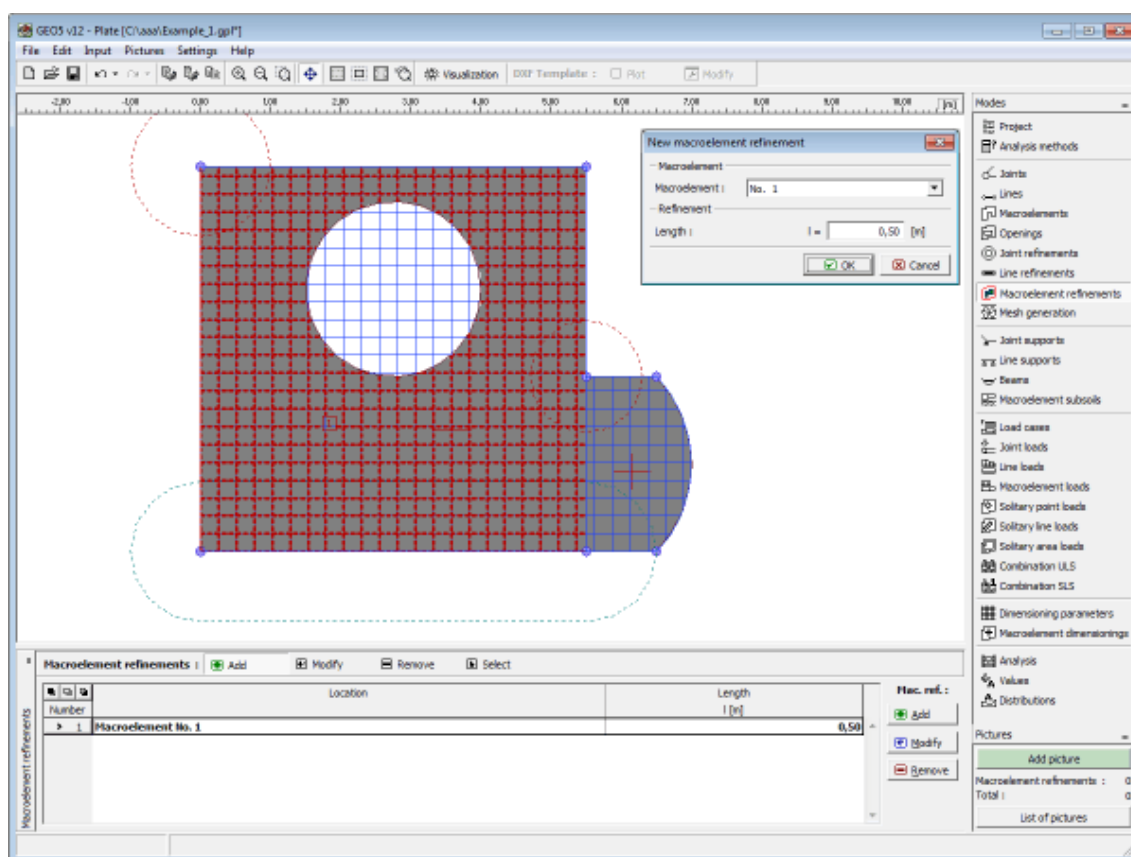
Dialog window «New line refinements»

## Macroelement refinements

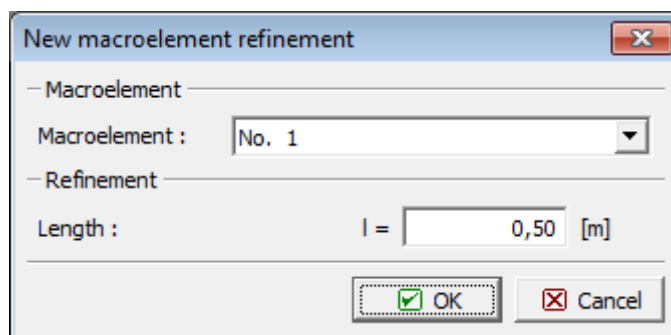
The frame «**Macroelement refinements**» contains a table with the list of inputted macroelement refinements. Adding macroelement refinements is performed in the «**New macroelement refinements**» dialog window.

**Refining the finite element mesh of macroelements** is an important feature, which allows us to create an appropriate finite element mesh.

The inputted macroelement refinements can also be edited on the desktop with the help of active objects.



Frame «Macroelement refinements»



Dialog window «New macroelement refinements»

## Mesh generation

The **frame «Mesh generator»** serves to define the basic setting to generate mesh (element edge length, mesh type, mesh smoothing) and to view information about the generated mesh (right part). The **«Error analysis»** button allows for visualization of error listing in the right part of the frame (list of problems the structure has).

Information about the resulting **mesh including warnings** for possible weak points in the mesh is displayed in the right bottom window.

An arbitrary part of the plate specified by **lines** (segments, arches and circles) can be meshed. The plate can be formed by one or more **macroelements** all having a constant thickness and identical material properties and may contain an arbitrary number of **openings**. In addition, it

is possible to introduce internal points and lines which are then considered as mesh nodes and edges. The **joints** along **lines** and inside **macroelements** allow for mesh refinement, which is characterized by the required length of element edges in the center of the refinement and by the refinement radius. The user may choose either a purely triangular mesh or a hybrid mesh consisting of both triangular and quadrilateral elements. The meshing algorithm is based on Delaunay triangulation enhanced by several methods to modify and optimize the finite element mesh. The mesh nodes are automatically renumbered to minimize the computational effort.

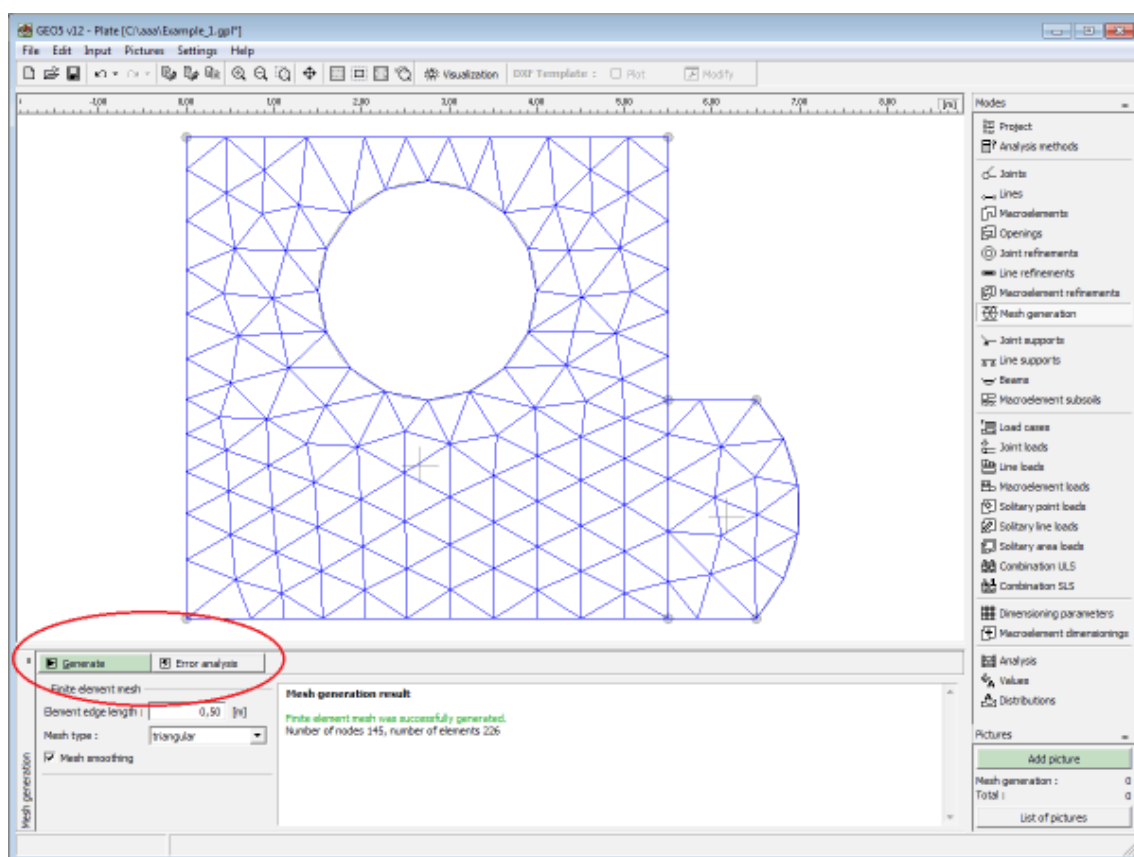
Properly generated finite element mesh is the stepping stone for obtaining accurate results. Optimal are equilateral triangular and square quadrilateral elements. The program contains a built-in automatic mesh generator considerably simplifying this task. The basic mesh density is specified in the «**Mesh generator**» window. Refining the mesh increases accuracy of the results. However, high mesh density considerably slows down both the solution and subsequent visualization of the results. The goal is thus to create an optimally refined mesh - this strongly depends on user's experience.

Thanks to efficiency of the mesh generator there is no problem to adjust input parameters until obtaining an optimal mesh. The mesh quality is further maintained with the help of built-in smoothing algorithm, which can be turned off. The actual analysis step is extremely fast even for relatively dense meshes.

**The following procedure to generate the finite element mesh is recommended:**

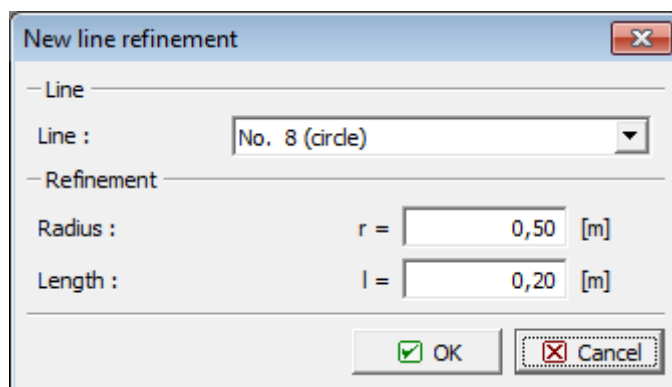
Correctly generated finite element mesh is the major step in achieving accurate and reliable results. The program FEM has an automatic mesh generator, which may substantially simplify this task. Nevertheless, **certain rules should be followed** when creating a finite element mesh:

- First, a uniform mesh linked to the plate thickness (1-5 multiple of its thickness) is generated throughout the plate.

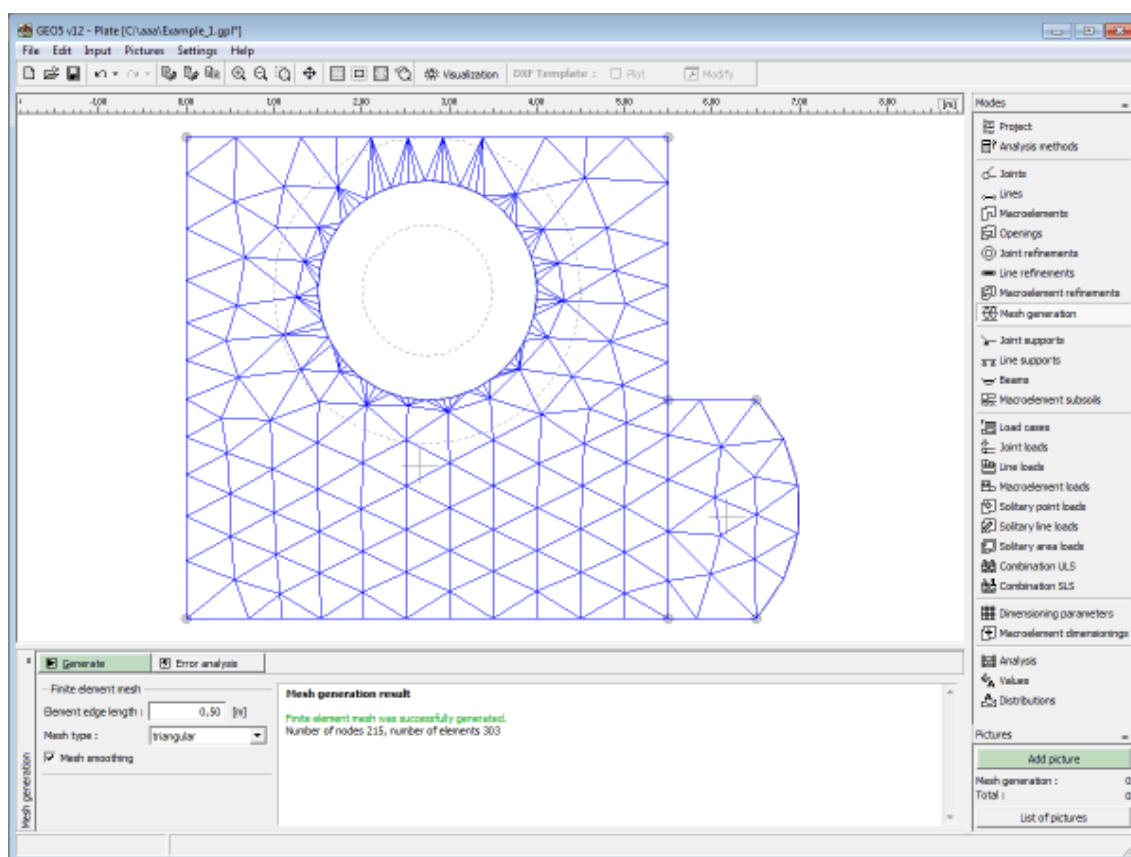


Frame «Mesh generation» - a mesh with no local refinement

- The finite element mesh should be sufficiently fine in the locations where large stress gradients are expected (point supports, corners, openings, etc.). The mesh refinement can be specified around individual **joints**, **lines** and on the **macroelements**. Its radius should be at least 2-3 multiple of the density assumed in the center of the refinement and both values (density, radius) should be reasonable with respect to the refinement prescribed for the neighboring regions. This assures a smooth transition between regions with different mesh densities. Singular lines should be tackled in the same way.



Defining mesh refinement around a circular line



*New mesh after refining the original mesh around a circular line*

## Mesh generator warning

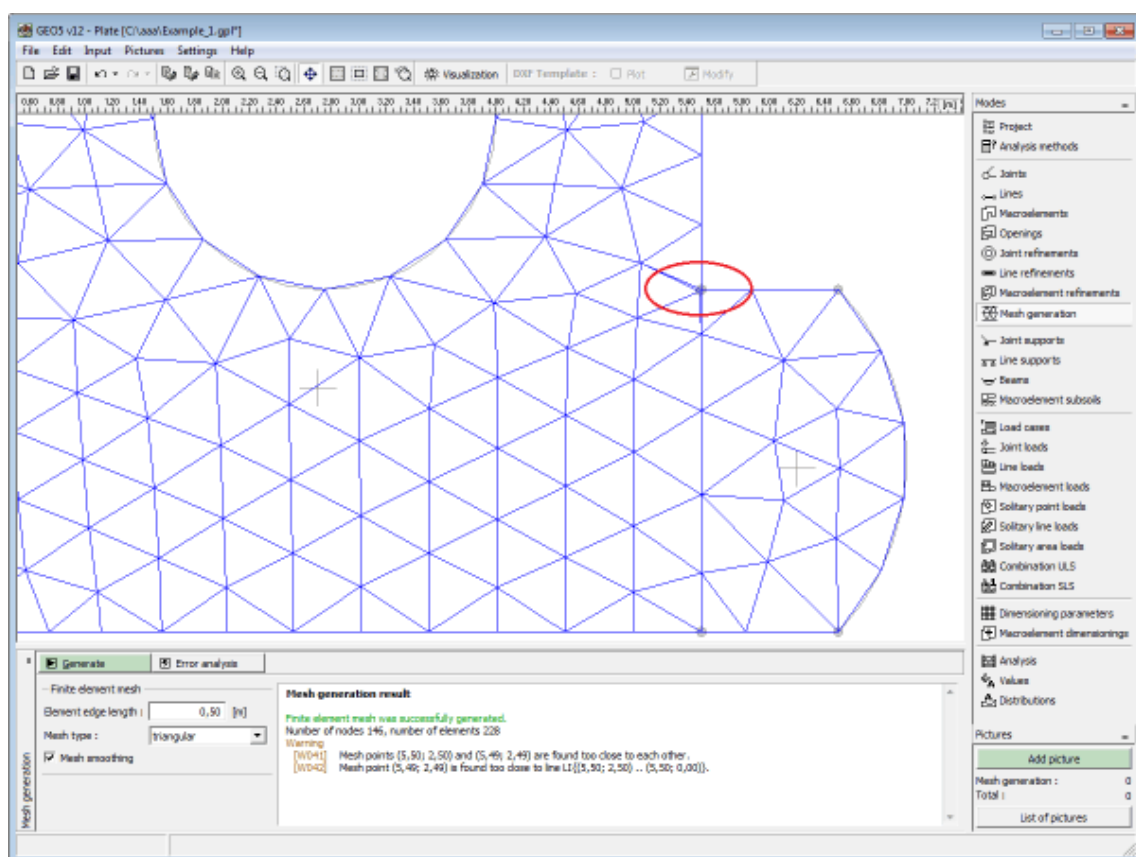
In the «**Mesh generation result**» dialog window the user is prompted for possible locations on the structure that may cause problems during automatic mesh generation. When positioning the cursor on individual warnings the corresponding critical region on a structure is highlighted with a red color. The following items are checked:

- whether the distance between two points is greater than one tenth of the required element edge length
- whether the distance between a point and a line is greater than one tenth of the element edge length
- whether the area of a region is greater than twice the element edge length
- whether points and/or lines are found inside the structure (in the soil)

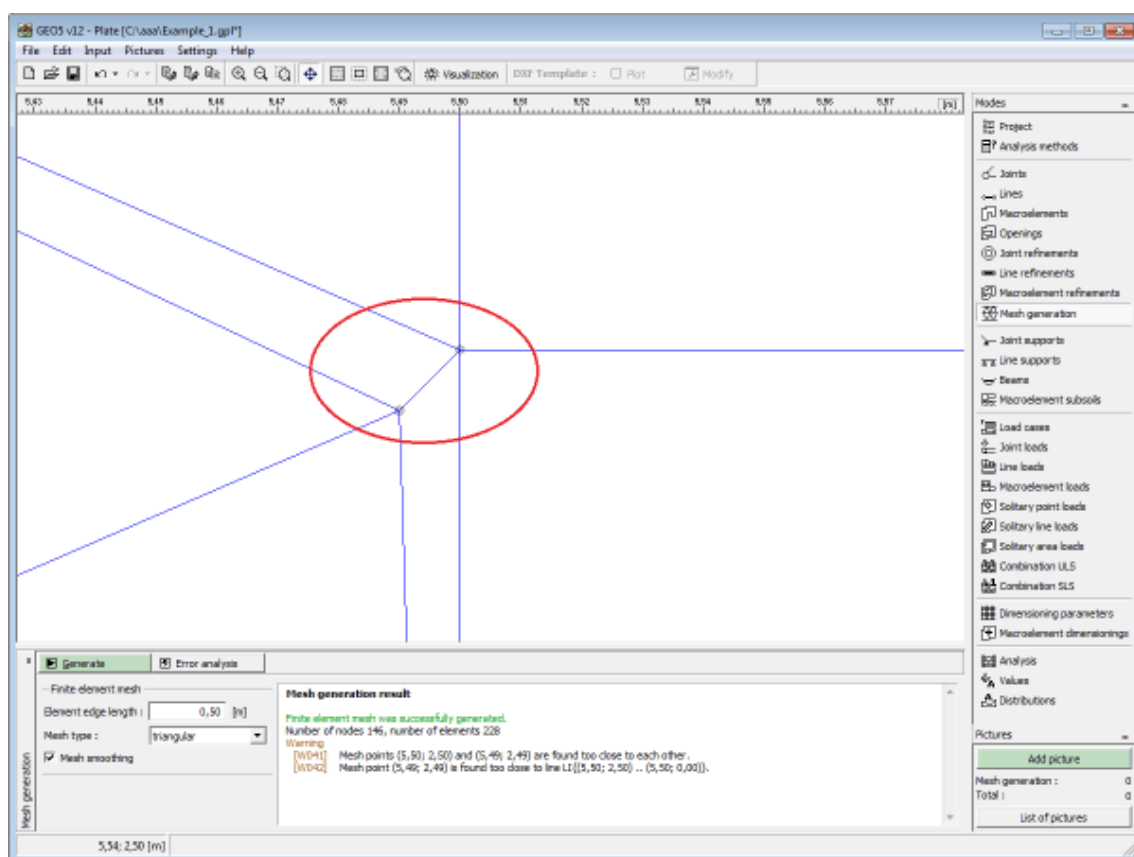
These warnings suggest locations, in which the mesh generator experience problems. The following possibilities may occur:

- the mesh is not generated => this calls for a new input of geometrical data
- the mesh is generated => in this case it is up to the user to decide whether the mesh is reasonable - in any case, the warning can be further ignored and the analysis can be carried out





Warning after identifying critical sections in FE mesh



*Critical section after zooming in - two points are too close to each other*

## Joint supports

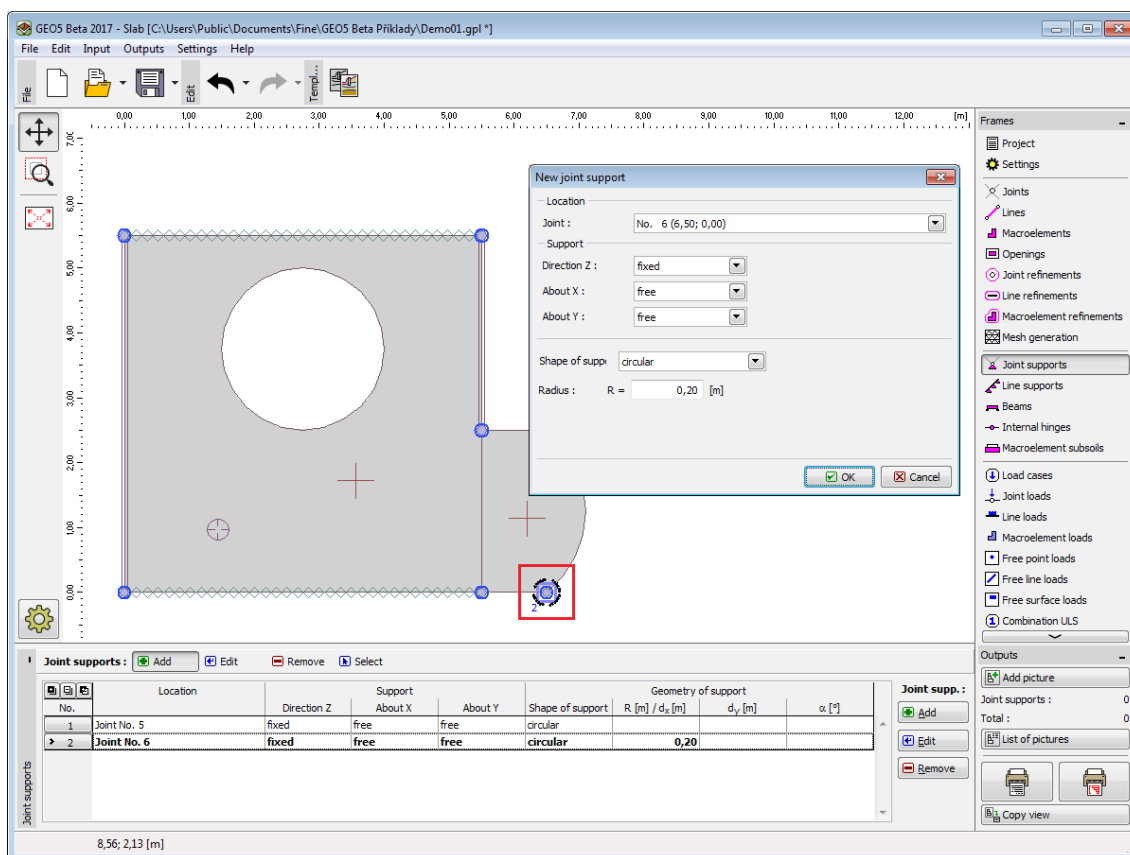
The **frame «Joint supports»** contains a **table** with the list of input joint supports. Adding joint supports is performed in the **«New joint supports» dialog window**.

The input joint supports can also be edited on the desktop with the help of **active objects**.

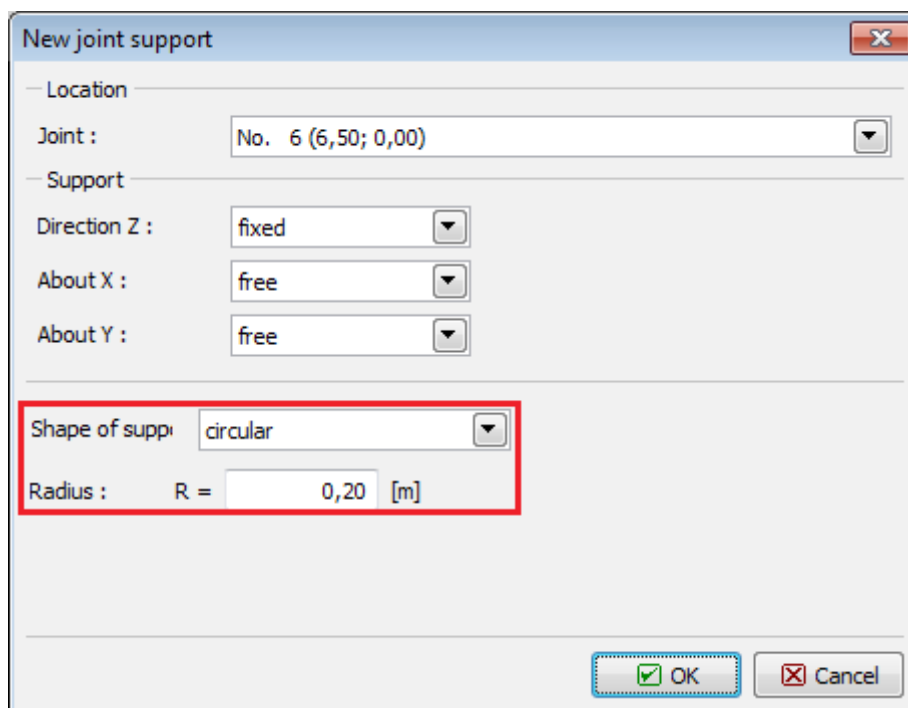
**The following types of joint supports** are considered:

- free
- fixed
- spring

In the case of **reduction of dimensioning moments**, support geometry can be entered (frame **«Settings»**). The support geometry can be entered as circular (radius  $R$  parameter) or rectangular (parameters dimensions  $d_x$  and  $d_y$  and rotation  $\alpha$ ).



Frame «Joint supports»



Dialog window «New joint supports»

## Line supports

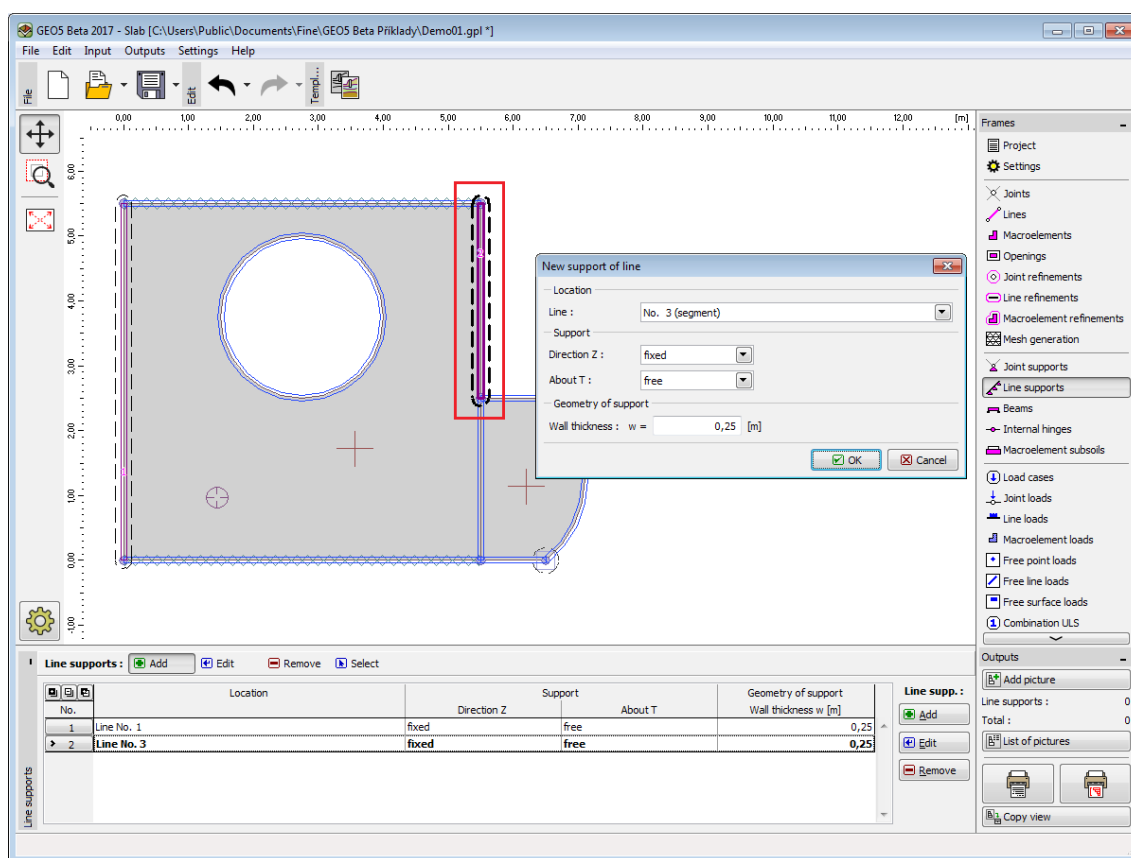
The frame «**Line supports**» contains a table with the list of input line supports. Adding line supports is performed in the «**New supports of lines**» dialog window.

The input line supports can also be edited on the desktop with the help of active objects.

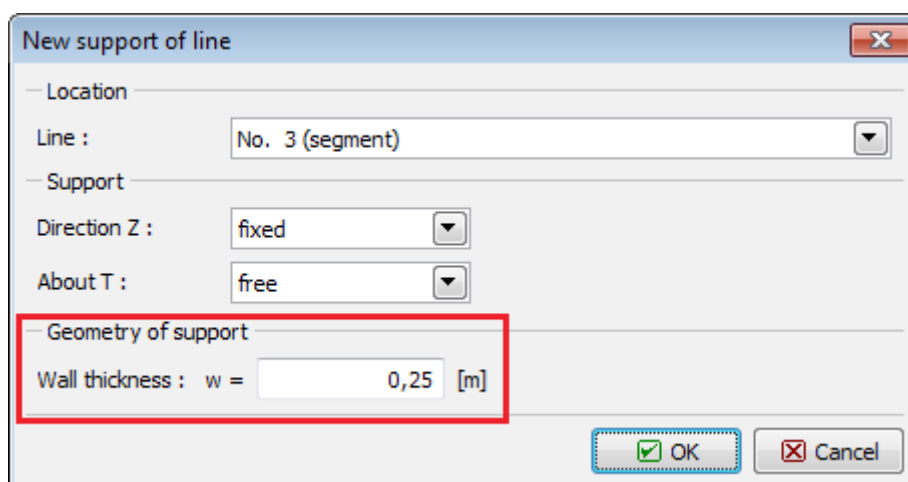
The following types of line supports are considered:

- free
- fixed
- spring

In the case of reduction of dimensioning moments, support geometry can be entered (frame «**Settings**»). Enter the wall thickness  $w$ , the circular area is considered at the end of the wall.



Frame «Line supports»



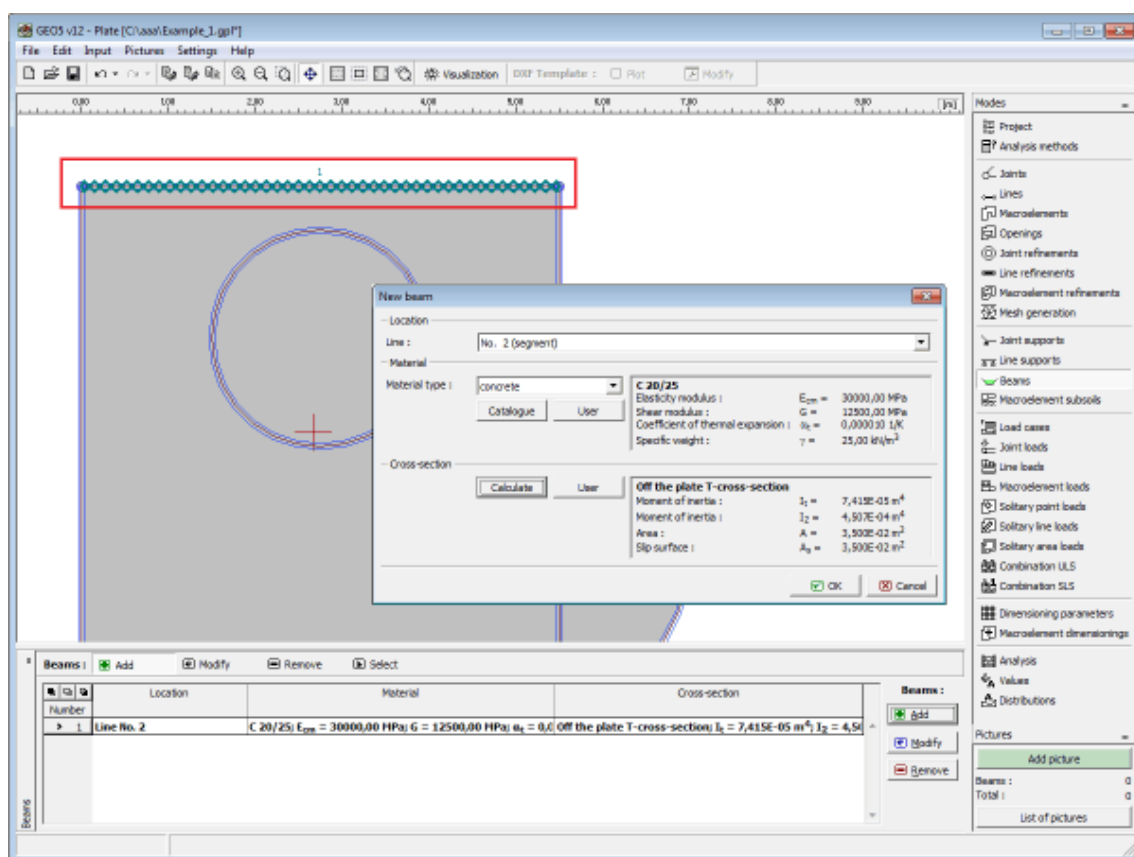
Dialog window «New supports of lines»

## Beams

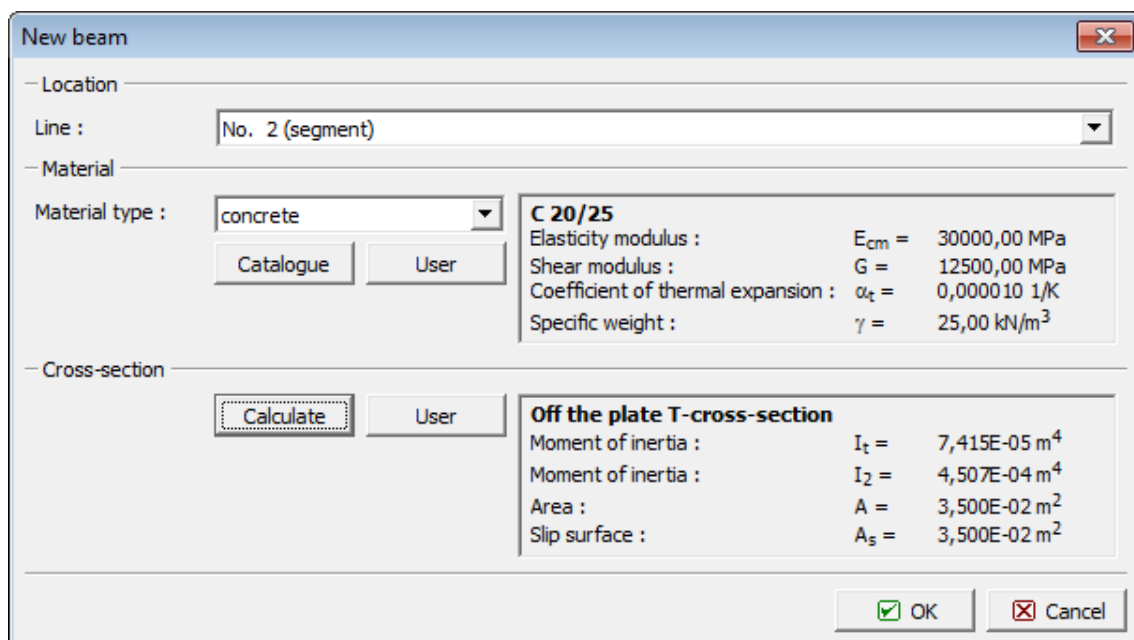
The **frame «Beams»** contains a **table** with the list of beams. **Adding** beams is performed in the **«New beams» dialog window**.

The dialog window serves to define the line number of the beam location and material and cross-section of the beam. Choosing the type of material (concrete, steel, other) then allows for assigning the material parameters either from the **catalog of materials** or manually using **editor of materials**. The cross-section parameters (based on **type of cross-section**) can be either calculated in the window **«Calculation of cross-sectional parameters»** or manually inputted in the **«Input of cross-sectional parameters»** window.

The inputted beams can also be edited on the desktop with the help of **active objects**.



Frame «Beams»

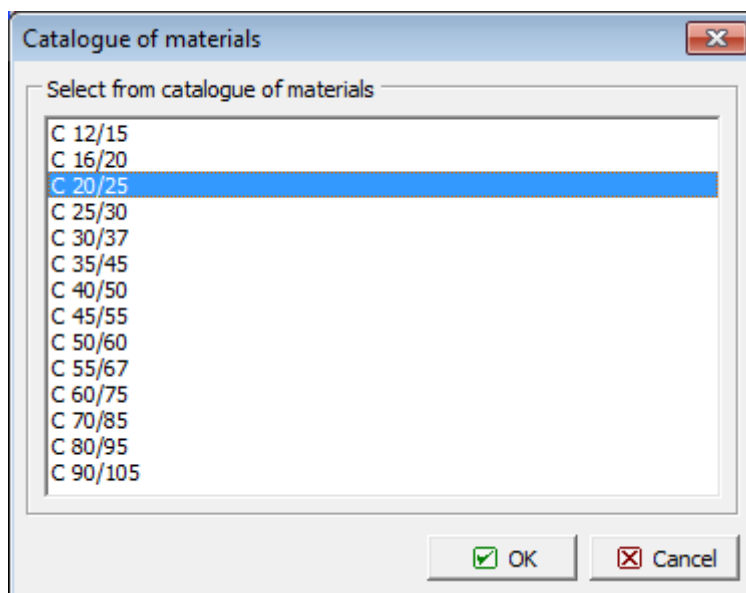


Dialog window «New beams»

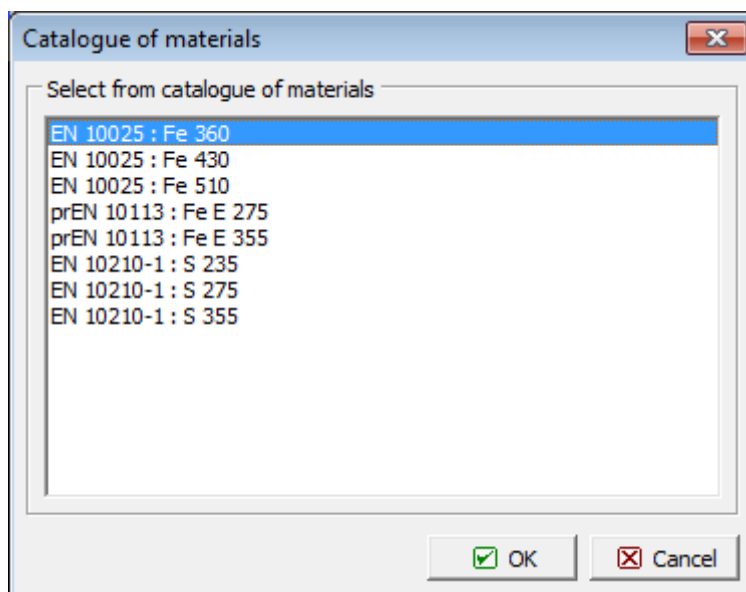
## Catalog of materials

The program contains a built-in catalog of materials for concrete, steel and other materials.

Only the type of material has to be specified in the dialog window. The **type of cross-section** is selected from the «**Calculation of cross-sectional parameters**» dialog window or «**Input of cross-sectional parameters**» dialog window.

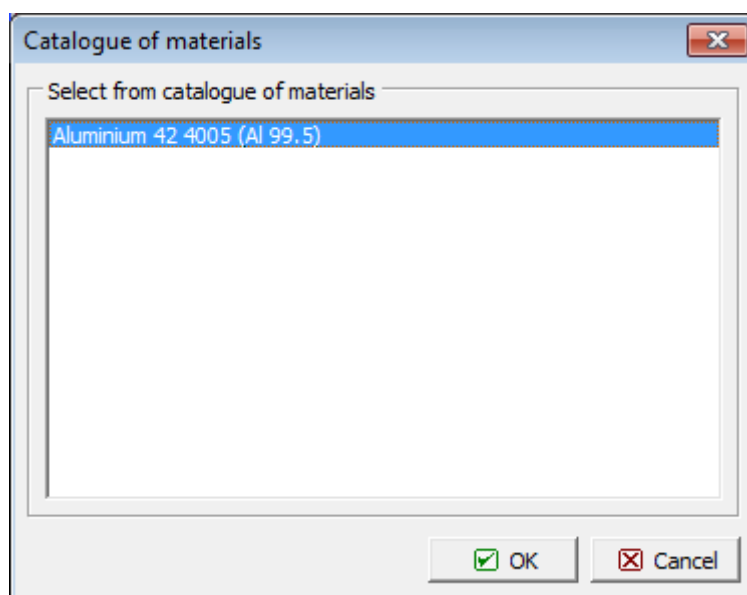


*Dialog window «Catalog of materials» - concrete*



*Dialog window «Catalog of materials» - steel*

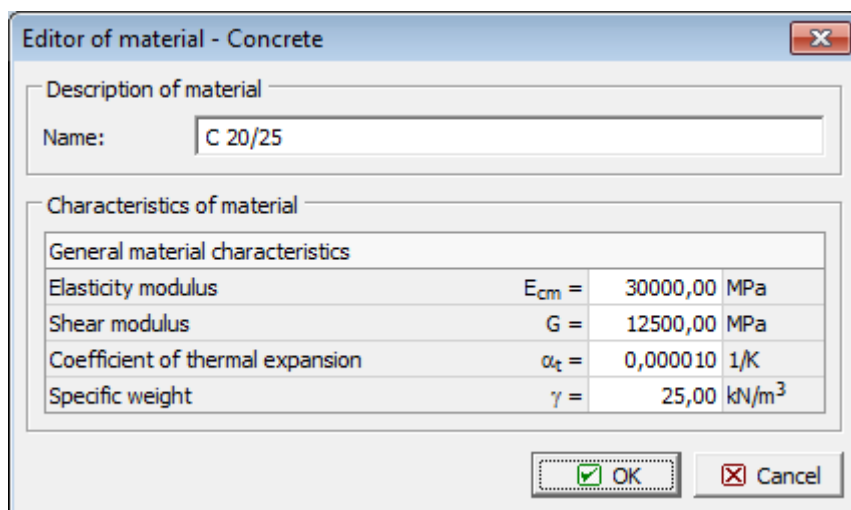




Dialog window «Catalog of materials» - other

## Editor of materials

Apart from using the «Catalog of materials» the program allows the user to enter the material parameters for steel, concrete and other materials (dialog window «**Editor of material - General**») digitally. Only the type of material (material parameters) has to be specified in the dialog window. The type of cross-section is selected from the «**Calculation of cross-sectional parameters**» dialog window or «**Input of cross-sectional parameters**» dialog window.



Dialog window «Editor of material - Concrete»

General material characteristics		
Elasticity modulus	E =	210000,00 MPa
Shear modulus	G =	81000,00 MPa
Coefficient of thermal expansion	$\alpha_t$ =	0,000012 1/K
Specific weight	$\gamma$ =	78,50 kN/m <sup>3</sup>

OK Cancel

*Dialog window «Editor of material - Structural steel»*

General material characteristics		
Elasticity modulus	E =	MPa
Shear modulus	G =	MPa
Coefficient of thermal expansion	$\alpha_t$ =	1/K
Specific weight	$\gamma$ =	kN/m <sup>3</sup>

OK Cancel

*Dialog window «Editor of material - General»*

## Types of cross-section

The program allows the user to either input the **cross-section parameters** in «**Calculation of cross-sectional parameters**» and «**Input of cross-sectional parameters**» dialog windows. The cross-sectional characteristics are selected from the [catalog of profiles](#), [cross-section editor](#) dialog windows.

Dialog window «Calculation of cross-sectional parameters»

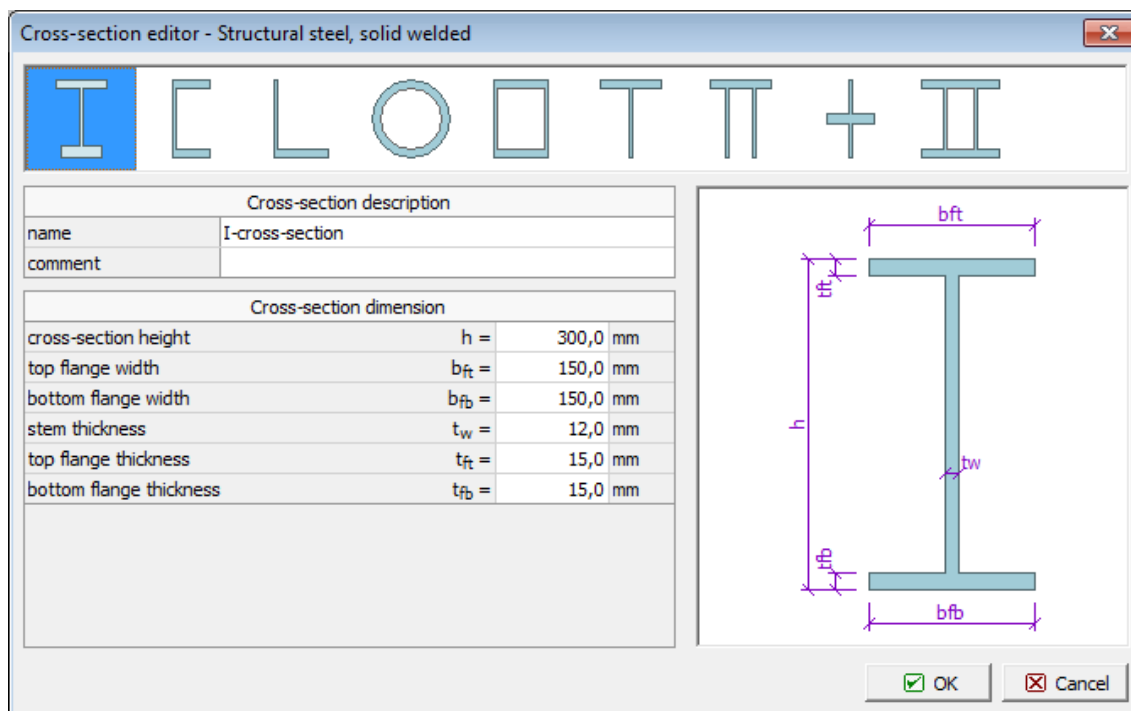
## Catalog of profiles

In the case of steel cross-sections the program allows for choosing a particular cross-section from the catalog of profiles. Only the type of cross-section has to be specified in the dialog window. The type of material of the cross-section is selected from the «[Catalog of materials](#)», or defined in the «[Editor of materials](#)».

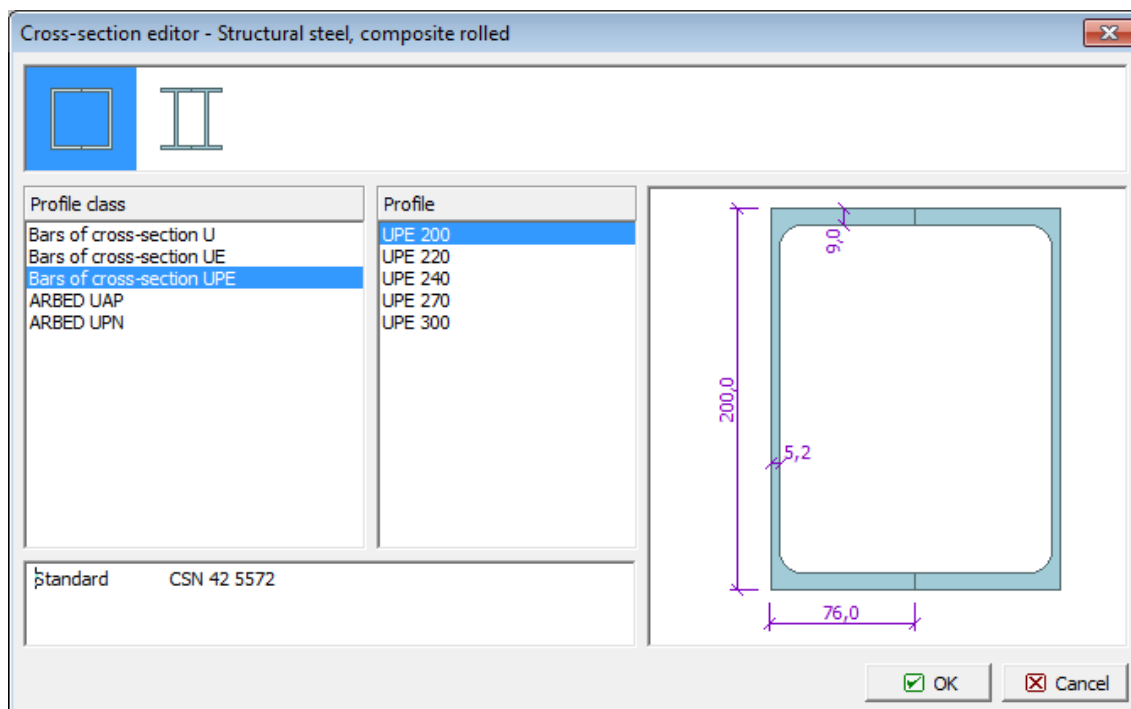
Dialog window «Catalog of profiles»

## Cross-section editor

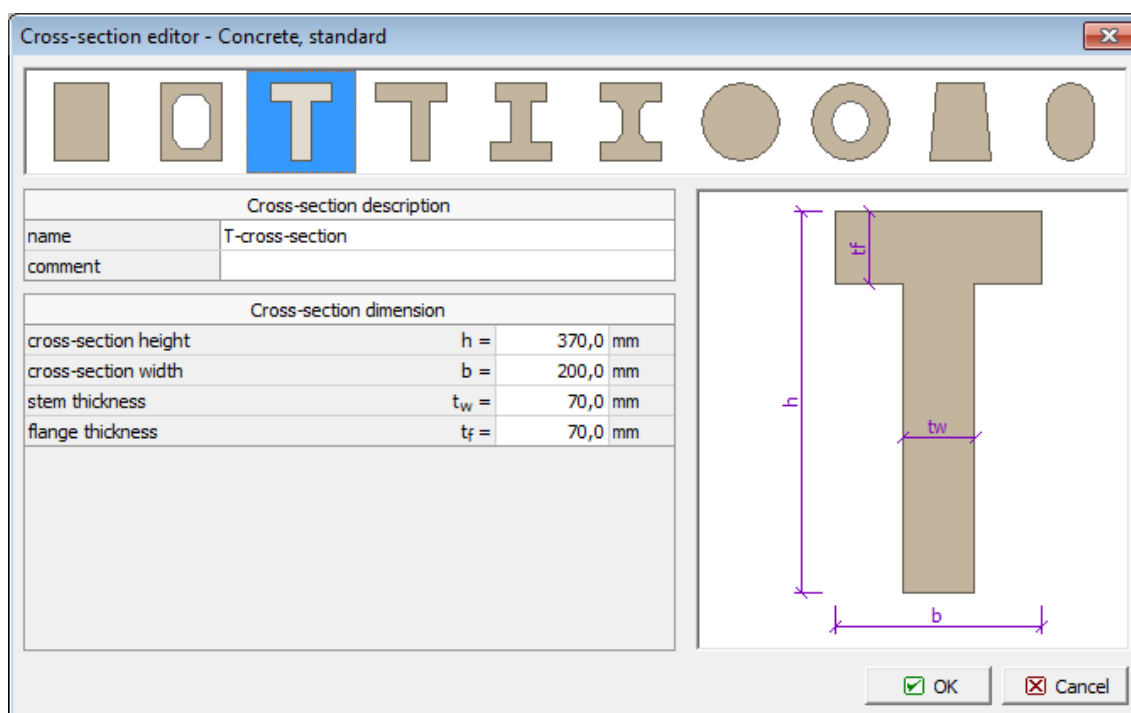
In the case of steel and concrete cross-section the program allows for introducing the user defined cross-section. Only the shape of cross-section has to be specified in the dialog window. The cross-sectional characteristics are selected from the [catalog of materials](#), [editor of materials](#) dialog windows.



Dialog window «Cross-section editor - Structural steel, solid welded»



Dialog window «Cross-section editor - Structural steel, composite rolled»



Dialog window «Cross-section editor - Concrete, standard»

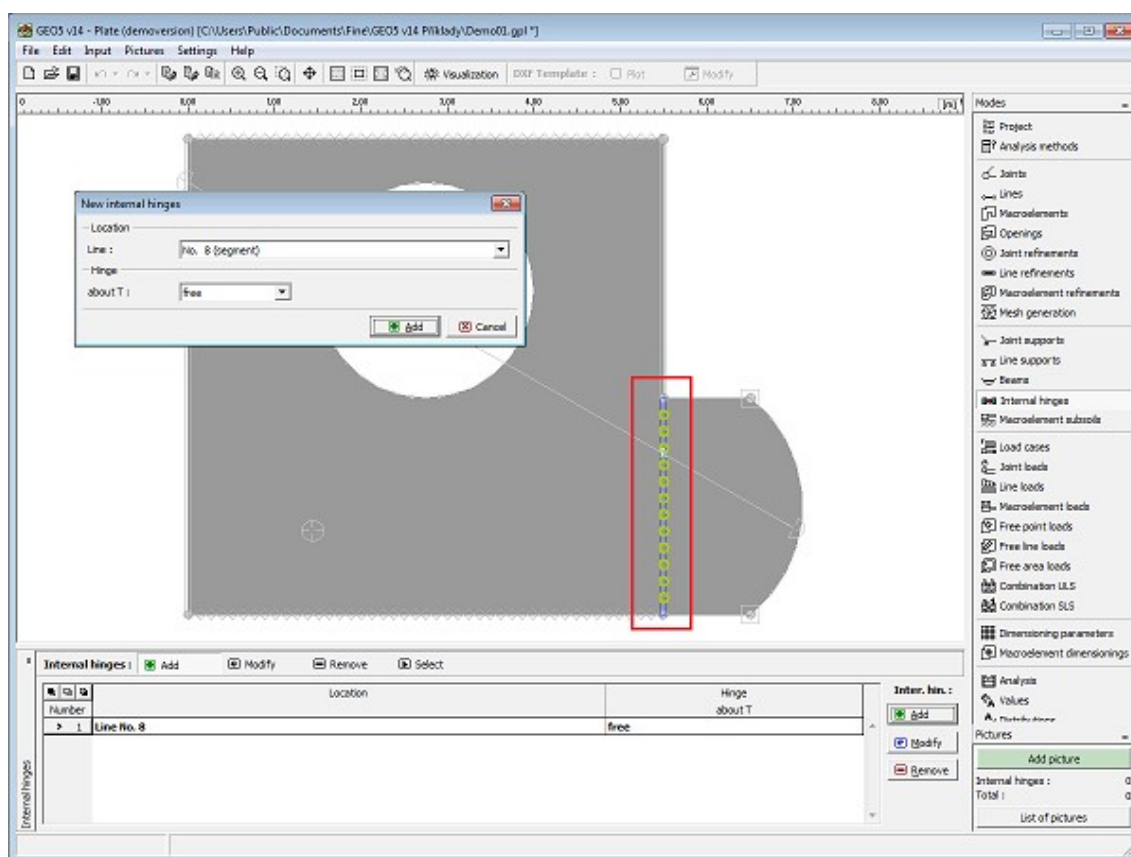
## Internal hinges

The frame «**Internal hinges**» contains a table with the list of internal hinges. Adding internal hinges is performed in the «**New internal hinges**» dialog window. The dialog window serves to define the line number of the internal hinges location and type of internal hinge (free, spring).

The internal hinge is a boundary condition that allows for the introduction of independent rotation about the  $x$  and  $y$  axis between the two parts of the slab along a specified line while keeping the vertical deflection along this line the same. The internal hinge can be prescribed along an arbitrary line creating a boundary between two macroelements. The rotation can be either free or controlled by the spring torsional stiffness  $K_{\phi,T}$ .

Internal hinges can also be introduced using the mouse. This inputting mode is activated by clicking an appropriate button on the horizontal tool bar «**Internal hinges**». The following modes are available:

The input internal hinges can also be edited on the desktop with the help of active objects.



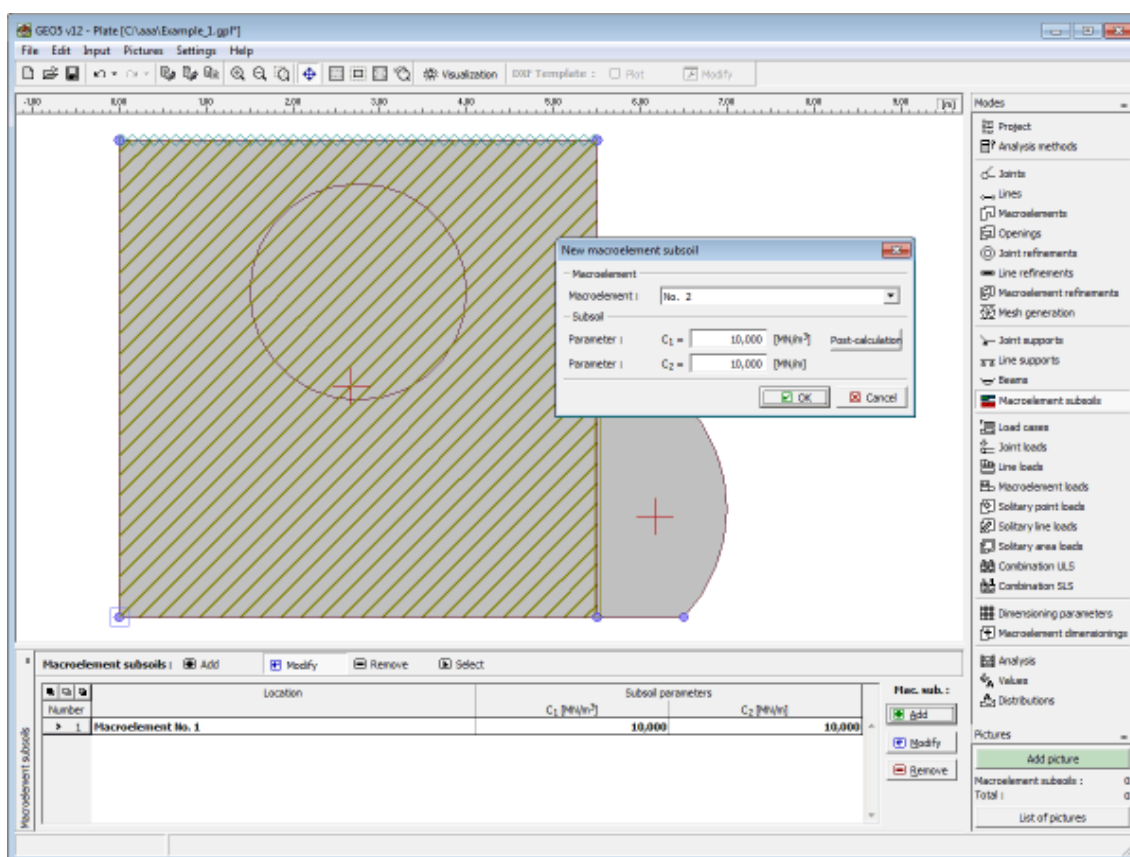
Frame «Internal hinges»

## Macroelement subsoils

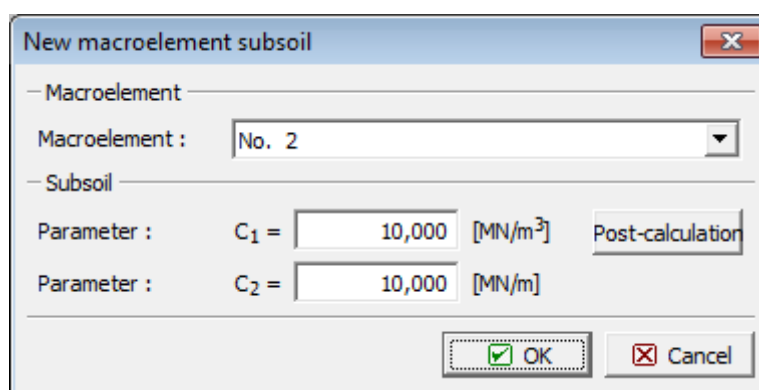
The frame «**Macroelement subsoils**» contains a table with the list of inputted macroelement subsoils. Adding line supports is performed in the «**New macroelement subsoils**» dialog window.

The dialog window serves to define the macroelement number and parameters  $C_1$  and  $C_2$ . The **Winkler-Pasternak constants**  $C_1$  and  $C_2$  can be specified either directly or **calculated** by the program. The latter option further requires inputting deformation parameters of soils (deformation modulus, Poisson's number and depth of influence zone) in the «**Compute  $C_1$  and  $C_2$** » dialog window. These parameters can be determined using the program «**Spread footing**» (2. limit state) and introduced into the program.

The inputted macroelement subsoils can also be edited on the desktop with the help of **active objects**.



Frame «Macroelement subsoils»



Dialog window «New macroelement subsoils»

## Winkler-Pasternak parameters C1 a C2

**The Winkler - Pasternak model for the solution of an elastic layer** introduces the balance equation in the vertical direction as:

$$c_1 \cdot w - c_2 \cdot \Delta w = f_z$$

where:  $c_1, c_2$  constants characterizing the Winkler - Pasternak model  
 $w$  displacement in the vertical direction



$f_z$  vertical load acting on a layer

The elastic subsoil is introduced into the program using local stiffness matrices which are added to the stiffness matrices of individual elements resting on the subsoil. The contact stress  $\sigma$  is provided as an output.

## Calculation of Winkler-Pasternak constants from deformation parameters of soils

The Winkler - Pasternak constants  $C_1$  and  $C_2$  are calculated in the program from the condition of equal compliance matrices of infinitely stiff infinite strip footing resting on the Winkler - Pasternak and elastic subsoil. This condition is represented by the following equalities:

$$[C] = \begin{bmatrix} \frac{1}{2 \left[ \sqrt{C_{1WP} C_{2WP}} + b C_{1WP} \right]} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2 \left[ b^2 \sqrt{C_{1WP} C_{2WP}} + b C_{2WP} + \frac{b^3}{3} C_{1WP} \right]} \end{bmatrix} =$$

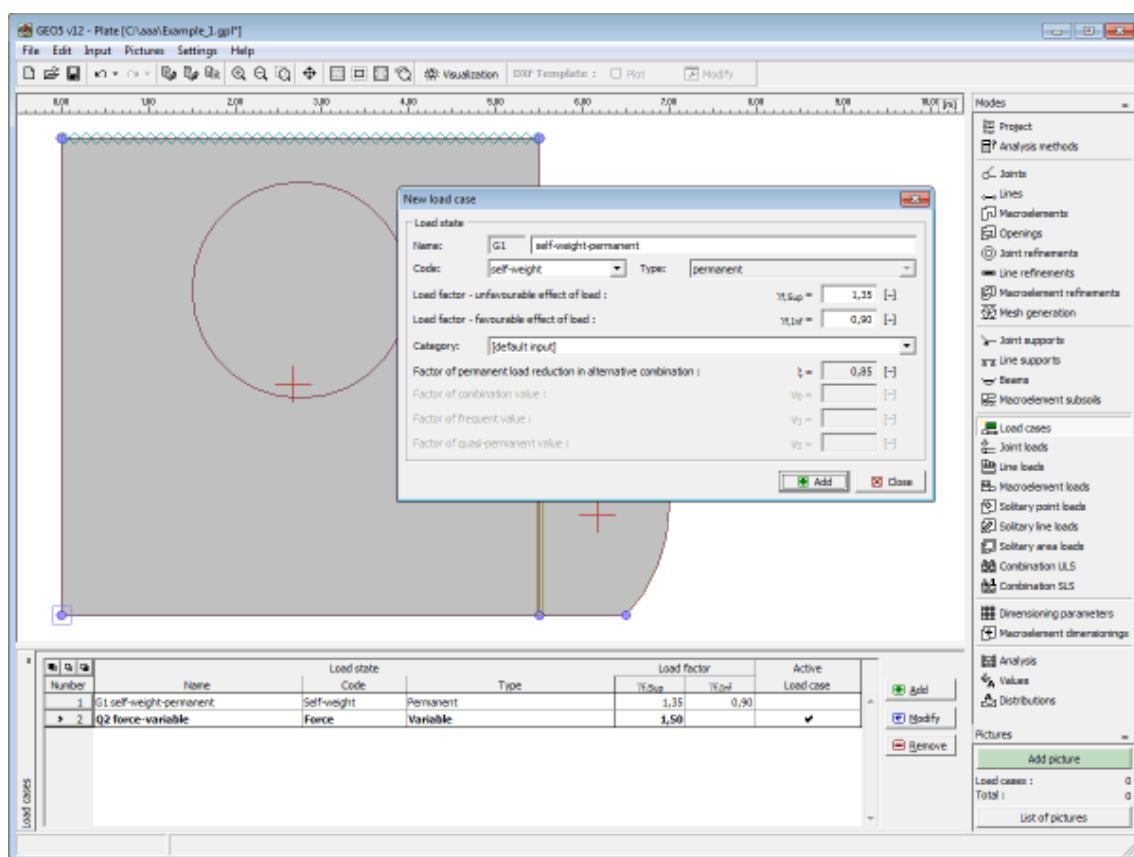
$$= \begin{bmatrix} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2 \sqrt{H} \left[ (2n+1) \sqrt{C_{1w} C_{2w}} + (2n+1)^2 b C_{1w} \right]} & 0 \\ 0 & \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2 \sqrt{H} \left[ (2n+1) b^2 \sqrt{C_{1w} C_{2w}} + b C_{2w} + (2n+1)^2 \frac{b^3}{3} C_{1w} \right]} \end{bmatrix}$$

where:

$[C]$	matrix of constants $C_1$ a $C_2$
$b$	half width of foundation
$c_{1w}, c_{2w}$	Winkler's constants
$H$	depth of deformation zone

## Load cases

The frame «**Load cases**» contains a table with the list of input load cases. Adding load cases and their parameters is performed in the «**New load case**» dialog window. Editing can be carried out with the help of «**Modify**» button or by clicking the row with the required load case in the list using the left mouse button.



Frame «Load cases»

## Load case parameters

The following parameters are defined in the «**New load case**» dialog window:

### Load case identifier

The load case identifier, which is composed of the load case number and a uniliteral prefix, is displayed in front of the field for entering the name of the load case. The prefix is determined by the type of load case:

- G** - permanent loading
- Q** - variable loading
- A** - accidental loading

The load case identifier is mainly used in printouts of combinations.

### Load case code

The load case code determines, what loading can be specified for this loading. The following options are available.

**Self-weight** In this load case the load represents the structure self-weight and it is generated automatically by the program. Only one load case with this code can be considered in each task.

**Force** An arbitrary type of force loading (forces, moments) can be introduced into the load case with this code. The number of LCs is not limited.

## Load type

It determines the character of load cases based on their variability in time. Selecting a particular type of load corresponds to classification according to EN 1990 standard, art. 4.1.1.

## Load coefficients

It allows for specifying the load partial factor  $\gamma_f$ . This coefficient accounts for unfavorable deviations of values of loads from the representative ones. For permanent loading it is necessary to introduce different values for favorable ( $\gamma_{f, inf}$ ) and for unfavorable ( $\gamma_{f, sup}$ ) load action in a combination. If the load input follows EN 1990 the default values of coefficients are taken from table A1.2(B).

## Category

Classification of load cases into categories corresponds to the classification of load according to table A1.1 of EN 1990 standard. Based on this the variable load cases are assigned combination coefficients  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  and  $\psi_2$ . The category of «**User-defined input**» allows for defining the user self-values of these coefficients. Choosing a category is possible only for load cases inputted according to EN 1990 (the «**Material and standards**» tab sheet serves to select the particular standard).

## Combination coefficients

Basic values of coefficients to create combinations arise from EN 1990 standard and depend on the load case category. When user input is assumed, it is possible to define the user self-values of these coefficients. The following coefficients are used to create a combination:

- $\xi$  - **Coefficient of reduction of permanent loads in alternative combination** - this coefficient is assigned to all permanent loads and is used when compiling alternative combinations for the bearing capacity limit state (combination to relation 6.10.b, EN 1990).
- $\psi_0$  - **Coefficient of combination value** - coefficient for variable loads, it is used when compiling combinations for both the bearing capacity and service limit states
- $\psi_1$  - **Coefficient of frequent value** - coefficient for variable loads, it is used when compiling accidental combinations and combinations for the service limit state
- $\psi_2$  - **Coefficient of quasi-permanent value** - coefficient for variable loads, it is used when compiling accidental combinations and combinations for the service limit state

The combination coefficients are available only for load cases inputted according to EN 1990 (the «**Material and standards**» tab sheet serves to select the particular standard).

**New load case**

Load state

Name:

Code:  Type:

Load factor - unfavourable effect of load :  $\gamma_{f, Sup} =$   [-]

Load factor - favourable effect of load :  $\gamma_{f, Inf} =$   [-]

Category:

Factor of permanent load reduction in alternative combination :  $\xi =$   [-]

Factor of combination value :  $\psi_0 =$   [-]

Factor of frequent value :  $\psi_1 =$   [-]

Factor of quasi-permanent value :  $\psi_2 =$   [-]

Dialog window «New load case»

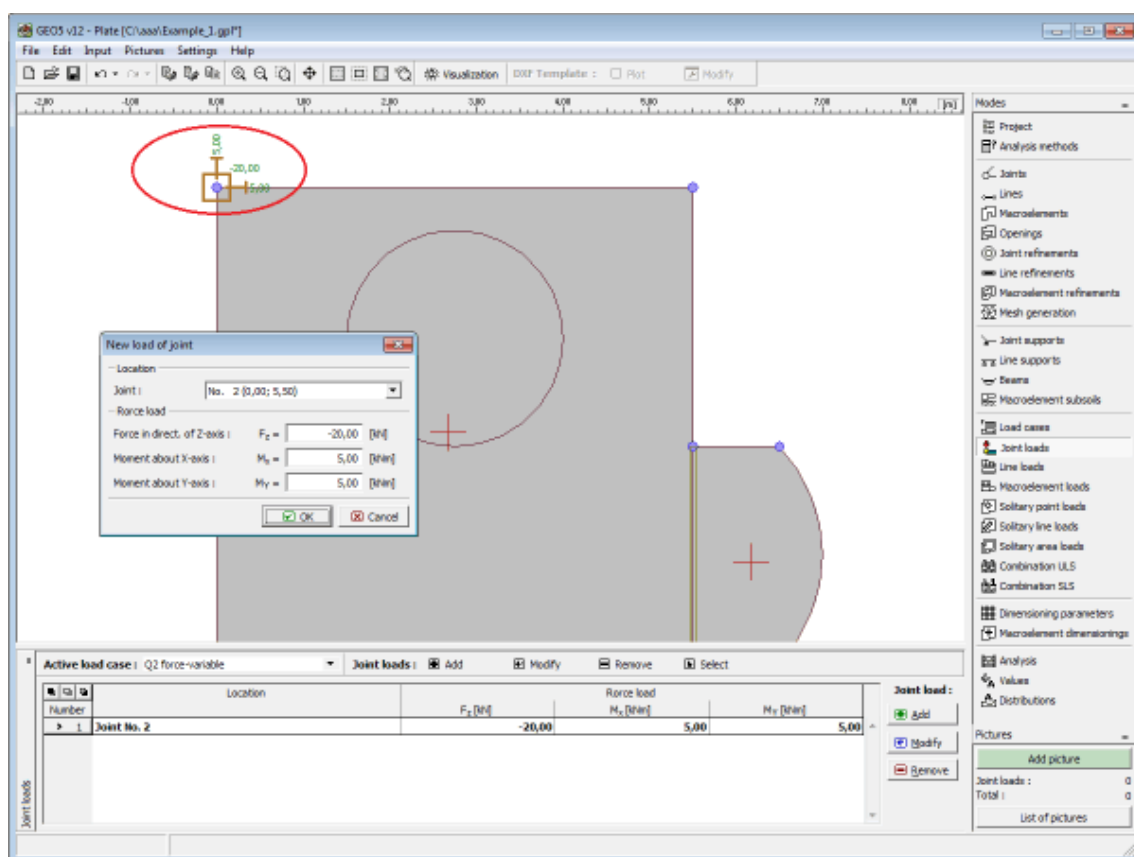
## Joint loads

The **frame «Joint loads»** contains a **table** with the list of input joint loads. Each joint load is assigned to a certain load case and input **joint**. Selection of the load is performed in the **«Active load case»** combo list. **Adding** (editing) joint loads is performed in the **«New load of joints»** **dialog window**.

The program allows for specifying either mechanical (e.g. forces) or deformational (e.g. prescribed displacements of supports) actions.

The input joint loads can also be edited on the desktop with the help of **active objects**.

The program employs the following **coordinate systems** (sign convention).



Frame «Joint loads»

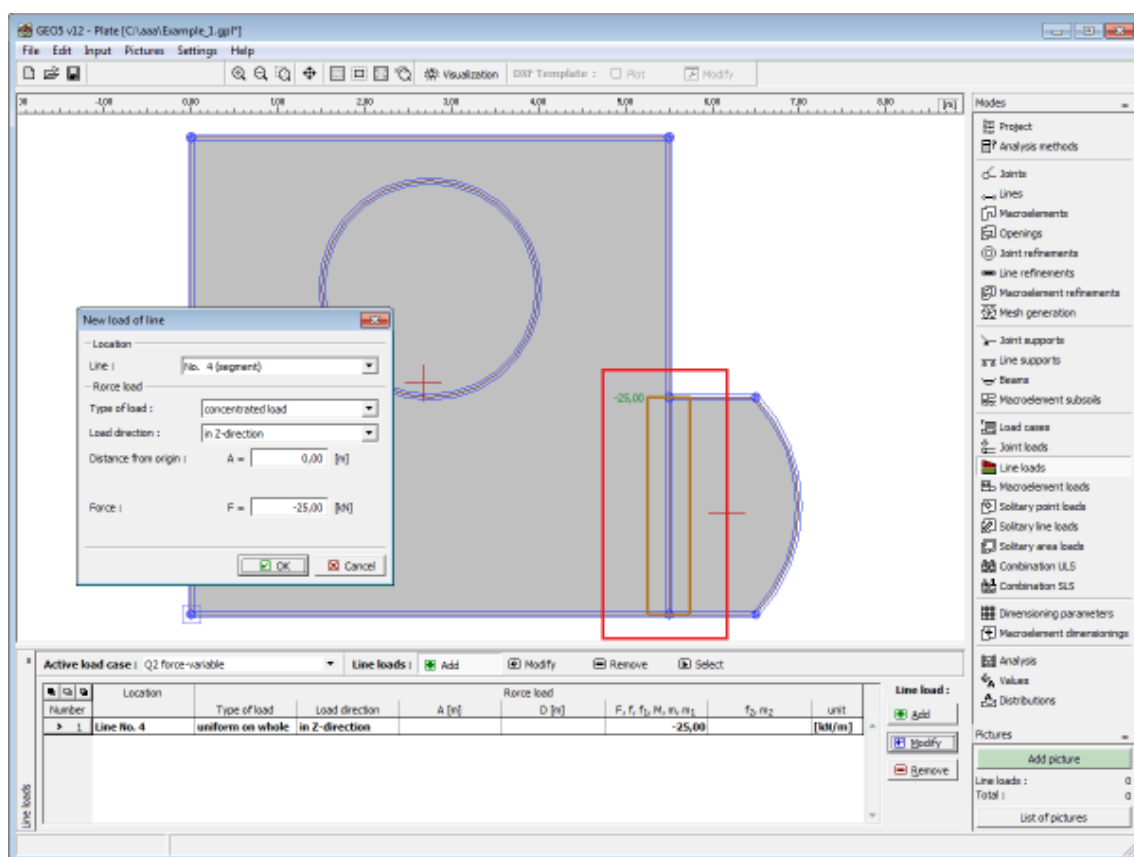
## Line loads

The **frame «Line loads»** contains a **table** with the list of input line loads. Each line load is assigned to a certain load case and input **lines**. Selection of the load is performed in the **«Active load case»** combo list. **Adding** line loads is performed in the **«New loads of lines»** dialog window.

The program allows for specifying either mechanical (e.g. forces), deformational (e.g. prescribed displacements of supports), or **temperature** actions.

The input line loads can also be edited on the desktop with the help of **active objects**.

The program employs the following **coordinate systems** (sign convention).



Frame «Line loads»

## Temperature load

Temperature load assumes a linear distribution of temperature throughout the slab thickness. Such thermal gradient causes moments in the slab given by:

$$m_t = \frac{E \cdot h^2 \cdot \alpha \cdot \Delta t}{12 \cdot (1 - \nu)}$$

where:

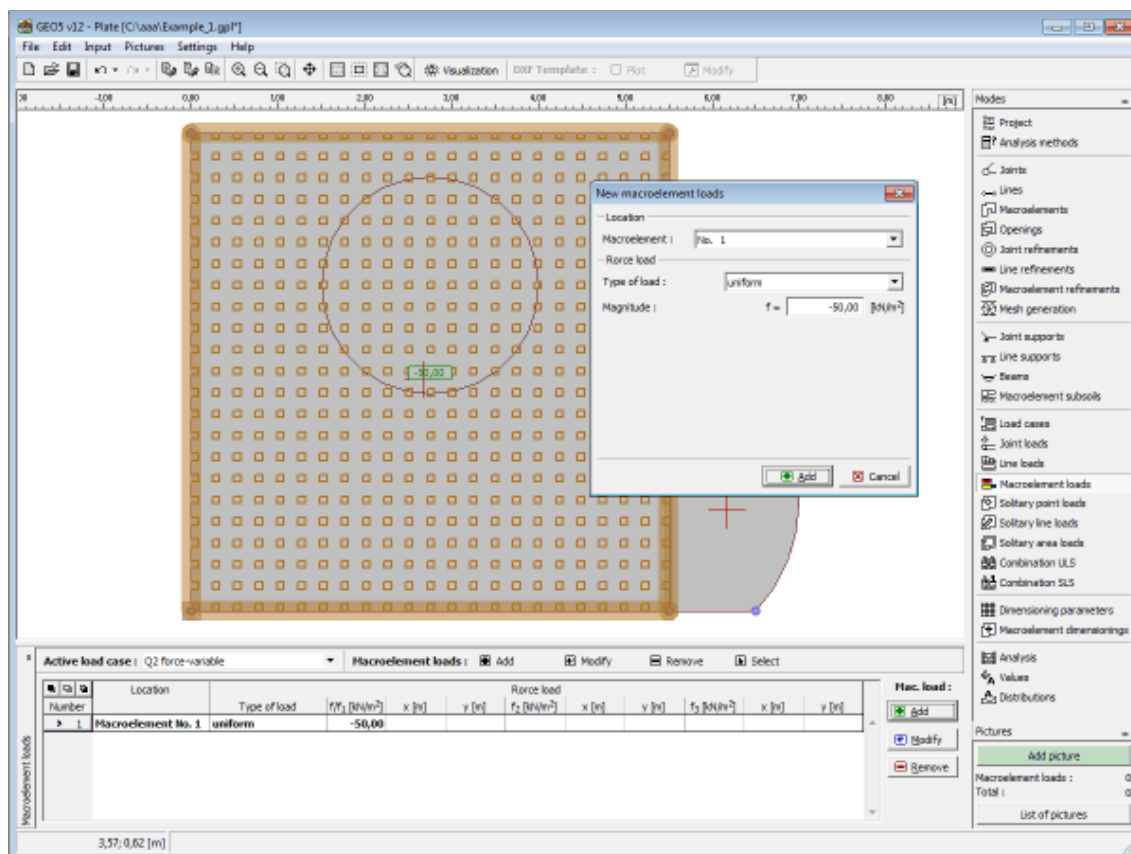
- $E$  - elastic modulus
- $\nu$  - Poisson's ratio
- $h$  - slab thickness
- $\alpha$  - coefficient of thermal expansion
- $\Delta t$  - temperature difference

## Macroelement loads

The **frame «Macroelement loads»** contains a **table** with the list of input macroelement loads. Each macroelement load is assigned to a certain load case and input **macroelement**. Selection of the load is performed in the **«Active load case»** combo list. **Adding** macroelement loads is performed in the **«New macroelement loads»** **dialog window**.

The program allows for specifying either mechanical (e.g. forces) or temperature actions. The input macroelement loads can also be edited on the desktop with the help of active objects.

The program employs the following coordinate systems (sign convention).



Frame «Macroelement loads»

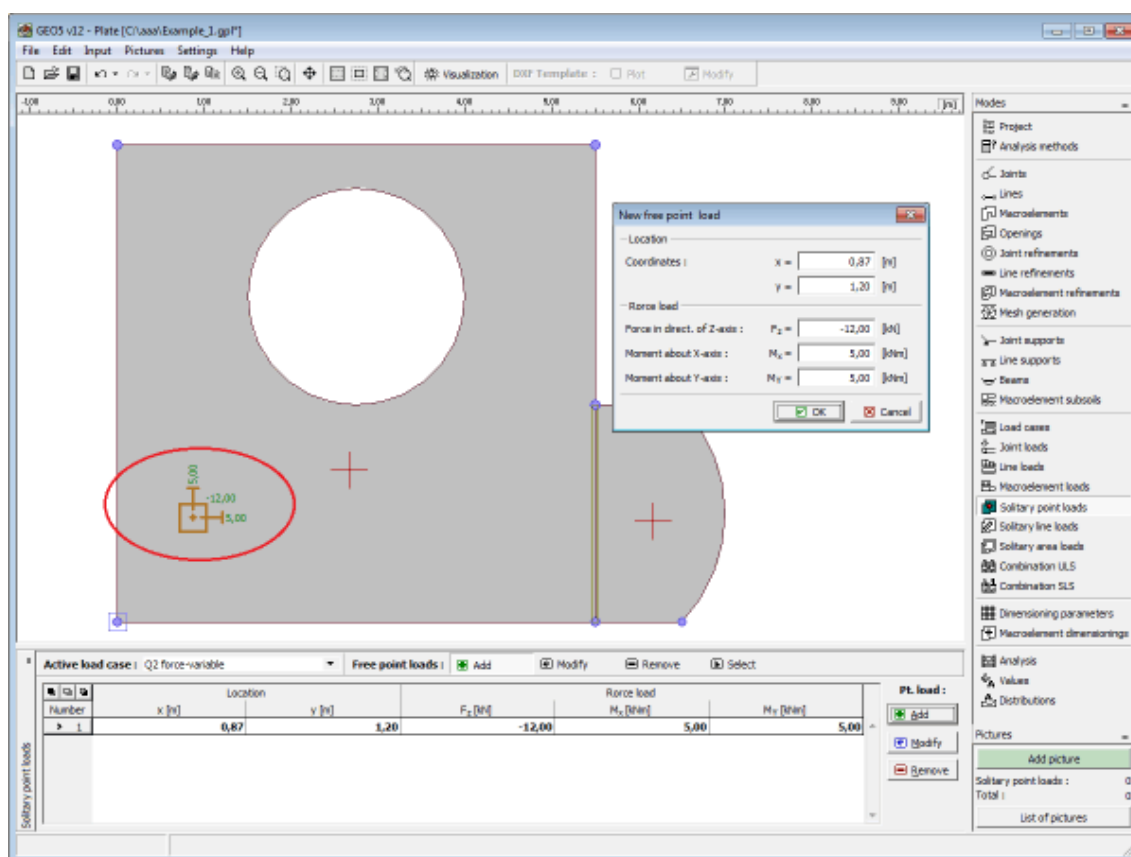
## Free point loads

The frame «Free point loads» contains a table with the list of input free point loads. Each free point load is assigned to a certain load case and can receive an arbitrary location on the slab surface. Selection of the load is performed in the «Active load case» combo list. Adding free point loads is performed in the «New free point loads» dialog window.

The input free point load can also be edited on the desktop with the help of active objects.

The program employs the following coordinate systems (sign convention).





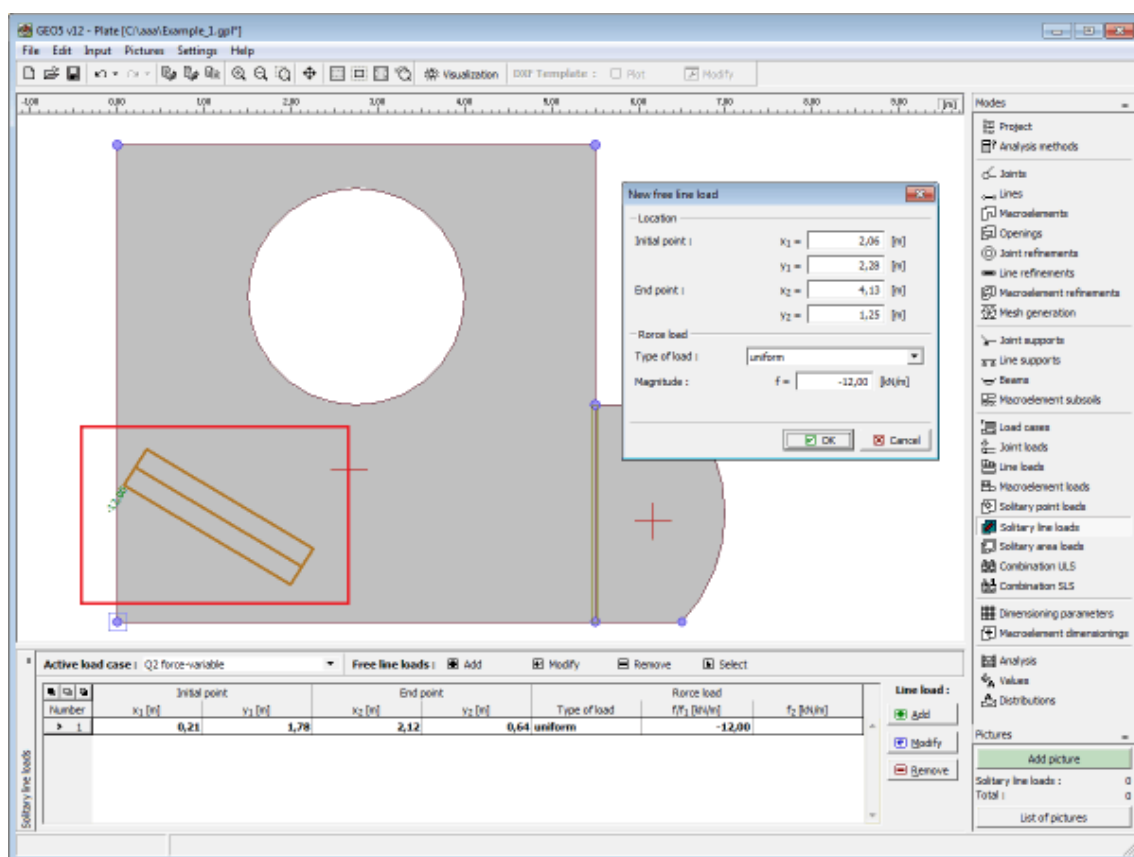
Frame «Free point loads»

## Free line loads

The **frame «Free line loads»** contains a **table** with the list of input free line loads. Each free line load is assigned to a certain load case and with using points it can receive an arbitrary direction and location on the slab surface. Selection of the load is performed in the **«Active load case»** combo list. Adding free line loads is performed in the **«New free line loads»** dialog window.

The input free line load can also be edited on the desktop with the help of **active objects**.

The program employs the following **coordinate systems** (sign convention).



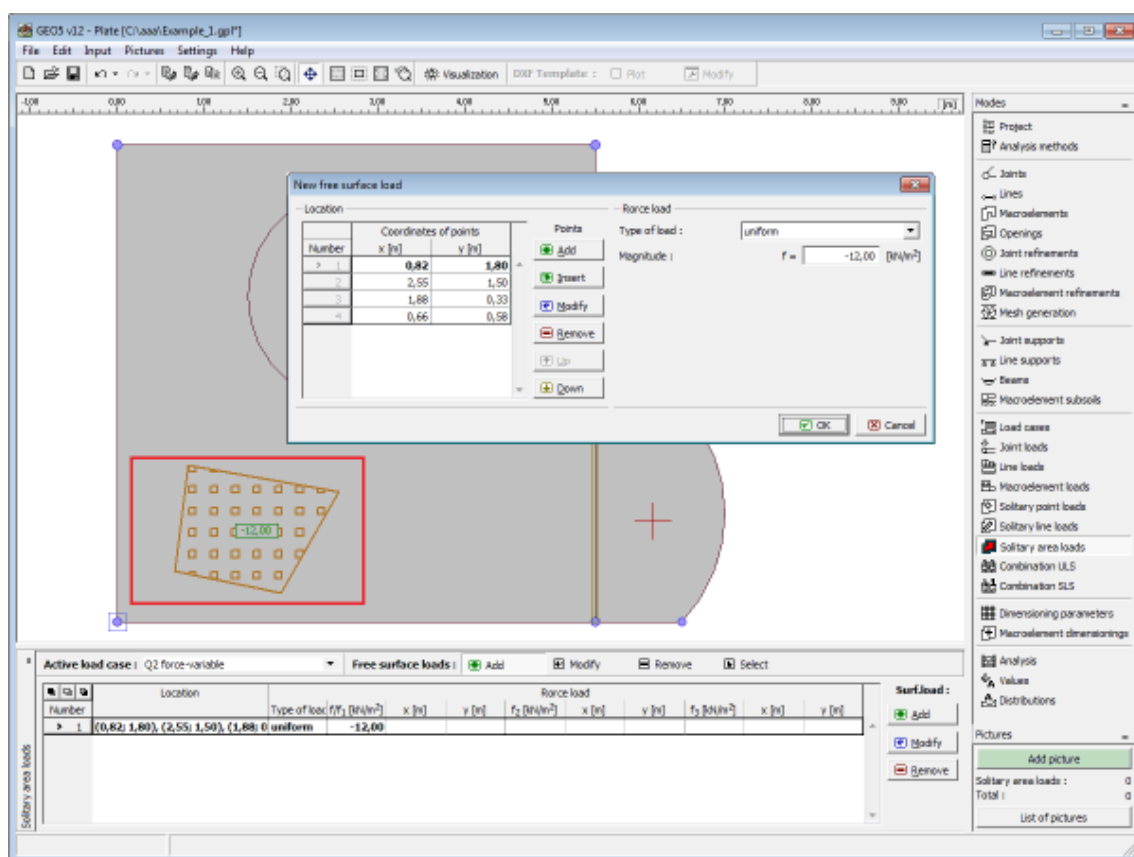
Frame «Free line loads»

## Free area loads

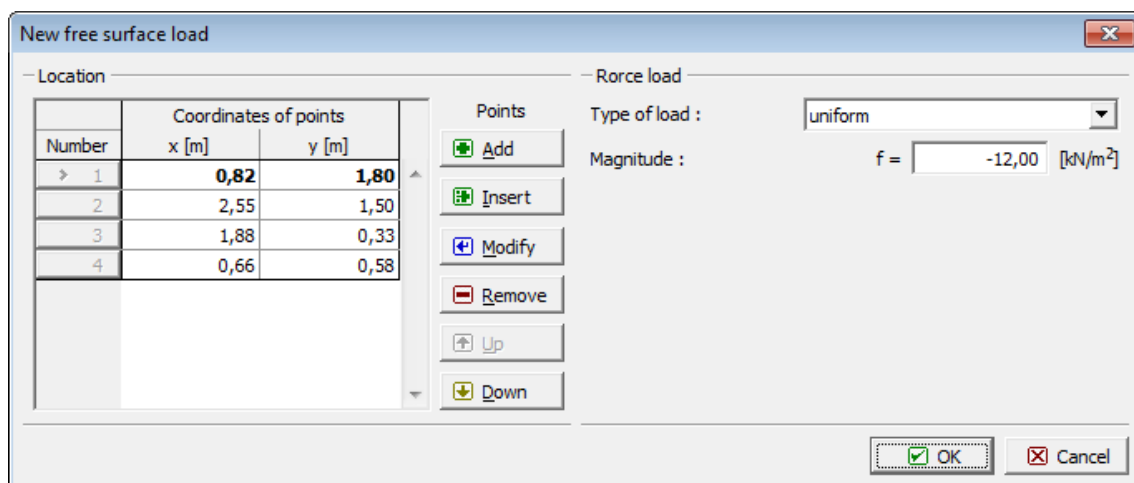
The **frame «Free area loads»** contains a **table** with the list of input free area loads. Each free area load is assigned to a certain load case and with using points it can receive an arbitrary shape and location on the slab surface. Selection of the load is performed in the **«Active load case»** combo list. **Adding** free area loads is performed in the **«New free surface loads»** dialog window.

The input free area load can also be edited on the desktop with the help of **active objects**.

The program employs the following **coordinate systems** (sign convention).



Frame «Free area loads»

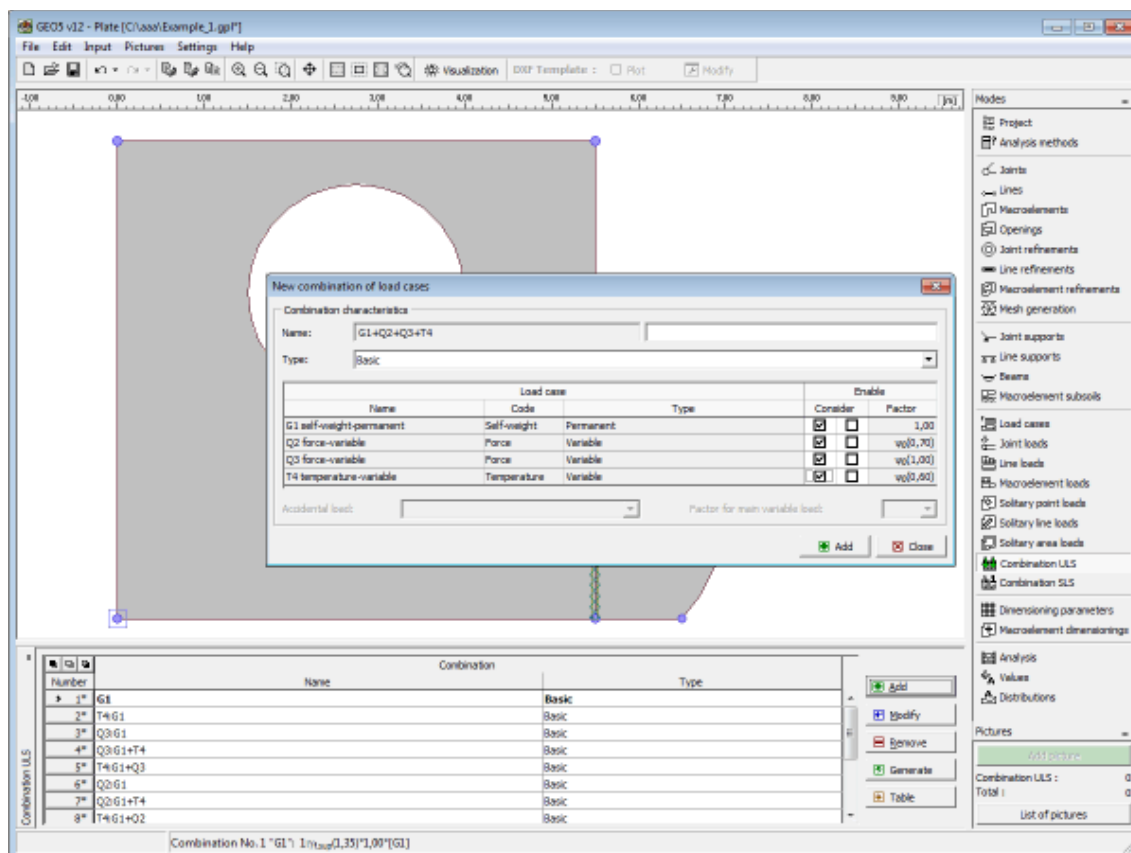


Dialog window «New free surface loads»

## Combination ULS

The **frame «Combinations ULS»** contains a **table** with the list of inputted combinations of the bearing capacity limit state. Adding (editing) combinations and their **parameters** is performed in the **«New combination of load cases»** dialog window. Editing can be carried out with the help of **«Modify»** button or by clicking the row with the required combination in the list using the left mouse button.

The built-in **generator of combinations** of load cases can be used to create individual combinations.



Frame «Combination ULS»

## Parameters of combinations of ULS

The following parameters are specified in the «**New combination of load cases**» **dialog window**:

### New combination

A brief description of combination is displayed in front of the field where the combination is defined. All considered load cases are tagged using their **identifiers**. The major variable loads are moved at the beginning of the list and separated from the remaining LCs by colon.

### Type of combination (for combinations based on EN 1990 only)

The following combinations can be created for the bearing capacity limit state:

**Basic** Basic combination based on expression 6.10 of EN 1990 standard

**Alternative** Combinations based on expressions 6.10a and 1.10b of EN 1990 standard. In this case, two variants of combination are used in the analysis, one with reduced permanent LCs and the other with reduced major variable LC.

**Accidental** Accidental combination based on 6.11 of EN 1990 standard.

### Selection of load cases

The table listing individual load cases allows for their selection to create a combination. The

load case can be introduced into a combination by checking the field in the column «**Consider**» for a particular LC. Further setting in the table depends on the selection of way of inputting loads in the «**Material and standards**» tab.

### Load according to EN 1990

A second field is available for each load case in the column «**Consider**». This field allows for assigning a favorable effect of action to permanent LCs (adopting coefficient  $\gamma_f, inf$ ) or for specifying a variable load as the major one, respectively. The number of major variable loads in the combination is not limited. An accidental load can be introduced into combinations tagged as «**Accidental**» (only LCs tagged as «**Accidental**» are available for the selection). For accidental combinations it is also necessary to choose, whether a major variable load should be reduced by the coefficient  $\psi_1$  or  $\psi_2$ .

### General load

A coefficient of usability can be specified for each load case to adjust the degree of usability of the load case in the combination.

New combination of load cases

Combination characteristics

Name: G1+Q2+Q3+T4

Type: Basic

Load case			Enable		Factor
Name	Code	Type	Consider		
G1 self-weight-permanent	Self-weight	Permanent	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,00
Q2 force-variable	Force	Variable	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	$\psi_0(0,70)$
Q3 force-variable	Force	Variable	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	$\psi_0(1,00)$
T4 temperature-variable	Temperature	Variable	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	$\psi_0(0,60)$

Accidental load:

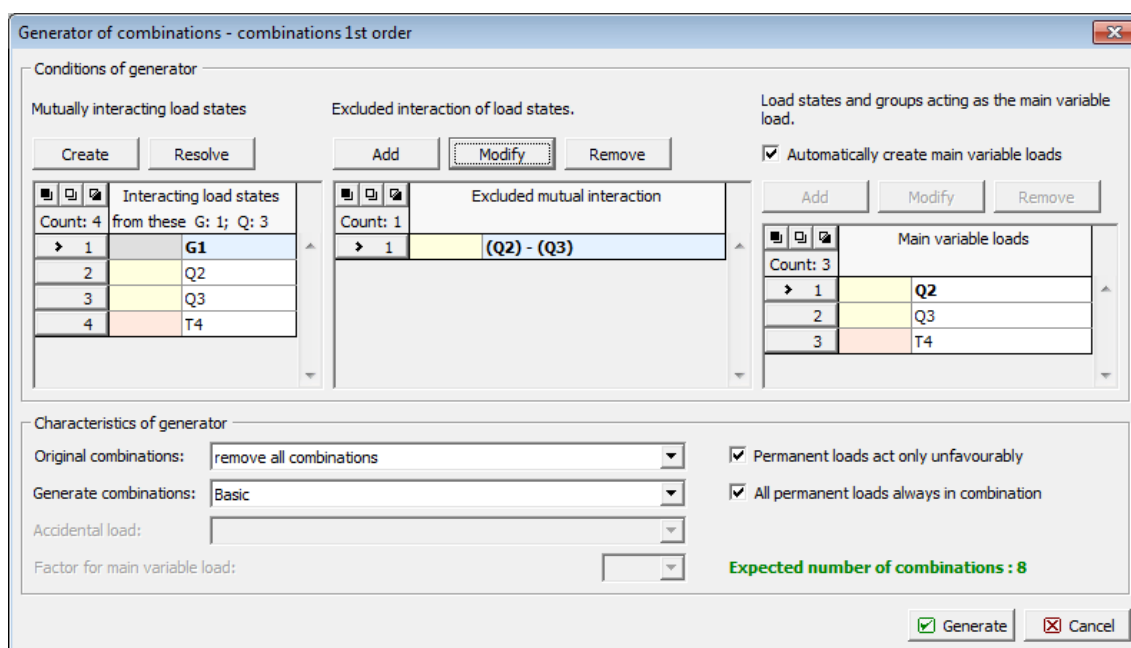
Factor for main variable load:

Add Close

Dialog window «New combination of load cases»

## Generator of combinations of ULS

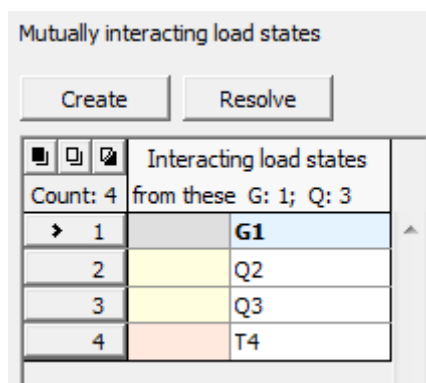
The «**Generator of combinations - 1st order**» dialog window allows for a collective compilation of combinations of load cases based on the introduced combination rules. Referring to standard EN 1990 the number of generated combinations can be relatively large and in extreme cases could considerably slow down calculations. Owing to this, information about expected number of combinations to be generated is displayed in the right bottom corner. Therefore, before launching generation the user may check, how many combinations will be generated and possibly adjust generator conditions. The top part of the window serves to define conditions for generating combinations; the bottom part contains various generator settings.



Dialog window «Generator of combinations - 1st order»

### Mutually interacting load states and groups

This part makes it possible to merge those load states that should appear in combinations always together. Permanent and variable loads cannot be merged into one group. If the field **All permanent loads always in combination** is checked in the Generator parameters, the creation of groups of permanent loads has no effect on their appearance in combinations as each generated combination will always contain all permanent LCs. In such case, merging permanent LCs will only influence consideration of favorable/unfavorable effects of LCs providing the field **Permanent loads act only unfavorably** is not checked.



Dialog window «Generator of combinations» - Mutually interacting load states

### Excluded interaction of load states

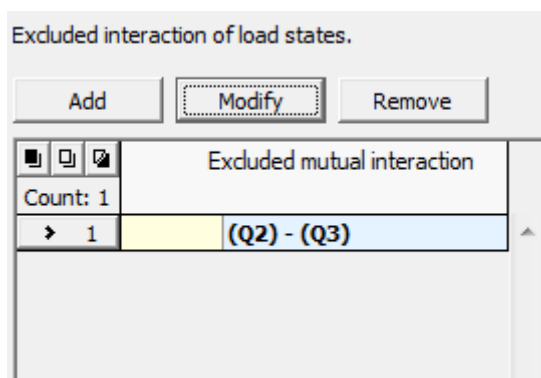
This part makes it possible to define, which LCs should not appear in a combination together. Arbitrary load cases or merged groups can be mutually excluded in dependent of the type of load case. Two options are available to define groups to be excluded:

**Mutual exclusion** An arbitrary number of load cases can be introduced into one group. In such a case, the program will not generate any combination that contains at least two load cases from this group.

**Exclusionby** Providing it is necessary to create a larger number of excluding groups of two

**pairs**

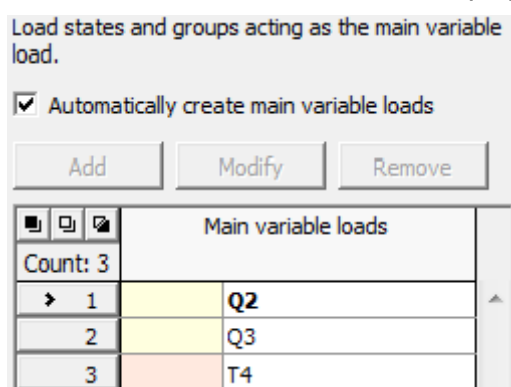
sorts, where one LC is the same (e.g. exclusion of assembly variants of permanent loads with all service load cases), it is possible to adopt this option. A load case to be excluded is first selected in the first column. The second column is then used to select an arbitrary number of LCs, which are needed to create excluding groups.



*Dialog window «Generator of combinations» - Excluded interaction of load states*

**Load cases and groups acting as the main variable load**

This part is available only when inputting loads according to EN 1990 is considered (the standard is selected in the «Material and standards» tab). When automatic regime is assumed then each variable load is taken as major in created combinations. If this regime is turned off, it is possible to manually adjust the list of major variable loads. For example, it is possible to remove an arbitrary load case from the list so that it will not be considered as major variable in combinations. If a new item with more load cases is add to the list then all load cases will be considered as major variable in those combinations, where they appear together.



*Dialog window «Generator of combinations» - Load cases and groups acting as the main variable load*

**Generator parameters (parameters that can be set in the bottom part of the dialog window)****Combo list «Original combinations»****Retain original combinations**

- By pressing the «**Generate**» button the program will add new combinations, created according to the specified rules, to the original ones

**Remove all combinations**

- By pressing the «**Generate**» button the program will delete all original combinations and will replace them by the new ones



- |  |  |
|--|--|
| <b>Remove generated combinations</b>                     | - By pressing the « <b>Generate</b> » button the program will delete older combinations and will add new ones created according to the specified rules                 |
| <b>Remove all combinations of the current type</b>       | - By pressing the " <b>Generate</b> " button the program will delete all combinations of a given type and will replace them by the new ones                            |
| <b>Remove generated combinations of the current type</b> | - By pressing the " <b>Generate</b> " button the program will delete older combinations of a given type and will add new ones created according to the specified rules |

### Combo list "Generate combinations"

The following types of generated combinations can be chosen for loads based on EN 1990:

- |                    |  |
|--------------------|--|
| <b>Basic</b>       | - Generates basic combinations for the bearing capacity limit state based on expression 6.10 of EN 1990 standard   |
| <b>Alternative</b> | - Generates combinations for the bearing capacity limit state based on expressions 6.10a and 1.10b of EN 1990 standard. This variant generates two times more combinations but it provides better results.   |
| <b>Accidental</b>  | - Generates accidental combinations for the bearing capacity limit state based on 6.11 of EN 1990 standard. An accidental load case to appear in accidental combinations can be specified. It is also necessary to choose, whether a major variable load will be reduced by the coefficient $\psi_1$ or $\psi_2$ . |

### Permanent loads act only unfavorably

If this setting is not checked, the program creates all possible combinations, where introduction of all variants of favorable and unfavorable actions of permanent loads will be considered.

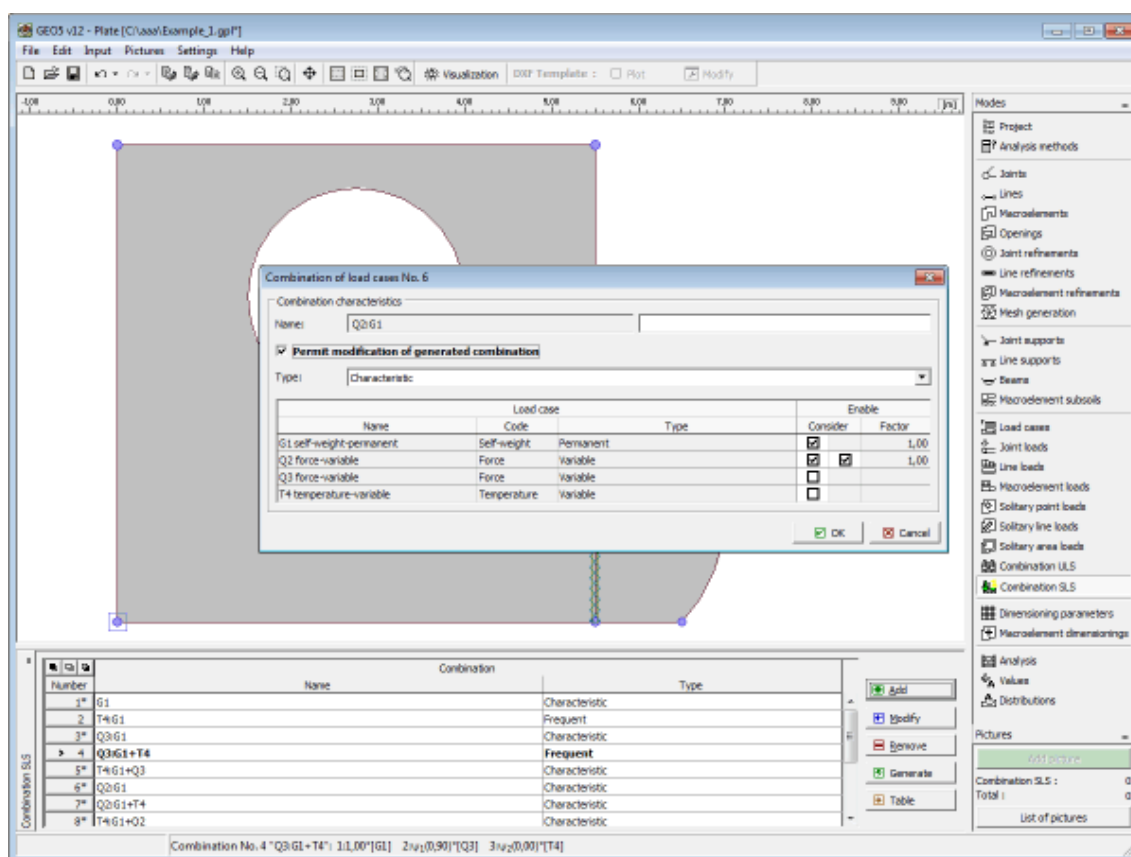
### All permanent loads always in combination

If this setting is not checked, the program creates combinations in such a way that a successive introduction of all LCs into a combination will be considered.

## Combination SLS

The **frame «Combinations SLS»** contains a **table** with the list of inputted combinations of the service limit state. Adding (editing) combinations and their **parameters** is performed in the **«New combination of load cases»** dialog window. Editing can be carried out with the help of **«Modify»** button or by clicking the row with the required combination in the list using the left mouse button.

The built-in **generator of combinations** of load cases can be used to compile individual combinations.



Frame «Combination SLS»

## Parameters of combinations of SLS

Combinations SLS serve to evaluate states that refer to the structure appearance, comfort of people or to functioning of a structure while in ordinary use. Typically, only deformations, vibrations, etc. are checked. The «**New combination of load cases**» dialog window (similarly to combinations for ULS) serves to define the following parameters:

### Type of combination according to EN 1990

The following combinations can be created for the service limit state:

- Characteristic** - combination based on expression 6.14 of EN 1990 standard
- Frequent** - combination based on expression 6.15 of EN 1990 standard
- Quasi-permanent** - combination based on expression 6.16 of EN 1990 standard

### Selection of load cases

The table listing individual load cases allows for their selection to create a combination. The load case can be introduced into a combination by checking the field in the column «**Consider**» for a particular LC. A coefficient of usability can be specified for generally input combinations (select in the «**Material and standards**» tab) to adjust the degree of usability of the load case in the combination.

Load case			Enable	
Name	Code	Type	Consider	Factor
G1 self-weight-permanent	Self-weight	Permanent	<input checked="" type="checkbox"/>	1,00
Q2 force-variable	Force	Variable	<input checked="" type="checkbox"/>	1,00
Q3 force-variable	Force	Variable	<input type="checkbox"/>	
T4 temperature-variable	Temperature	Variable	<input type="checkbox"/>	

Dialog window «Combination of load cases»

## Generator of combinations of SLS

The «**Generator of combinations - 1st order**» dialog window allows for a collective compilation of combinations of load cases for the service limit state. Functions of generator of combinations are explained in section devoted to the **generator of combinations for the bearing capacity limit state**.

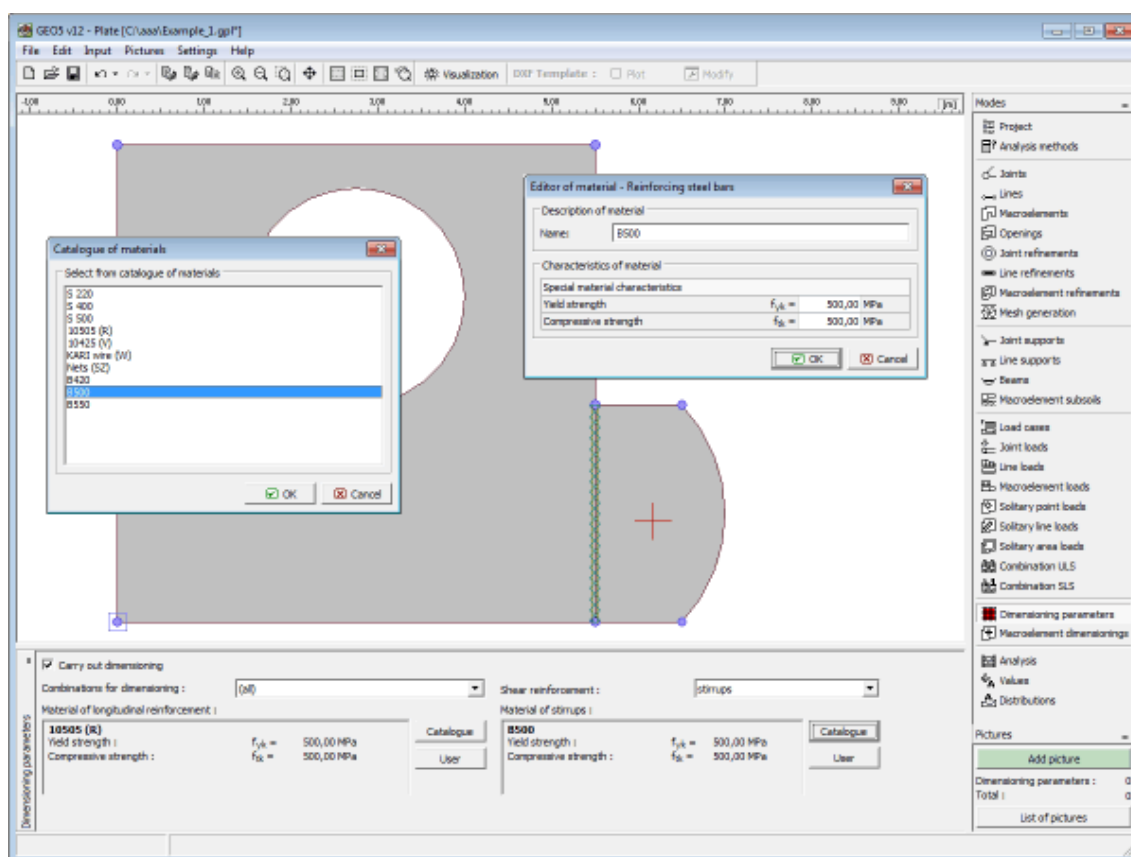
If inputting loads according to EN 1990 is set in the «**Material and standards**» tab, it is possible to generate the following combinations for the service limit state:

- Characteristic** - combination based on expression 6.14 of EN 1990 standard
- Frequent** - combination based on expression 6.15 of EN 1990 standard
- Quasi-permanent** - combination based on expression 6.16 of EN 1990 standard

## Dimensioning parameters

The frame «**Dimensioning parameters**» serves to define data for dimensioning **longitudinal** and **shear reinforcement**. The **combination number** (or all combinations) of a combination to be analyzed must be specified. The material of longitudinal reinforcements is selected either from «**Catalog of materials**», or can be introduced manually in the «**Editor of materials**». Shear reinforcement is specified in terms of **crooks**, or **stirrups** (crooks require to define their angle).

When running the **dimensioning** analysis the program generates **values** of the following quantities. The analysis is carried out according to the standard set in the «**Material and standards**» tab.



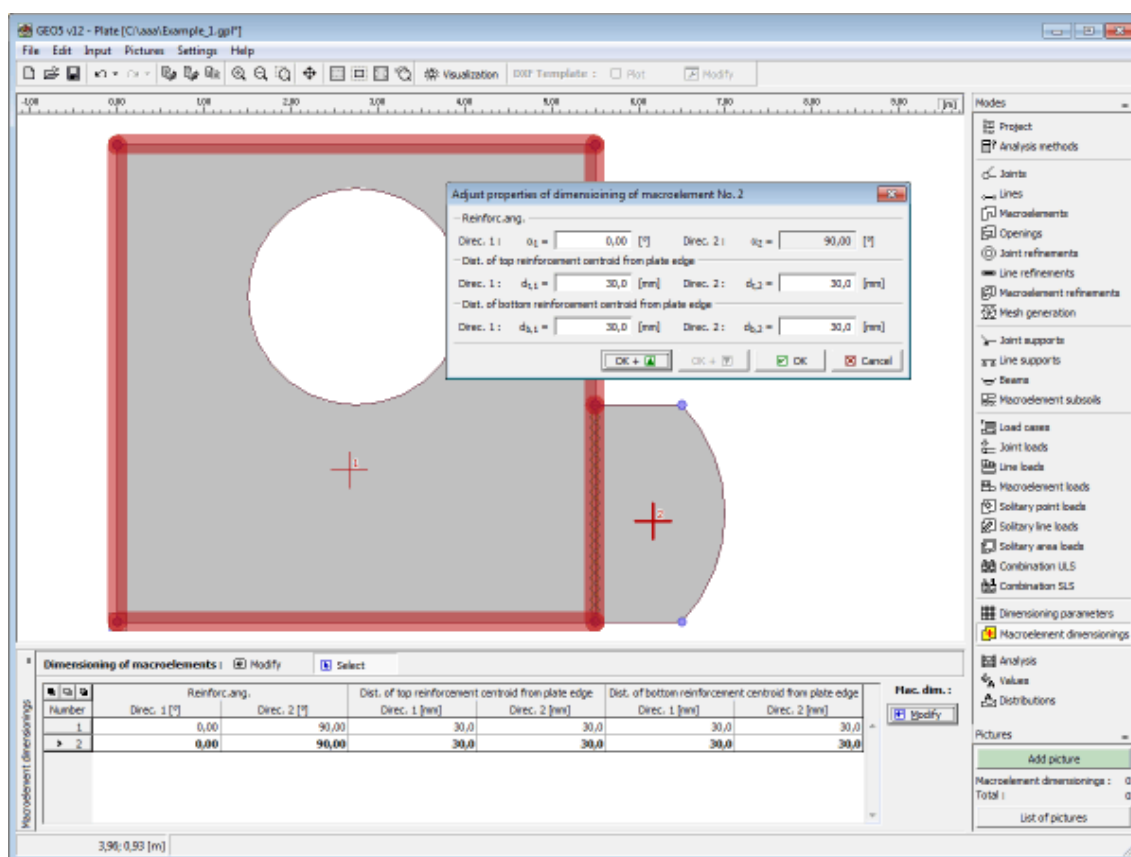
Frame «Dimensioning parameters»

## Macroelement dimensionings

The frame «**Macroelement dimensioning**» contains a table with the input macroelements. Editing reinforcement properties (**reinforcement direction** and **distance of centroid of top and bottom reinforcement from the slab edge** can be modified) is performed in the «**Modify properties of macroelement dimensioning**» dialog window.

When running the **dimensioning** analysis the program generates **values** of the following quantities. The analysis is carried out according to the standard set in the «**Material and standards**» tab.

The macroelement dimensioning can also be edited on the desktop with the help of **active objects**.



Frame «Macroelement dimensioning»

## Analysis

The analysis results are displayed in the frame «**Analysis**». The «**Analysis**» is carried out using the finite element method. The dimensioning analysis is performed according to the standard set in the «**Material and standards**» tab.

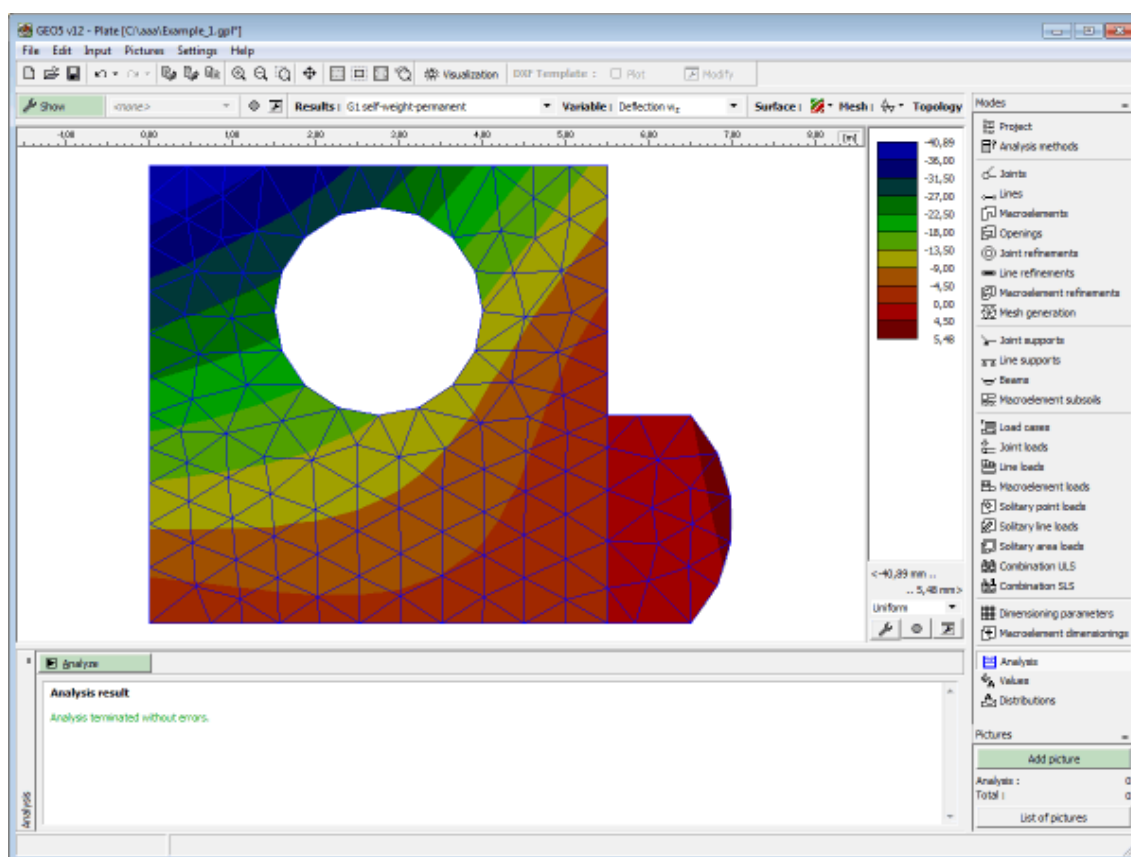
The analysis can be stopped any time by pressing the «**Interrupt**» button.

Upon completing the analysis the program immediately displays the results and information about the solution process. This information (with possible listing of errors) is shown in window in the bottom part of the frame. The principal output tool is the visualization of results on the screen. The tool bar in the top part of the screen serves to manage the graphical representation of output quantities.

The color range and the bottom for its setting are found in the top part of the desktop.

The program employs the following coordinate systems (sign convention).

The way the results appear on the screen can be set in the «**Drawing Settings**» frame.



Frame «Analysis» - screen after completing analysis

## Procedure of analysis

The solution procedure is split into several steps including localization of the global stiffness matrix while taking into account the support conditions (fixed or spring supports at joint or along lines, elastic subsoil), setting up the load vector and analysis of the system of equations using the Gaussian method with the Cholesky decompositions of the global stiffness matrix, which in this case is symmetric and band. The values of primary variables  $w_z$ ,  $\varphi_x$  and  $\varphi_y$  calculated at mesh nodes are then used to determine the internal forces  $m_x$ ,  $m_y$ ,  $m_{xy}$ ,  $v_x$  and  $v_y$  together with the derived quantities  $m_1$ ,  $m_2$  and the values of reactions developed in supports.

### 2D-elements

The quality of results of the slab problem derived using the finite element method is strongly influenced by the type of slab element. The present formulation exploits a deformation variant of the finite element method to derive triangular and quadrilateral elements denoted as DKMT and DKMQ (Discrete Kirchhoff-Mindlin Triangle and Quadrilateral).

Formulation of the slab element implemented in the program is based on the discrete Kirchhoff theory of bending of thin slabs, which can be considered as a special case of the Mindlin plate theory developed upon the following assumptions:

- compression of slab in the  $z$ -direction is negligible compare to the vertical displacement  $w_z$
- normals to the mid-plane of the slab remain straight after deformation but not necessarily normal to the deformed mid-plane of the slab
- normal stress  $\sigma_z$  is negligible compare to stresses  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$

DKMT and DKMQ elements have 9 and 12 degrees of freedom, respectively - three independent displacements at each node:

$W$ - deflection in the direction of  $z$ -axis

$z$

$\varphi$  - rotation about  $x$ -axis

$x$

$\varphi$  - rotation about  $y$ -axis

$y$

The elements satisfy the following criteria:

- the stiffness matrix has correct rank (no zero energy states are generated)
- fulfill the patch test
- are suitable for the analysis of both thin and thick slabs
- they show good convergence properties
- not computationally expensive

In case of well generated mesh the quadrilateral elements are preferable as show better behavior compare to triangular elements.

### 1D-elements

The slab can be reinforced by beams formulated on the basis of one dimensional beam element with embedded torsion and is compatible with slab elements (details can be found in literature). The primary variables are  $W_z$ ,  $\varphi_x$  and  $\varphi_y$  and corresponding internal forces are  $M_1$ ,  $M_2$  and  $V_3$  (twisting and bending moments and shear force). The beam is characterized by the moment of inertia  $I_t$  a  $I_2$  (torsion, bending), area  $A$  and shear area  $A_s$ . These parameters can be calculated by the program based on the type of cross-section. The analysis constructs  $6 \times 6$  local stiffness matrices subsequently localized in to the global stiffness matrix of the structure.

*Literature:*

*I. Katili, A new discrete Kirchhoff-Mindlin element based on Mindlin-Reissner plate theory and assumed shear strain fields - part I: An extended DKT element for thick-plate bending analysis, Int. J. Numer. Meth. Engng., Vol. 36, 1859-1883 (1993).*

*I. Katili, A new discrete Kirchhoff-Mindlin element based on Mindlin-Reissner plate theory and assumed shear strain fields - part II: An extended DKQ element for thick-plate bending analysis, Int. J. Numer. Meth. Engng., Vol. 36, 1885-1908 (1993).*

*Z. Bittnar, J. Sejnoha, Numericke metody mechaniky, CVUT, Praha, 1992.*

## Results

Visualization and interpretation of results is one of the most important parts of the program.

Based on the **tool bar** setting the program displays **variables** (deflection, moments, rotation) for an arbitrary load case or LC combination, or if needed **variables for dimensioning** (values of necessary reinforcement areas calculated according to the standard selected in the «**Material and standards**» tab).

Calculation of values in user-defined points, or on lines, can be set in frames «**Values**» or «**Distributions**», respectively.

The program provides several basic types of graphical output defined in the «**Slab - results**



visualization settings» dialog window.

- plotting structure
- surface plot of quantities
- plotting finite element mesh
- plotting grid-plotting distributions (diagrams)
- plotting values on surface
- plotting directions of moments and reactions

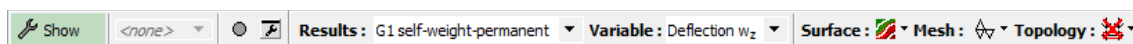
The tool bar «Results» in the upper part of the screen serves to selected variables to be displayed and the way they should appear on the screen. The color range is shown in the right part of the desktop. Its particular setting can be adjusted using the «Color range» tool bar.

Because properly setting outputs might be often time consuming, the program disposes of a comfortable system of selecting and storing view settings.

All outputs and selected results can be further printed out from the analysis protocol.

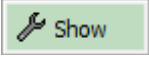
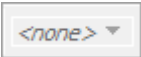


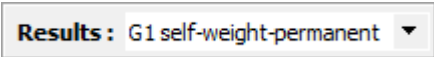
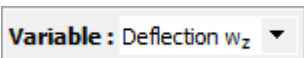
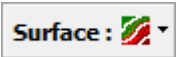

## Tool bar - Results

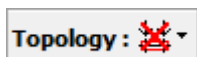
The tool bar contains the following operating elements:



Tool bar «Setting visualization of graphical outputs»

Individual elements operate as follows:

	Plotting style setting	<ul style="list-style-type: none"> <li>• opens the «Plate - results visualization settings» dialog window which allows the user to be more specific in defining the plotting style</li> </ul>
	List of plots	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a combo list containing names of plots saved by the user</li> </ul>
	Save plot	<ul style="list-style-type: none"> <li>• saves the current plot displayed on the desktop, the dialog window serves to enter the name of the plot</li> </ul>
	Manager of plots	<ul style="list-style-type: none"> <li>• opens the «Manager of plots» dialog window which serves to manage (delete, change order, rename) already saved plots</li> </ul>
	Results (loads, load cases, combination, dimensioning)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• displays the selected load cases, combination (ULS, SLS), envelopes (ULS, SLS) or dimensioning</li> </ul>
	Type of variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• displays the selected variable or variable of dimensioning</li> </ul>
	Surface plot	<ul style="list-style-type: none"> <li>• turns on/off plotting of isolines, isosurfaces</li> </ul>
	Mesh	<ul style="list-style-type: none"> <li>• turns on/off the style of plotting the FE mesh (only edges, or according to the setting in the «Plate - results</li> </ul>



Plotting of  
topology

- visualization settings»** dialog window
- plotting of topology of construction

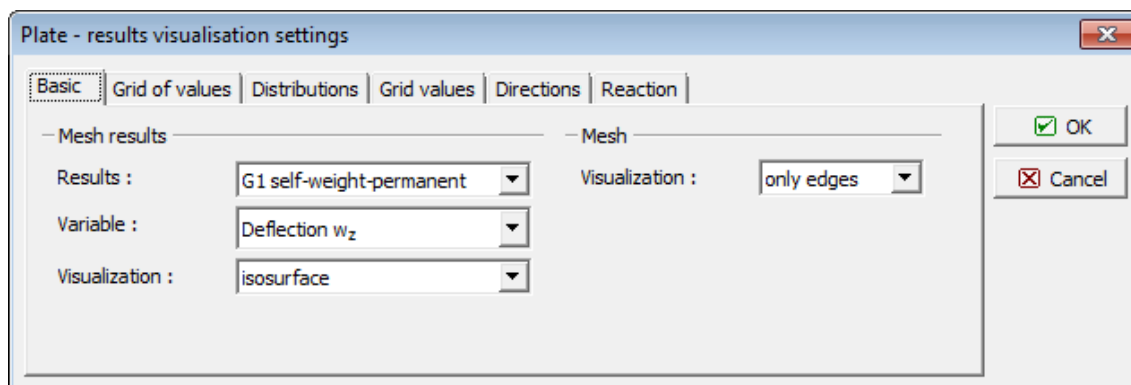
The tool bar contains **the most often used operating elements** needed to view the results on the desktop. Detailed setting of the style of plotting the results is available in the «**Plate - results visualization settings**» dialog window.

Similar to our other programs the results can be saved and printed. The plotting style can be adjusted in the «**Visualization style settings**» dialog window.

## Results visualization settings

The «**Plate - results visualization settings**» dialog window serves to specify the values to be plotted and the way of their visualization. Individual settings can be later **saved** using the tool bar «**Results**».

The item «**Basic**» serves to set the basic parameters for plotting the results, quantities and mesh information - additional items can be then used to define visualization of other outputs.



Dialog window «Plate - results visualization settings»

## List of variables

**List of quantities displayed by the program for individual load cases, combinations of load cases (ULS, SLS) or envelopes (ULS, SLS)**

Variable	Unit	Description
Deflection $W_z$	$[mm]$	Displacement in the $Z$ -direction
Rotation $\varphi_x$	$[mrad]$	Rotation about $X$ -axis
Rotation $\varphi_y$	$[mrad]$	Rotation about $Y$ -axis
Moment $m_x$	$[kNm/m]$	Value of the moment about $X$ -axis
Moment $m_y$	$[kNm/m]$	Value of the moment about $Y$ -axis
Moment $m_{xy}$	$[kNm/m]$	Value of moment

Shear force $V_x$	$[kN/m]$	Value of the shear force in the $X$ -direction
Shear force $V_y$	$[kN/m]$	Value of the shear force in the $Y$ -direction
Moment $m_1$	$[kNm/m]$	Value of the principal (extreme) moment
Moment $m_2$	$[kNm/m]$	Value of the principal (extreme) moment
Shear force $V_{max}$	$[kN/m]$	Value of the shear force (extreme)
Contact stress $\sigma$	$[kN/m^2]$	Value of the contact stress

## List of variables of dimensioning

To perform **dimensioning** analysis it is first necessary to choose the option «**Carry out dimensioning**» in the frame «**Dimensioning parameters**». Visualization of values for dimensioning can be set in the tool bar «**Results**». Notation of variables (particularly indexes of variables) changes according to the standards used for dimensioning of concrete and steel structures set in the «**Material and standards**» tab.

### List of quantities displayed by the program for dimensioning

Variable	Unit	Description
Moment $M_{dim1, min}$	$[kNm/m]$	Minimal dimensioning moment in direction of reinforcement 1
Moment $M_{dim1, max}$	$[kNm/m]$	Maximal dimensioning moment in direction of reinforcement 1
Moment $M_{dim2, min}$	$[kNm/m]$	Minimal dimensioning moment in direction of reinforcement 2
Moment $M_{dim2, max}$	$[kNm/m]$	Maximal dimensioning moment in direction of reinforcement 2
Reinforcement area $A_{u1}$	$[mm^2/m]$	Area of upper reinforcement in direction 1
Reinforcement area $A_{b1}$	$[mm^2/m]$	Area of bottom reinforcement in direction 1
Reinforcement area $A_{u2}$	$[mm^2/m]$	Area of upper reinforcement in direction 2
Reinforcement area $A_{b2}$	$[mm^2/m]$	Area of bottom reinforcement in direction 2
Ratio of reinforcement $\mu_{h1}$	$[\%]$	Reinforcement ratio of upper reinforcement in direction 1
Ratio of	$[\%]$	Reinforcement ratio of bottom reinforcement in direction 1

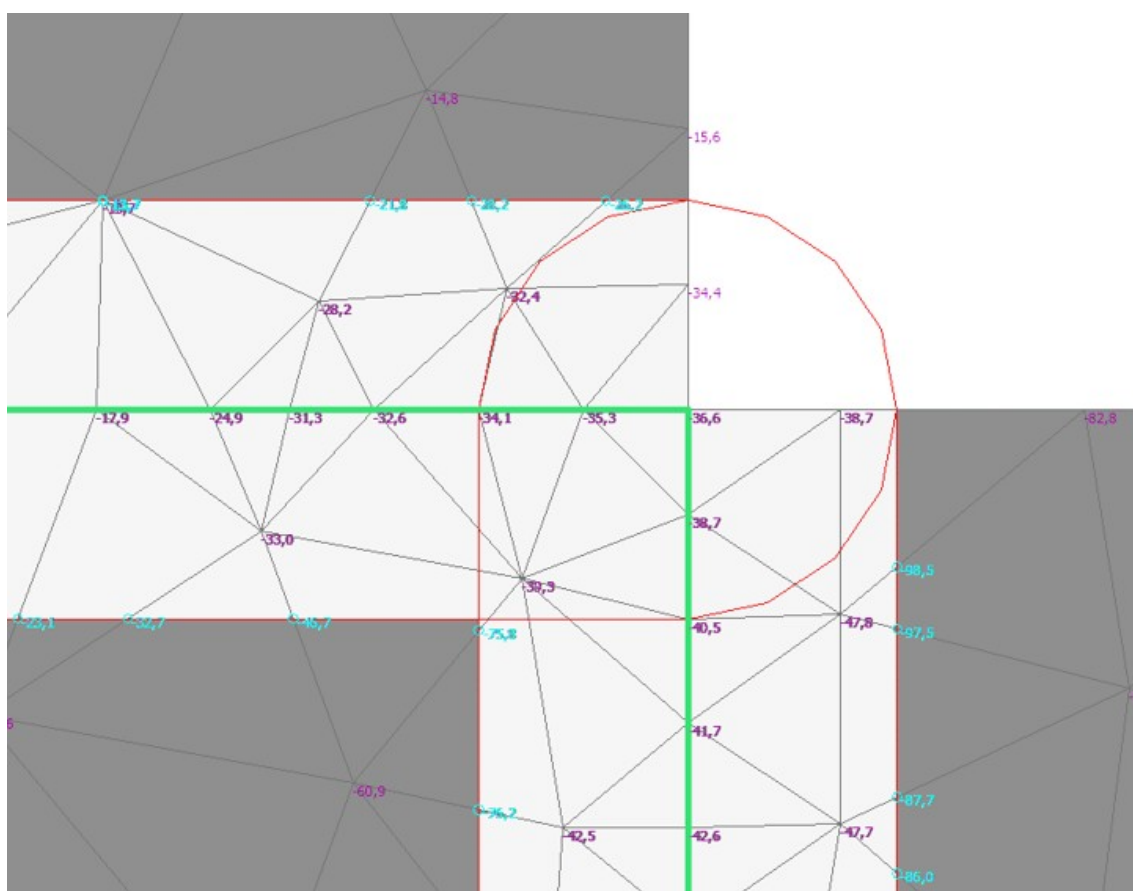
reinforcement $\mu_{d1}$		
Ratio of reinforcement $\mu_{h2}$	[%]	Reinforcement ratio of upper reinforcement in direction 2
Ratio of reinforcement $\mu_{d2}$	[%]	Reinforcement ratio of bottom reinforcement in direction 2
Shear force $V_{Ed}$	[kN/m]	Dimensioning shear force
Reinforcement area $A_{b,nut}$	[mm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	Requested area of shear reinforcement
Shear force $V_{Rd, c}$	[kN/m]	Shear strength of cross-section without shear reinforcement
Shear force $V_{Rd, max}$	[kN/m]	Maximal allowable shear force

## Reduction of Bending Moments

Dimensioning moments above supports will be reduced, if the «**Input dimensions of supports and reduce resulting bending moments**» in the «**Settings**» frame is selected. This will then display the «**Geometry of Support**» section in the properties of the individual supports («**Joint Supports**», «**Line Supports**») and will reduce the dimensioning moments in the analysis.

### Interpretation in the analysis

The program reduces the dimensioning moments in the areas of defined geometry of support.



- The areas of defined geometry of the individual supports that overlap or touch are joined
- The values lying at the boundary of the merged areas are calculated
- Values in the mesh nodes within the merged areas are limited by a value that is calculated from the boundary values so that the nearest boundary values have the highest influence
- The values of dimensioning moments and dimensioning shear force are limited

### Limiting value

The limiting value is calculated according to the formula:

$$v_{\lim}(xy) = \frac{\sum_{i=1}^N k_i(xy) v_i}{\sum_{j=1}^N k_j(xy)}$$

where:

$$k_i(xy) = \frac{1}{(d(xy, xy_i))^{16}}$$

where:  $v_{\lim}(xy)$  - limiting value at the calculated point  $xy$

$N$  - number of border points

$v_i$  - value at boundary point

$d(xy, xy_i)$  - distance of the calculated point from the boundary point

$xy_i)$ 

## Values

The frame «**Values**» allows for defining points (or joints) arbitrarily placed on the slab surface. For these points (joints) it is possible to display **variables** (deflections, moments, rotations) for an arbitrary load case or LC combination, or if needed **variables for dimensioning** (values of necessary reinforcement areas calculated according to the standard selected in the «**Material and standards**» tab).

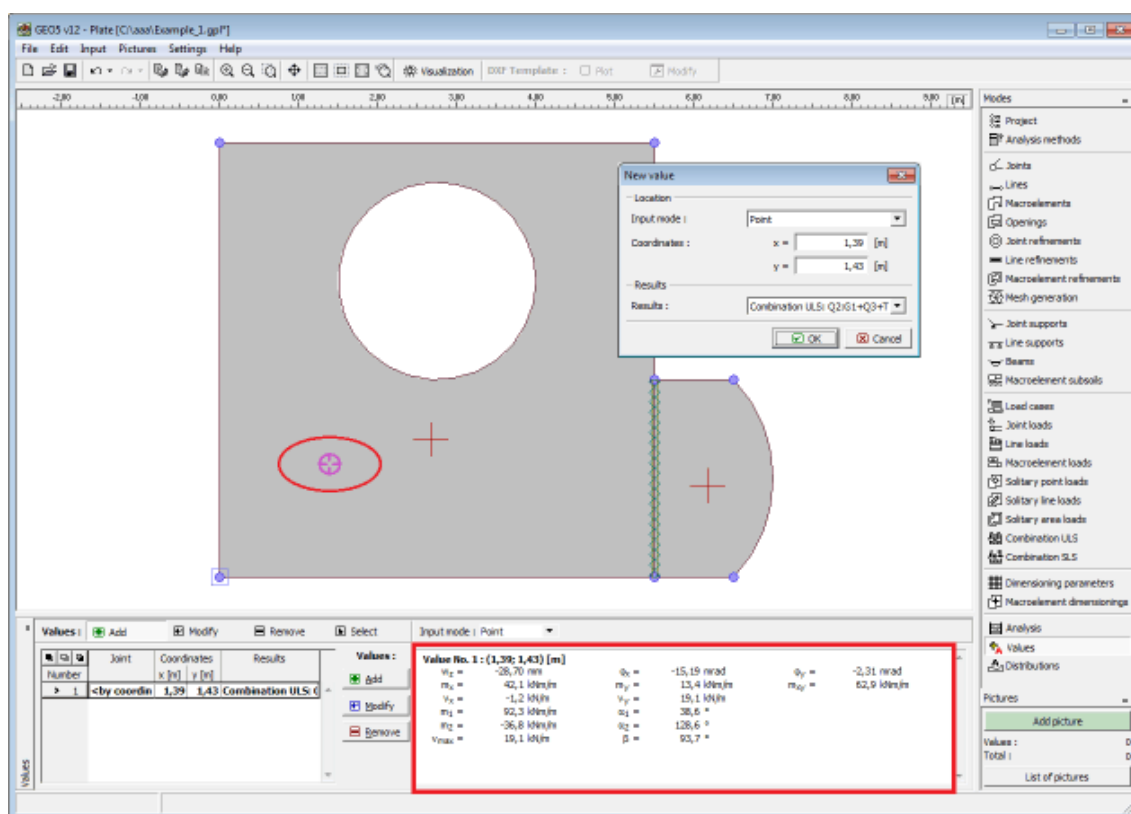
The frame contains a **table** with the list of input points (joints). Adding (editing) is performed in the «**New values**» **dialog window**. The window serves to specify the type of input (point, joint), coordinates and for what load case, combination, or dimensioning the resulting quantities should be displayed. The value in the supported joint corresponds to the reaction force at this support.

In the **dimensioning** analysis some quantities can be denoted by symbol **[\*]**. In such a case the necessary reinforcement area and minimal degree of reinforcement is required. If the point is found on the boundary of two macroelements, the program displays two sets of values for dimensioning.

Values (points) can also be introduced using the mouse. This inputting mode is activated by clicking an appropriate button on the horizontal tool bar «**Values**». The following modes are available:

- **Add** Clicking the left mouse button on the desktop introduces the point location (value).
- **Modify** Clicking the left mouse button on already existing point (value) opens the «**Modify properties of value**» dialog window, which allows for modifying its parameters.
- **Remove** Clicking the left mouse button on the point (value) opens the **remove point** dialog window - accepting this action removes the selected point (value).
- **Select** Clicking the left mouse button on the point (value) highlights the selected point (value). The point (value) is simultaneously marked in the **table** list. The option allows for editing several points (values) at once (e.g. deleting).

The input points (values) can also be edited on the desktop with the help of **active objects**.



Frame «Values»

## Distributions

The **frame «Distributions»** serves to define general lines or lines located on the slab surface. For these segments (lines) it is possible to display **variables** (deflections, moments, rotations, etc.) for an arbitrary load case or LC combination, or if needed **variables for dimensioning** (values of necessary reinforcement areas calculated according to the standard selected in the **«Material and standards»** tab).

The frame contains a **table** with the list of input segments (lines). Adding (editing) is performed in the **«New distributions» dialog window**. The window serves to specify the type of input (segment, line), coordinates of the first and the last point, load case, combination, **dimensioning** and quantity.

The frame displays:

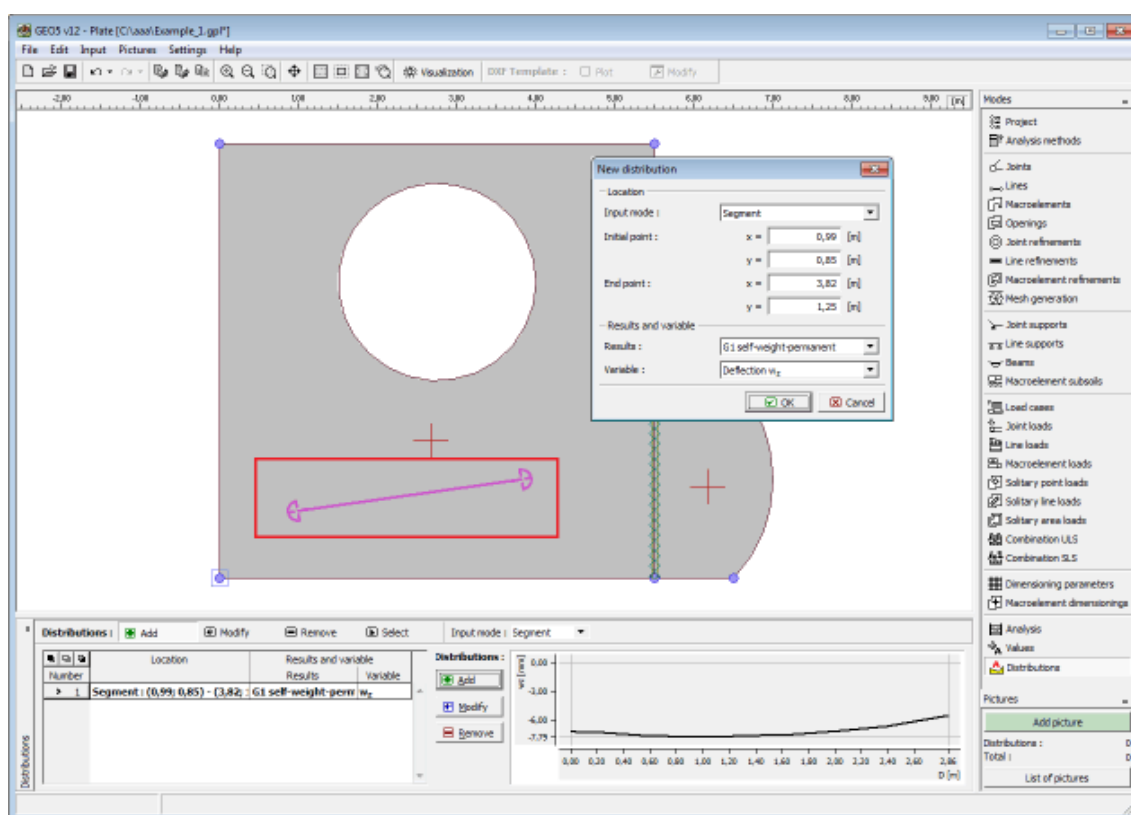
- **General distributions** general distributions (diagrams) on an arbitrary segment (line)
- **Distributions on beams** if a **beam** is assigned to the line it is possible to display distributions (diagrams) of other quantities (shear force  $V_3$ , bending moment  $M_2$ , twisting moment  $M_1$ )
- **Distributions on supported line** if the line is **supported** it is possible to display distributions (diagrams) of other quantities (vertical reaction  $r_z$ , moment reaction  $r_{m, i}$ ).

Distributions can also be introduced using the mouse. This inputting mode is activated by clicking an appropriate button on the horizontal tool bar **«Distributions»**. The following modes are available:



- **Add** Clicking the left mouse button on the joint introduces the distribution location.
- **Modify** Clicking the left mouse button on already existing distribution opens the «**Modify properties of distribution**» dialog window, which allows for modifying its parameters.
- **Remove** Clicking the left mouse button on the distribution opens the **remove distribution** dialog window - accepting this action removes the selected distribution.
- **Select** Clicking the left mouse button on the distribution highlights the selected distribution. The distribution is simultaneously marked in the **table** list. The option allows for editing several distributions at once (e.g. deleting).

The input distributions can also be edited on the desktop with the help of **active objects**.



Frame «Distributions»

## Coordinate system (sign convention)

### Internal forces

Internal forces are defined as:

$$m_x = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_x z dz$$

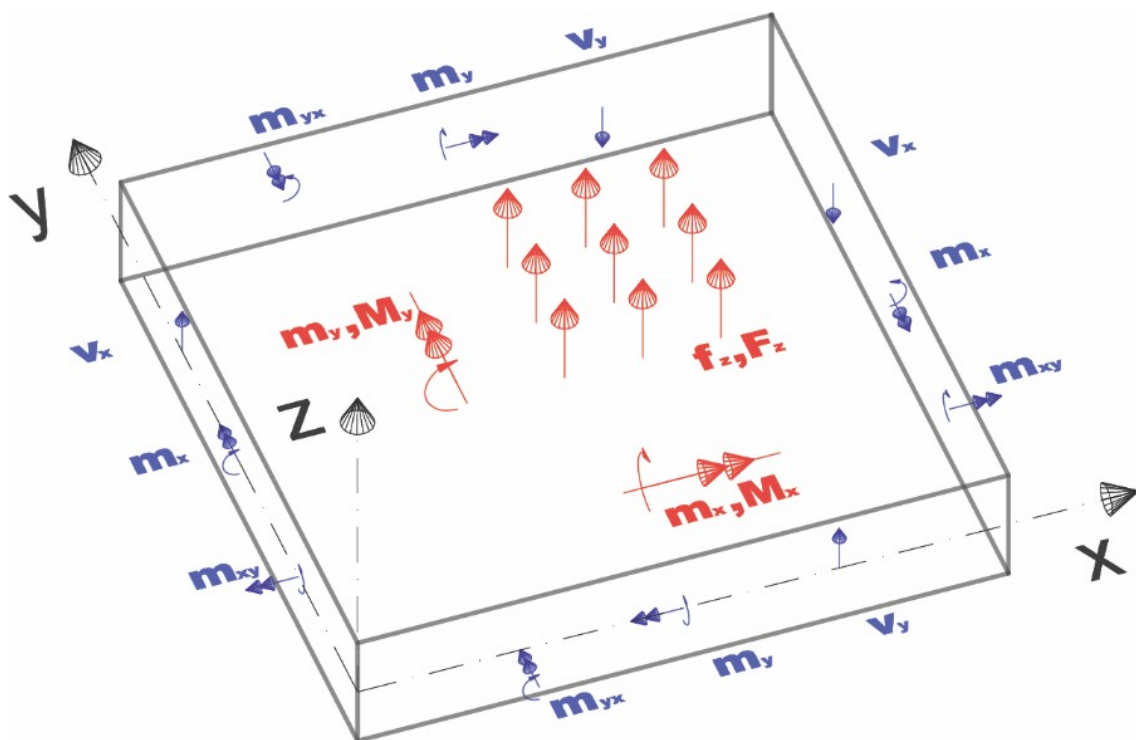
$$m_y = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_y z dz$$

$$m_{xy} = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_{xy} z dz$$

$$v_x = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_{xz} dz$$

$$v_y = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_{yz} dz$$

The positive direction of internal forces is evident from the following figure:



The principal moments and directions of principal axes are provided by:

$$m_{1,2} = \frac{1}{2} \left( m_x + m_y \pm \sqrt{(m_x - m_y)^2 + 4m_{xy}^2} \right)$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha_{1,2} = \frac{2m_{xy}}{m_x - m_y}$$

The meaning of individual variables is the following: internal forces can be transformed from

the  $(x, y)$  coordinate system to the  $(x', y')$  coordinate system by rotating the  $(x, y)$  plane through a certain angle about the  $z$ -axis. The angle  $\alpha$ , in particular, corresponds to a rotation angle for which the transformed  $m_{x'y'}$  moment attains a zero value whereas the  $m_{x'}$  and  $m_{y'}$  moments attain their maximum and minimum values  $m_1$  and  $m_2$ , respectively.

The maximum shear force is obtained similarly:

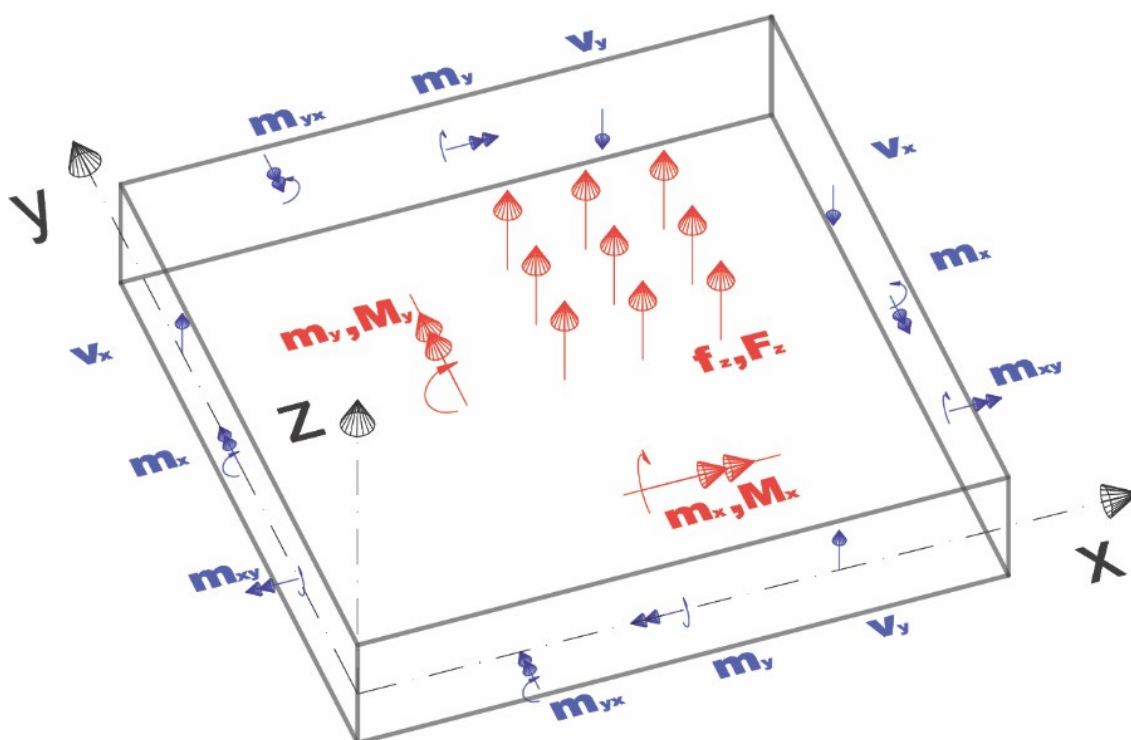
$$v_{max} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

and the angle between  $v_{max}$  and the  $x$ -axis:

$$\beta = \arctg \frac{v_y}{v_x}$$

### Loading

The sign convention of the applied force and moment loading is evident from the following figure:



It is worth to point out a different sign convention applied to the load moment  $M$  (at a point or along a line) and to internal moment  $m$ . While the  $M_x$  moment rotates about the  $x$ -axis (as usual for beams), the internal moment rotating about the  $x$ -axis is denoted as  $m_y$ .

## Программа Балка

Программа расчёта балки на упругом основании. Выполняет автоматический расчёт постоянных  $C1$ ,  $C2$  по характеристикам деформативности грунтов в общем слоистой среды (установка балки на рельеф).

## Справка для программы «Балка» распространяется на следующие области:

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Геометрия	Основание	Границы контура	Расположение	Грунты
Привязка	Вода	Опоры	Сочетания нагрузок	Нагрузка	Комбинация КПС	Комбинации ЭПС
Расчёт						

- Стандарты и методы расчёта

- Теория расчётов в программе «Балка»:

Геостатическое напряжение (расчёт подъёмной силы)	Анализ с использованием эдометрического модуля	Определение глубины зоны воздействия
---	--	--------------------------------------

- Справка относительно результатов на выходе
- Информация общего характера о работе в пользовательской среде программ GEO5
- Общие операции для всех программ

## Проект

В рамку «Проект» задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой текстовой и графической информации.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (метрическую / дюймовую). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «Геобуфера».

Рамка «Проект»

## Настройка

В **рамку «Настройка»** предназначена для ввода основных **«Настроек»** программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой **«Выбрать настройки»** выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из **«Перечня настроек»**.

Кнопка **«Администратор настройки»** открывает диалоговое окно **«Администратор настройки»**, в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют которая из Настроек будет визуализована в Перечне настроек. В Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

Кнопка **«Добавить в администратор»** позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка **«Править»** позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в **«Задано для текущей задачи»**. После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку **«Добавить в администратор»** и добавляем настройку в **«Администратор настройки»**.

Настройка **«Задано для текущей задачи»** обычно формируется при импорте предшествующих данных.

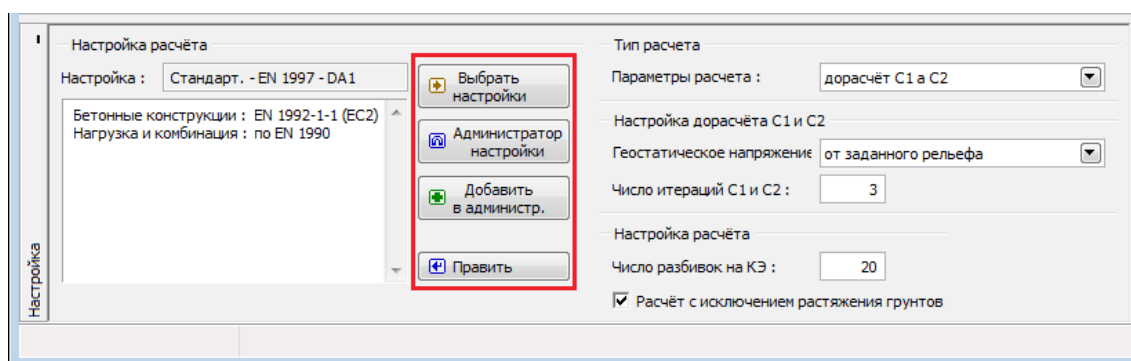
Настройка параметров расчёта производится в закладке **«Материалы и стандарты»**.

В рамку можно задать количество **разбивок** балки на **конечные элементы** (стандартная настройка - 20 элементов). Далее, нужно задать может-ли грунт работать на растяжение; мы рекомендуем **исключать растяжение грунтов из расчётов**.

В выпадающем списке выбирают один из трёх способов задания параметров основания **Винклера-Пастернака**:

- Довычисление  $C_1$  и  $C_2$  из заданных параметров геологического профиля - программа **вычислит** коэффициенты основания **Винклера-Пастернака**. Геостатическое напряжение рассчитываем от заданного рельефа или от подошвы фундамента. Можно задать количество итераций  $C_1$  и  $C_2$ .
- Непосредственный ввод коэффициентов основания Винклера-Пастернака  $C_1$  и  $C_2$
- Задаём  $E_{def}$ ,  $n_y$ ,  $h_z$  - коэффициенты основания Винклера-Пастернака будут **довычислены** из модуля деформации  $E_{def}$ , коэффициента Пуассона  $\nu$  и глубины зоны деформации  $h_z$ .

В первом случае, когда программа довычисляет параметры  $C_1$  и  $C_2$ , нет доступа к рамке **«Основание»**. У остальных двух способов ввода параметров основания нет доступа к рамкам **«Границы контура»**, **«Расположение»**, **«Грунты»**, **«Привязка»** и **«Вода»**.



Рамка «Настройка»

## Коэффициенты Винклера-Пастернака C1 и C2

**Задача балка на упругом основании по модели Винклера-Пастернака** вводит требование равновесия в вертикальном направлении:

$$c_1 \cdot w - c_2 \cdot \Delta w = f_z$$

где:

$c_1, c_2$	коэффициенты характеризующие модель Винклера-Пастернака
$w$	перемещение в вертикальном направлении
$f_z$	вертикальная нагрузка на слой

Программа позволяет расчёт значений коэффициентов  $C_1, C_2$  по характеристикам деформации грунтов или непосредственно из заданного геологического профиля.

## Дорасчёт коэффициентов Винклера-Пастернака C1, C2 из геологического профиля

Для вычисления коэффициентов Винклера-Пастернака ( $C_1, C_2$ ) по данным геологического профиля необходимо выбрать характерную комбинацию нагрузок. Комбинация должна быть рабочей и наиболее частой. По заданной комбинации определяют пригрузки в подошве фундамента. Далее вычисляют глубину зоны деформации.

Для вычисленной глубины зоны деформации определяют характеристики деформации (коэффициент Пуассона и модуль деформации) как взвешенное среднее характеристик деформации грунтов. Для этих характеристик довычисляют соответствующие коэффициенты Винклера-Пастернака ( $C_1, C_2$ ). Порядок определения.

## Довычисление коэффициентов Винклера-Пастернака по коэффициентам деформации характеристик грунтов

В программе коэффициенты  $C_1$  и  $C_2$  Винклера-Пастернака вычисляются из условия равенства матриц податливости бесконечно жёсткого бесконечного ленточного фундамента расположенного на грунтовом основании модели Винклера-Пастернака и на упругом слое. Условия заданы в следующих равенствах:

$$[C] = \begin{bmatrix} \frac{1}{2 \left[ \sqrt{C_{1WF} C_{2WF}} + b C_{1WF} \right]} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2 \left[ b^2 \sqrt{C_{1WF} C_{2WF}} + b C_{2WF} + \frac{b^3}{3} C_{1WF} \right]} \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2 \sqrt{H} \left[ (2n+1) \sqrt{C_{1W} C_{2W}} + (2n+1)^2 b C_{1W} \right]} & 0 \\ 0 & \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2 \sqrt{H} \left[ (2n+1) b^2 \sqrt{C_{1W} C_{2W}} + b C_{2W} + (2n+1)^2 \frac{b^3}{3} C_{1W} \right]} \end{bmatrix}$$

где:

$[C]$	матрица коэффициентов $C_1$ и $C_2$
$b$	половина ширины фундамента
$c_{1W}, c_{2W}$	коэффициенты Винклера
$H$	глубина зоны деформации

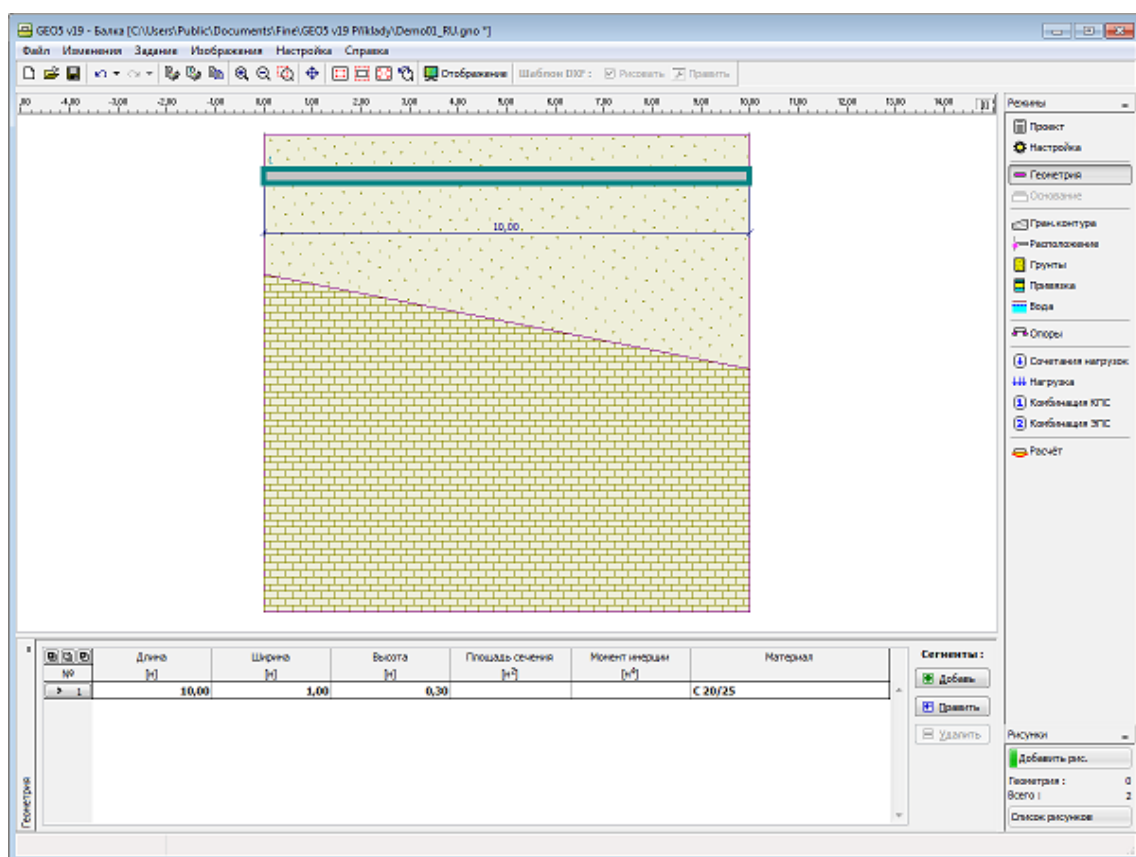
## Геометрия

В рамке «Геометрия» находится таблица со списком заданных участков балки.

Добавление точек выполняется в диалоговом окне «Новые участки». В диалоговое окно задают длину, ширину и высоту (для прямоугольного сечения). Программа позволяет задавать общую форму сечения балки (задают площадь сечения и момент инерции).

Далее, задают материал сечения из каталога программы или вводят характеристики материала (модуль упругости, модуль сдвига, удельная сила тяжести).





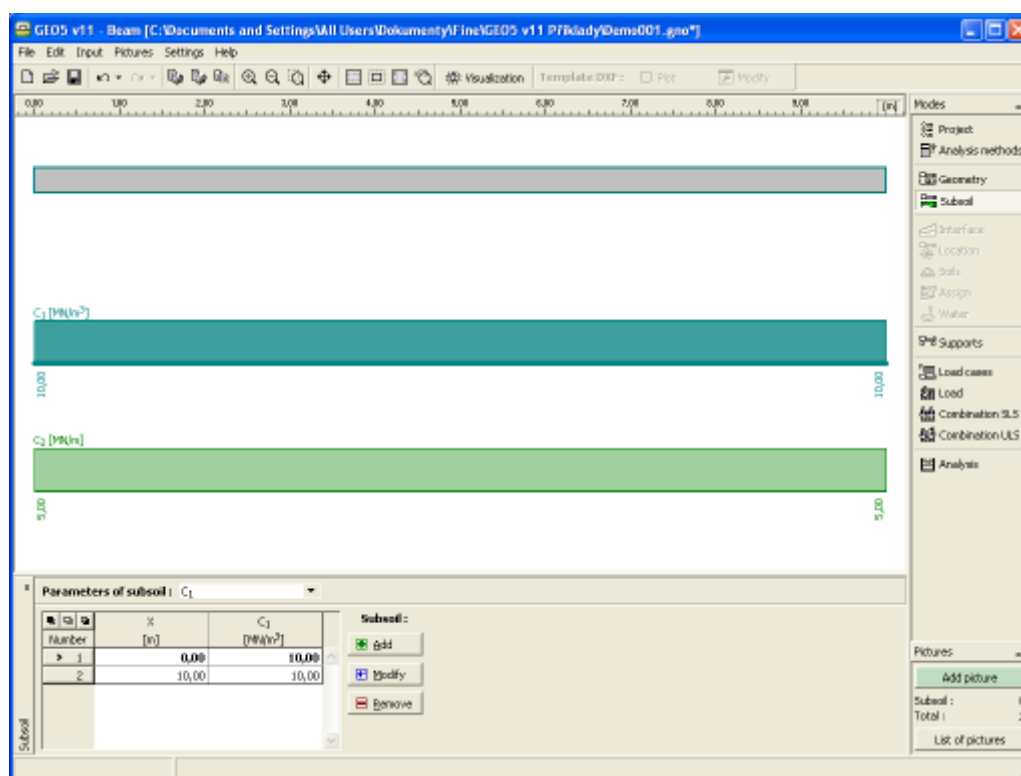
Рамка «Геометрия»

## Основание

В рамке «**Основание**» находится таблица со списком значений параметров основания Винклера-Пастернака  $C_1$  и  $C_2$  или деформационных характеристик грунтов ( $E_{def}$ ,  $n_y$ ,  $h_z$ ) в зависимости от выбора в рамке «**Настройка**».

Добавление параметров делаем в диалоговом окне «**Создать параметры основания**».

В таблице отображаются значения параметра, который выбран в выпадающем списке над таблицей. Добавление (редактирование) значений параметров выполняем в диалоговом окне «**Создать параметры основания**». В диалоговое окно задают ординату  $X$  и значение параметра.

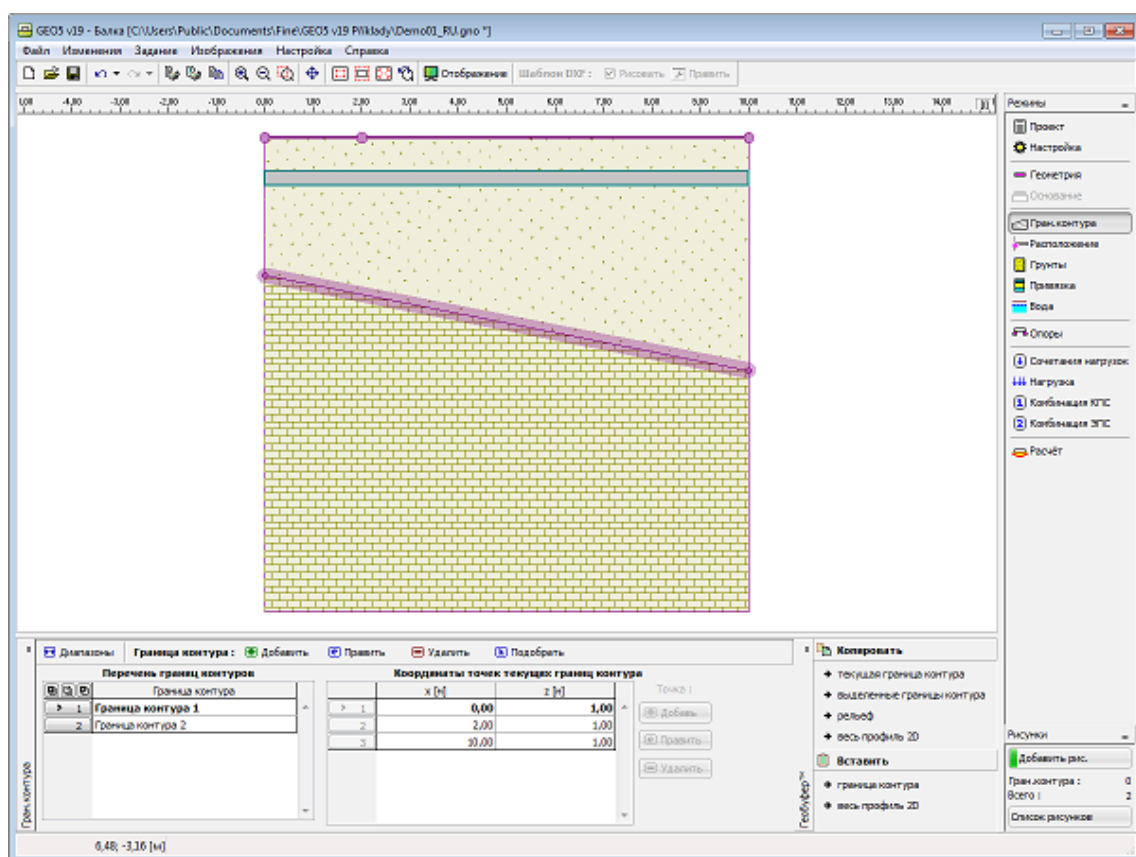


Рамка «Основание»

## Границы контура

В **рамке «Границы контура»** задают отдельные границы контуров грунта. Подробное описание работы над границами смотри [здесь](#).

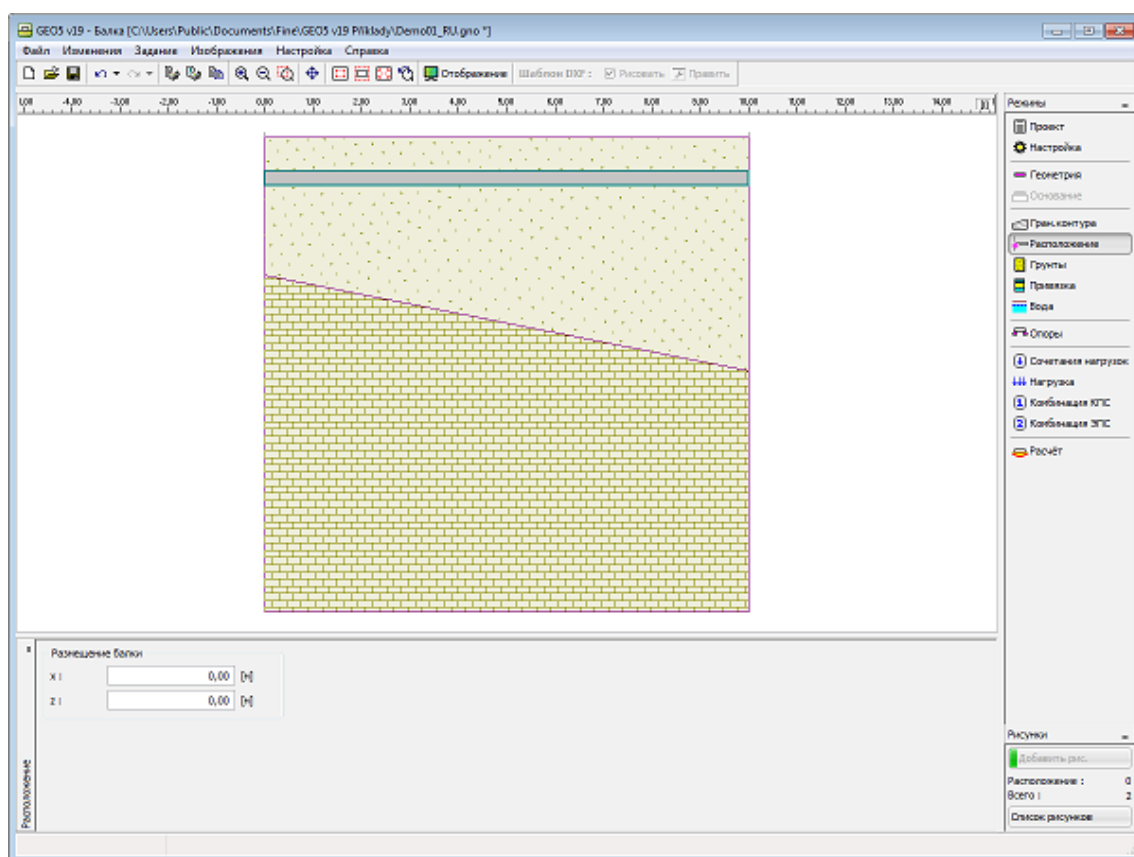
Программа позволяет **импорт и экспорт** границ контура в формате \*.DXF. Заданные границы контура можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью **«Геобуфера»**.



Рамка «Границы контура»

## Расположение

В рамку «**Расположение**» задают расположение балки: расположение начала балки - точку с координатами  $x, z$ .



Рамка «Расположение»

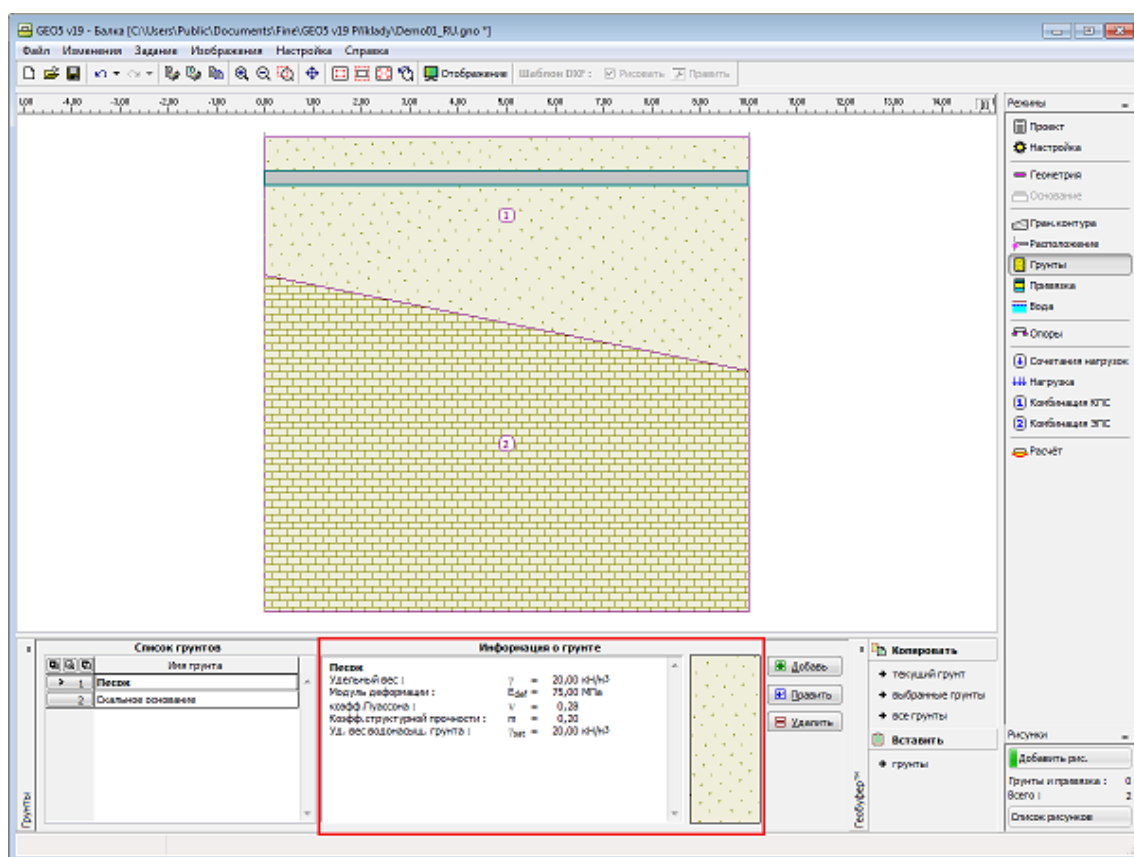
## Грунты

В рамке «Грунты» находится таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. Если в таблице выбрано несколько грунтов, то информация по отдельным грунтам упорядочена в последовательном порядке.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Базовые данные», «Осадка - эдометрический модуль», «Осадка - расчёт глубины деформации» и «Подъёмная сила».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта**.

Добавление новых грунтов

Идентификация

Имя : Песок

Třída S1, ulehlá

**Базовые данные**

Удельный вес :  $\gamma = 20,00$  [кН/м³] 20

Просадка - одометрический модуль

коэфф.Пуассона :  $\nu = 0,28$  [-] 0,28

Расчёт осадки : задать Edef

Модуль деформации :  $E_{def} = 75,00$  [МПа] 50-100

Просадка - расчёт зоны деформации

Коефф.структурной прочности  $m = 0,20$  [-] 0,2 - 0,3

Подъёмная сила

Расчёт взвешив.усилия : стандартный

Уд. вес водонасыщ. грунта :  $\gamma_{sat} = 20,00$  [кН/м³]

Отображение

Цвет

Категория узоров GEO

Узор

Песок

Классификация

Определить

Стереть

Добавить

Отмена

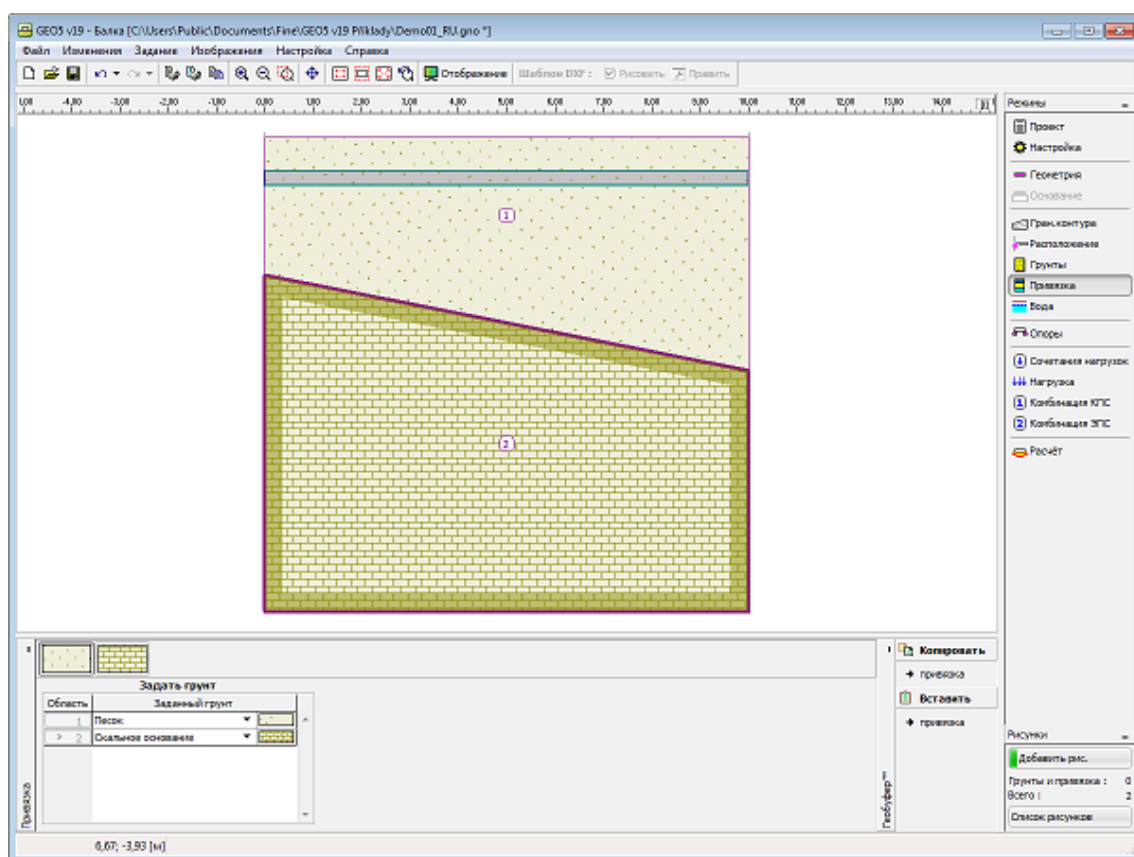
Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В рамке «Привязка» есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).

Привязку грунтов можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



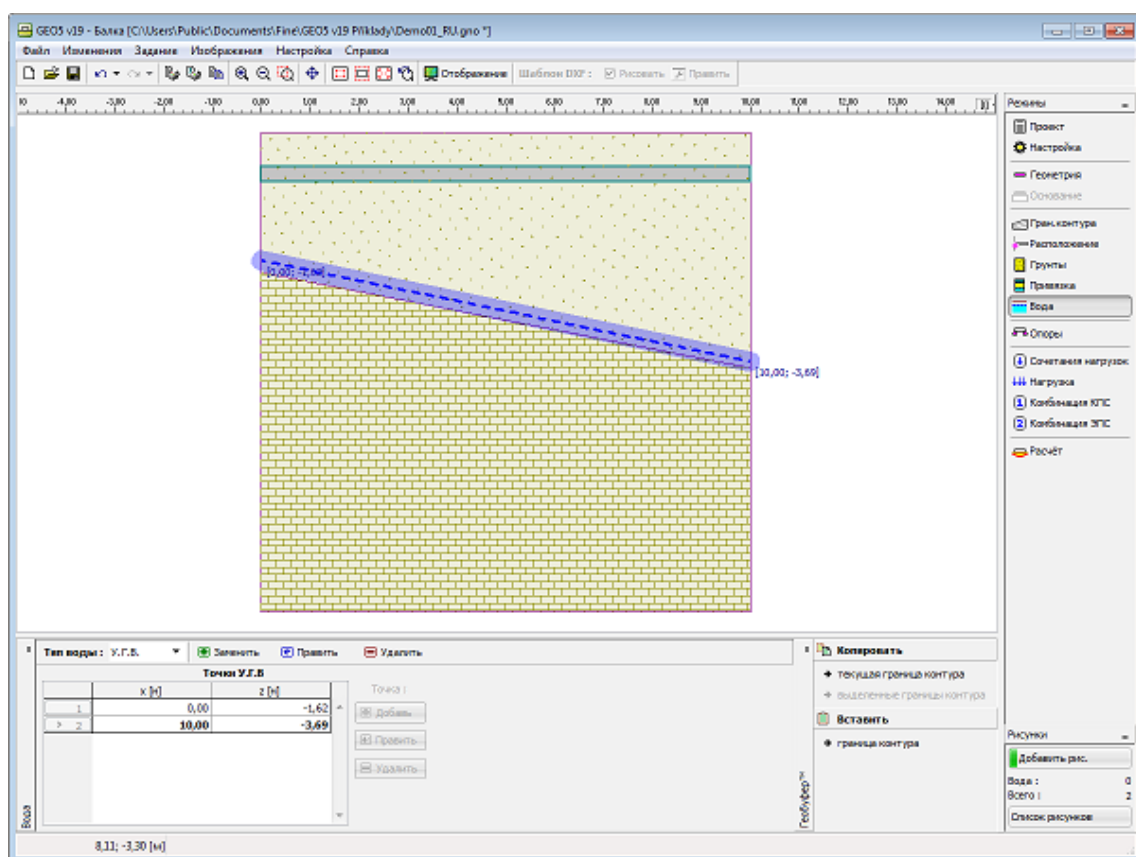
Рамка «Привязка»

## Вода

В **рамку «Вода»** задают **глубину уровня грунтовой воды**. Способ задания уровня воды или изолиний такой же как при стандартном **задании границ контуров**.

Заданные границы контура воды можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью **«Геобуфера»**.





Рамка «Вода»

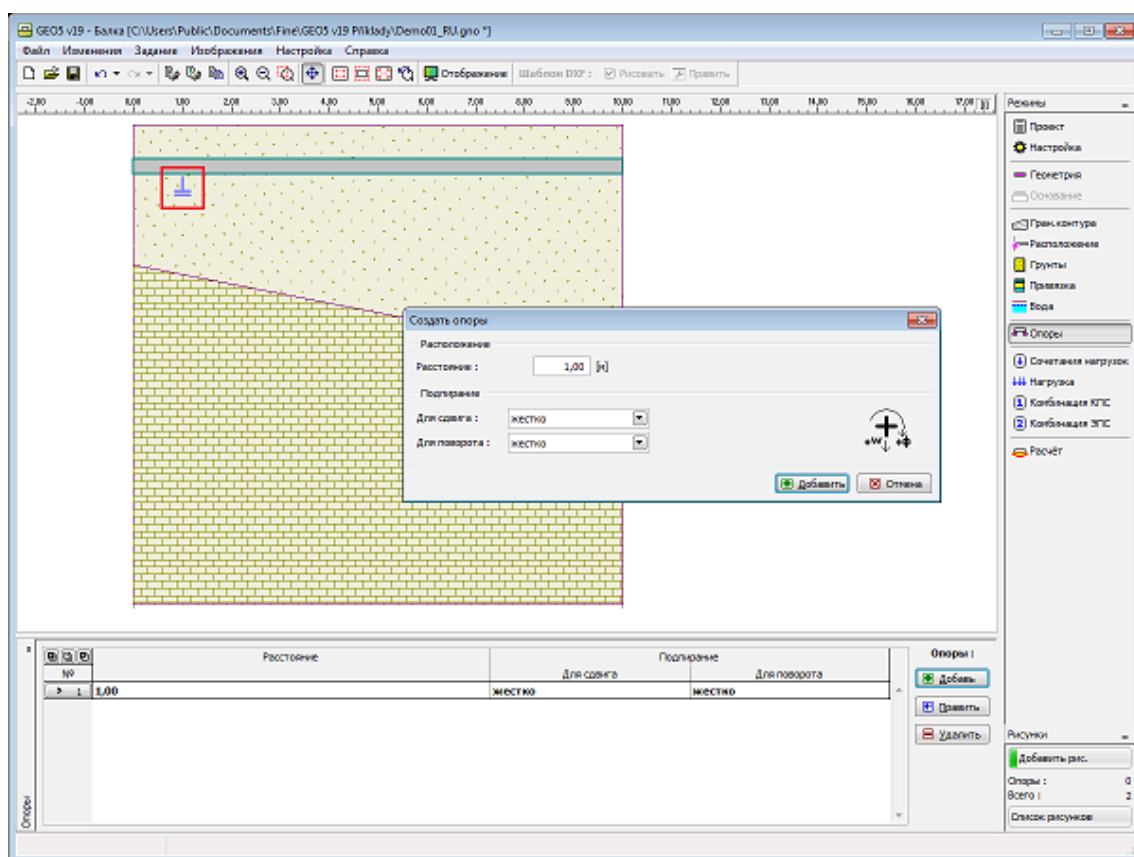
## Опоры

В рамке «Опоры» находится таблица со списком заданных опор. Добавление опор выполняется в диалоговом окне «Создать опоры». Редактирование вызывается нажатием кнопки «Править», или кликом левой кнопки мыши на строку в таблице с соответствующей опорой.

Тип подпирания определяется с помощью краевых условий в точке подпирания (перемещение, поворот).

**Краевое условие в точке** может быть:

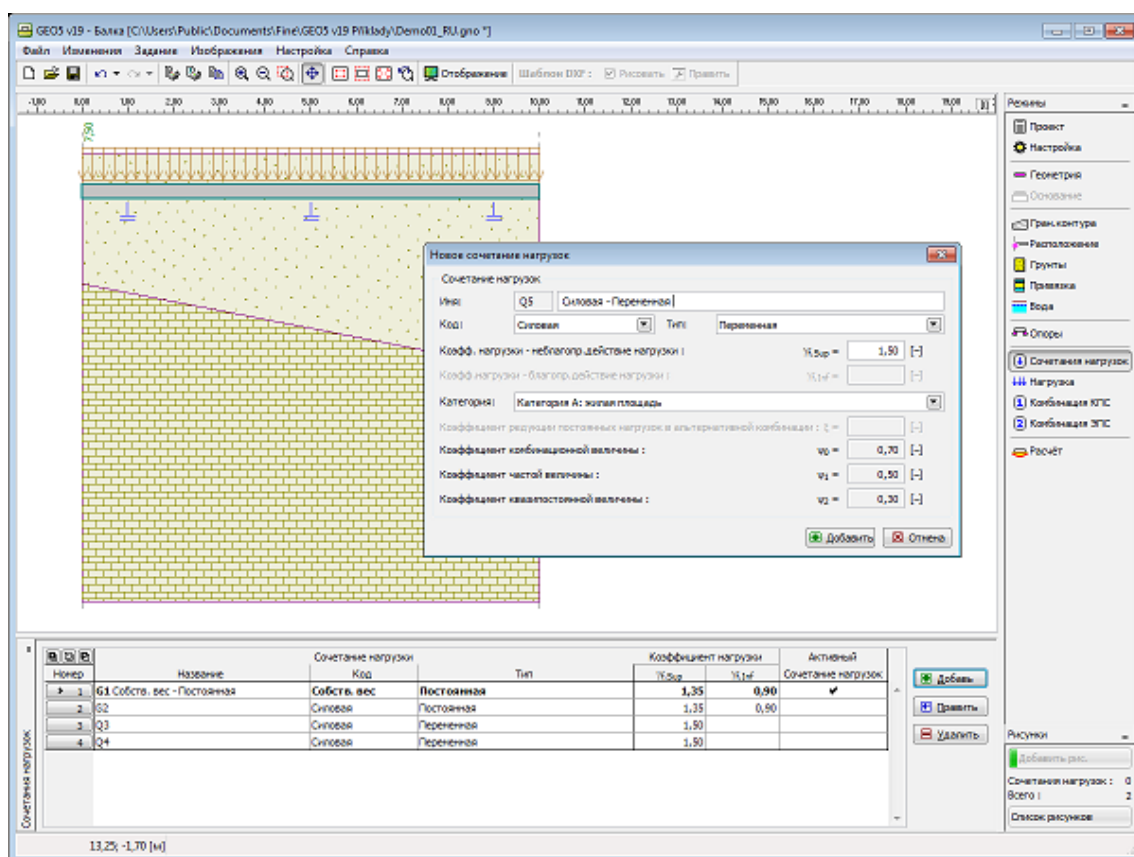
- свободное
- жёсткое
- деформация
- упругое



Рамка «Опоры»

## Сочетания нагрузок

В **рамке «Сочетание нагрузок»** находится **таблица** со списком заданных сочетаний нагрузок. Добавление (редактирование) сочетаний нагрузок и их **параметров** выполняется в **диалоговом окне «Новое сочетание нагрузок»**. Редактирование можно выполнять кнопкой **«Править»**, или кликом левой кнопкой мыши на строку в таблице с соответствующим сочетанием нагрузок.



Рамка «Сочетания нагрузок»

## Параметры сочетания нагрузок

В **диалоговом окне «Новое сочетание нагрузок»** задают следующие параметры:

### Идентификатор сочетания нагрузок

Перед полем для ввода имени отображён идентификатор сочетания нагрузок, состоящий из номера сочетания нагрузок и префикса (одна буква). Префикс зависит от типа нагружения:

- G** - постоянная нагрузка
- Q** - переменная нагрузка
- A** - случайная нагрузка

Идентификатор сочетания нагрузок важен прежде всего для выписок комбинаций.

### Код сочетания нагрузок

Код сочетания нагрузок определяет какую нагрузку в данное сочетание можно задавать. Существует несколько опций:

- Собственный вес** Нагрузка в таком сочетании представляет собственно силу тяжести конструкции и её автоматически генерирует программа. В одной задаче разрешено использование только одного сочетания нагрузок с таким кодом.
- Силовое** В сочетании нагрузок с таким кодом разрешено задавать какое-либо силовое нагружение (силы и моменты). Количество силовых сочетаний

нагрузок не ограничено.

### Тип нагрузки

Определяет характер сочетаний нагрузок в отношении их изменения во времени. Выбор типа соответствует классификации в соответствии с п. 4.1.1. стандарта EN 1990.

### Коэффициент нагрузки

Позволяет задавать частный коэффициент нагрузки  $\gamma_f$ . Коэффициент учитывает возможные неблагоприятные отклонения значений нагрузки от представляемых значений. Для постоянных нагрузок нужно задавать разные значения для благоприятного ( $\gamma_{f, inf}$ ) и неблагоприятного ( $\gamma_{f, sup}$ ) воздействия нагрузки в комбинации. Когда нагрузку задают по EN 1990, то исходные значения коэффициентов определяются по таблице A1.2(B).

### Категории

Распределение сочетаний нагрузок по категориям соответствует классификации нагрузок по таблице A1.1 стандарта EN 1990. В соответствии с этим переменным нагружающим состоянием присваиваются комбинирующие коэффициенты  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  и  $\psi_2$ . Категория «**Пользовательское задание**» позволяет задавать собственные значения коэффициентов. Выбор категории доступен только для сочетаний нагрузок, заданных в соответствии с EN 1990 (выбор стандарта в закладке «**Материалы и стандарты**»).

### Комбинирующие коэффициенты

В основе исходных значений коэффициентов для составления комбинаций лежат положения стандарта EN 1990 и обусловлены категорией сочетания нагрузки. В пользовательских заданиях можно настраивать собственные значения коэффициентов. Для составления комбинаций использованы следующие коэффициенты:

- $\xi$  - **Коэффициент редукции постоянных нагрузок в альтернативной комбинации** - Коэффициент присваивается всем постоянным нагрузкам и использован при составлении альтернативных комбинаций для предельного состояния несущей способности (комбинация в соответствии с п. 6.106 в EN 1990)
- $\psi_0$  - **Коэффициент комбинационной величины** - Коэффициент для переменных нагрузок, используется при составлении комбинаций для предельных состояний несущей способности и применимости
- $\psi_1$  - **Коэффициент частой величины** - Коэффициент для переменных нагрузок, используется при составлении особых (случайных) комбинаций и комбинаций для предельных состояний применимости .
- $\psi_2$  - **Коэффициент квазипостоянной величины** - Коэффициент для переменных нагрузок, используется при составлении случайных комбинаций и комбинаций для предельных состояний применимости.

Эти коэффициенты комбинации доступны только для сочетания нагрузок, заданных в соответствии с EN 1990 (стандарт выбирают в рамке «**Методы расчёта**»).

Новое сочетание нагрузок

Сочетание нагрузок

Имя: Q5 Силовая - Переменная

Код: Силовая Тип: Переменная

Коефф. нагрузки - неблагоприят. действие нагрузки :  $\gamma_{f,Sup} = 1,50$  [-]

Коефф. нагрузки - благоприят. действие нагрузки :  $\gamma_{f,Inf} =$  [-]

Категория: Категория А: жилая площадь

Коеэффициент редукции постоянных нагрузок в альтернативной комбинации :  $\xi =$  [-]

Коеэффициент комбинационной величины :  $\psi_0 = 0,70$  [-]

Коеэффициент частой величины :  $\psi_1 = 0,50$  [-]

Коеэффициент квазипостоянной величины :  $\psi_2 = 0,30$  [-]

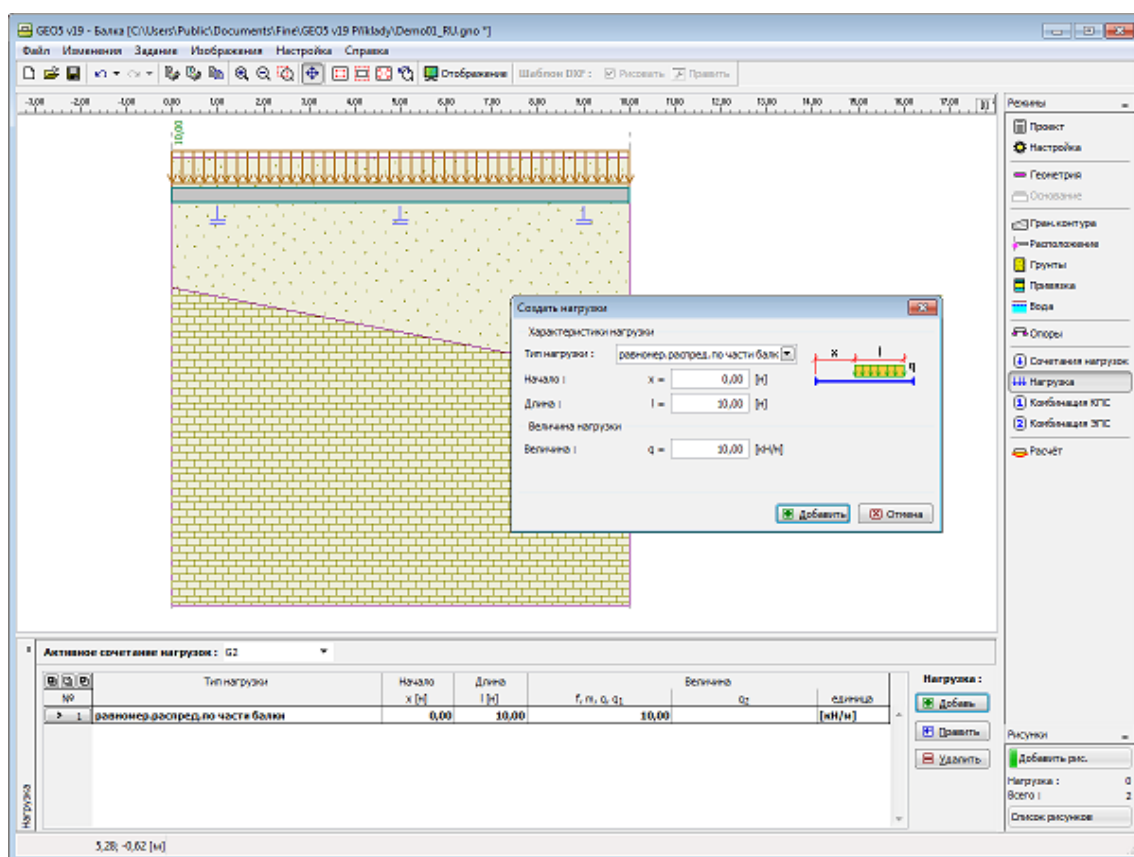
Добавить Отмена

Диалоговое окно «Новое сочетание нагрузок»

## Нагрузка

В рамке «**Нагрузка**» находится таблица со списком заданных нагрузок. Добавление (правка) нагрузки выполняется в диалоговом окне «Создать (правка) нагрузку». Редактирование выполняется с помощью кнопки «**Править**», или кликом левой кнопкой мыши на строку в таблице с соответствующей нагрузкой.

Каждая нагрузка присваивается сочетанию нагрузок. Выбор сочетания нагрузок производится над таблицей в выпадающем списке «**Активное сочетание нагрузок**».

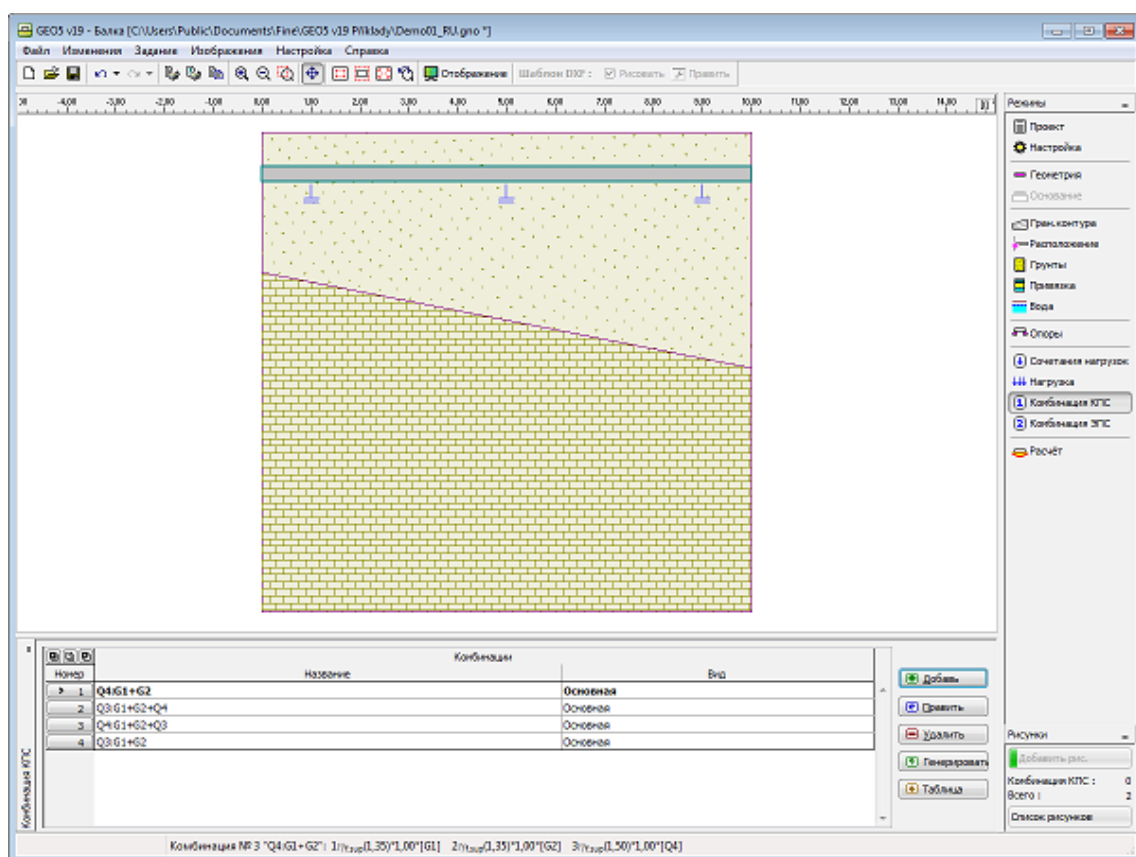


Рамка «Нагрузка»

## Комбинация КПС

В **рамке «Комбинация КПС»** находится таблица со списком заданных комбинаций предельного состояния несущей способности. Добавление (редактирование) комбинации и её **параметров** выполняется в диалоговом окне **«Новая комбинация сочетаний нагрузок»**. Для редактирования или нажимают кнопку **«Править»**, или кликают левой кнопкой мыши на строку с соответствующей комбинацией.

Программа позволяет использовать встроенный **генератор комбинаций** сочетаний нагрузок для создания комбинаций.



Рамка «Комбинация КПС»

## Параметры комбинаций КПС

В **диалоговом окне «Новая комбинация сочетаний нагрузки»** задают следующие параметры:

### Название комбинации

Перед полем для ввода имени комбинации показан краткая выписка комбинации. Все сочетания нагрузок в ней указаны в виде их **идентификаторов**, главные переменные нагрузки перенесены в начало выписки и от остальных сочетаний нагрузок отделены двоеточием.

### Вид комбинации (только комбинации по EN 1990)

Для предельных состояний несущей способности можно создавать следующие комбинации:

**Основные** Основная комбинация согласно отношения 6.10 стандарта EN 1990.

**Альтернативная** Комбинация по отношениям 6.10a и 6.10b стандарта EN 1990. В этом случае в расчётах принимаются во внимание два варианта комбинаций, одна с приведёнными постоянными сочетаниями нагрузок, а другая с приведённым главным переменным сочетанием нагрузок.

**Случайная** Случайные комбинации по 6.11.

### Выбор сочетаний нагрузок

Таблица сочетаний нагрузок позволяет выбирать сочетания нагрузок, которые будут



включены в комбинацию. Сочетание нагрузок добавляют в комбинацию, поставив флажок в поле колонки «**Учитывать**» рядом с соответствующим сочетанием нагрузки. Следующая настройка в таблице зависит от выбора способа задания нагрузки в закладке «**Материалы и стандарты**».

### Нагрузка согласно EN 1990

В колонке «**Учитывать**» рядом с каждым сочетанием нагрузки находится ещё одно поле для флажка, которое позволяет настроить благоприятное воздействие постоянных сочетаний нагрузок (использование коэффициента  $\gamma_f, inf$ ) или задать переменную нагрузку в качестве главной. Количество главных переменных нагрузок в комбинации не ограничено. Для комбинаций типа «**Случайная**» можно задавать случайную нагрузку (выбор возможен только из сочетаний нагрузок типа «**Случайная**»). У случайных комбинаций тоже нужно выбирать для редукции главной переменной нагрузки коэффициент  $\psi_1$  или  $\psi_2$ .

### Общий вид нагрузки

Для каждого сочетания нагрузок можно задать коэффициент задействования, которым можно отредактировать степень включения сочетания нагрузок в комбинацию.

Новая комбинация нагрузочных состояний

Параметры комбинации

Название: G1+G2

Вид: Основная

Сочетание нагрузки			Применение		Коэффициент
Название	Код	Тип	Учитывать		
G1 Собств. вес - Постоянная	Собств. вес	Постоянная	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,00
G2	Силовая	Постоянная	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,00
Q3	Силовая	Переменная	<input type="checkbox"/>		
Q4	Силовая	Переменная	<input type="checkbox"/>		

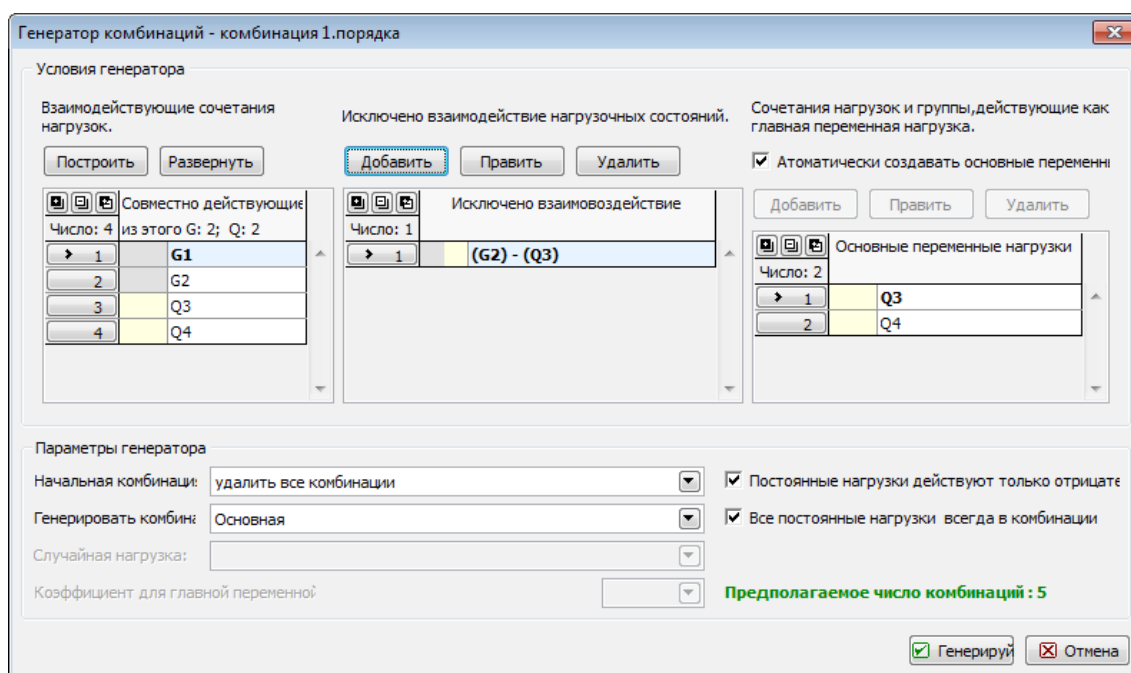
Особые нагрузки:

Коэффициент для главной переменной:

Диалоговое окно «Новая комбинация сочетаний нагрузок»

## Генератор комбинаций

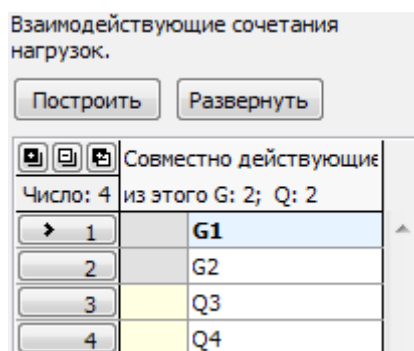
Диалоговое окно «Генератор комбинаций - 1-й порядок» позволяет массовое производство комбинаций сочетаний нагрузок на основе заданных правил. Учитывая характер стандарта EN 1990, число генерированных комбинаций может оказаться относительно большим, а в экстремальных случаях даже может привести к выразительному замедлению работы программы. Поэтому в правом нижнем углу отображается информация о предполагаемом количестве комбинаций, выдаваемых генератором. Таким образом пользователь ещё до запуска генерирования может узнать сколько комбинаций будет создано и при необходимости откорректировать условия для генератора. В верхней части окна задают условия для генерирования комбинаций, в нижней части находятся разные настройки генератора.



Диалоговое окно «Генератор комбинаций 1-го порядка»

### Взаимодействующие сочетания нагрузок и группы

В этой части можно объединить сочетания нагрузок, которым положено в комбинациях находиться всегда вместе. В одну группу нельзя объединять постоянные и переменные нагрузки. Если в параметрах генератора отмечена настройка «**Все постоянные нагрузки всегда в комбинации**», то формирование групп постоянных сочетаний нагрузок не оказывает влияния на их встречаемость в комбинациях, т.к. в каждой из сгенерированных комбинаций будут находиться все постоянные сочетания нагрузок. В этом случае объединение постоянных сочетаний нагрузок влияет только на учтывание благоприятных/неблагоприятных воздействий сочетаний нагрузок, если не поставлен флажок на «**Постоянные нагрузки действуют только неблагоприятно**».



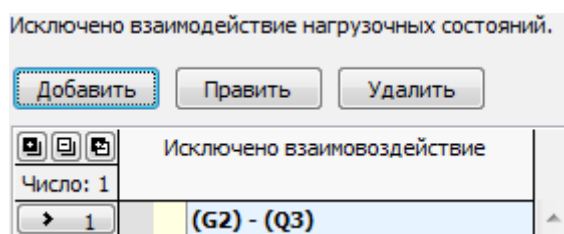
Диалоговое окно «Генератор комбинаций» - Взаимодействующие сочетания нагрузок и группы

### Взаимоисключающиеся сочетания нагрузок

В этой части можно задать сочетания нагрузок которым запрещено вместе находиться в одной комбинации. Взаимоисключаемыми можно обозначить любые сочетания нагрузок или объединённые группы, независимо от вида сочетания нагрузок. Задавать группы на исключение можно двумя способами:

**Взаимоисключение** Можно задавать любое количество сочетаний нагрузок в одной группе. Программа в этом случае не сгенерирует ни одну комбинацию, в которой находится как минимум два сочетания нагрузок этой группы.

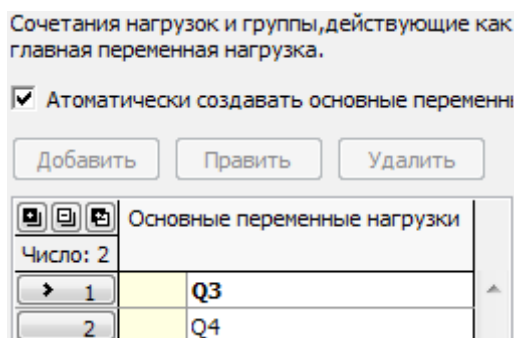
**Попарное исключение** В случае, что нужно создать побольше взаимоисключающихся групп двух состояний, где одно сочетание нагрузок не меняется (напр., исключён монтажный вариант постоянных нагрузок со всем эксплуатационными сочетаниями нагрузок), то этой возможностью можно воспользоваться. В первой колонке выбирают сочетание нагрузок, которое следует исключить с остальными, во второй колонке выбрать любое количество сочетаний нагрузок, вместе с которыми следует создать исключаящиеся группы.



Диалоговое окно «Генератор комбинаций» – Взаимоисключающиеся сочетания нагрузок.

### Сочетания нагрузок и группы действующие как главная переменная нагрузка

Эта часть доступна только нагрузке задаваемой по EN 1990 (стандарт выбирают в закладке «Материалы и стандарты»). В автоматическом режиме при формировании комбинаций каждое переменное сочетание нагрузок считается главным. При отключённом автоматическом режиме можно список главных переменных нагрузок вручную редактировать. Напр., любое сочетание нагрузок удалить из списка, следовательно в комбинациях оно не будет приниматься как главная переменная. В случае, что в список добавляют новый пункт с несколькими сочетаниями нагрузок, все эти сочетания нагрузок в комбинациях, в которых будут вместе, будут приниматься как главные.



Диалоговое окно «Генератор комбинаций» - Сочетание нагрузок и группы действующие как главная переменная нагрузка

**Параметры генератора** (настройка параметров в нижней части диалогового окна).

### Выпадающий список «Исходные комбинации»

- Оставить исходные комбинации** - После нажатия кнопки «Генерируй» программа добавляет к исходным комбинациям новые, созданные по заданным правилам
- Удалить все комбинации** - После нажатия кнопки «Генерируй» программа удаляет все исходные комбинации и заменяет их новыми
- Удалить** - После нажатия кнопки «Генерируй» программа удаляет

<b>сгенерированные комбинации</b>	ранее сгенерированные комбинации и добавляет новые, созданные по заданным правилам.
<b>Удалить все комбинации текущего типа</b>	- После нажатия кнопки « <b>Генерируй</b> » программа удаляет все исходные комбинации данного типа и заменяет их новыми.
<b>Удалить сгенерированные комбинации текущего типа</b>	- После нажатия кнопки « <b>Генерируй</b> » программа удаляет ранее сгенерированные комбинации данного типа и добавляет новые, созданные по заданным правилам.

### Выпадающий список «Генерировать комбинации»

Для нагрузок по EN 1990 можно выбирать следующие типы генерированных комбинаций:

<b>Основная</b>	- Генерирует основные комбинации для предельных состояний несущей способности в соответствии с 6.10 стандарта EN 1990
<b>Альтернативная</b>	- Генерирует комбинации для предельного состояния несущей способности в соответствии с 6.10a и 6.10b стандарта EN 1990. Данный вариант создаёт двухкратное количество комбинаций, но даёт более качественные результаты.
<b>Случайная</b>	- Генерирует случайные комбинации для предельного состояния несущей способности в соответствии с 6.11b стандарта EN 1990. У случайных комбинаций можно задавать случайное сочетание нагрузок, которое будет использовано в этих комбинациях. Одновременно необходимо определить, будет-ли для главной переменной нагрузки использован коэффициент $\psi_1$ или $\psi_2$ .

### Постоянная нагрузка вызывает только неблагоприятное воздействие

В случае, что здесь не установлен флажок, программа создаёт все возможные комбинации, где будут чередоваться все варианты благоприятного и неблагоприятного воздействия постоянных нагрузок.

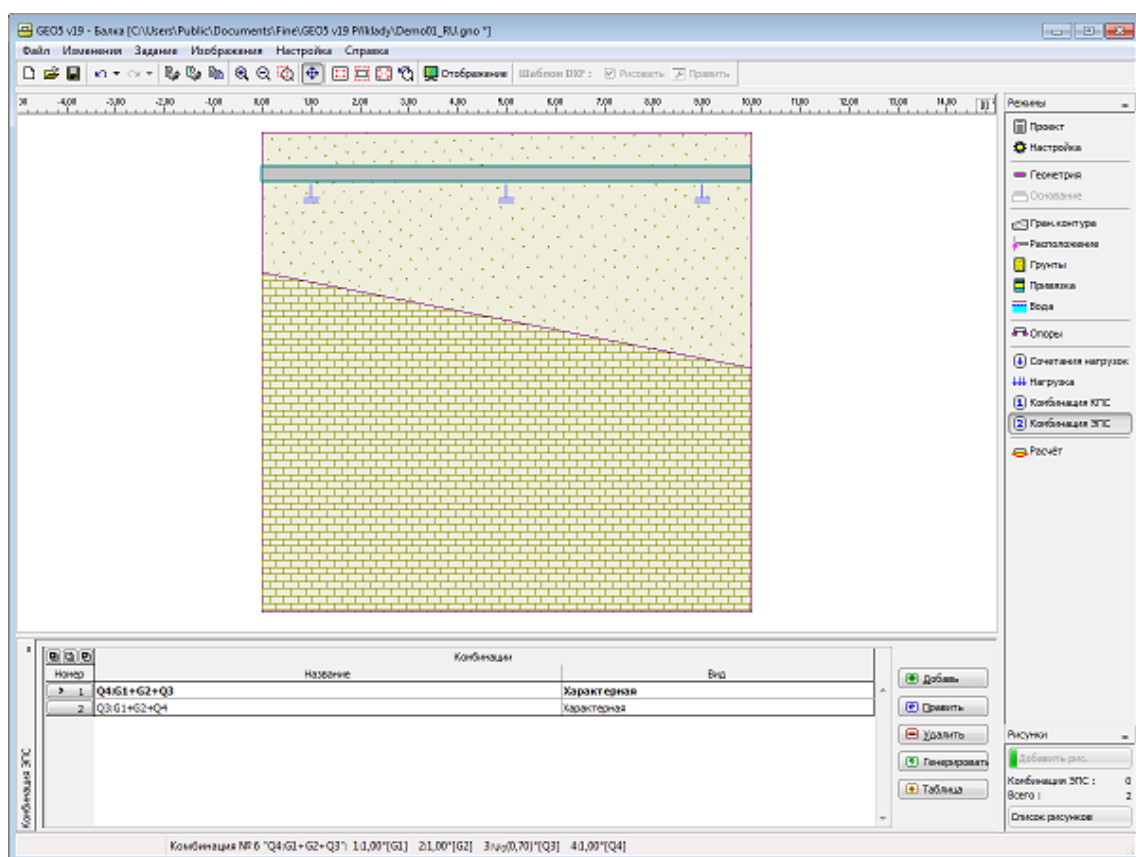
### Все постоянные нагрузки всегда в комбинации.

В случае, что здесь не установлен флажок, программа создаёт комбинации, в которых постепенно по очереди будут включены все сочетания нагрузок.

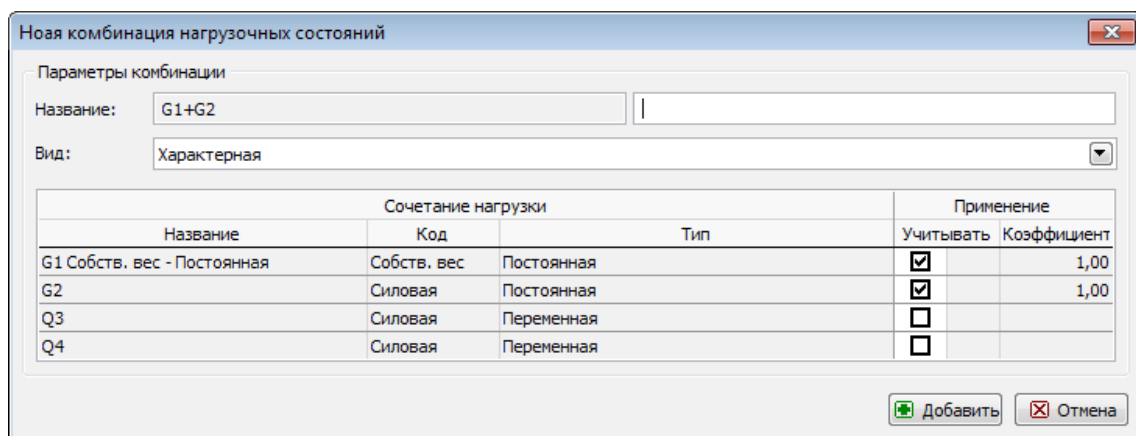
## Комбинации ЭПС

В **рамке «Комбинации ЭПС»** находится таблица со списком заданных комбинаций предельного состояния применимости. Добавление (редактирование) комбинации и её **параметров** выполняется в диалоговом окне «**Новая комбинация сочетаний нагрузок**».

Программа позволяет использовать встроенный **генератор комбинаций** сочетаний нагрузок для создания комбинаций.



Рамка «Комбинация ЭПС»



Диалоговое окно «Новая комбинация сочетаний нагрузок»

## Параметры комбинаций ЭПС

Комбинация ЭПС назначена для проверки состояний, которые касаются внешнего вида конструкции, комфорта людей, работы конструкции в стандартных условиях. Обычно это касается прежде всего проверки деформаций, вибраций и пр. В **диалоговом окне** (подобным образом как у **комбинаций для КПС**) «**Новая комбинация сочетаний нагрузок**» задают следующие параметры:

### Вид комбинации по EN 1990

Для предельных состояний применимости можно создавать следующие комбинации:

- Характерная** - комбинация согласно п. 6.14 стандарта EN 1990  
**Частая** - комбинация согласно п. 6.15 стандарта EN 1990  
**Квазипостоянная** - комбинация согласно п. 6.16 стандарта EN 1990

### Выбор сочетаний нагрузок

Таблица с сочетаниями нагрузок позволяет подбирать сочетания нагрузок, которые войдут в состав комбинации. Сочетание нагрузок добавляем в комбинацию флажком в поле в столбце «Учитывать» у соответствующего сочетания нагрузок. Для заданных комбинаций общего типа (выбор в закладке «**Материалы и стандарты**») можно задавать коэффициент задействия, который корректирует степень задействия сочетания нагрузок в комбинацию.

Новая комбинация нагрузочных состояний

Параметры комбинации

Название: G1+G2

Вид: Характерная

Название	Сочетание нагрузки		Применение	
	Код	Тип	Учитывать	Коэффициент
G1 Собств. вес - Постоянная	Собств. вес	Постоянная	<input checked="" type="checkbox"/>	1,00
G2	Силовая	Постоянная	<input checked="" type="checkbox"/>	1,00
Q3	Силовая	Переменная	<input type="checkbox"/>	
Q4	Силовая	Переменная	<input type="checkbox"/>	

Добавить Отмена

Диалоговое окно «Новая комбинация сочетаний нагрузок»

## Генератор комбинаций

Диалоговое окно «Генератор комбинации - 1-ого порядка» позволяет массовое производство комбинаций сочетаний нагрузок для предельных состояний применимости. Функции генератора комбинаций пояснены в разделе, посвящённом **генератору комбинаций для предельного состояния несущей способности**.

Когда в закладке «**Материалы и стандарты**» выбрано задание нагрузки по EN 1990, для предельного состояния применимости можно генерировать следующие типы комбинаций:

- Характерная** - комбинация согласно п. 6.14 стандарта EN 1990  
**Частая** - комбинация согласно п. 6.15 стандарта EN 1990  
**Квазипостоянная** - комбинация согласно п. 6.16 стандарта EN 1990

## Расчёт

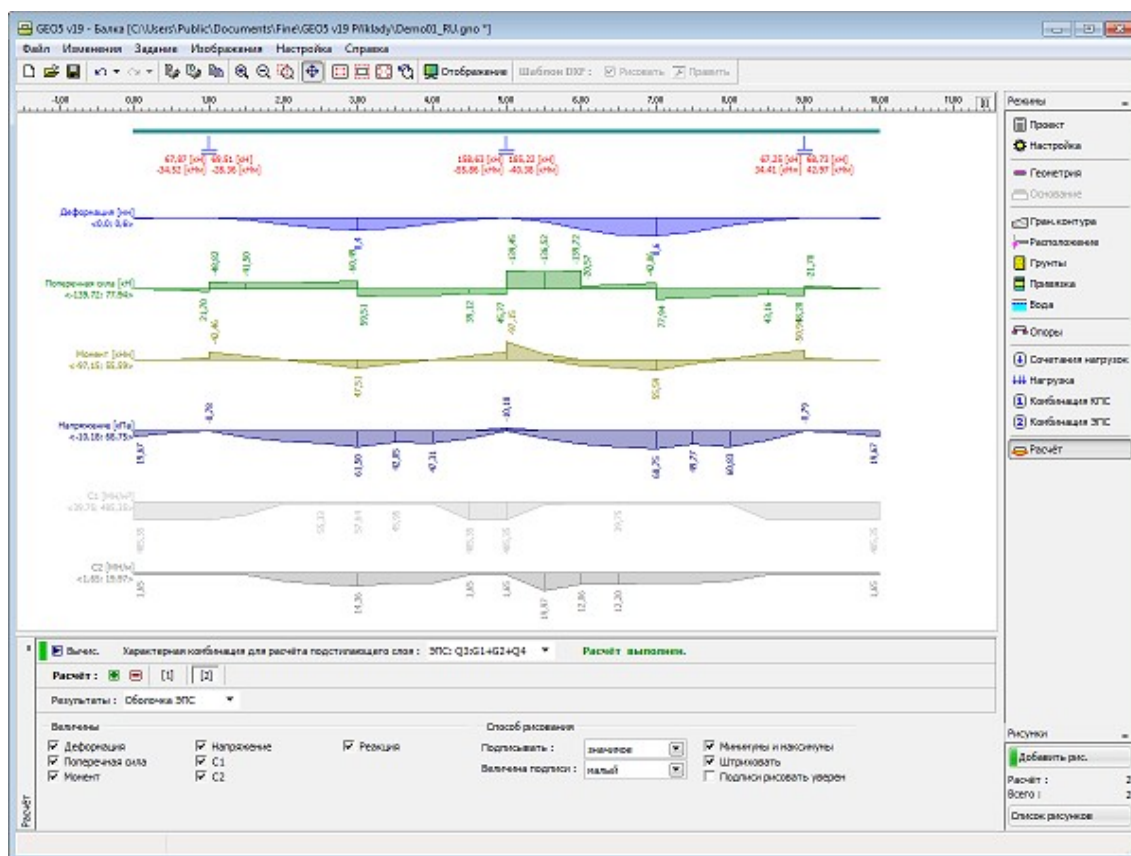
В **рамке «Расчёт»** отображены результаты расчётов. Расчёт выполнен **методом конечных элементов** с учётом основания **Винклера-Пастернака**. Для одной задачи можно выполнить **несколько расчётов**. В правом верхнем углу рамки отображается информация о выполнении расчёта. Когда меняются параметры задачи расчёт необходимо повторить, кликнув кнопку «**Расчёт**».

Когда параметры основания **вычисляются из геологического профиля** в выпадающем списке

нужно выбрать **«Характерную комбинацию для расчёта основания»**.

В выпадающем списке **«Результаты»** устанавливают комбинацию нагрузки **КПС** или **ЭПС** (или огибающую комбинаций сочетаний нагрузок), для которой должны быть отображены результаты на рабочем столе.

В нижней части рамки устанавливают величины, которые будут вычерчены (Деформация, Поперечная сила, Момент...) и стиль их вырисовки на рабочем столе.



Рамка «Расчёт»

## Программа Осадка

Расчёт осадки поверхности рельефа от пригрузки, или изменения уровня подземной воды и определение мулды оседания по стандарту ЧСН 73 1001.

**Справка для программы «Осадка» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект	Настройка	Границы контура	Насыпь	Выемка	НесжимаемоГрунты е основание
Привязка	Пригрузка	Вода	Настройка этапа	Расчёт	

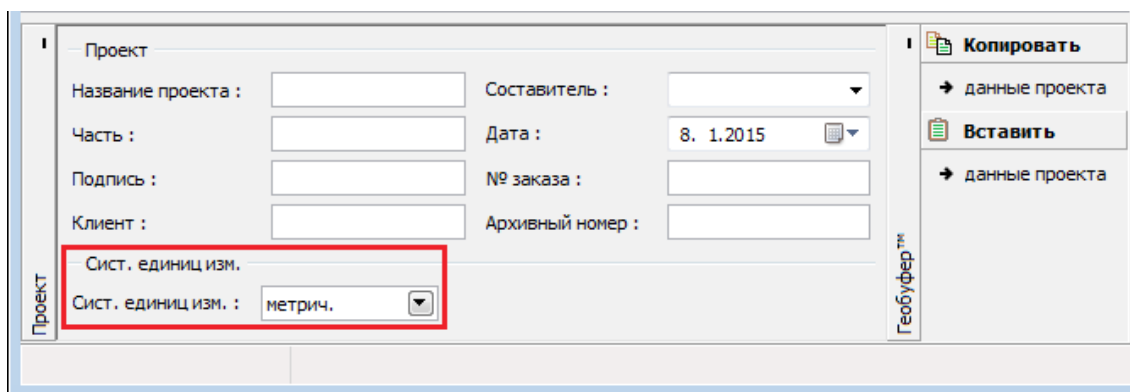


- [Стандарты и методы расчёта](#)
- Теория расчётов в программе «**Осадка**»:  
[Напряжение в массиве грунта](#)      [Осадка](#)
- Справка относительно [результатов на выходе](#)
- Информация общего характера о работе в [пользовательской среде](#) программ GEO5
- [Общие операции](#) для всех программ

## Проект

В [рамку «Проект»](#) задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой [текстовой и графической информации](#).

В рамке можно переключать системы единиц измерения ([метрическую / дюймовую](#)). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «[Геобуфера](#)».



Рамка «Проект»

## Настройка

В [рамку «Настройка»](#) предназначена для ввода основных «[Настроек](#)» программы. Сюда задают стандарты и теории расчёта, способ доказывания безопасности конструкции, а также отдельные коэффициенты расчёта.

Программы содержат предварительно заданные **основные Настройки** по отдельным странам. Наряду с этим, пользователи могут создавать свои **пользовательские Настройки**, с которыми могут работать во всех программах GEO5.

Кнопкой «**Выбрать настройки**» выбирают предварительно заданную настройку (настройку по умолчанию) из «[Перечня настроек](#)».

Кнопка «**Администратор настройки**» открывает диалоговое окно «[Администратор настроек](#)», в котором можно просматривать и редактировать отдельные Настройки. Здесь также определяют которая из Настроек будет визуализирована в Перечне настроек. В

Администраторе настройки можно выполнять **экспорт и импорт** данных.

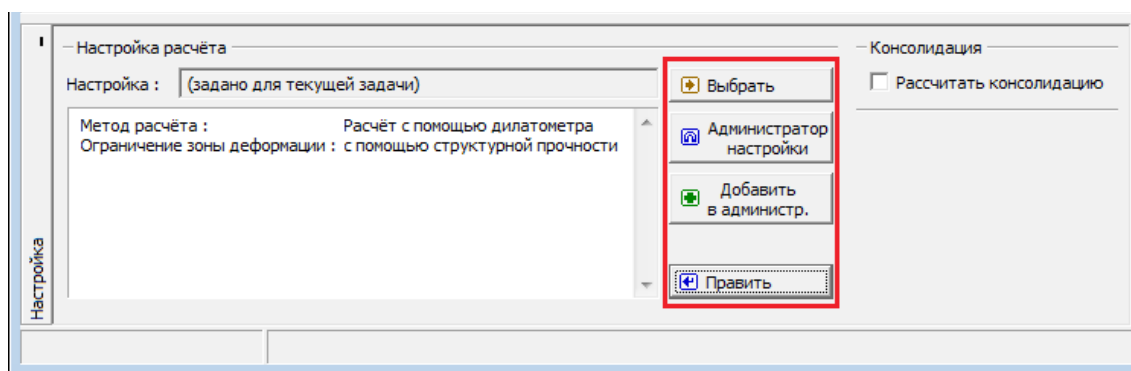
Кнопка «**Добавить в администратор**» позволяет **создать пользовательскую Настройку**, которая далее будет включена в Администратор настройки.

Кнопка «**Править**» позволяет быстрый просмотр и отредактирование текущей Настройки для запущенной программы. В случае изменения в данных, имя Настройка меняется в «**Задано для текущей задачи**». После этого расчёты выполняются с этой **локальной настройкой**. Если мы решили, что настройка подходит также для других задач, то нажимаем кнопку «**Добавить в администратор**» и добавляем настройку в «**Администратор настройки**».

Настройка «**Задано для текущей задачи**» обычно формируется при импорте предшествующих данных.

Настройка параметров расчёта производится в закладке «**Осадка**».

В рамке можно определить будет ли программа рассчитывать **консолидацию**.

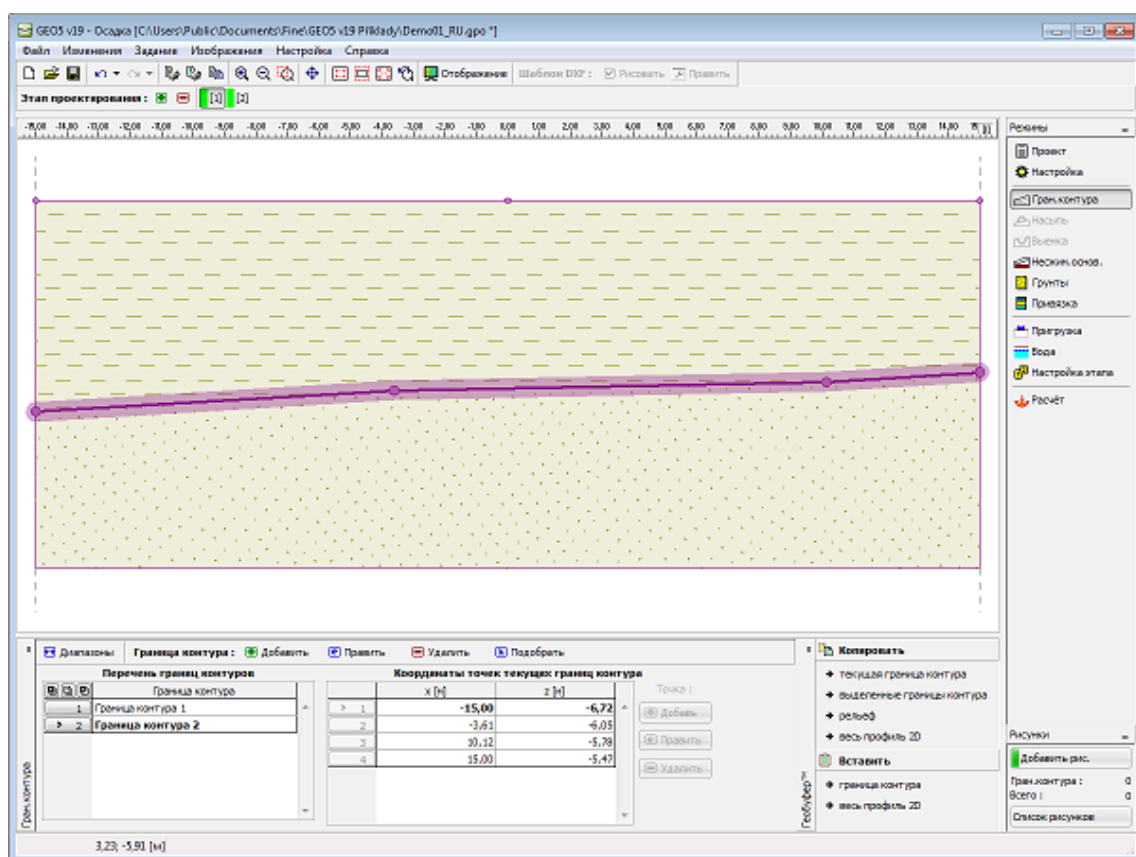


Рамка «Настройка»

## Границы контура

В **рамке «Границы контура»** задают отдельные границы контуров грунта. Подробное описание работы над границами смотри [здесь](#).

Программа позволяет **импорт и экспорт** границ контура в формате \*.DXF. Заданные границы контура можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью «**Геобуфера**».



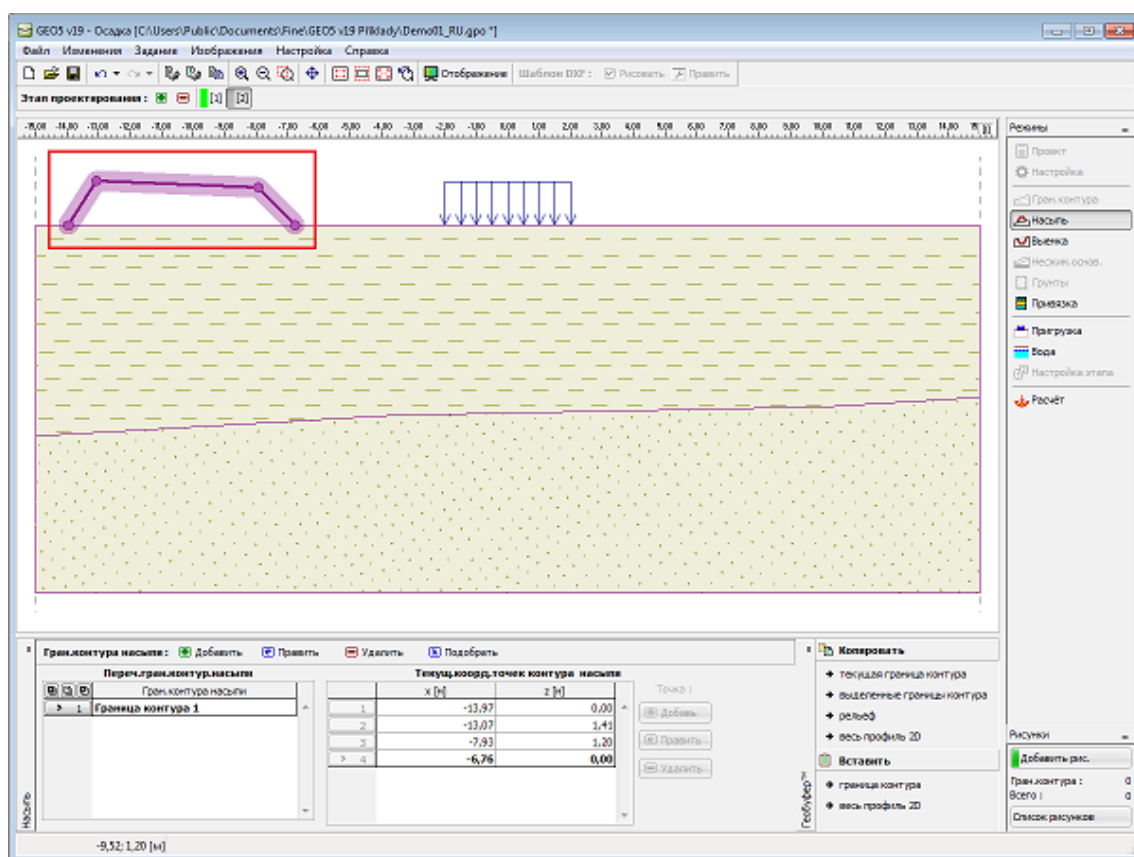
Рамка «Границы контура»

## Насыпь

В рамке «**Насыпь**» задают границы контура, которые образуют насыпи выше уровня земли. В рамке имеется таблица со списком границ контуров грунтов в насыпи. В середине рамки отображается таблица с точками границы насыпи в текущем выборе. Границы контура насыпи задаются тем же образом как задаются границы контура в стандартном случае.

Задавать насыпь нельзя на первом этапе проектирования. Нельзя насыпь задавать тоже тогда, когда на соответствующем этапе была задана выемка - в таком случае или задают следующий этап проектирования и задают насыпь, или убирают выемку.

Заданные границы контура насыпи можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Насыпь»

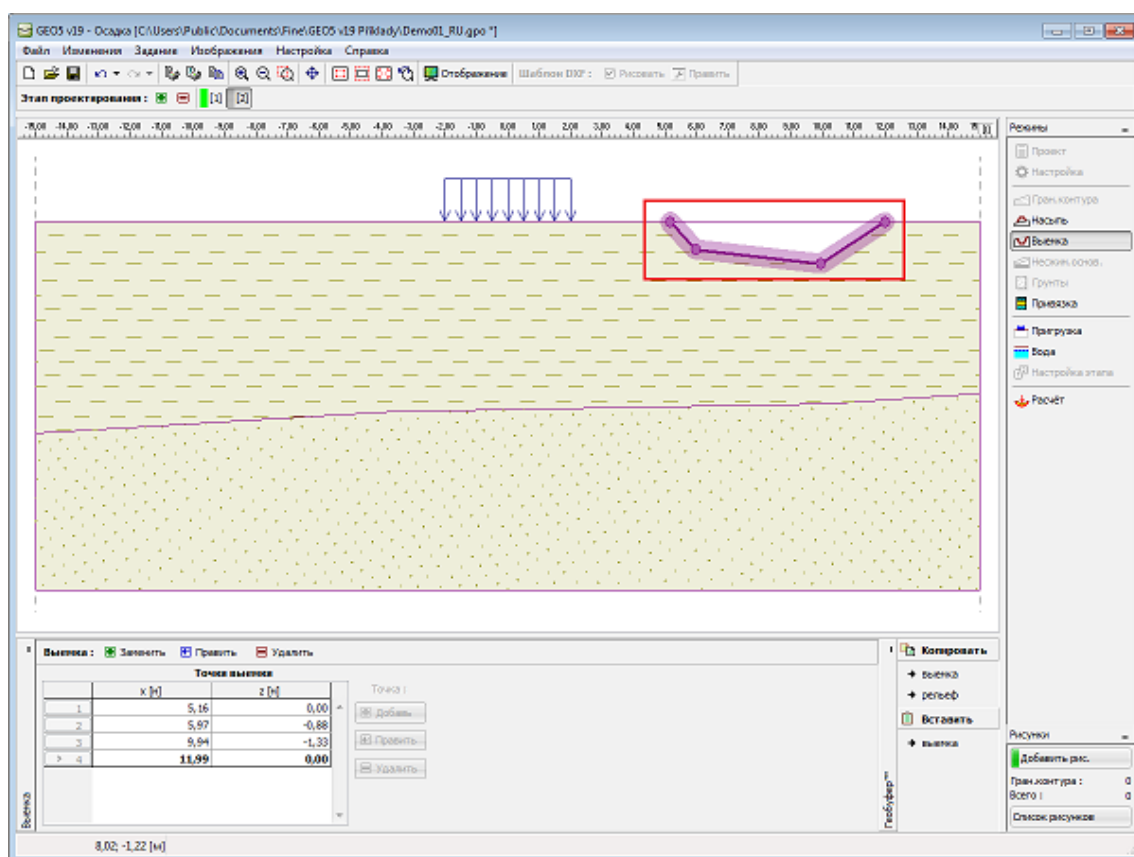
## Выемка

В **рамке «Выемка»** задают форму выемки. Эта функция позволяет менять форму территории в рамках **этапов проектирования** отсека. Можно задавать несколько **выемок** одновременно - в таком случае некоторые линии выемки проходят отчасти выше уровня земли.

В левой части рамки находится **таблица** со списком отдельных точек границ контуров. Границы контура выемки задаются таким же образом как задаются границы выемки в **стандартном случае**.

Задавать выемку нельзя на первом **этапе проектирования**. Нельзя задать выемку также, если на соответствующем этапе уже была задана **насыпь**. В таком случае нужно или задать следующий этап проектирования и тоже насыпь, или убрать границу насыпи.

Заданные границы контура выемки и рельефа можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью **«Геобуфера»**.



Рамка «Выемка»

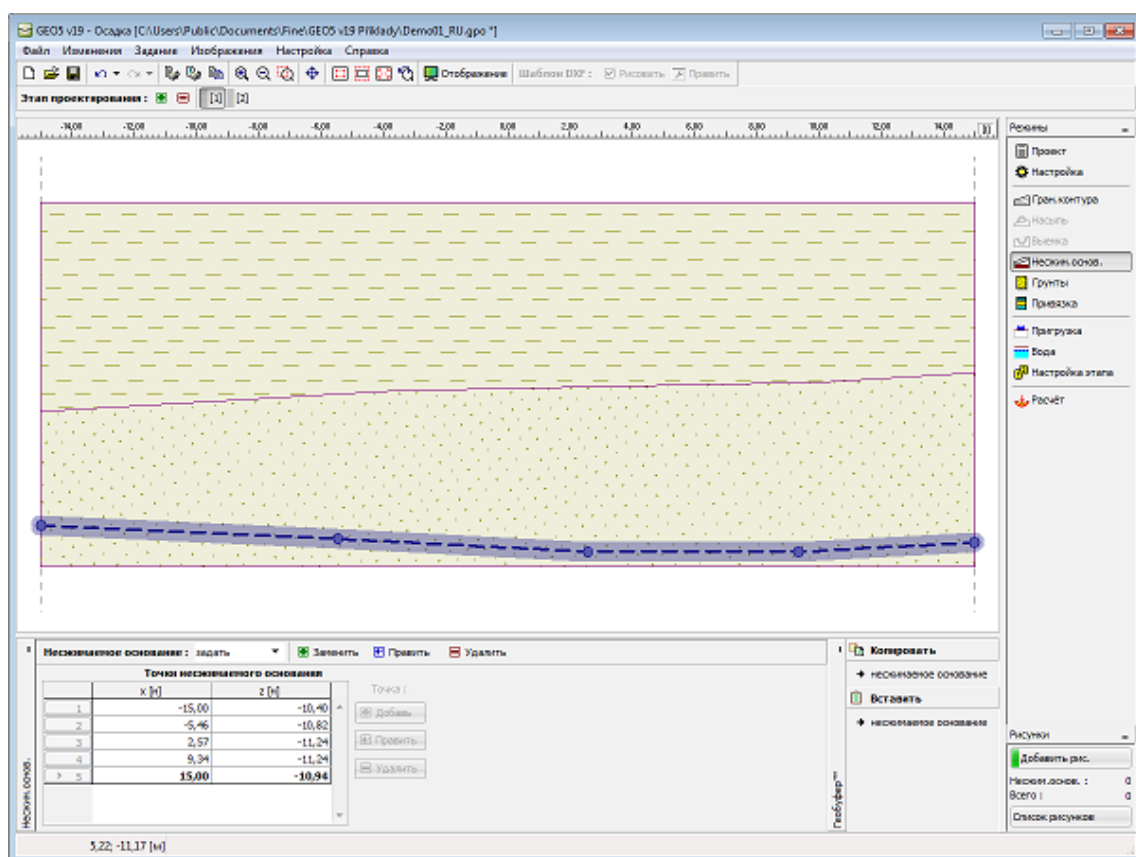
## Несжимаемое основание

В **рамку «Несжимаемое основание»** задают глубину уровня **несжимаемого основания**.

Глубину поверхности несжимаемого основания задают таким же образом как **задают границу контура** в стандартном случае.

Задание несжимаемого основания - одна из возможностей как ограничить зону деформации. При заданном несжимаемом основании будут шкалы и повернутые сечения на выходе вырисованы до глубины несжимаемого основания. Ниже заданного несжимаемого основания никакой осадки не будет.

Несжимаемое основание можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью **«Геобуфера»**.



Рамка «Несжимаемое основание»

## Грунты

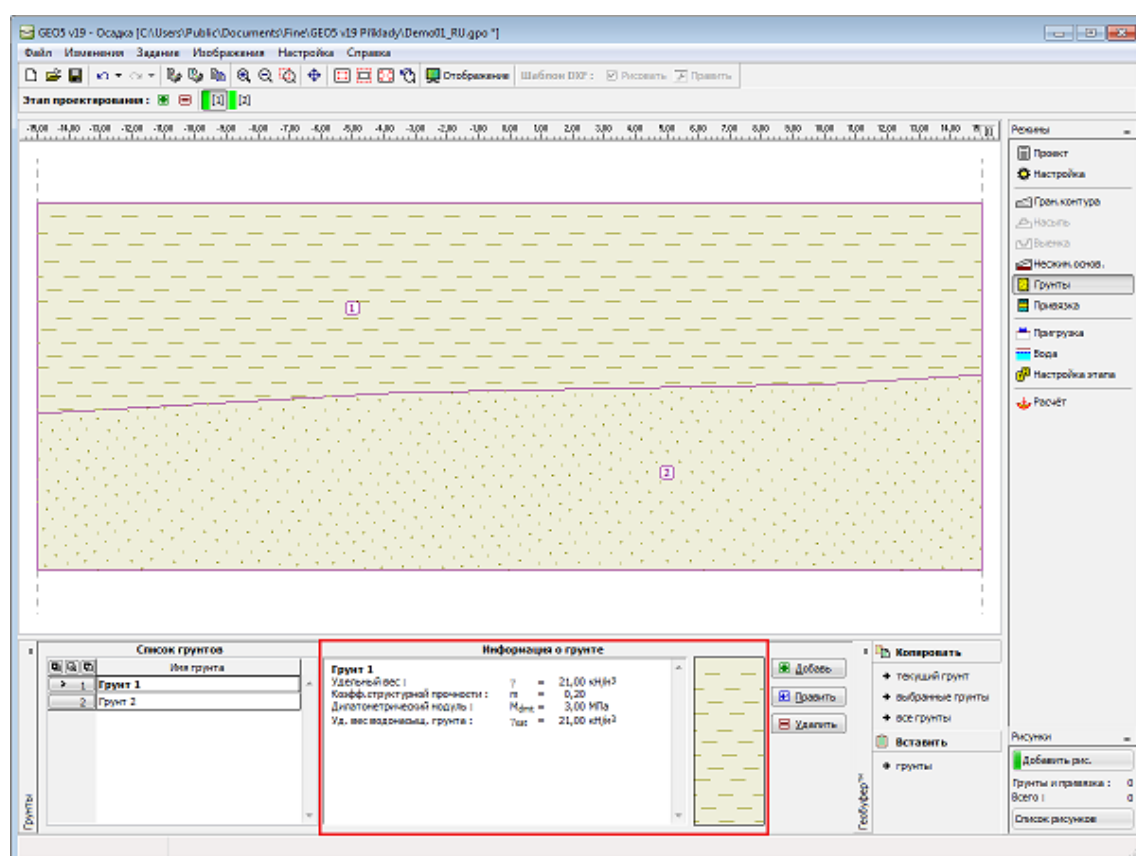
В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. Если в таблице выбрано несколько грунтов, то информация по отдельным грунтам упорядочена в последовательном порядке.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

В программе задают характеристики грунтов. Их более подробное описание дано в следующих разделах: «Подъёмная сила» и «Осадка». При расчёте консолидации задаём коэффициент фильтрации или коэффициент консолидации. Задаваемые параметры грунтов зависят от настройки и теории расчёта, которую задают в закладке «Осадка».

Данные получают в геотехнических или инженерно-геологических разведках или по лабораторным испытаниям. В случае, что таких нет, можно использовать базу данных грунтов по умолчанию, в которой приведены ориентировочные значения выбранных базовых характеристик грунтов.

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Грунты»

## Базовые данные

В этой части диалогового окна задают базовые параметры свойств грунта - **объёмную силу тяжести грунта**,



**Добавление новых грунтов**

**Идентификация**

Имя : Глина с гравием, консистенция полутвёрдая

Глина с гравием, консистенция полутвёрдая

**Базовые данные**

Удельный вес :  $\gamma =$  19,00 [кН/м³] 19,0

Просадка - одометрический модуль

коэфф. Пуассона :  $\nu =$  0,35 [-] 0,35

Тип  $E_{\text{зем.}}$  : постоянное

Расчёт осадки : задать  $E_{\text{oed}}$

Одометрический модуль :  $E_{\text{oed}} =$  24,00 [МПа] 16 - 32

**Противодавление**

Расчёт взвешивающего усилия : стандартный

Удельный вес водонасыщенного  $\gamma_{\text{sat}} =$  [кН/м³]

**Отображение**

Цвет

Категория узоров GEO

Узор

Суглинок с гравием

**Классификация**

Определи

Стереть

Добавить

Отмена

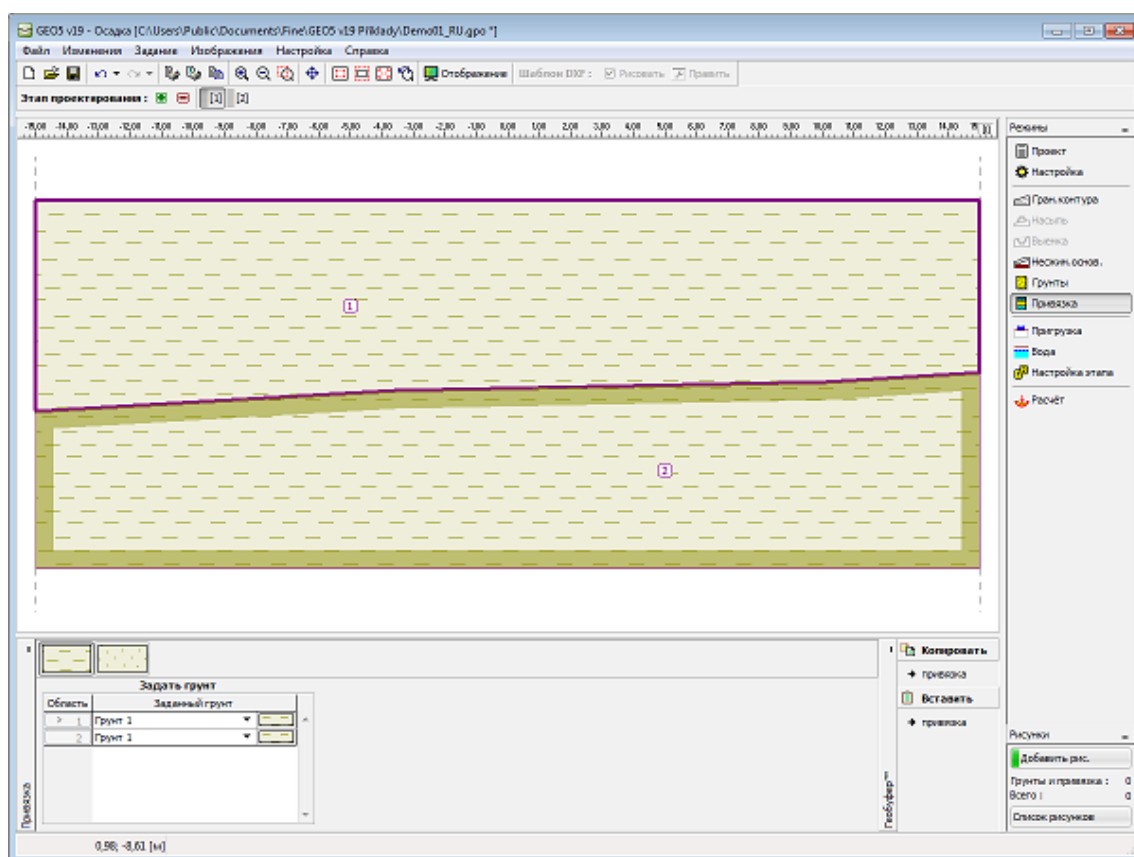
Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - «Базовые данные»

## Привязка

В рамке «Привязка» есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).

Привязку грунтов можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



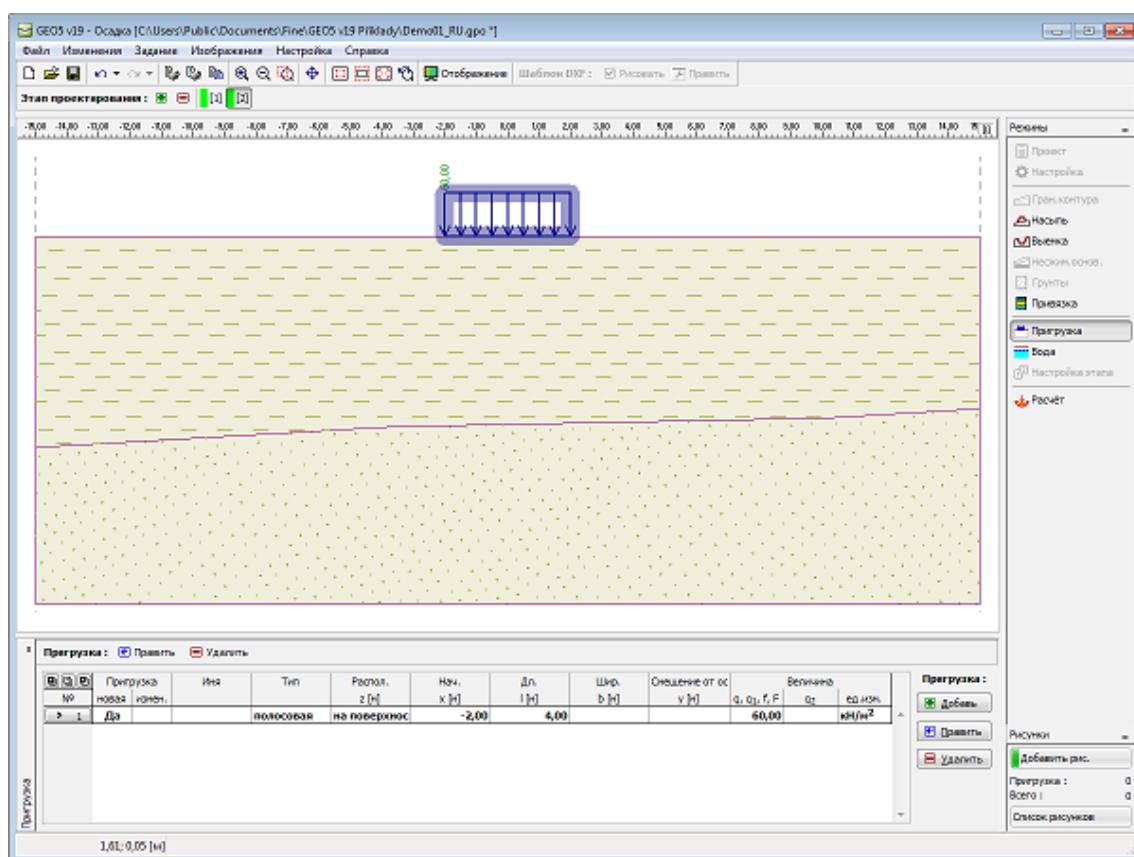
Рамка «Привязка»

## Пригрузка

В рамке «**Пригрузка**» есть таблица со списком заданных пригрузок. Добавление пригрузки выполняется в диалоговом окне «**Создать пригрузку**». Заданные пригрузки можно править также на рабочем столе с помощью **активных объектов**.

Все заданные параметры пригрузки можно изменять на том **этапе проектирования**, на котором они были заданы. На последующих этапах проектирования можно менять только величину пригрузки (выбирая «**Изменение величины**»).

**Влияние пригрузки** на изменение напряжения в массиве описано в теоретическом разделе справки.



Рамка «Пригрузка»

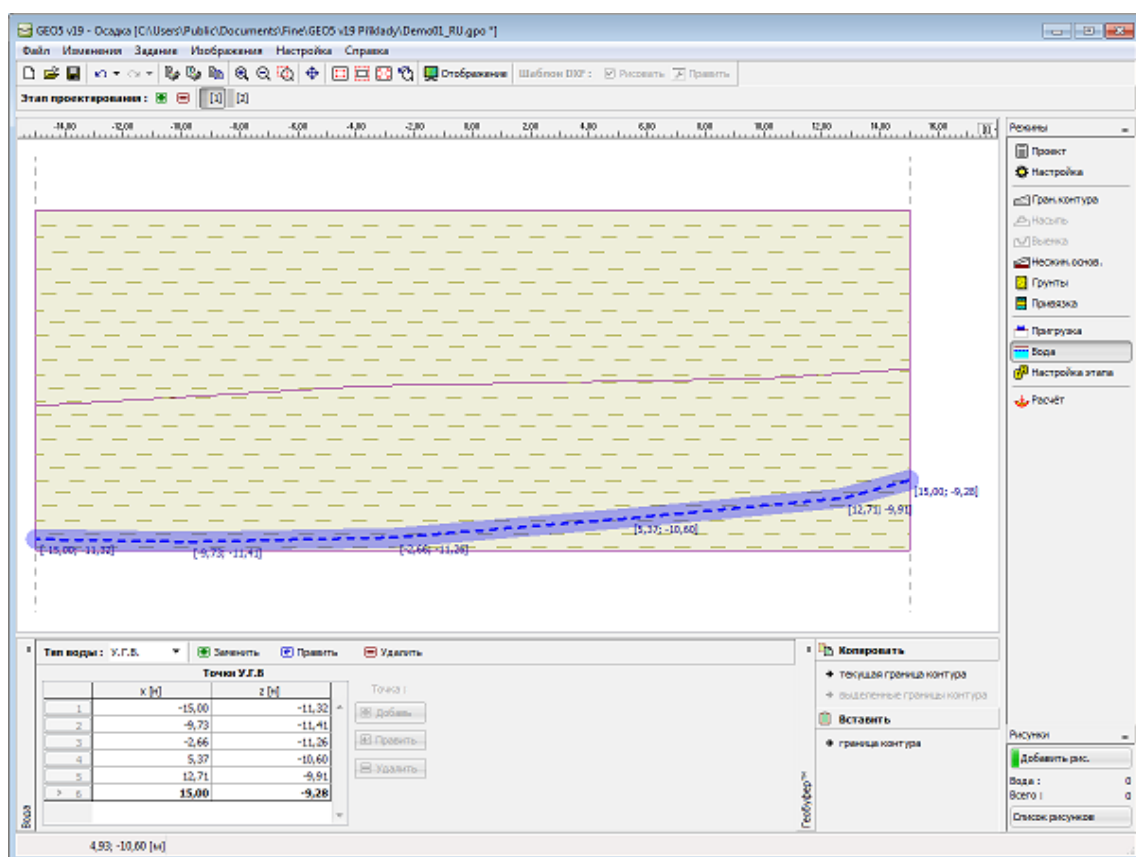
## Вода

В рамке «Вода» устанавливают тип уровня грунтовых вод.

Способ задания уровня воды или изолиний такой же как при стандартном задании границ контуров.

В случае, что данные заданные на отдельных этапах различны, программа позволяет взять данные предыдущего этапа проектирования после нажатия кнопки «Взять».

Заданные границы контура воды можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Вода»

## Настройка этапа

В **рамку «Настройка этапа»** задают настройки расчёта, действительные для текущего этапа проектирования.

В рамку можно задавать расположение расчётных зондов, а также толщину и расположение слоёв, в которых рассчитывают значения напряжений.

Программа рассчитывает **напряжение по отдельным зондам**. Территорию разбивают на двадцать зондов с постоянным расстоянием между ними. Остальные зонды генерируются автоматически в точках территории, насыпи, У.Г.В., границы слоёв грунтов и в конечных точках пригрузки. Расчётные зонды можно вырисовать в рамке «Расчёт».

Отдельные зонды **распределены по слоям** в соответствии с заданными значениями. Первый слой всегда находится на поверхности исходной территории. Далее **вставляются все точки** границы контура территории, У.Г.В. и несжимаемого основания. Толщина слоёв по умолчанию гарантирует разумную **скорость и точность расчёта**. Сгущение слоёв больше при поверхности территории где происходит самое большое изменение напряжения, а дальше в глубину толщины слоёв увеличиваются.

Слои задают до глубины 250 м, но в реальных расчётах глубину зоны деформации ограничивают или **заданием несжимаемого основания**, или **ограничением величины изменения напряжения** или **структурной прочности** (в зависимости от установки в закладке «Осадка»).

О количестве и расположении зондов может решать пользователь, задав при выборе «**пользовательское**». В этом случае можно выбирать расположение зондов, а также

толщ и расположение прослоек. Создание зондов происходит по заданию - дальше программа автоматически добавляет значимые точки. При **выборе способа расположения** точно зонды вкладывают во все точки территории, границ контура грунтов, насыпи, границ контура насыпи, У.Г.В. и во все конечные точки пригрузки. При выборе **способа расположения минимальный** зонды вкладывают в точки границ слоёв грунтов и границ слоёв насыпи.

При стандартных расчётах **рекомендуем оставить** стандартную настройку расчёта.

**Расположение и сгущение зондов:** пользоват.

**Горизонтальное расположение**

Способ расположения: точно

Добавление зондов: числом отрезков

Кол-во отрезков: 20

**Вертикальное сгущение**

	От глубины [м]	Сгущение [м]
1	0,00	0,10
2	2,00	0,30
3	5,00	0,50
4	10,00	2,00
5	30,00	10,00

Добавить, Править, Удалить

Рамка «Настройка этапа»

## Расчёт

В **рамке «Расчёт»** отображены результаты расчёта.

В программе моделирование конструкции происходит всегда поэтапно, с помощью **этапов проектирования**. **Первый этап** представляет **исходное состояние**, следовательно осадка будет всегда нулевая. Только на **последующих этапах** вводят новую пригрузку, т.е. грунтовую насыпь и рассчитывают **осадку околосвайного грунта**. Информация о ходе расчёта, максимальной осадке, глубине зоны деформации отображена в окне в нижней части рамки.

При расчёте **консолидации** (выбирают в рамке «Настройка») в эту часть рамки задают **параметры консолидации**.

**Расчёт осадки выполнен по теории расчёта**, заданной в закладке «Осадка». **Глубина зоны деформации** определена или заданным **несжимаемым основанием**, **ограничением величины изменения напряжения**, или же по **теории структурной прочности**.

Главным средством вывода информации однако является отображение результатов на рабочем столе. Для управления отображением назначена **горизонтальная панель** в верхней части рабочего стола и рамка «Настройка рисования : Расчёт».

**В рамке «Настройка рисования : Расчёт» можно задавать:**

- **параметры рисования:** параметры вырисовки мульды оседания, зоны деформации, настройку и вырисовку повернутых сечений, параметры рисования изоповерхностей и изолиний и др.
- **выбор и сохранение видов**

**На панели находятся следующие элементы управления:**

- **выбор рисуемых значений** - можно вырисовывать **суммарные** значения или их изменение **против предыдущего этапа** или **против предыдущих этапов**. Такая настройка допускается там, где она целесообразна. Следовательно, можно вырисовывать

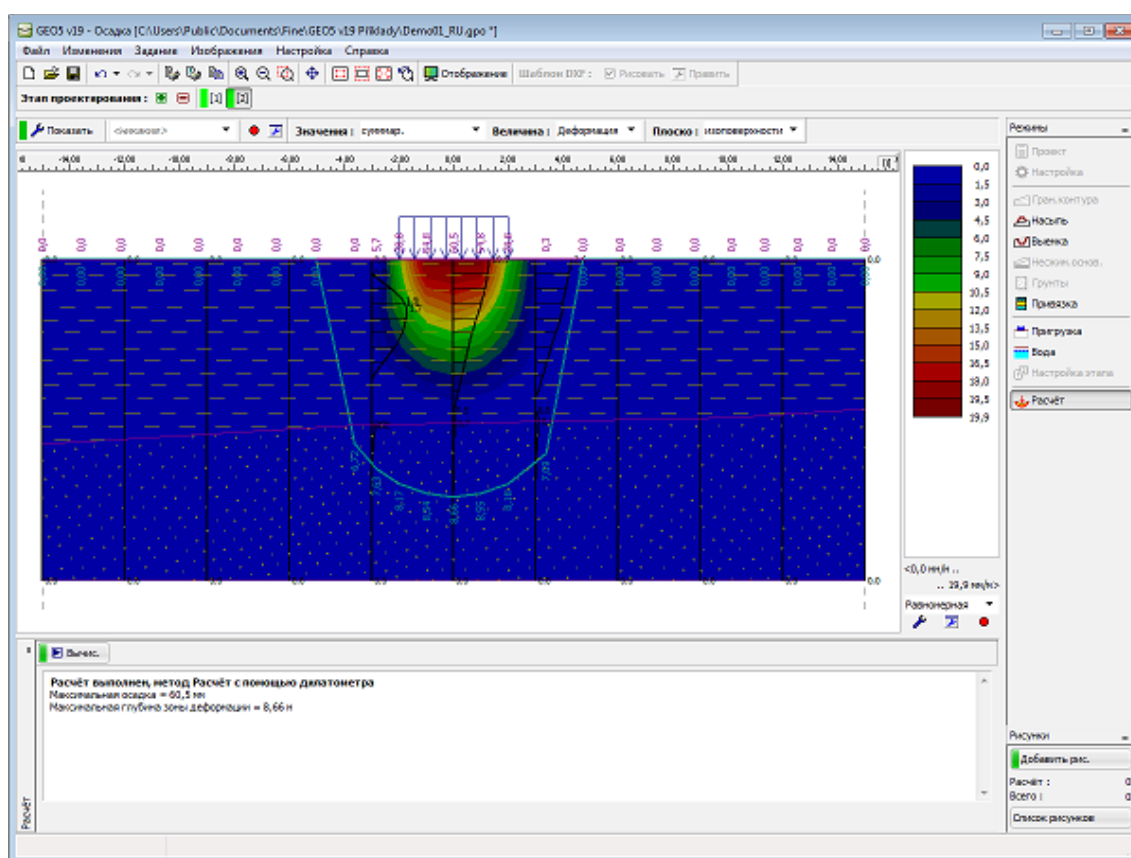
изменение напряжения, осадку или деформацию против предыдущих этапов - однако глубина зоны деформации будет всегда вырисована в её текущем виде. .

#### - выбор величины

- SigmaZ,tot - общее вертикальное полное напряжение [ $\kappa\Pi a, ksf$ ]
- SigmaZ,eff - общее вертикальное эффективное напряжение [ $\kappa\Pi a, ksf$ ]
- Поровое напряжение - напряжение от воды [ $\kappa\Pi a, ksf$ ]
- Осадка - осадка точки [мм, feet]
- Деформация - относительное сжатие слоя [-]\*1000

#### - выбор стиля рисования (не рисовать, изоповерхностей, изолиний)

В правой части рабочего стола вырисована **цветовая шкала**, под которой находятся кнопки **настройки цветовой шкалы**.



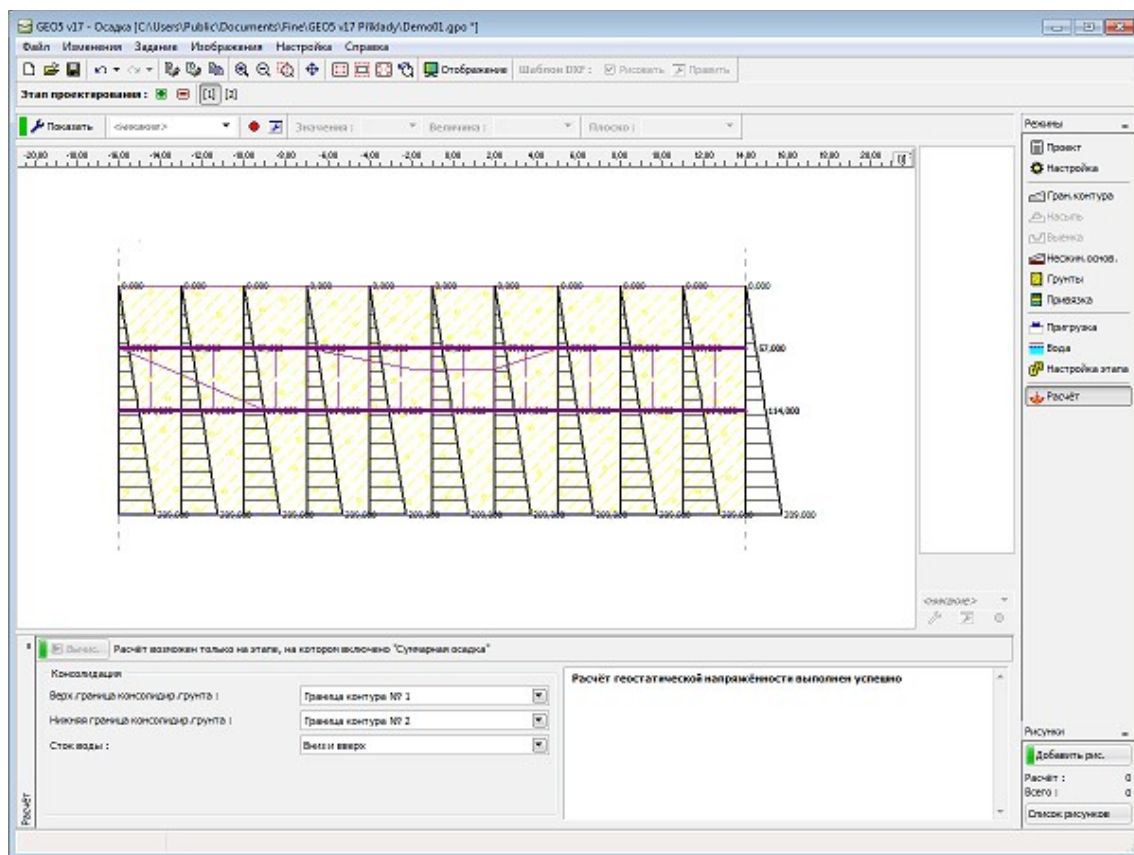
Рамка «Расчёт»

## Параметры консолидации

При расчёте **консолидации** (настройка в рамке «**Настройка**») параметры консолидации задаются в нижнее окно рамки «**Расчёт**».

Первый этап расчёта показывает лишь геостатическое напряжённое состояние на начальной стадии проектирования. Задаётся верхняя и нижняя граница консолидирующегося грунта и направление фильтрации воды из этого слоя (вверх, вниз, в обоих направлениях).

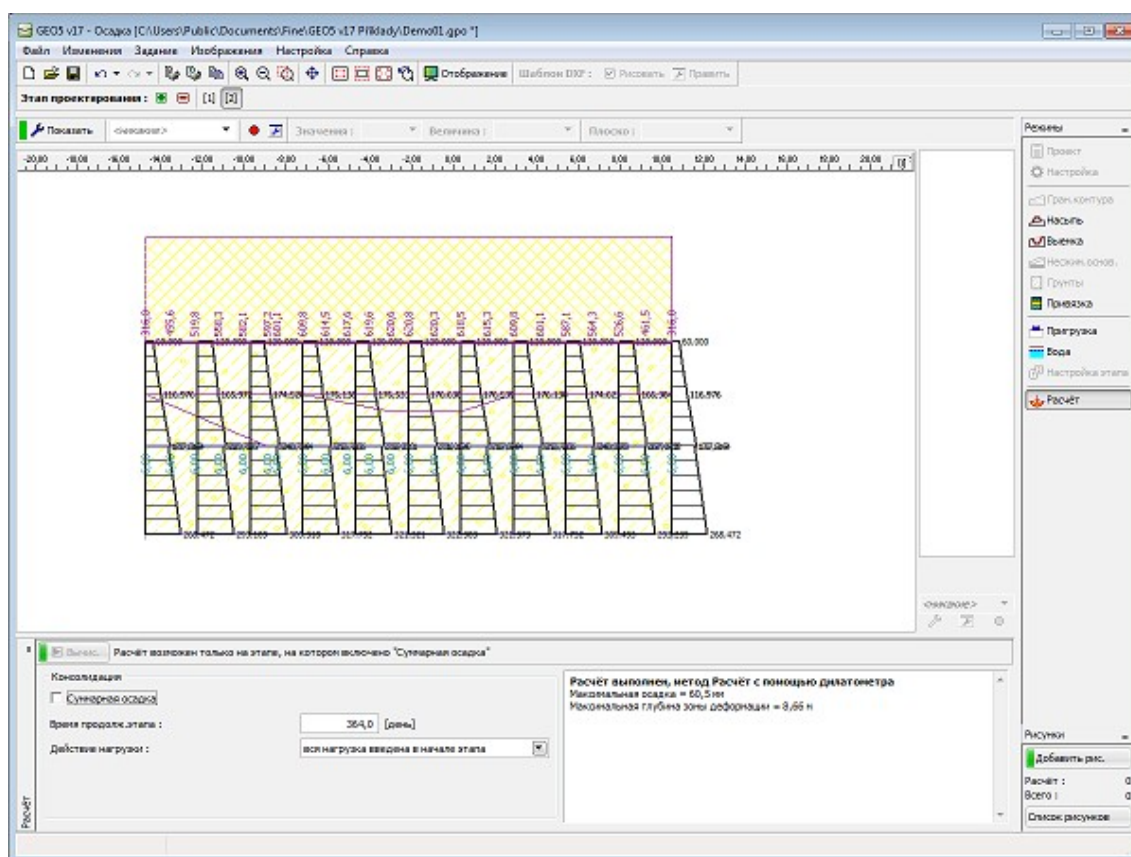
Программа позволяет вырисовку кривой осадки во времени (граф в правой части рабочего стола) по соответствующей **теории осадки**. На вертикальной оси отображена **степень консолидации  $U$  [%]**, на горизонтальной оси продолжительность осадки  $t$  [сутки].



Рамка «Расчёт» - консолидация (1-ый этап)

На следующих этапах расчёта задают **продолжительность этапа** и действие нагрузки. Нагрузку можно задавать сразу полную в начале этапа или её линейное возрастание в течение всего этапа. Расчёт можно выполнять только на том этапе, на котором включена «**Суммарная осадка**» (можно зачеркнуть на любом этапе кроме первого).





Рамка «Расчёт» - консолидация (остальные этапы)

Пример: какова станет осадка от пригрузки спустя 5 дней, 1 месяц, 1 год, 5 лет? Задание на отдельных этапах будет иметь следующий вид:

1. этап                    Только геостатическое напряжение
2. этап                    Пригрузка, продолжительность: 5 дней
3. этап                    Без изменений, продолжительность: 25 дней
4. этап                    Без изменений, продолжительность: 335 дней
5. этап                    Без изменений, продолжительность: 1460 дней
6. этап                    Зачеркнуть выбор «Суммарная осадка» и запустить расчёт

## Программа Выработка

Программа предназначена для расчёта формы мульды оседания над горными выработками и анализ повреждений зданий при проходке тоннелей.

**Справка для программы «Выработка» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:

Проект      Настройка      Здания      Профиль      Грунты      Привязка      Геометрия

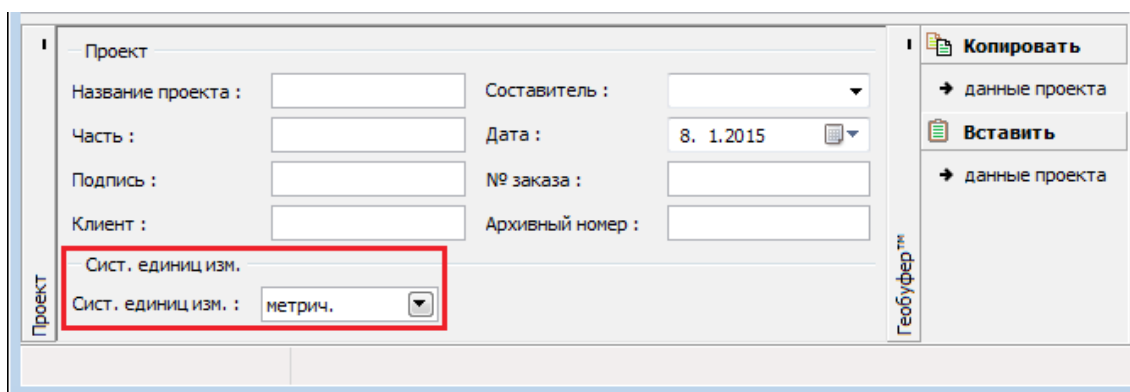
Замеры      Настройка      Расчёт      Дефекты  
этапа

- Стандарты и методы расчёта
- Теория расчётов в программе «**Выработка**»:
  - Напряжение в массиве грунта
  - Анализы в программе «Выработка»
- Справка относительно результатов на выходе
- Информация общего характера о работе в пользовательской среде программ GEO5
- Общие операции для всех программ

## Проект

В рамку «**Проект**» задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой текстовой и графической информации.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (метрическую / дюймовую). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью «Геобуфера».

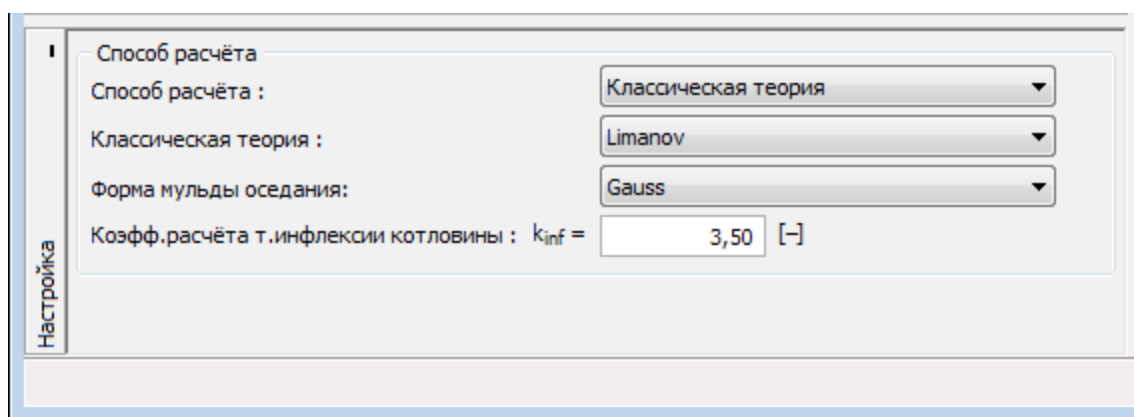


Рамка «Проект»

## Настройка

В рамку «**Настройка**» задают стандарты или методы с помощью которых будет расчёт выполнен.

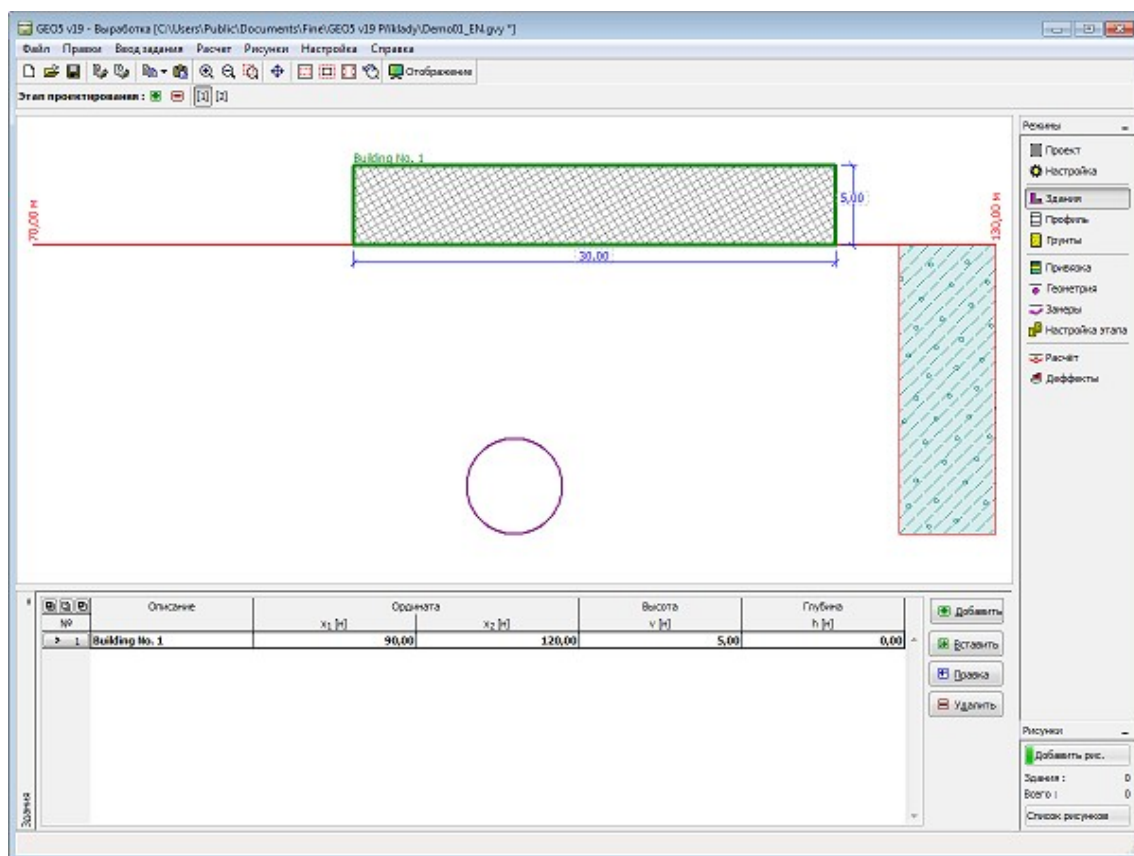
В рамке выбирают метод расчёта мульды оседания (Потеря объёма, Классические теории) и форму мульды оседания (Гаусс, Авершин). Далее, задают коэффициент расчёта точки инфлексии котловины (только для классической теории), который влияет на форму мульды оседания.



Рамка «Настройка»

## Здания

В рамке «Здания» задают объекты над выработкой. Задавать можно любое количество объектов на поверхности рельефа или под поверхностью.



Рамка «Здания»

## Профиль

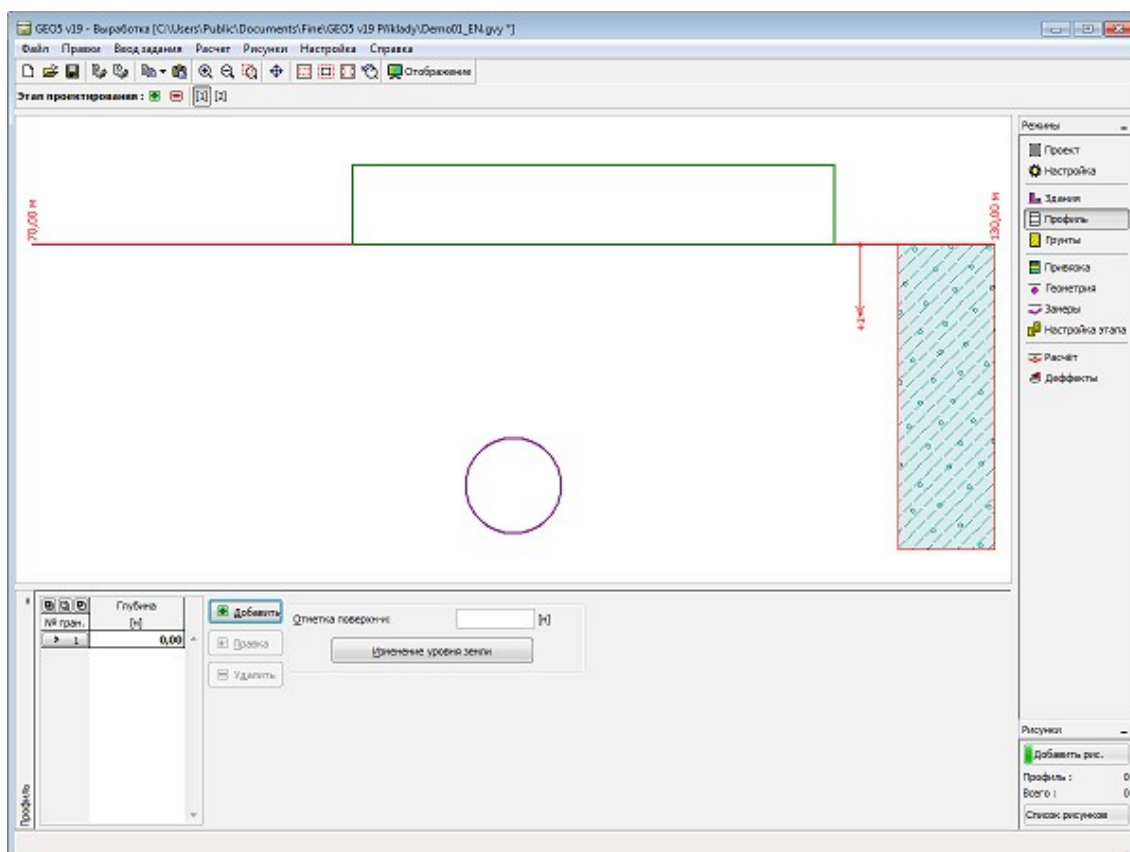
В рамке «Профиль» есть таблица со списком заданных границ контуров. Задав границы контуров, на рабочем столе можно редактировать толщины отдельных слоёв при помощи

активных отметок (размерных чисел).

**Добавление** границы выполняется в **диалоговом окне «Создать границу контура»**.  
Задают координату  $z$  от верхней точки конструкции (см. ось  $z$ ).

Программа позволяет увеличить или уменьшить высоту верхней точки конструкции в диалоговом окне **«Изменение уровня земли»** и, таким образом передвинуть все границы при сохранении толщин отдельных слоёв. Эта функция особенно важна при заимствовании грунтового профиля из программы **«Рельеф»**.

Задавать данные в рамку можно только при условии, что в режиме **«Настройка»** была выбрана **классическая теория расчёта**. В противном случае доступ в рамку закрыт.



Рамка «Профиль»

## Грунты

В **рамке «Грунты»** есть **таблица** со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. Если в таблице выбрано несколько грунтов, то информация по отдельным грунтам упорядочена в последовательном порядке.

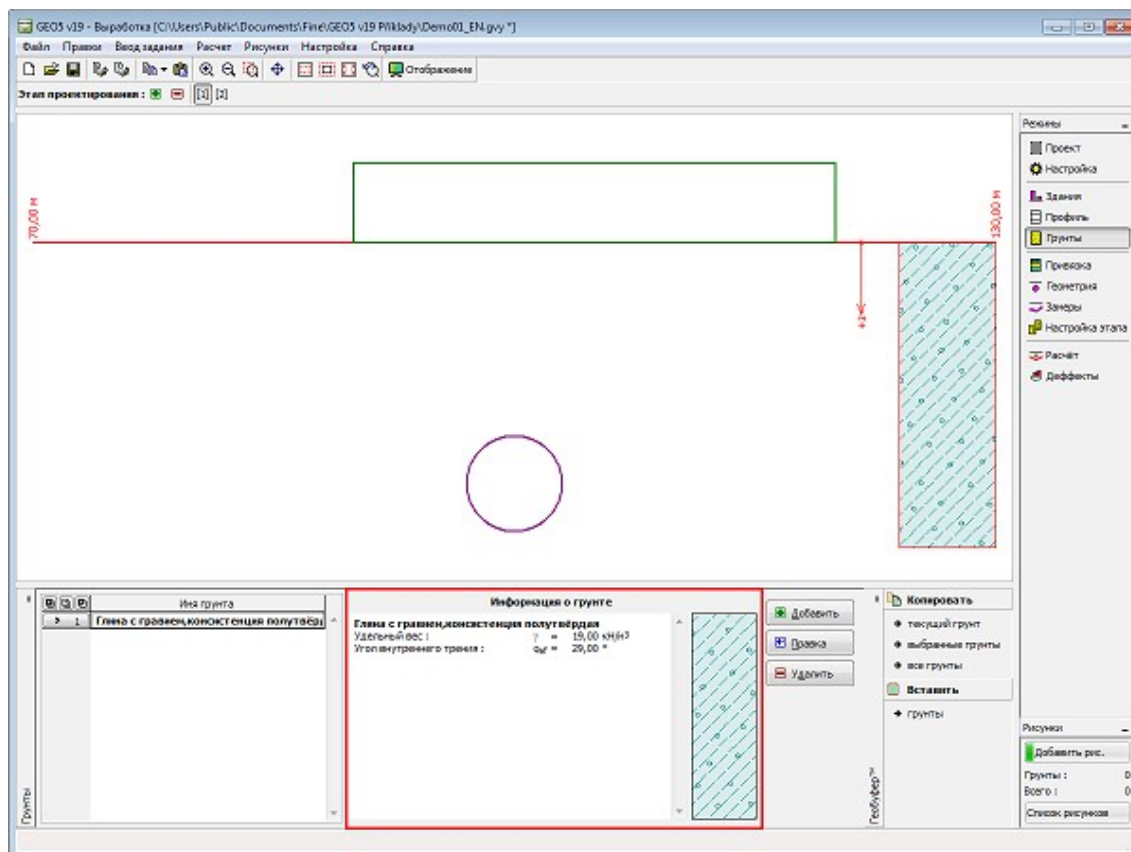
**Добавление** грунта проводится в **диалоговом окне «Добавление новых грунтов»**.

Задавать данные в рамку можно только при условии, что в режиме **«Настройка»** была выбрана **классическая теория расчёта**. В противном случае доступ в рамку закрыт.

Входные данные по грунтам получают из результатов геотехнических или инженерно-

геологических разведок или лабораторных испытаний. В случае их отсутствия можно использовать встроенную **базу данных по грунтам**, в которой приведены ориентировочные значения некоторых базовых **характеристик грунтов**. Ориентировочные значения угла внутреннего трения и сцепления для горных пород приведены в главе «**Параметры горных пород**».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «**Геобуфера**».



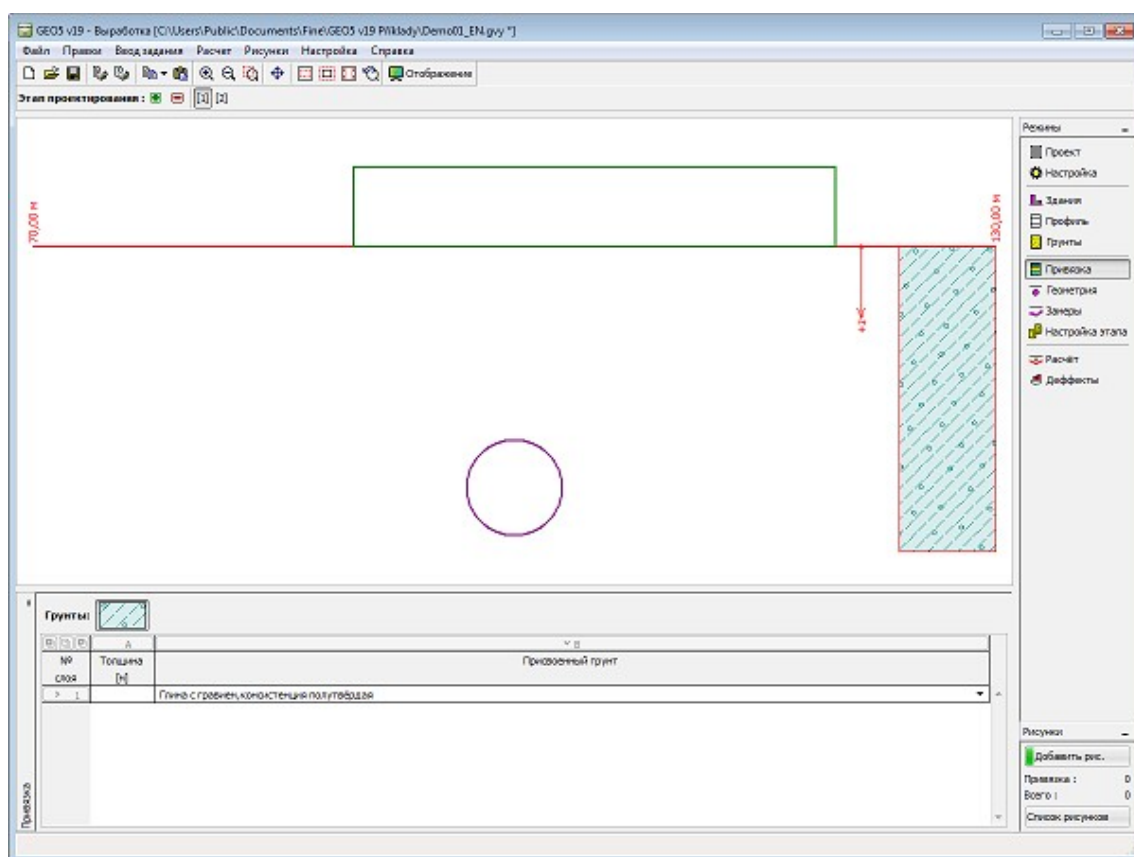
Рамка «Грунты»

## Привязка

В **рамке «Привязка»** есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).

Задавать данные в рамку можно только при условии, что в режиме «**Настройка**» была выбрана **классическая теория расчёта**. В противном случае доступ в рамку закрыт.



Рамка «Привязка»

## Геометрия

В рамке «**Геометрия**» находится таблица со списком заданных выработок. Добавление выработок выполняется в диалоговом окне «**Создать выработку**». Заданные выработки можно редактировать также на рабочем столе при помощи **активных объектов**.

Параметры выработки могут быть разными в зависимости от метода расчёта, который был задан в рамке «**Настройка**». Выработку можно определять или радиусом, или её площадью. В случае, что задаём отсек выработки с податливым сводом (новоавстрийский метод), то целесообразно задать площадь выработки и фиктивный центр выработки расположить в центр тяжести этой площади.

Другие задаваемые параметры выработки более детально пояснены в описании отдельных методов (**Потеря объёма**, **Классические теории**).

Программа позволяет производить **экспорт** геометрии выработок в формате \*.DXF.

**Создать выработку**

Геометрия

Описание :

Ордината центра выработки:  $x = 100,00$  [м]

Глубина центра выработки :  $z = 15,00$  [м]

☐ Радиус :

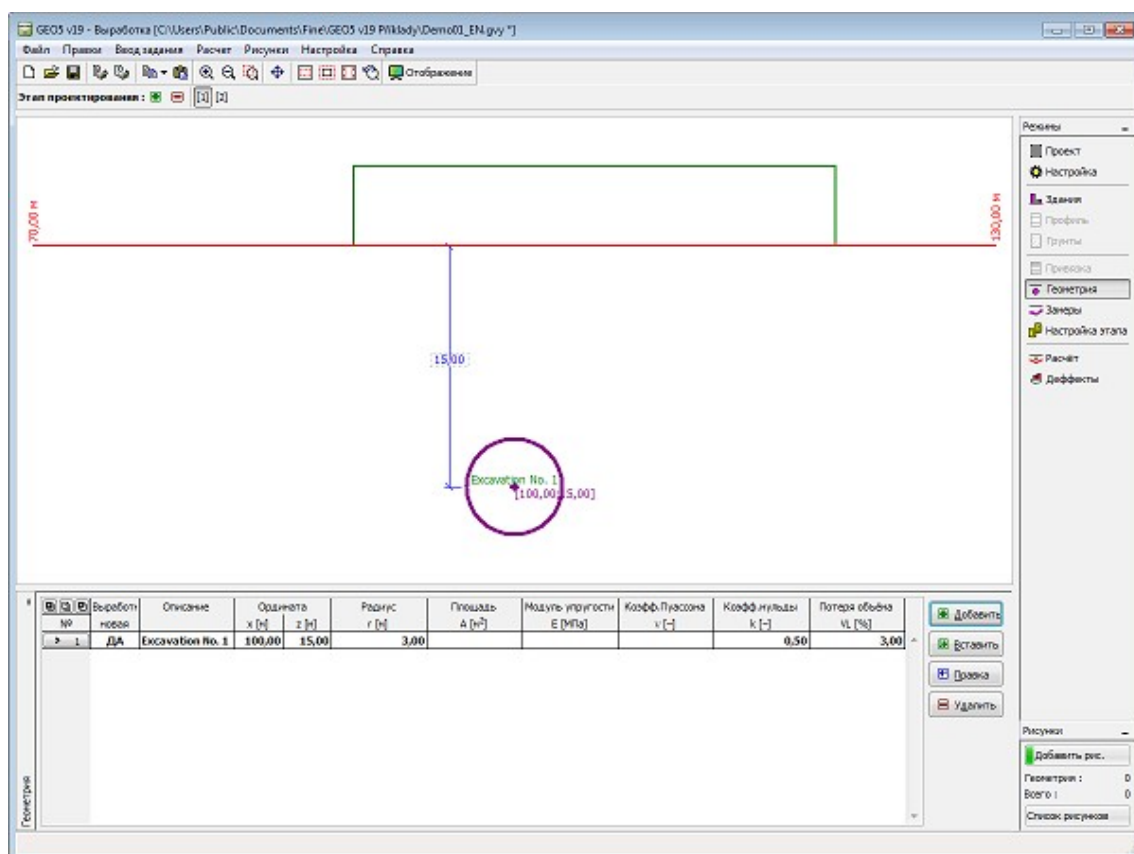
☒ Площадь :  $A = 30,00$  [м<sup>2</sup>]

Коэффициент муьды :  $k = 0,50$  [-]

Потеря объёма :  $VL = 3,00$  [%]

Подписи

Диалоговое окно «Создать выработку»



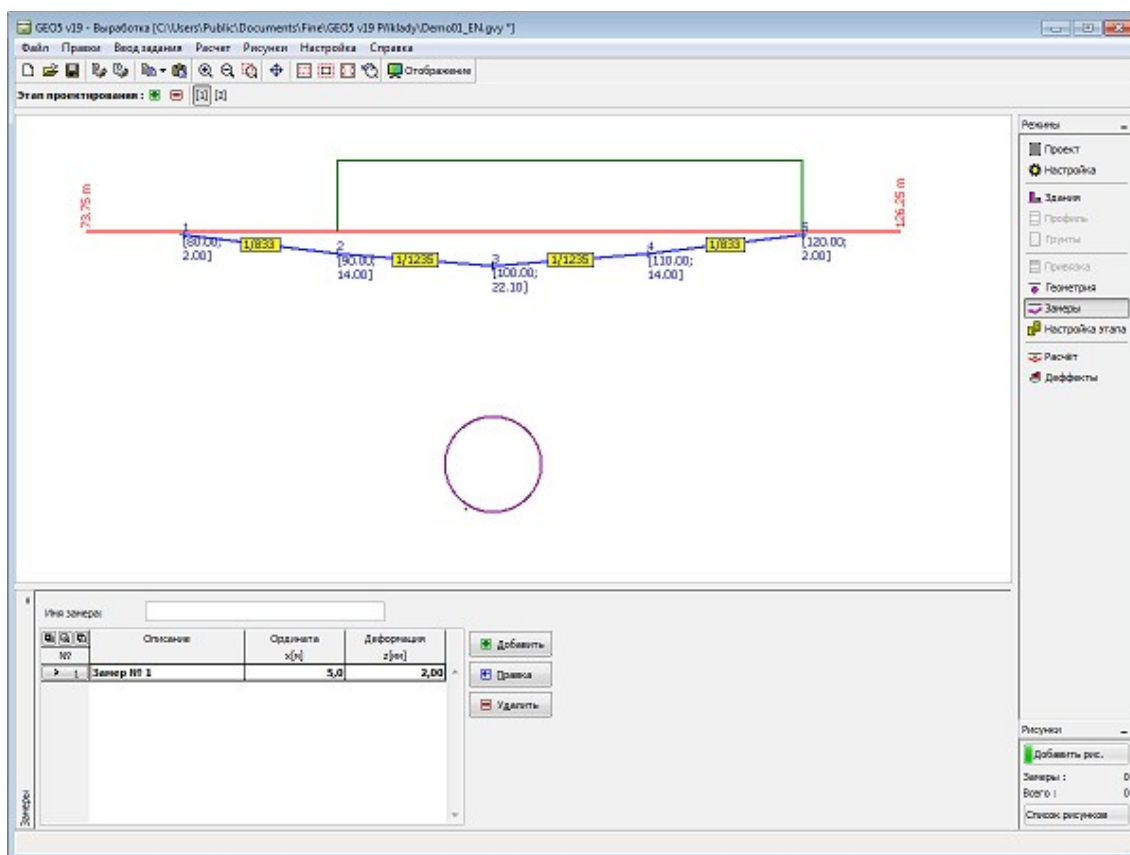
Рамка «Геометрия»



## Замеры

В **рамке «Замеры»** находится **таблица** со списком заданных замеров. **Добавление** замеров выполняется в **диалоговом окне «Создать замер»**. Заданные замеры можно редактировать также на рабочем столе с помощью **активных объектов**.

Заданные замеры **никоим образом не влияют на расчёт** – но задавать их в программу заставила практика. После проходки первой части тоннеля новоавстрийским методом, в программу целесообразно задать результаты замеров полученные во время проходки на стройплощадке и снова задать входные параметры выработки так, чтобы **расчётные и замеренные деформации соответствовали друг другу**. Практический опыт показывает, что полученные именно таким способом значения входных величин (напр. коэффициент потери объёма) остаются в силе и **на последующих этапах**.



Рамка «Замеры»

## Настройка этапа

В **рамке «Настройка этапа»** задают настройку расчётов, действующих на текущем этапе проектирования.

В рамке установлены гранич растягивающих и градиентных разрушений. Проверка повреждений зданий в рамке **«Дефекты»** отнесена к этим значениям. Программа предлагает стандартные настройки по умолчанию (стандартная настройка для **кирпичных (каменных) зданий**) и пользовательские настройки, в которые пользователь может задавать любые критерии, или регламентированные стандартами, или полученные

опытом, для любых видов зданий.

Значения границ должны быть упорядочены в нисходящем или восходящем порядке. В случае, что будем работать с меньшим числом областей, чем по умолчанию установлено в программе, можно задавать некоторые границы одинаковым значением.

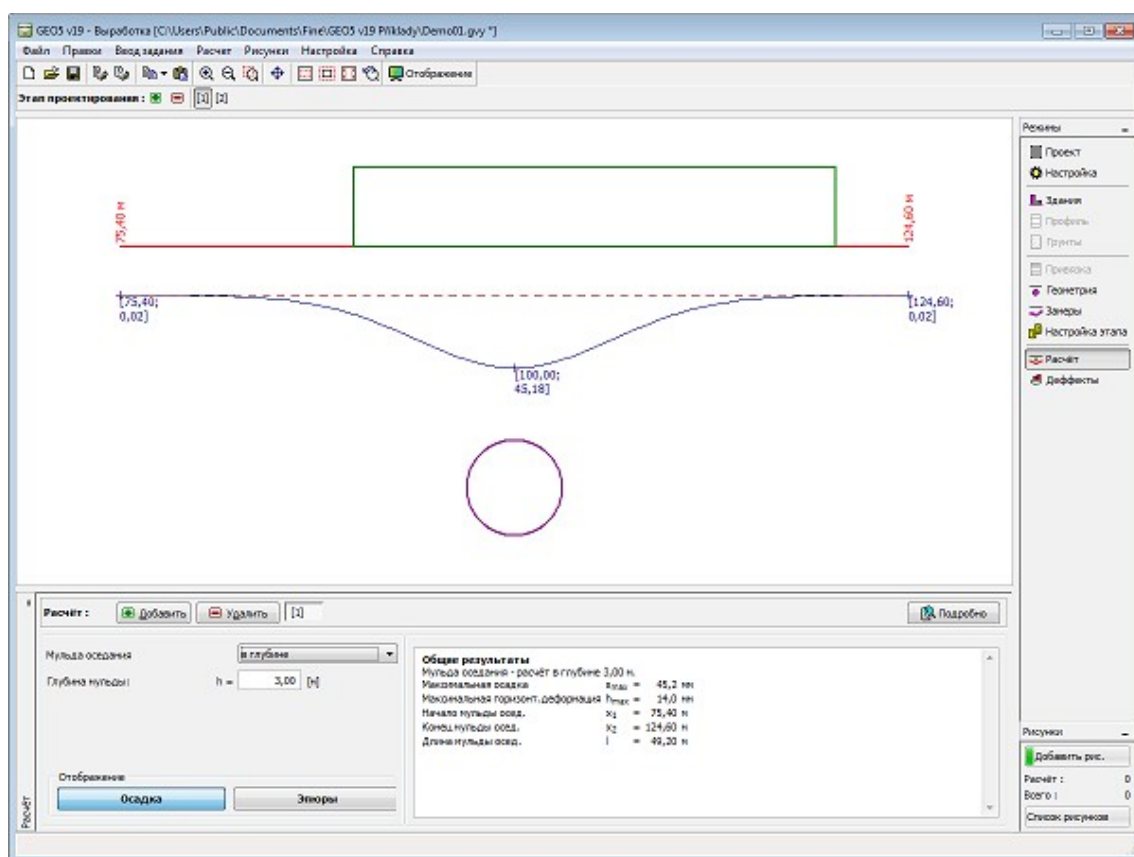
Разрушение построек : пользовательская настройка		Разрушение построек : стандарт	
Граница 1 :	1200 [-]	Граница 1 :	0,00 [‰]
Граница 2 :	800 [-]	Граница 2 :	0,50 [‰]
Граница 3 :	500 [-]	Граница 3 :	0,75 [‰]
Граница 4 :	300 [-]	Граница 4 :	1,00 [‰]
Граница 5 :	150 [-]	Граница 5 :	1,80 [‰]

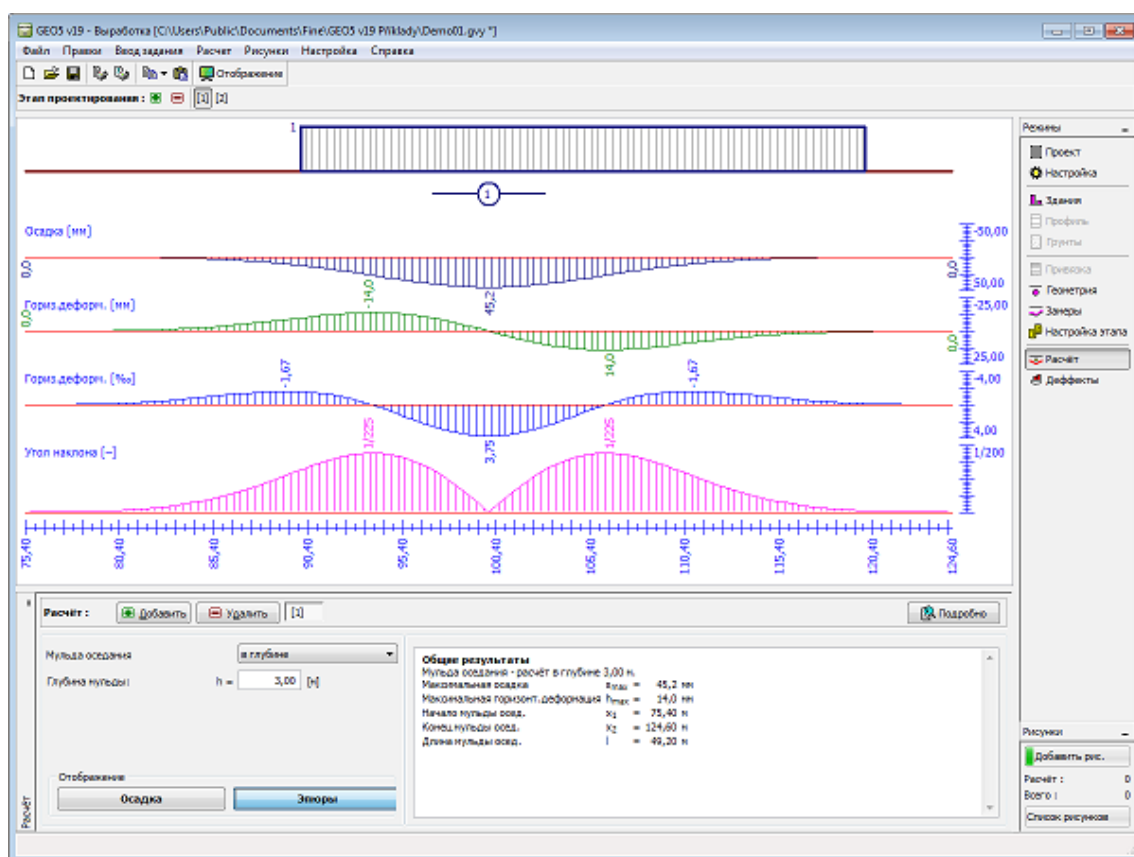
Рамка «Настройка этапа»

## Расчёт

В рамке «**Расчёт**» отображены результаты расчёта мульды оседания. Для одного задания можно выполнить больше расчётов на разной глубине под поверхностью рельефа. Полученные в расчёте значения отображаются на рабочем столе и обновляются синхронно при любых изменениях данных и настроек в рамке.

Стиль отображения рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка рисования». Для быстрого переключения стилей презентации результатов (**мульда оседания, эпюры величин**) предназначены кнопки в секции «Отображение».





Рамка «Расчёт» - «Эпюры»

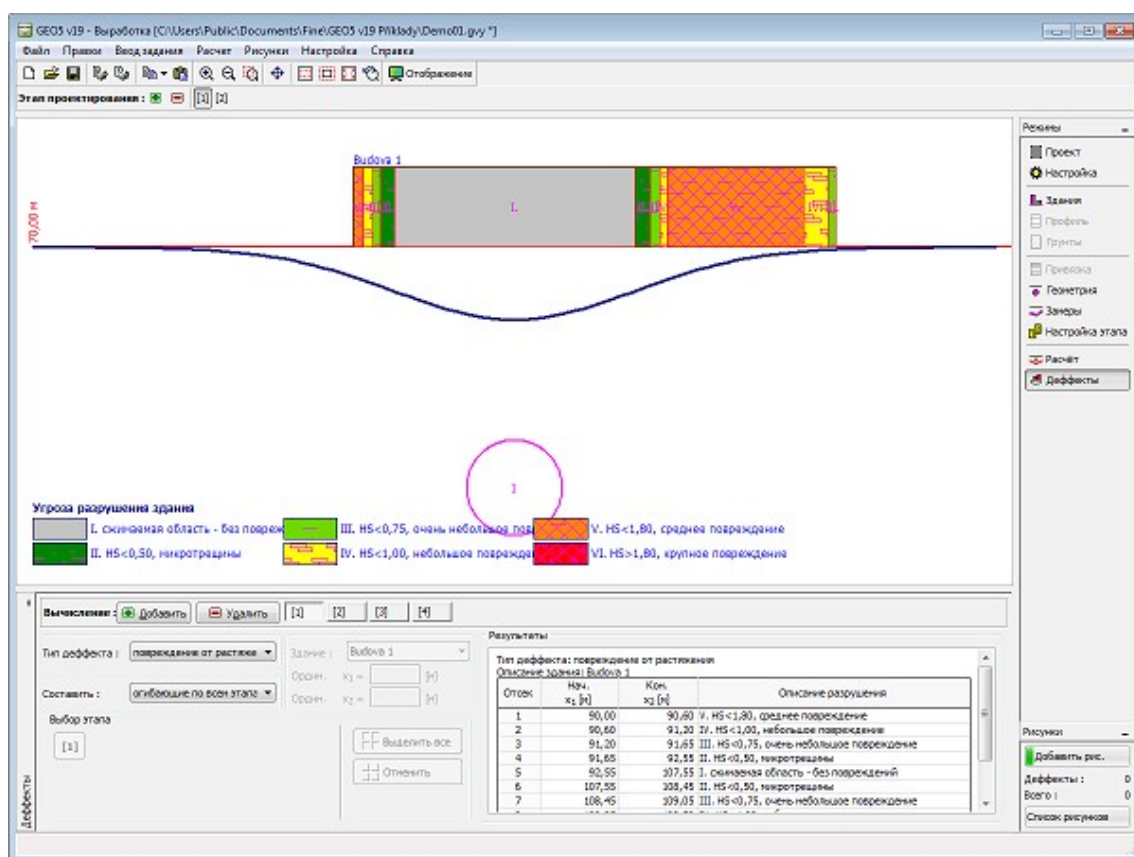
## Дефекты

В рамке «Дефекты» отображены результаты расчёта разрушения зданий. Программа предлагает четыре типа проверок:

- Проверка на повреждение от растяжения
- Проверка на повреждение от наклона
- Проверка на относительный изгиб зданий (вверх и вниз)
- Проверка заданного отрезка здания

Программа позволяет выполнить расчёт по текущему и всем предыдущим этапам (**огибающая по всем этапам**), или можно задавать отдельные этапы и анализировать их воздействие. Таким способом можно находить, напр., оптимальный режим проходки тоннелей новоавстрийским методом.

По одной задаче можно выполнить **несколько расчётов**. Стиль рисунка можно менять в диалоговом окне «Настройка стиля изображения».



Рама «Дефекты» – отображение повреждений от растяжения



Программа строит цифровую модель рельефа местности по заданным точкам и скважинам (зондам).

**Справка для программы «Рельеф» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в отдельные рамки:
 

Проект	Базовые данные	Грунты	Привязка	Точки	Рёбра	Вода
Скважины	Планировка рельефа	Стройплощадка	Генерирование	Точечные сооружения	Линейные сооружения	Пуск
- Стандарты и методы расчёта
- Справка относительно результатов на выходе
- Информация общего характера о работе в пользовательской среде программ GEO5

- **Общие операции** для всех программ

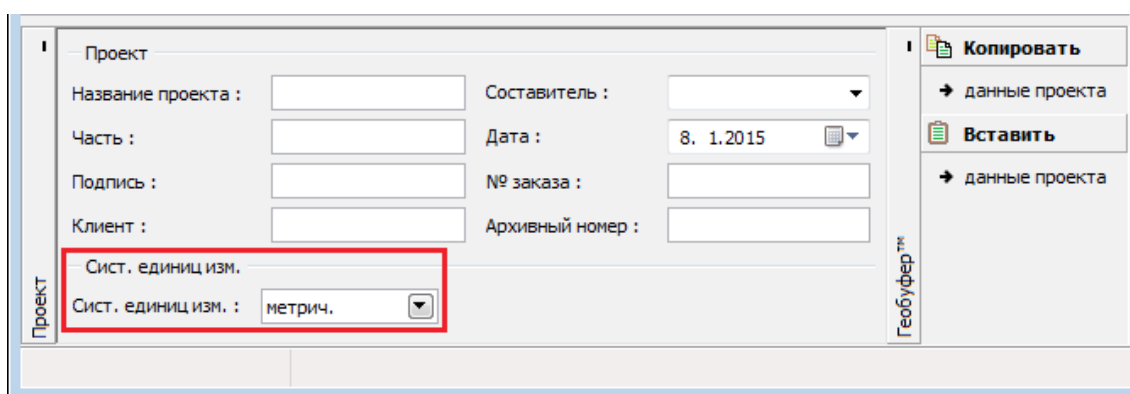
## Проект

В **рамку «Проект»** задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой **текстовой и графической информации**.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (**метрическую / дюймовую**).

Настройку в этом режиме ввода заданий можно менять только на **первом этапе проектирования задачи**.

Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью **«Геобуфера»**.



Рамка «Проект»

## Исходные данные

В **рамку «Базовые данные»** задают основные параметры задачи.

В рамке находится **таблица** со списком заданных слоёв. Слои можно добавлять, вставлять или удалять с помощью кнопок на правой стороне таблицы. Запрещено удалять первый слой или вкладывать слой перед первым слоем.

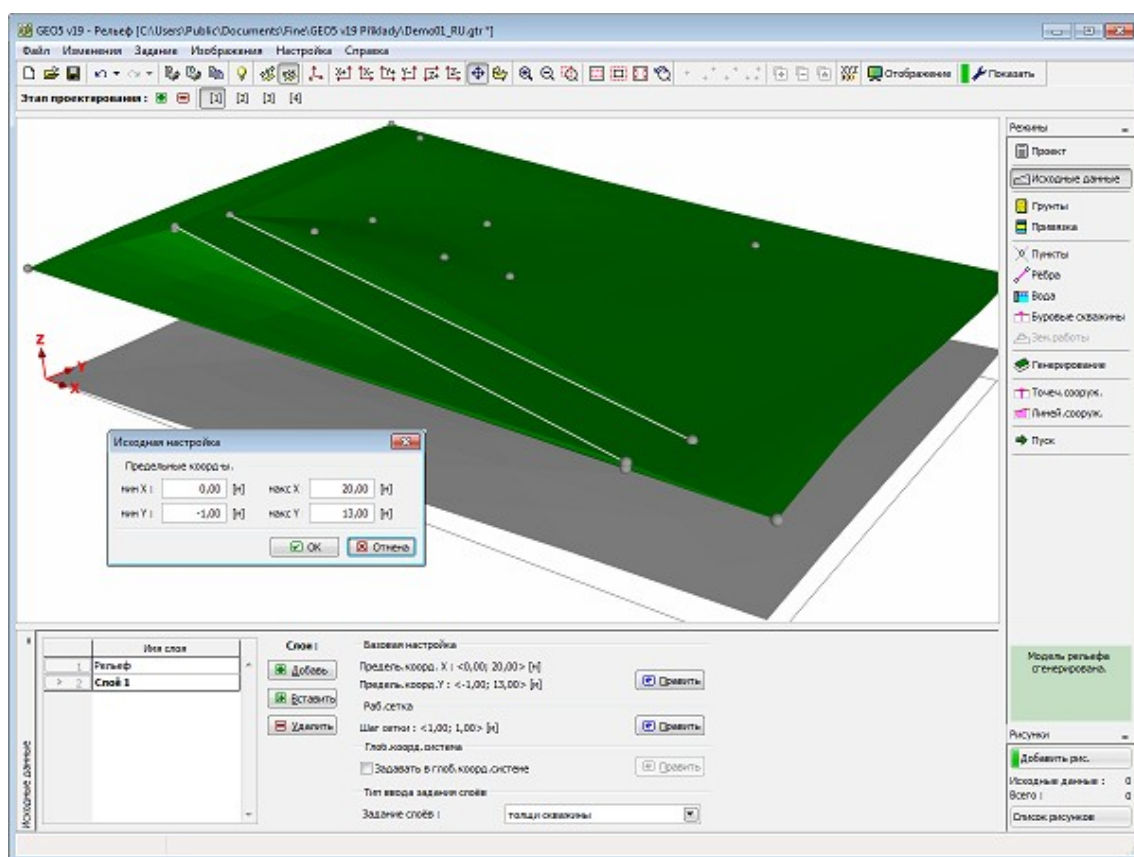
Зачёркнутое поле **«Задавать в глобальной системе координат»** открывает возможность задавать в **глобальной системе координат** (JTSK, Gauss-Krüeger).

В выпадающем списке **«Тип ввода задания слоёв»** можно определить способ задавания слоёв. Слои можно задавать с помощью **толщин** скважин или **точек** слоёв.

Настройку этого режима ввода данных можно менять только на **первом этапе проектирования**.

Изображение рисунка на рабочем столе можно в любом режиме ввода данных редактировать с помощью настройки в диалоговом окне **«Настройка рисования»** и с помощью кнопок на панели инструментов **«Управление рисунком»**.





Рамка «Исходные данные»

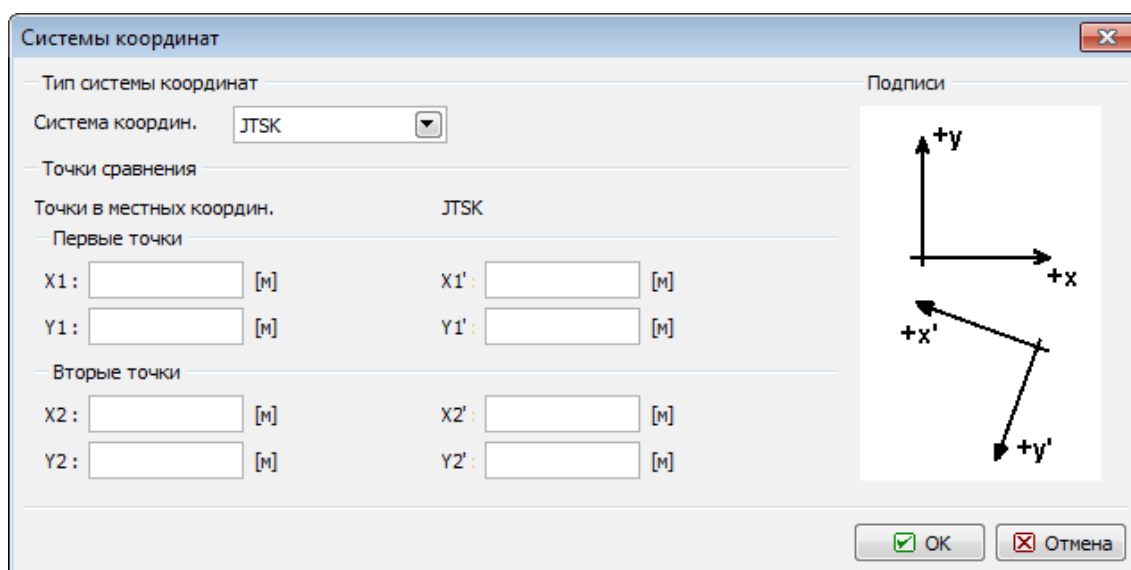
## Глобальная система координат

В диалоговое окно «**Системы координат**», задаём тип глобальной системы координат.

Преимуществом является возможность задавать координаты точек и скважин в местной и глобальной системе координат и переключаться между системами.

Ориентация глобальной системы координат относительно местной задаётся с помощью пары точек, одна из которых находится в местной системе координат, а её отображение - в глобальной системе координат.

Направление осей координат и конвенция знаков для каждого типа глобальной системы координат показаны на схеме в подписи.



Диалоговое окно «Системы координат»

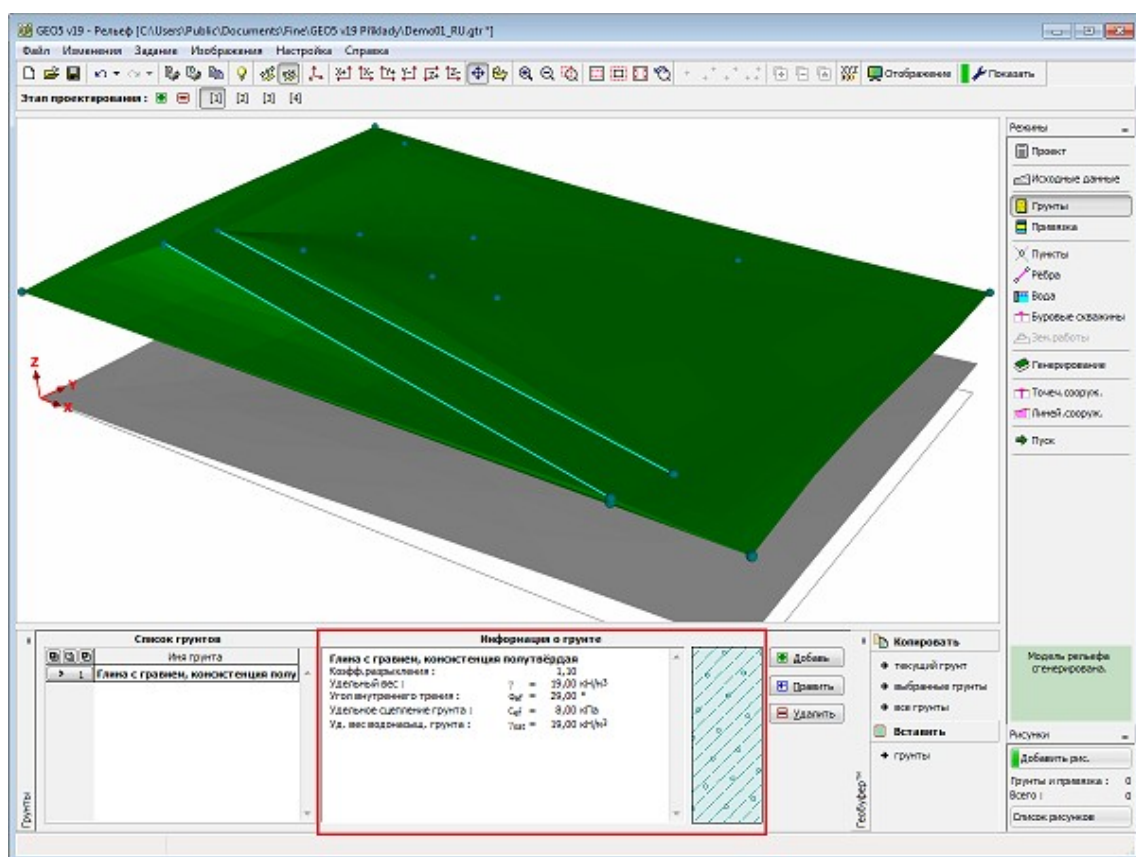
## Грунты

В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. Если в таблице выбрано несколько грунтов, то информация по отдельным грунтам упорядочена в последовательном порядке.

Добавление грунта проводится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

Для вычисления объёма выемок и насыпей программе «Рельеф» нужен только коэффициент разрыхления. Другие данные задают только на случай экспорта в другие программы GEO и они никак не влияют на расчёты в программе «Рельеф».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



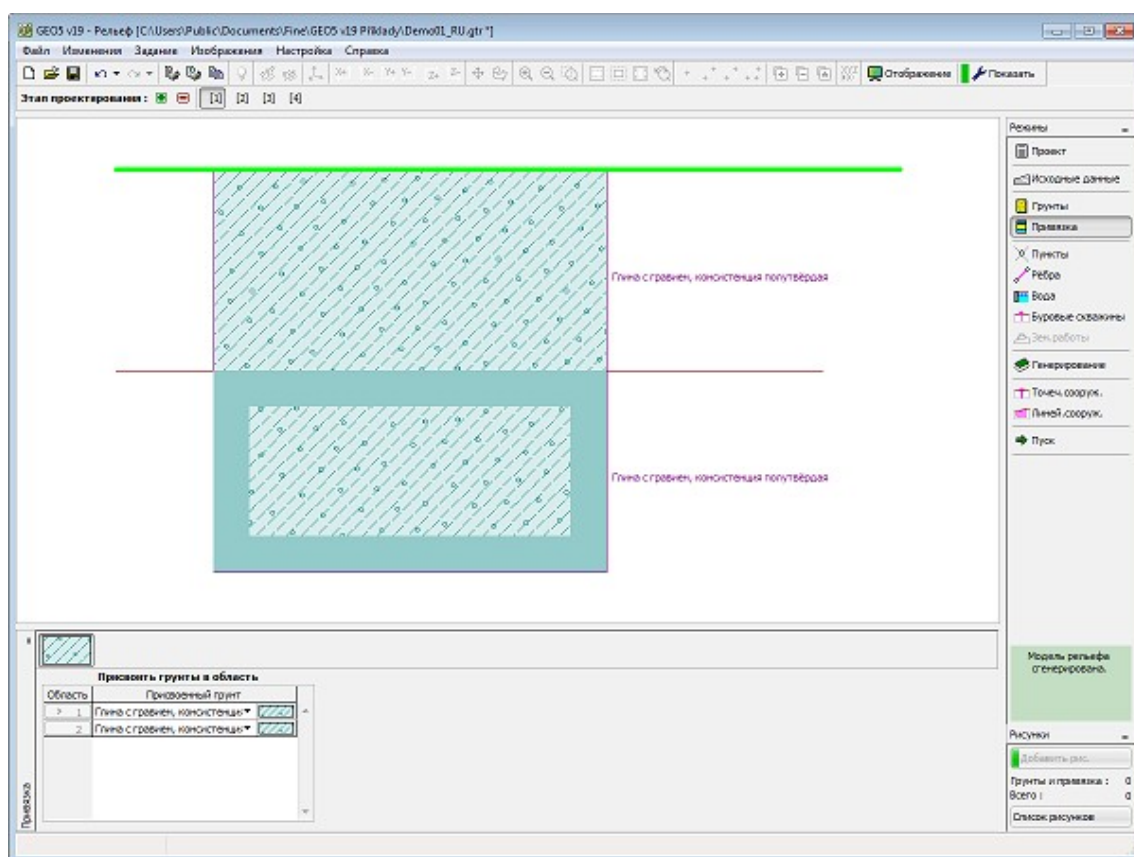
Рамка «Грунты»

## Привязка

В рамке «Привязка» есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).

На последующих этапах проектирования будет автоматически добавляться новый слой, к которому автоматически будет привязан грунт у поверхности рельефа. Нередки случаи (выемки) когда этот слой остаётся без объёма, но слой должен быть задан на случай, что новый рельеф расположен выше рельефа предыдущего этапа. Невозможно заранее предвидеть будет ли на новом этапе часть рельефа выше предыдущего, поэтому привязка грунта необходима в любом случае.



Рамка «Привязка»

## Точки

В **рамке «Точки»** задают координаты точек рельефа. Значения координат точек можно задавать двумя способами:

**С помощью таблицы** : точки вводятся в **табличной** форме. Кнопкой **«Добавить»** открываем диалоговое окно **«Создать точку»**, задаём координаты и кнопкой **«Добавь»** вводим в таблицу. Таким образом можно задать любое количество точек, а затем кнопкой **«Отмена»** диалог закрыть. С помощью кнопок **«Править»** и **«Удалить»** заданные точки можно редактировать (в диалоговом окне), или удалять (в таблице выделяем точки на удаление и все вместе удаляем - перед удалением выделенные точки отображены **красным цветом** на рабочем столе). Изменение сразу вырисовывается на рабочем столе.

**С помощью мыши**: режим задаётся нажатием кнопок на горизонтальной строке. В распоряжении следующие режимы:

- Добавить**
  - Точку задают кликом левой кнопкой мыши (меняется маска мыши-см.рисунок) на рабочий стол - программа откроет диалоговое окно **«Создать точку»**, в котором можно отредактировать координаты, задать высоту (отметку) точки Z - кнопка **«ОК»** подтверждает задание и добавляет точку в таблицу. Если точку нельзя задать (напр., дублирование координат) появляется диалоговое окно с предупреждением.
  - Для ввода можно использовать функцию **сетки**.
- Править**
  - Кликом левой кнопкой мыши на точку (см. **активные объекты**) открывается **диалоговое окно «Правка точки»**, в котором можно редактировать координаты

(используя в диалоговом окне кнопки «**OK+↑**» и «**OK+↓**»).

- Удалить** • Кликком левой кнопкой мыши на точку появляется диалоговое окно, в котором нужно подтвердить удаление выбранной точки.
- Подобрать** • Активация режима графического выбора точек (тип выбора устанавливается на строке «**Выбор**»).

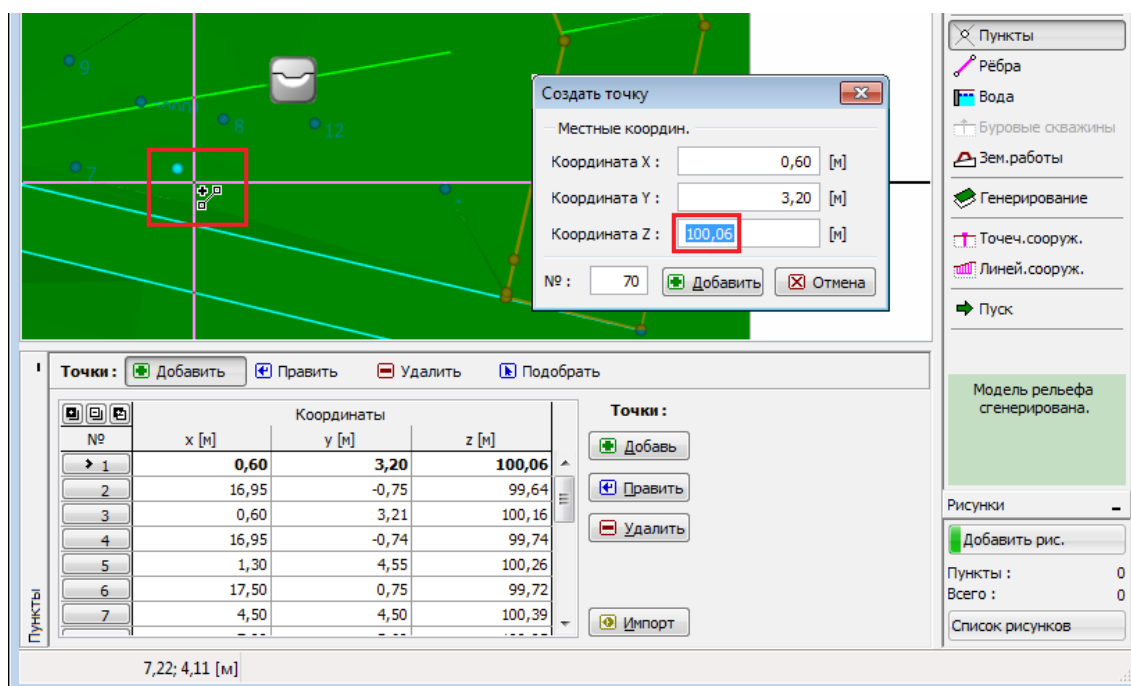
Задаваемые точки можно **импортировать** из файлов в форматах **TXT**, **Atlas DMT**, **DXF**, **LandXML**.

Программа позволяет импортировать точки и рёбра в решаемую задачу (напр., на следующих этапах проектирования) с помощью кнопки «**Импорт**».

При вводе точек программа в некоторых случаях **автоматически вычисляет** высоту точки Z. Одной координате X, Y разрешено задавать только одну точку.

В случае, что в рамке «**Базовые данные**» выбрана возможность ввода слоёв с помощью «**Точки слоёв**», панель «**Точки**» содержит выпадающий список «**Слой**». В списке выбирают слой, в который будут задавать точки.

Изображение рисунка на рабочем столе можно в любом режиме ввода данных редактировать с помощью настройки в диалоговом окне «**Настройка рисования**» и с помощью кнопок на панели инструментов «**Управление рисунком**».

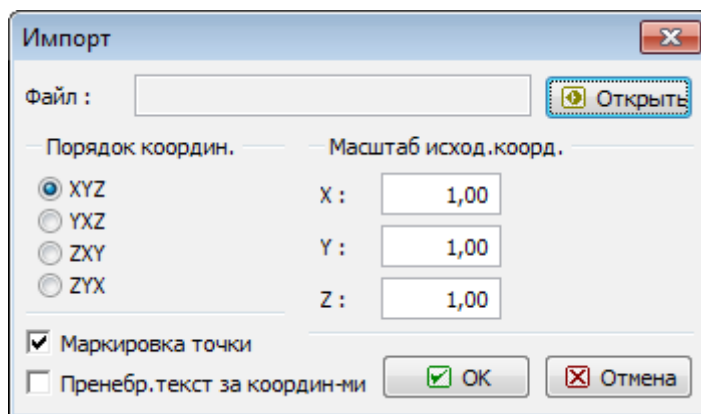


Рамка «Точки»

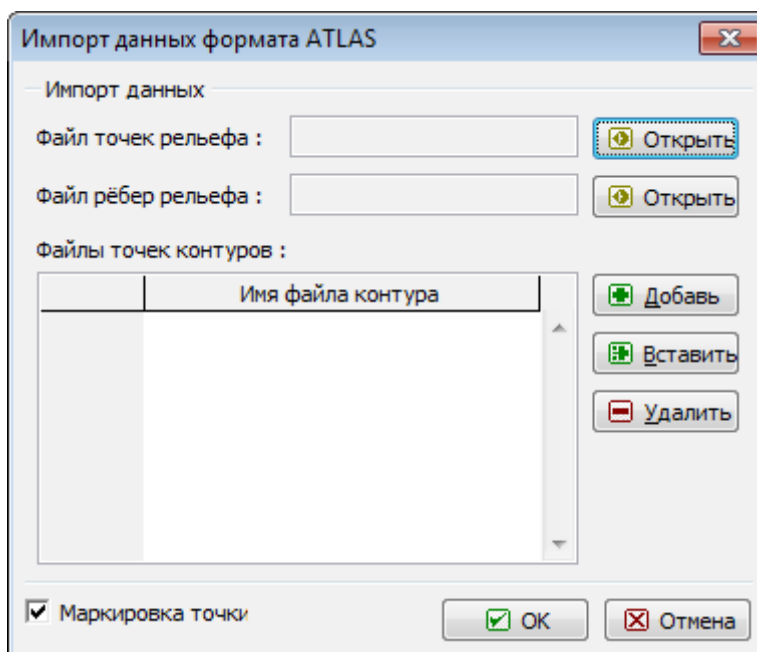
## Импорт точек

Программа позволяет импортировать данные в форматах **DXF**, **LandXML**, **Atlas DMT** и **ASCII**. При импорте **удалены все заданные данные** и заменены новыми. Размеры границ контура задачи автоматически определяются по минимальным и максимальным значениям координат x и y - после импорта поэтому целесообразно редактировать размеры границ контура задачи в рамке «**Базовые данные**».

Программа позволяет импортировать **ASCII данные из файлов**. Каждая точка записана на одной строке файла, разделителем координат - пробел. В случае, что в файле у каждой точки первым идёт название, необходимо зачеркнуть окошко «**Маркировка точек**». В диалоговое окно нужно задать порядок следования координат. Когда данные имеют обратную конвенцию знаков, то соответствующую строку можно умножить на значение -1. Импорт данных следует после нажатия кнопки «**OK**».



Диалоговое окно «Импорт» - формат «ASCII»



Диалоговое окно «Импорт» - формат «Atlas DMT»

## Автоматическое вычисление высоты (отметки)

При вводе точек, скважин и точек грунтовой воды программа в некоторых случаях автоматически дополнительно **вычисляет высоту** ( $z$  - координат) точки и толщину слоёв. Эту удобно, напр., при редактировании рельефа, или слоёв.

Возможность вычисления зависит от **состояния сгенерированного рельефа**:

- В случае, что рельеф не сгенерирован, значения не будут вычислены и поле остаётся пустым (blank).

- В случае, что рельеф сгенерирован по текущим данным (непрозрачно отображены на рабочем столе, а в режимах **Генерирование**, **Точечные сооружения**, **Линейные сооружения** и **Пуск** также в цвете), то происходит автоматическое вычисление нужных значений из модели рельефа: для точки - это значение высоты  $Z$ , для скважины тоже ещё толщина слоёв и глубина грунтовой воды - после ввода точки или скважины меняется статус генерирования и рельеф вырисовывается прозрачным (рельеф был сгенерирован для исходного задания а не для текущего).
- Если рельеф сгенерирован, но не является текущим, то по отметке  $Z$  и толщине слоёв происходит автоматическое вычисление для **последнего сгенерированного рельефа**.

**Информация о состоянии рельефа** (несгенерирован, сгенерирован, сгенерирован для исходных данных) отображается на вертикальной панели управления. В рамке «Генерирование» можно генерировать рельеф или отменить сгенерированную модель.

Создать точку

Местные координ.

Координата X : 0,60 [м]

Координата Y : 3,20 [м]

Координата Z : 100,06 [м]

№ : 70

Добавить Отмена

Диалоговое окно - добавление новой точки с вычислением координаты  $Z$

Создать скваж.

Опис.

Имя : Буровая скважина 3

Местные координ.

Координата X : 6,00 [м]

Координата Y : 6,00 [м]

Координата Z : 100,05 [м]

Слой

Толщина	Уровень над морем
[м]	
3,00	97,05

№ скваж.: 3

Схема скваж.

100,05

3,00

Добавить Отмена

Диалоговое окно - добавление новой скважины с дополнительным вычислением



*координаты Z,, thickness of GWT and layer thicknesses*

## Рёбра

В **рамке «Рёбра»** задают рёбра, соединяющие точки на местности. Рёбра можно задавать двумя способами:

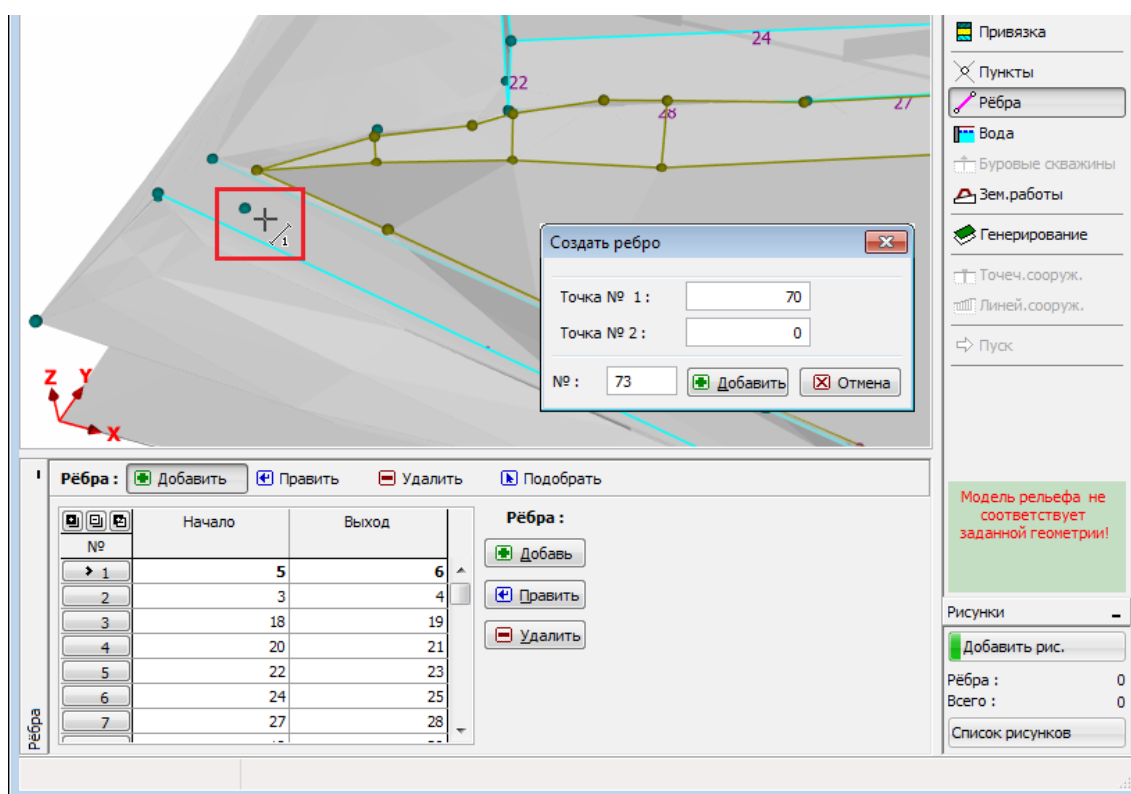
**С помощью таблицы** : Кнопка **«Добавить»** открывает диалоговое окно **«Создать ребро»**, задаём порядковые номера начальной и конечной точки, и кнопкой **«Добавить»** вводим в **таблицу**. Можно задать любое количество рёбер и после кнопкой **«Отмена»** закрыть диалог. С помощью кнопок **«Править»** и **«Удалить»** можно заданные рёбра редактировать (в диалоговом окне ) или удалять (в таблице можно обозначить несколько рёбер и удалить все вместе - выделенные рёбра перед удалением показаны на рабочем столе **красным** цветом). Изменение синхронно вырисовывается на рабочий стол.

**С помощью мыши**: задавать режим можно нажатием кнопок на горизонтальной панели. Предлагаются следующие режимы:

- |                 |  |
|-----------------|--|
| <b>Добавить</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Ребро можно задавать кликом левой кнопкой мыши на начальной и конечной точке (маска мыши меняется - см.изобр.) на рабочем столе - после клика на конечную точку программа добавляет ребро в таблицу и вырисовывает ребро на рабочий стол. В случае, что ребро запрещено задавать (дублировка, пересечение и пр.), программа в диалоговом окне выдаёт предупреждение.</li></ul> |
| <b>Править</b>  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Кликком левой кнопкой мыши на существующее ребро (см. <b>активные объекты</b>) открывается диалоговое окно <b>«Правка ребра»</b>, в котором можно отредактировать порядковые номера начальной и конечной точек ребра (в <b>диалоговом окне</b> можно использовать кнопки (<b>«ОК+↑»</b> и <b>«ОК+↓»</b>).</li></ul>  |
| <b>Удалить</b>  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Кликком левой кнопкой мыши на ребро появляется диалоговое окно, в котором нужно подтвердить удаление выделенного ребра.</li></ul>  |
| <b>Select</b>   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Активирует режим графического выбора рёбер (тип выбора устанавливают на строке <b>«Выбор»</b>).</li></ul>  |

Запрещено перекрещивание рёбер с рёбрами и с планировкой. Между 2 точками разрешено задавать только одно ребро.

Изображение рисунка на рабочем столе можно в любом режиме ввода данных редактировать с помощью настройки в диалоговом окне **«Настройка рисования»** и с помощью кнопок на панели инструментов **«Управление рисунком»**.



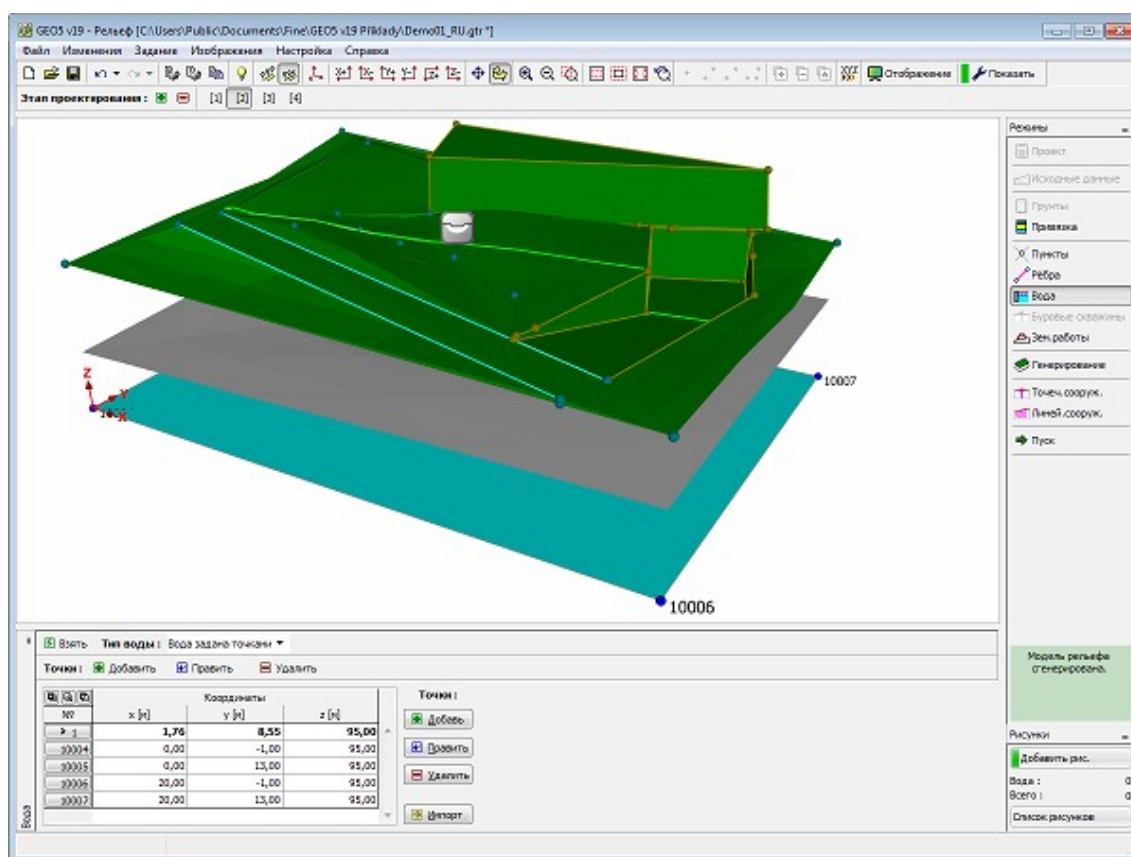
Рамка «Рёбра»

## Вода

В рамке «Вода» задают уровень грунтовой воды (У.Г.В.). Выпадающий список «Тип воды» содержит следующие пункты:

- **Воды нет** - не задаём воду.
- **Вода задана точками** - Точки У.Г.В. задают в таблице таким же образом как **точки рельефа**. Способ очень удобен в случае горизонтального У.Г.В. - в этом случае задаём только одну точку воды на отметке Z и программа сгенерирует горизонтальный слой У.Г.В.
- **Вода задана в скважинах** - Уровень грунтовой воды задают у скважин. Нужно задать глубину У.Г.В. от отметки земли. Это удобно в случае, что имеем скважины с замеренной глубиной У.Г.В. от поверхности рельефа (земли).

Изображение рисунка на рабочем столе можно в любом режиме ввода данных редактировать с помощью настройки в диалоговом окне «Настройка рисования» и с помощью кнопок на панели инструментов «Управление рисунком».



Рамка «Вода»

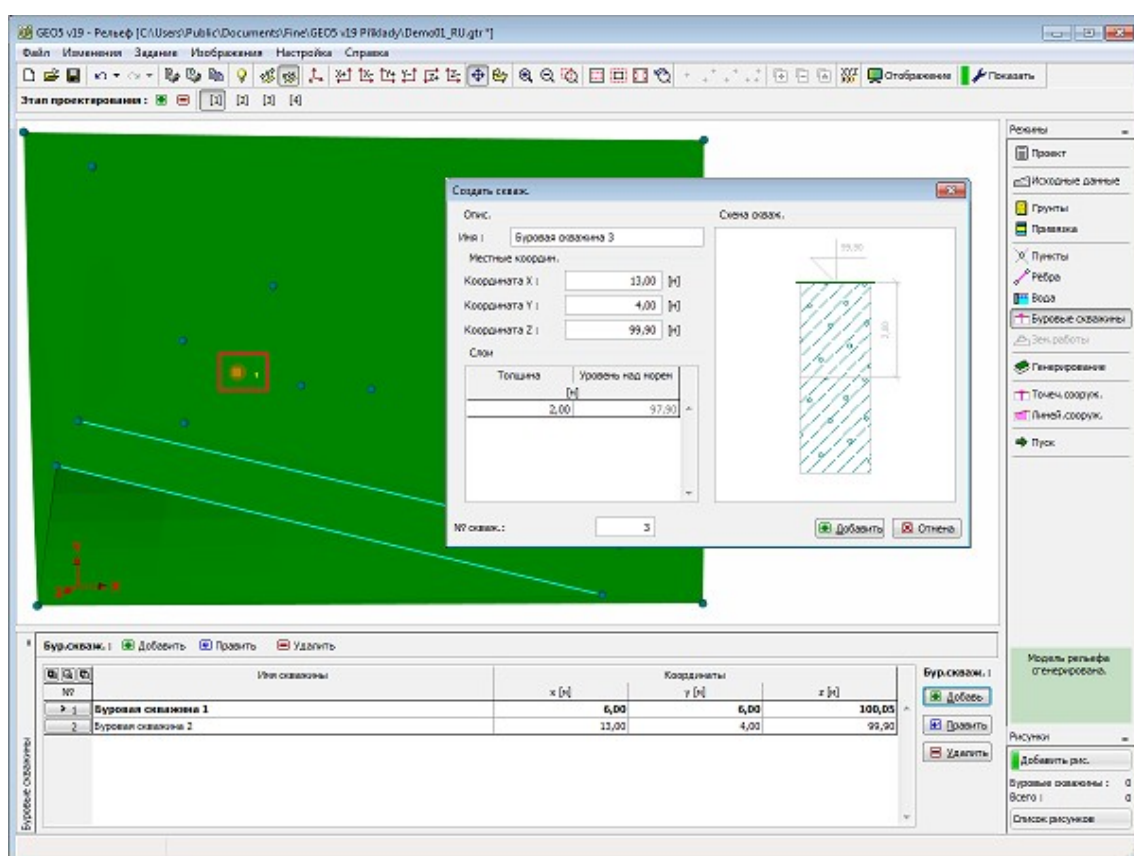
## Скважины

В **рамку «Скважины»** задают скважины, при помощи которых можно моделировать отдельные **геологические слои - пласты** (в соответствии с настройкой в рамке «Базовые данные») или **уровни грунтовой воды** (в соответствии с настройкой в рамке «Вода»).

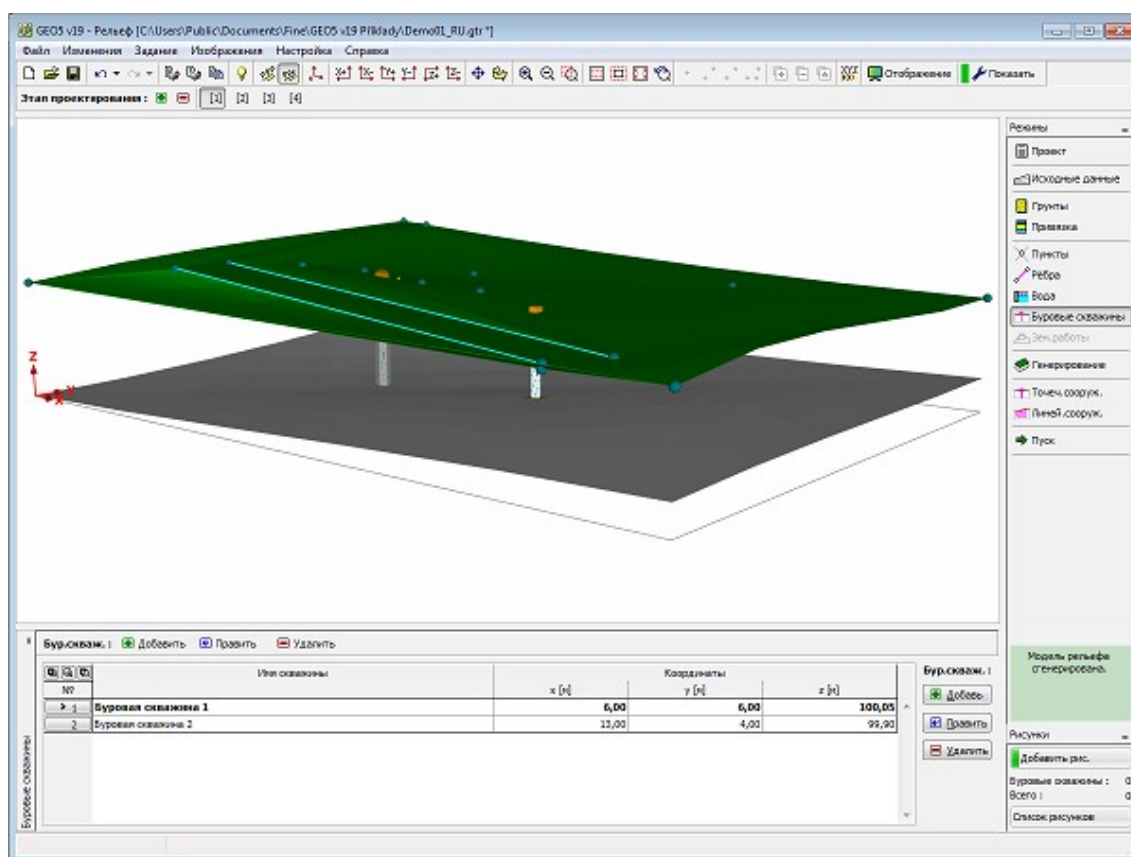
Порядок ввода точек, которые задают расположение скважин, аналогичен вводу **точек рельефа**. Помимо координат расположения скважин задают имя скважины и толщину слоёв. Сгенерированный геологический профиль несложно редактировать, используя при этом функцию **автоматического дополнительного вычисления высоты** (отметки) *z* и толщин слоёв.

Скважины можно задавать **только на первом этапе проектирования**. Программа автоматически обеспечивает расположение нижнего слоя под верхним слоем, т.е. исключено «**Перекрещивание слоёв**»: в таких случаях всегда будет **доминирующим верхний слой**.

Изображение рисунка на рабочем столе можно в любом режиме ввода данных редактировать с помощью настройки в диалоговом окне «**Настройка рисования**» и с помощью кнопок на панели инструментов «**Управление рисунком**».



Рамка «Скважины» - задание, правка



Рамка «Скважина» - заданные скважины

## Планировка рельефа

В **рамку «Планировка рельефа»** задают планировочные (земляные) работы на местности. Планировочные работы нельзя задавать на первом этапе проектирования.

Планировка рельефа предназначена для **несложного задавания выемок и насыпей**. Основой в этих работах является **форма дна**, от которого направляются откосы выемки или насыпи к исходному рельефу местности. Исходные точки и рёбра рельефа местности, расположенные в области проведения земляных работ программа при генерировании **автоматически выпускает**.

Можно задать несколько планировок в рамках одного этапа, но **запрещено их перекрещивание** - в таком случае земляные работы нужно объединить в одну. Ни одна часть не может быть расположена вне пределов задачи - в таких случаях нужно помнить, что стены планировки могут выйти за пределы задачи даже если дно задано внутри границ контура.

Планировку рельефа можно редактировать только на этапе, на котором она задана. В последующий **этап проектирования** планировка передаётся как новые точки и рёбра профиля местности.

**С помощью таблицы:** планировочные работы задают в **табличном** виде. Кнопка **«Добавить»** открывает диалоговое окно **«Создать планировку рельефа»**, задаём имя планировки (зачеркиваем окошко и задаём единую глубину дна и единый уклон откоса. В диалоговом окне находится также таблица для задания точек, определяющих форму в плане (полигон общей формы) планировочных работ. Порядок задавания этих точек

аналогичен задаванию **точек профиля**. Кнопкой «**Добавь**» закрывается диалог и планировка рельефа вводится в таблицу.

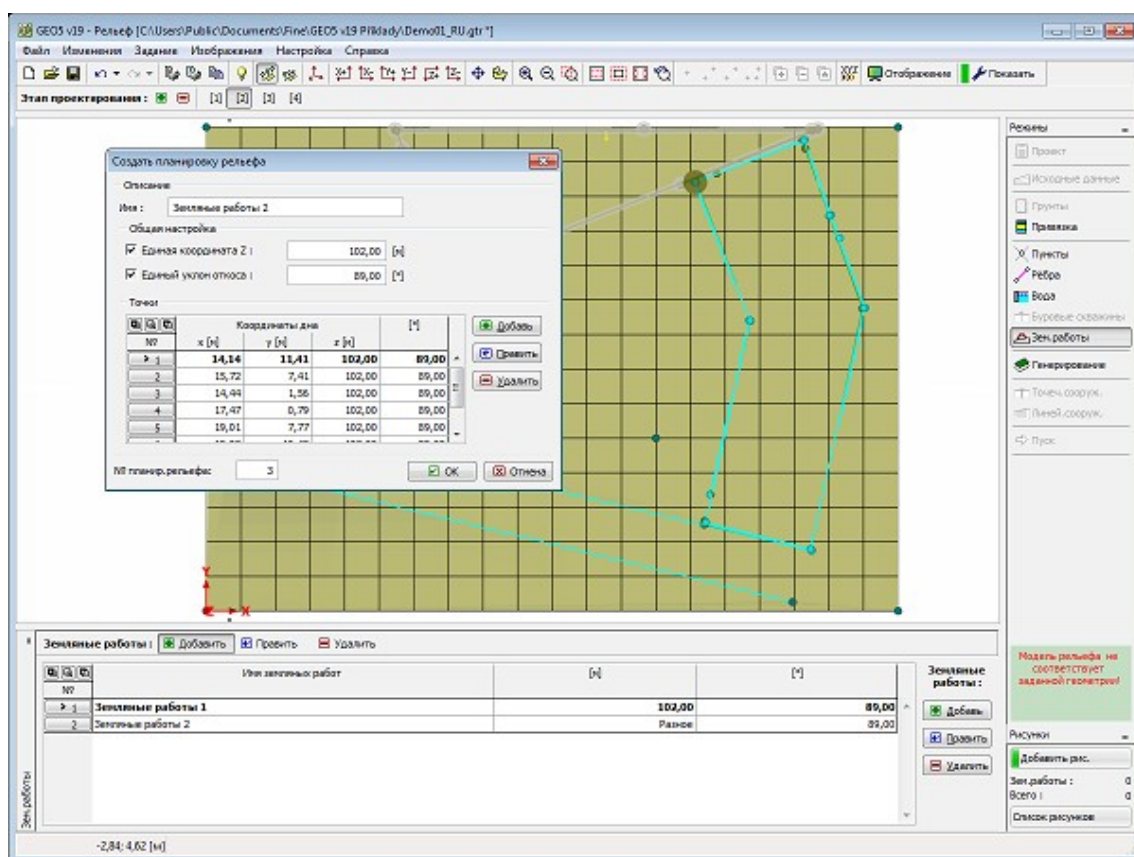
Кнопками «**Править**» и «**Удалить**» можно заданные планировочные работы отредактировать (в диалоговом окне), или удалить (в таблице можно обозначить больше чем одну планировочную работу и удалить все сразу - выбранные планировочные работы перед удалением обозначены на рабочем столе **красным** цветом). Изменение синхронно вырисовывается на рабочем столе.

**С помощью мыши:** в режим мыши входим нажатием кнопок на горизонтальной панели. Предлагаются следующие режимы:

- |   |  |
|---|--|
| <b>Добавить планировку рельефа</b>      | <ul style="list-style-type: none"><li>• Добавление возможно кликами левой кнопкой мыши на рабочий стол - последовательно задаются отдельные точки полигона, определяющего форму в плане планировочных работ - полигон должен быть замкнутым (последняя точка клика является начальной точкой полигона) - после замыкания полигона программа открывает диалоговое окно «<b>Создать планировку рельефа</b>» и дальнейший порядок работы аналогичен вводу задания с помощью таблицы - если планировку запрещено задать или она перекрывается с имеющейся планировкой рельефа, то программа выдаёт предупреждение в диалоговом окне.</li></ul> |
| <b>Редактировать планировку рельефа</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Кликом левой кнопкой мыши на существующую планировку (см. <b>активные объекты</b>) открывается <b>диалоговое окно «Правка планировки рельефа»</b>, в котором можно выполнить редактирование (в диалоговом окне использовать кнопки «<b>ОК+↑</b>» а «<b>ОК+↓</b>»).</li></ul>   |
| <b>Удалить планировку рельефа</b>       | <ul style="list-style-type: none"><li>• Кликом левой кнопкой мыши на планировку появляется диалоговое окно, в котором нужно подтвердить удаление выделенной планировки.</li></ul>  |

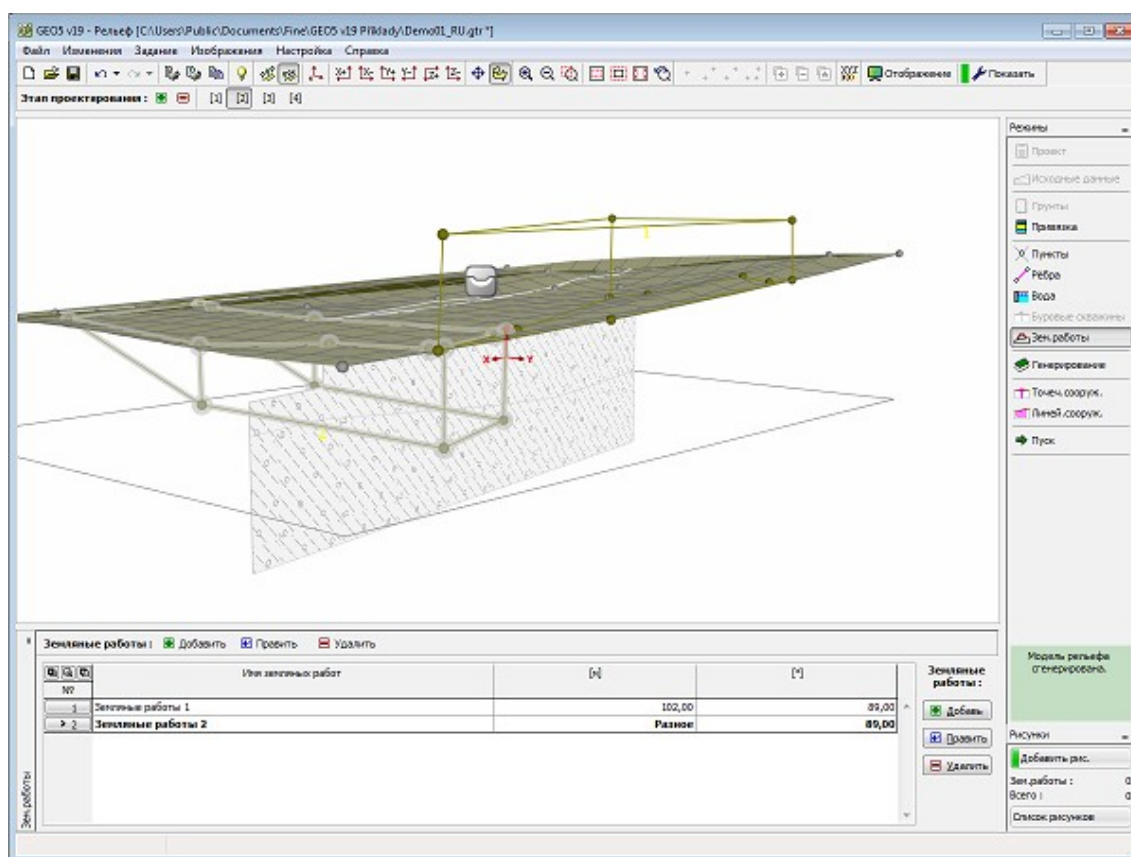
Изображение рисунка на рабочем столе можно в любом режиме ввода данных редактировать с помощью настройки в диалоговом окне «**Настройка рисования**» и с помощью кнопок на панели инструментов «**Управление рисунком**».





Рамка «Планировка рельефа» - задание, правка





Рамка «Планировка рельефа» - заданная планировка рельефа

## Стройплощадка

В **рамке «Стройплощадка»** можно задать ограничение заданных элементов в проекте (ограничение стройплощадки). Во всех случаях задаваемым ограничивающим точкам присваивается координата в направлении оси  $Z$  по ближайшему заданному элементу.

Программа позволяет задать **3 способа обозначения границ стройплощадки, а именно:**

- **Прямоугольником**

Прямоугольник определён предельными координатами в направлении осей  $X$ ,  $Y$ . Настройка программы по умолчанию **«Генерировать прямоугольник автоматически»** - предельные координаты вычисляются из минимальных и максимальных координат заданных элементов.

Другая возможность - задать предельные координаты вручную (**<min, max>** в направлении оси  $X$ , **<min, max>** в направлении оси  $Y$ ).

- **Выпуклой оболочкой**

Программа автоматически вычисляет наименьший возможный выпуклый полигон, ограничивающий заданные элементы.

- **Заданным полигоном**

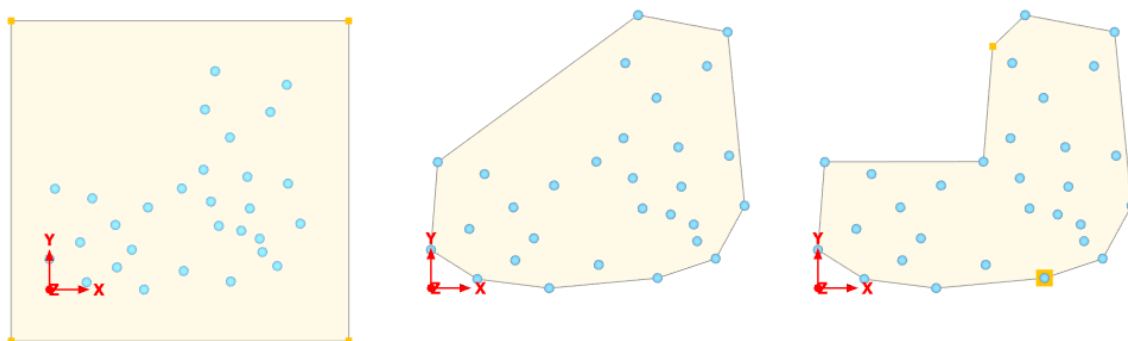
**Вводят** замкнутый полигон (кнопка **«Заменить графически»**). Полигон определяет границы стройплощадки. Вершинами полигона могут стать вновь созданные точки, точки

изначально заданные в проекте и их любые комбинации.

Программа позволяет для создания полигона взять уже существующие точки в прямоугольнике или выпуклой оболочке (кнопки «**Взять из прямоугольника**», «**Взять выпуклую оболочку**»). После скопирования этих точек полигон можно редактировать (менять координаты точек, добавлять новые точки полигона)

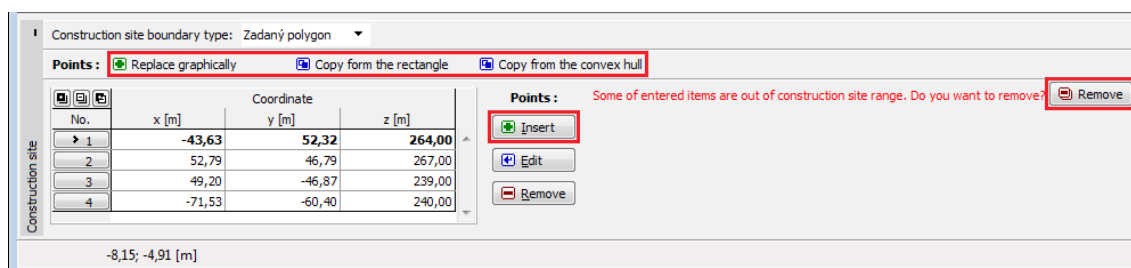
Добавить **новую точку** в текущий полигон возможно единственно с помощью диалогового окна «**Создать точку**» (окно в рамке открываем кнопкой «**Вставить**»).

Заданные точки полигона можно также редактировать на рабочем столе с помощью **активных отметок**.



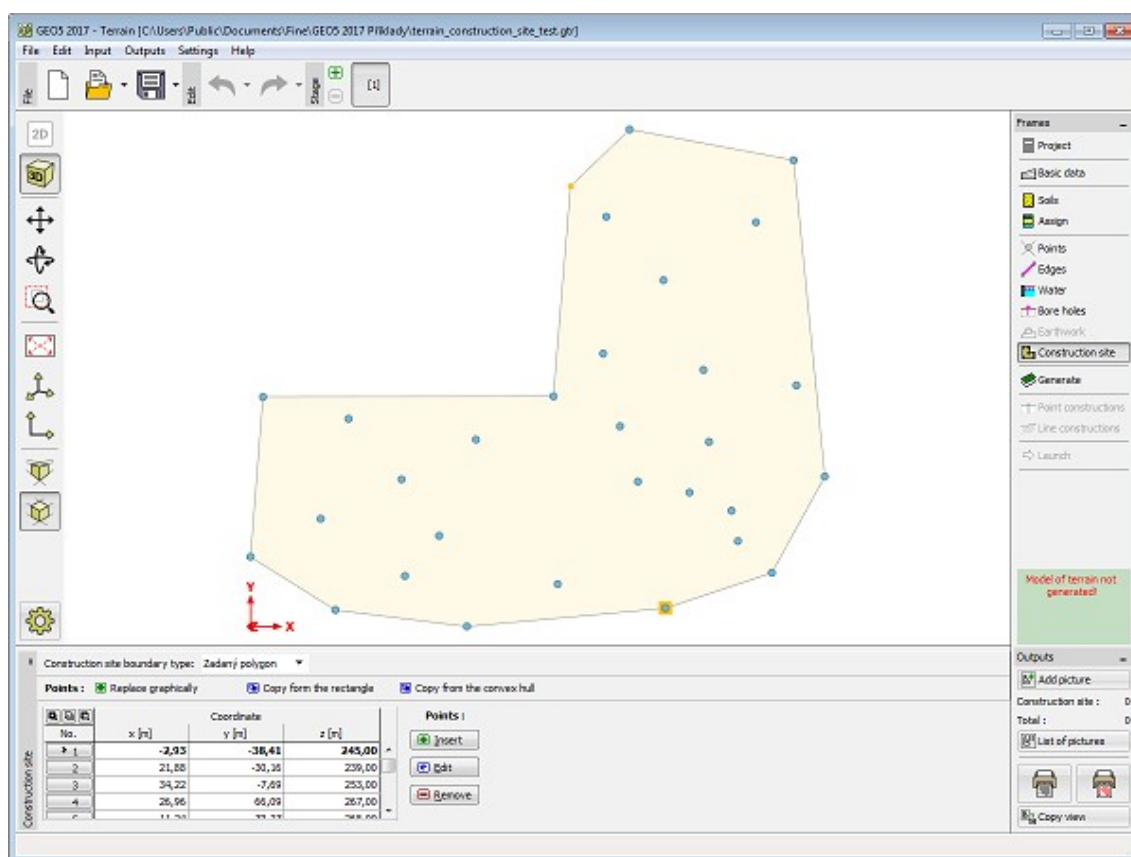
*Вид стройплощадки после ограничения с помощью прямоугольника, выпуклой оболочки, заданного полигона*

В случае, что после ограничения полигоном (прямоугольником) некоторые **элементы окажутся вне ограничения**, программа выдаёт предупреждение и позволит пользователю удалить эти элементы с помощью кнопки «**Удалить**». Элементы за пределами границы по умолчанию изображены красным цветом.



*Удаление точек за пределами стройплощадки*

Изображение рисунка на рабочем столе можно в любом режиме ввода данных редактировать с помощью настройки в диалоговом окне «**Настройка рисования**» и с помощью кнопок на панели инструментов «**Управление рисунком**».



Рамка «Стройплощадка»

## Генерирование

В рамке «Генерирование» выполняется генерирование модели рельефа.

На первом этапе проектирования задаём **параметры генерирования модели**, которые остаются в действии и на дальнейших этапах. Это:

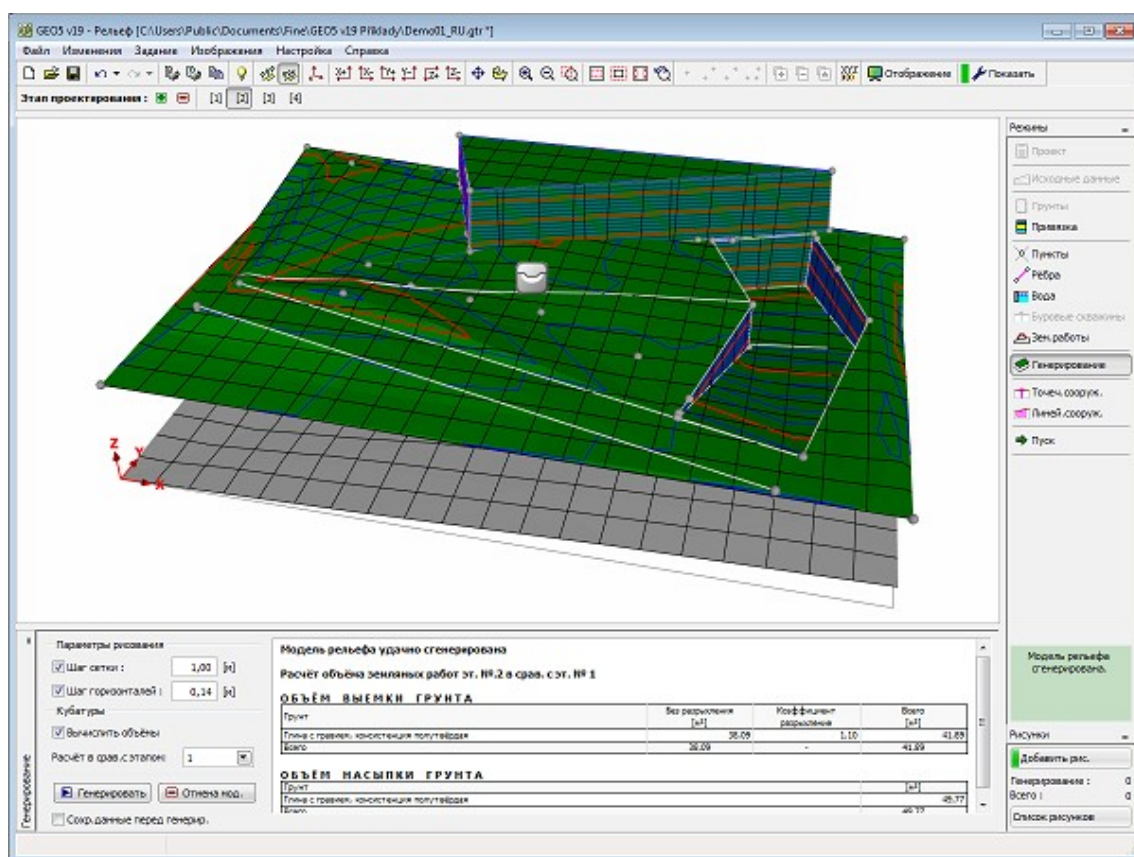
- **сглаживание модели** (нулевое, среднее, максимальное)
- **активный край** - позволяет моделировать территорию на краях

В рамку задаём **параметры вырисовки** (шаг сетки, шаг горизонталей).

Собственно модель сгенерируем нажатием кнопки «Генерировать». Сгенерированную модель можно полностью отменить нажатием кнопки «Отмена модели» - это может понадобиться для большей наглядности процедуры задавания.

Зачёркиванием поля «**Вычислить объёмы**» включаем вычисление объёмов земляных работ (в выпадающем списке можно задать номер этапа проектирования относительно которого будет выполнен расчёт кубатур). Данный выбор недоступен на первом этапе проектирования.

Изображение рисунка на рабочем столе можно в любом режиме ввода данных редактировать с помощью настройки в диалоговом окне «**Настройка рисования**» и с помощью кнопок на панели инструментов «**Управление рисунком**».



Рамка «Генерирование»

## Моделирование рельефа на краях

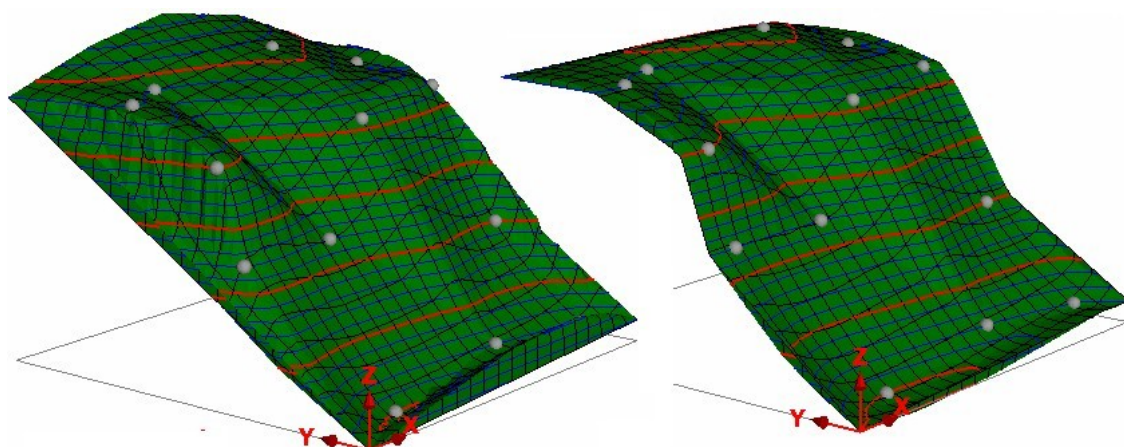
Для правильного построения цифровой модели рельефа очень важны **краевые условия** - отметки точек в углах и на краях предельных размеров задачи.

**Точки в углах** можно либо задавать, либо они будут вычислены и автоматически созданы на первом этапе проектирования при генерировании рельефа. При автоматическом генерировании угловая точка будет обладать такой же высотой (отметкой) как ближайшая заданная точка или скважина.

При генерировании рельефа **угловые точки соединены ребром**. В некоторых случаях (откосы) есть пожелание, чтобы края моделировали общую **форму и уклон рельефа**. В таких случаях используют функцию активного края. Активный край задают в **процентах предельных размеров задачи**. При генерировании все точки, **расположенные на активном крае** будут автоматически спроецированы по перпендикуляру на край - после чего на этих местах будут созданы новые точки (на краю) с такой же Z координатой. Вновь созданные точки сохранены в данных на последующем этапе проектирования.

Аналогичным способом себя ведут последующие слои модели рельефа, где толщ слёев на краях дополнительно вычисляются с учётом толщ слёев ближайших скважин.

Знак активного края очевиден по следующему изображению.



*Рельеф, сгенерированный без активного края и с активным краем*

## Точечные сооружения

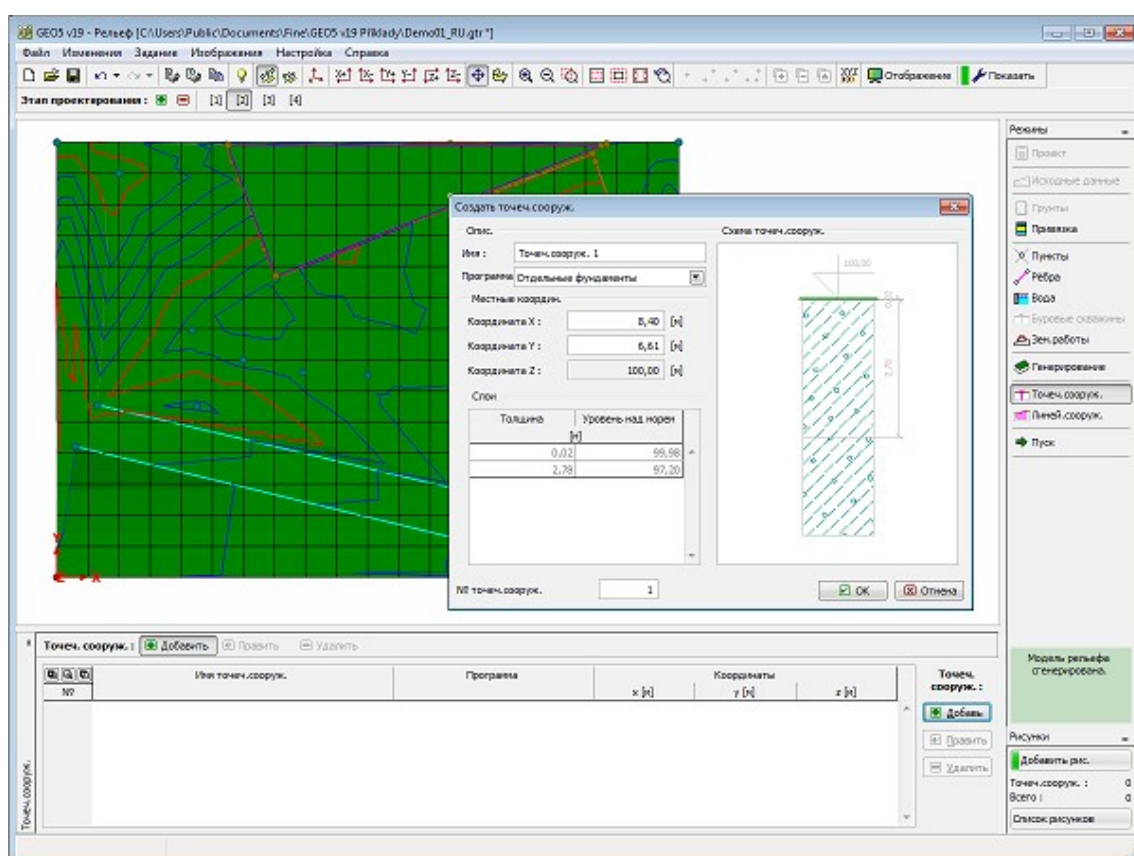
В рамку **«Точечные сооружения»** задают точечные сооружения на рельефе.

Порядок задания точек, которые определяют расположение точечных сооружений аналогичен задаванию **точек на местности** (с помощью таблицы или мыши). В диалоговое окно **«Создать точечное сооружение»** (**«Правка точечного сооружения»**) помимо координат расположения объекта задаём название программы, в которой будет выполняться расчёт конструкции. В рамке **«Пуск»** запускаем заданную программу и передаём в неё толщи отдельных слоёв и привязки грунтов.

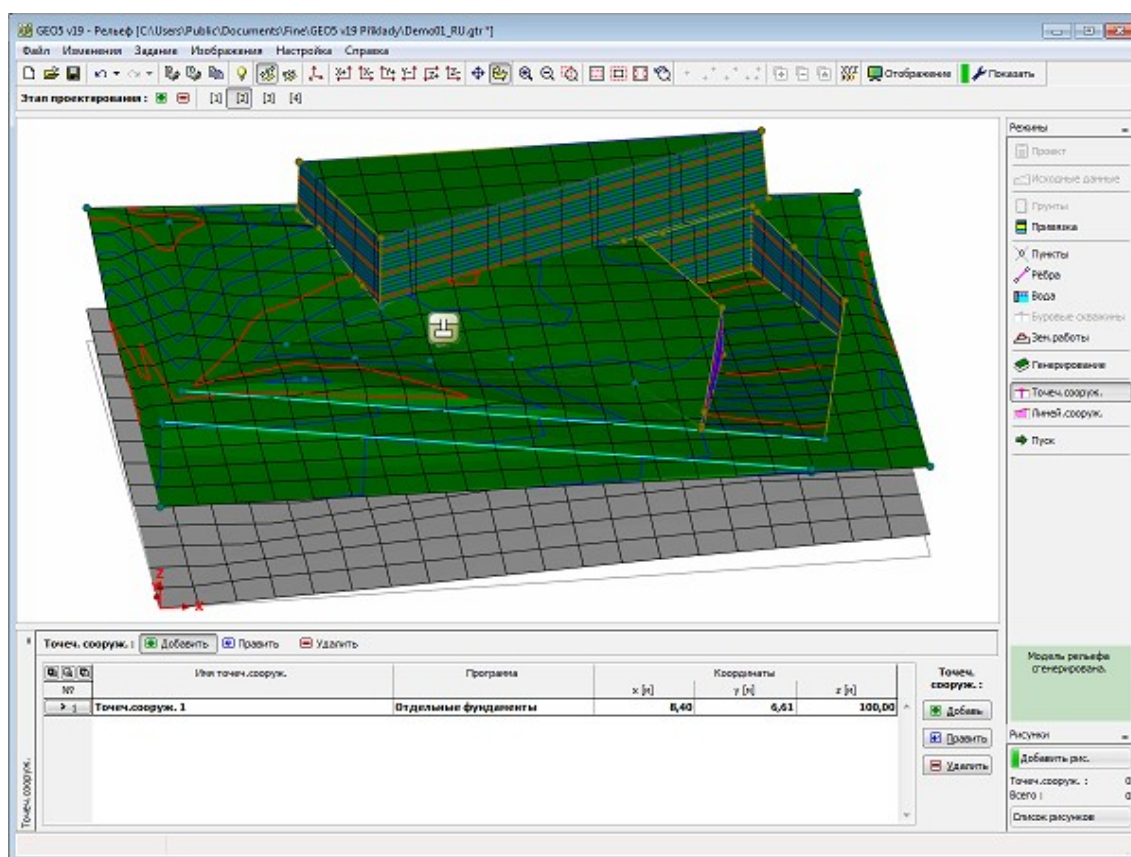
Точечные сооружения разрешено задавать только при условии, что **сгенерирована корректная модель**.

Изображение рисунка на рабочем столе можно в любом режиме ввода данных редактировать с помощью настройки в диалоговом окне **«Настройка рисования»** и с помощью кнопок на панели инструментов **«Управление рисунком»**.





Рамка «Точечные сооружения» - задание, правка



Рамка «Точечные сооружения» - заданные сооружения

## Линейные сооружения

В **рамку «Линейные сооружения»** задают линейные сооружения на рельефе.

Порядок задания линий, которые определяют расположение линейных сооружений аналогичен **задаванию рёбер рельефа** (с помощью таблицы или мыши). В диалоговом окне **«Создать линейное сооружение»** («**Правка линейного сооружения**») задают имя и тип линейного сооружения:

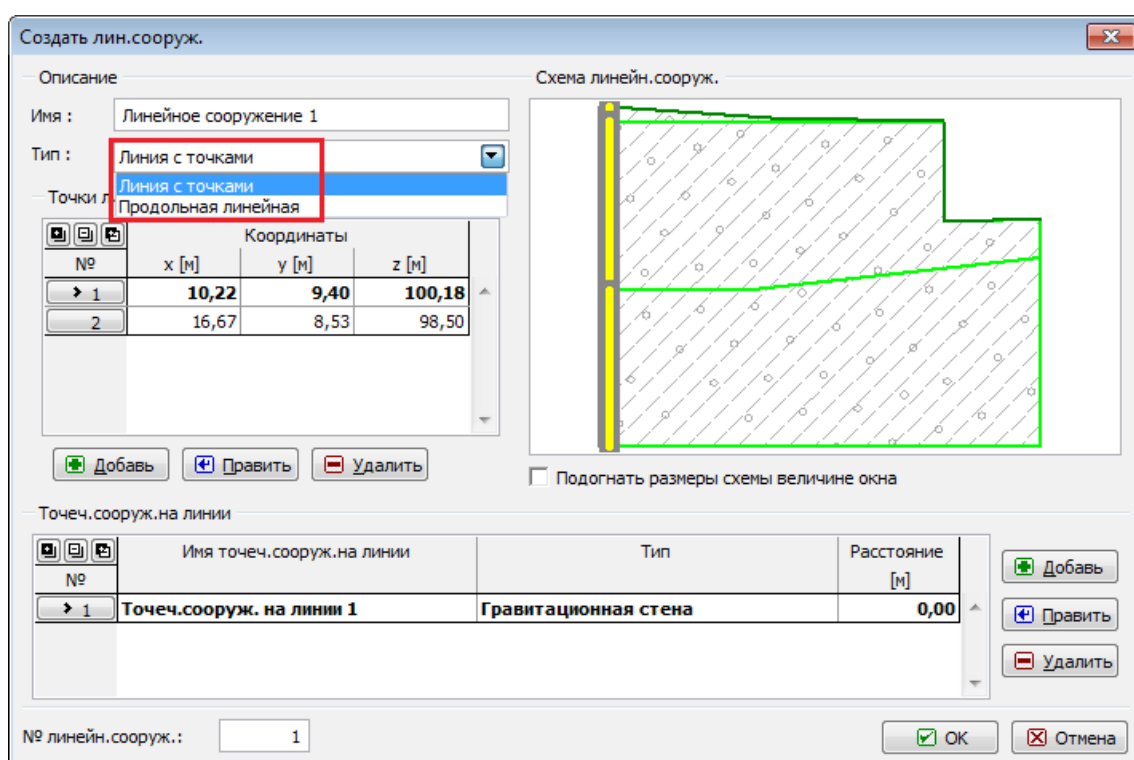
**«Продольное линейное сооружение»** определено координатами начальной и конечной точек (таблица в диалоговом окне). В выпадающем списке выбираем тип программы для расчётов (Осадка, Устойчивость откоса, МКЭ...). В рамке **«Пуск»** запускаем заданную программу и передаём в неё контуры рельефа и границы контура, а также привязку грунтов к слоям.

**«Линия с точками»** определена координатами ломаной линии и на ней можно задавать новые точечные сооружения. Точечные сооружения задают в таблице **«Точечные сооружения на линии»**, таблица находится в диалоговом окне **«Создать линейное сооружение»**. В рамке **«Пуск»** запускаем заданную программу и передаём в неё толщи отдельных слоёв и привязки грунтов.

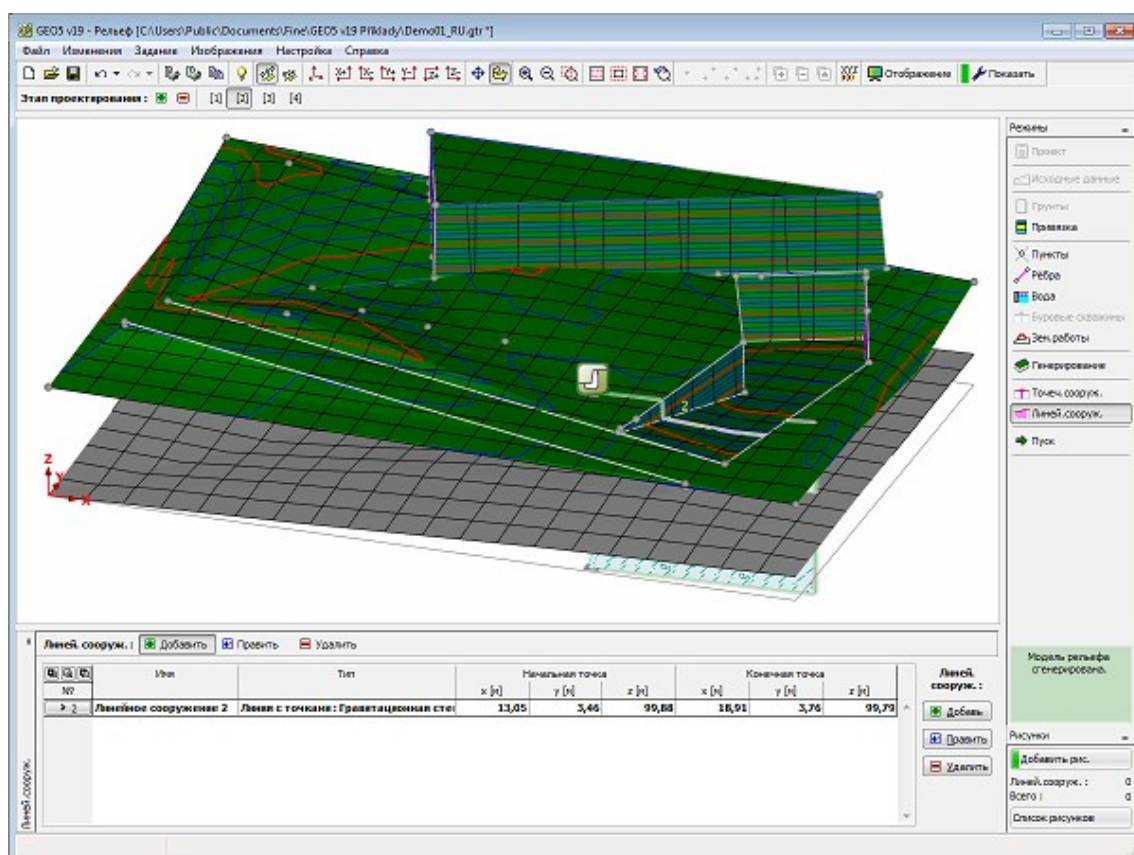
Линейные сооружения разрешено задавать только при условии, что **сгенерирована корректная модель рельефа**.

Изображение рисунка на рабочем столе можно в любом режиме ввода данных редактировать с помощью настройки в диалоговом окне **«Настройка рисования»** и с помощью кнопок на панели инструментов **«Управление рисунком»**.





Рамка «Линейные сооружения» - задание, правка

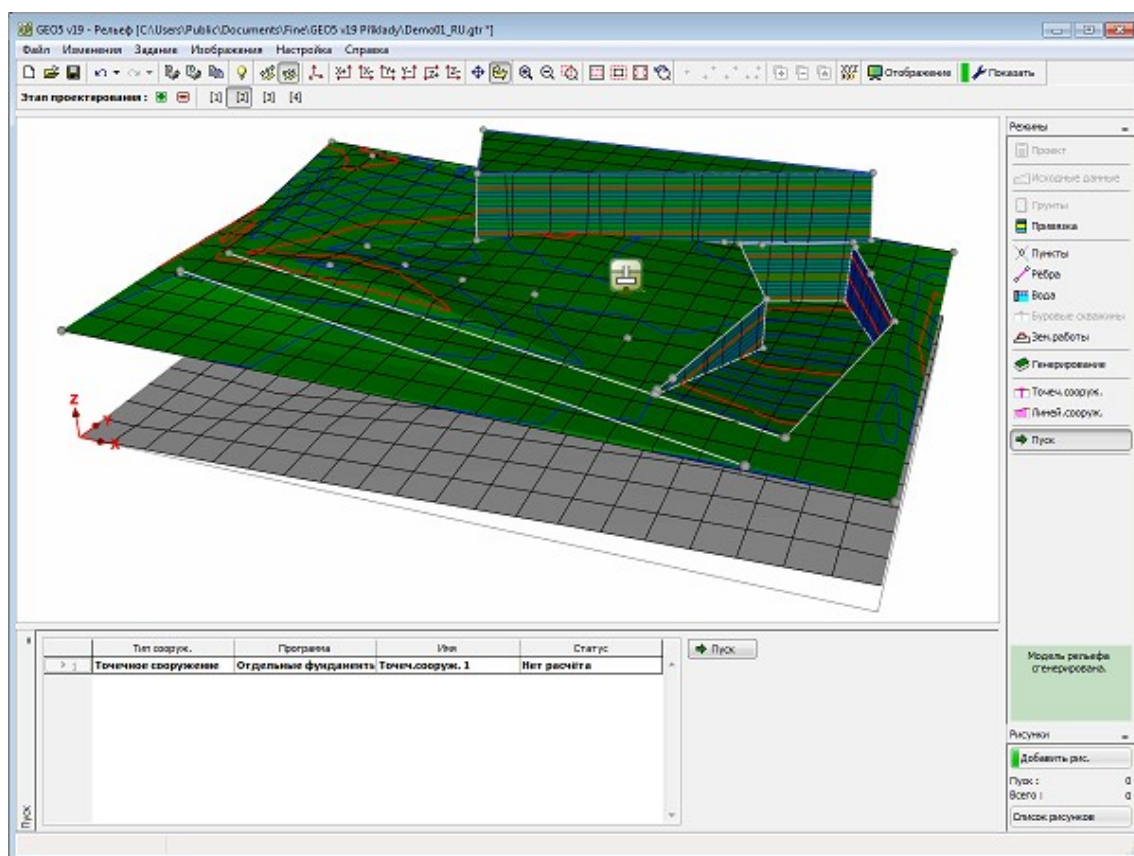


Рамка «Линейные сооружения» - заданные сооружения

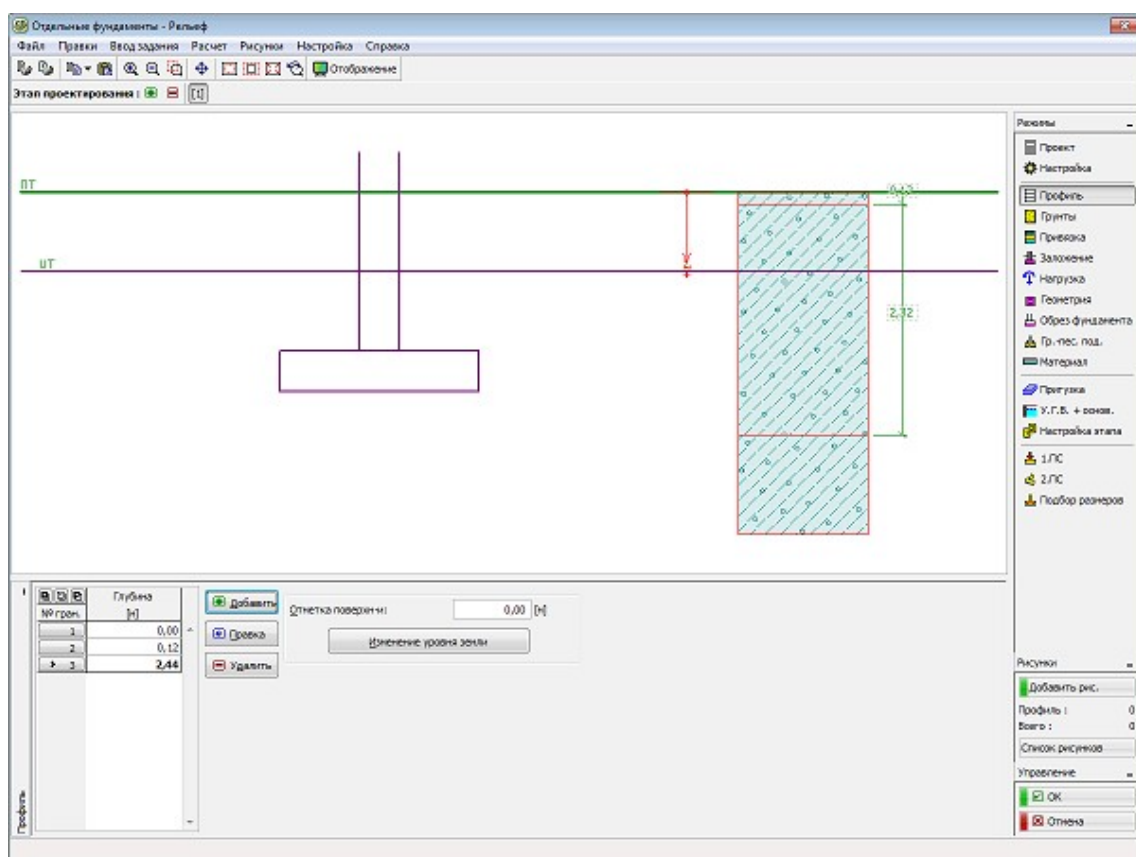
## Пуск

В рамке «Пуск» находится таблица со списком заданных точечных и линейных сооружений. В таблице выбираем и кнопкой «Пуск» запускаем программу расчёта этой задачи (для этого пользователю нужно приобрести соответствующий модуль) и передаём в программу все необходимые данные. В программе можно выполнять нужные вычисления и проверки. Если программа не установлена, то кнопка не доступна.

Закончив вычисления, нажимаем кнопку «ОК» - результаты в т.ч. изображения передаются в протокол расчёта в программе «Рельеф».



Рамка «Пуск»



Пуск приложения «Отдельные фундаменты» в программе «Рельеф»

## Программа Стратиграфия

Назначение программы:

- Создание цифровой модели рельефа стройплощадки
- Загрузка данных от геологоразведочных работ (всех скважин и полевых испытаний)
- Создание модели грунта основания (геологической модели)
- Экспорт данных в программы GEO5 (Разрезы 2D - Устойчивость откоса, Осадка...), (Разрезы 1D - Отдельные фундаменты, Свая...).
- Формирование геологической документации в модуле **ИГ Разведка**

**Справка по программе «Стратиграфия» распространяется на следующие области:**

- Ввод данных в рамки:

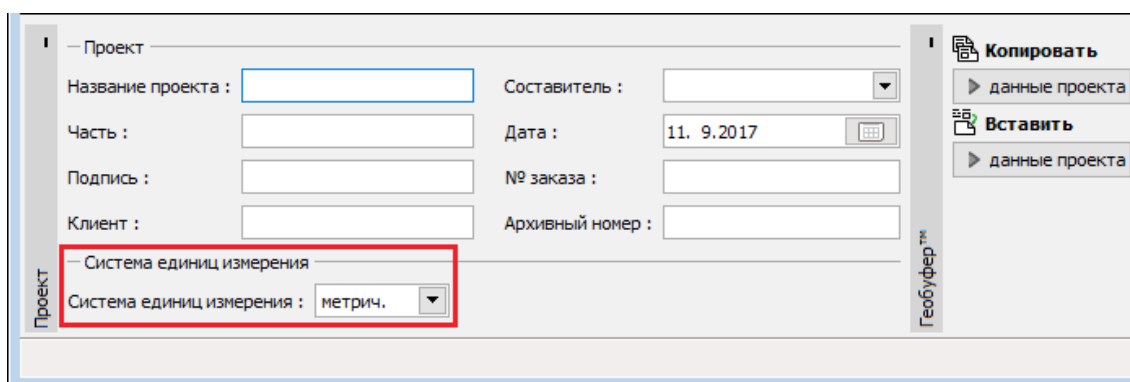
Проект	Настройка	Стройплощадка	Точки рельефа	Грунты
Испытания	Профили испытаний	Модель грунта (Геологическая модель)	Профили 1D	Разрезы 2D

- Справка относительно **информации на выходе**
- Теория по задаваемым испытаниям в программе «**Стартиграфия**»:  
**Полевые испытания**
- Информация общего характера о работе в **пользовательской среде** программ GEO5
- **Общие операции** для всех программ

## Проект

В **рамку «Проект»** задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой **текстовой и графической информации**.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (**метрическую / дюймовую**). Данные о проекте можно скопировать во все программы GEO5 с помощью «**Геобуфера**».



Рамка «Проект»

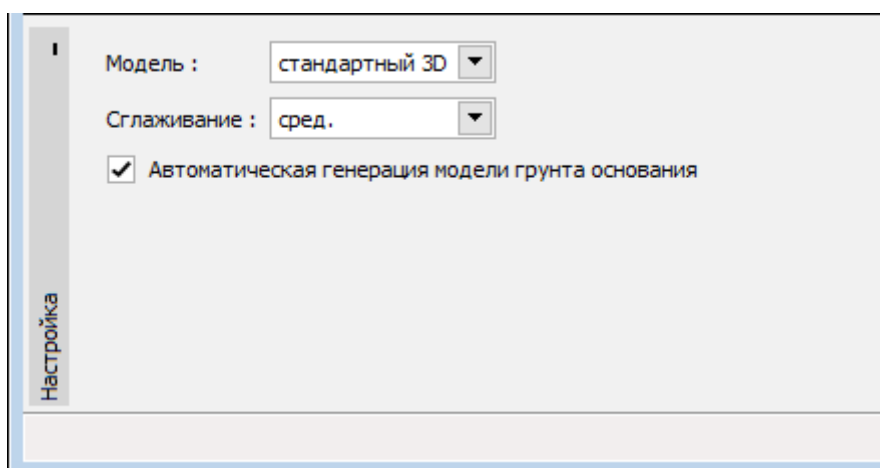
## Настройка

В рамке «**Настройка**» выбираем тип задачи

- **классическая модель 3D**
- **упрощённая модель 2D** - прежде всего для линейных сооружений.

Далее в рамке выбираем тип **сглаживания модели** рельефа и слоёв грунта.

Также выбираем режим работы программы - или **автоматическая генерация модели грунта** после каждого изменения рельефа и зондов, или **ручная генерация** после нажатия кнопки «**Генерируй**» в рамке «**Геологическая модель**». Ручное генерирование целесообразно использовать прежде всего для более крупных моделей или при небольшой мощности компьютера.

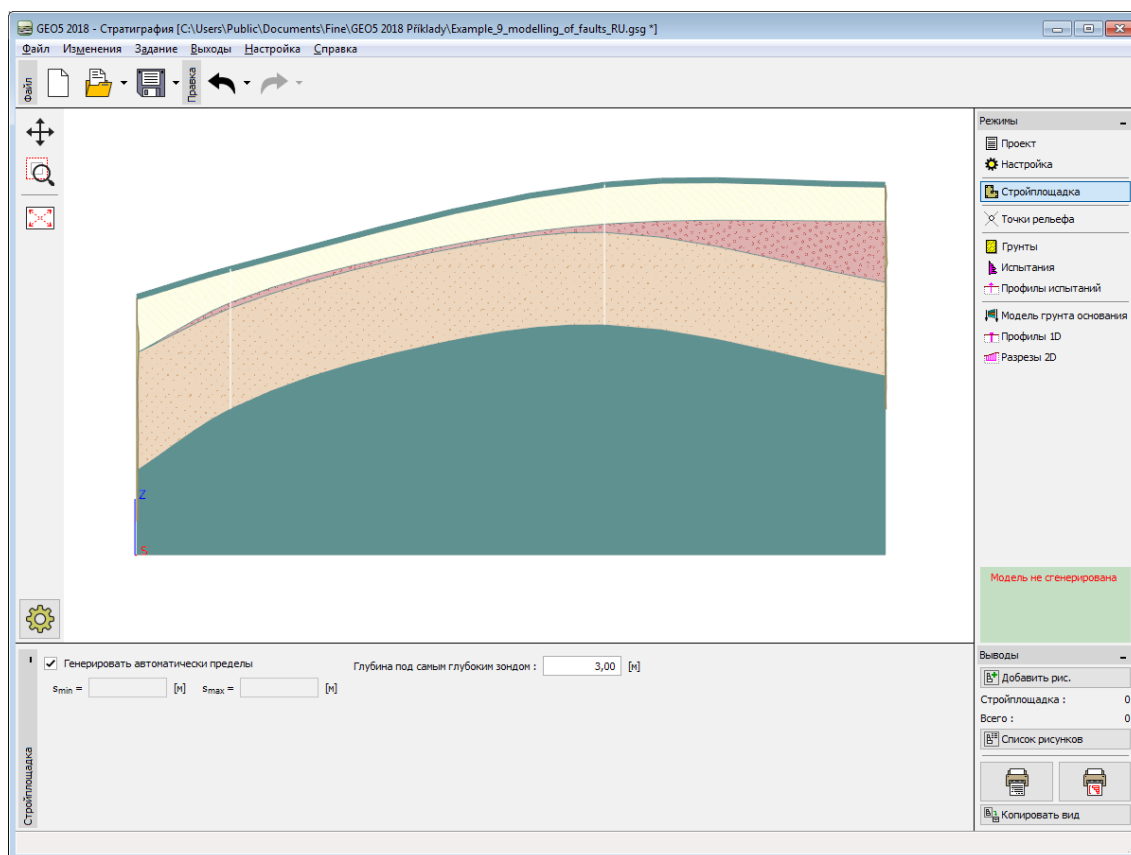


Рамка «Настройка»

## Стратиграфия - Модель 2D

Режим 2D позволяет моделировать только 2D разрез из «**Зонды**» и «**Точек рельефа**». Использование режима целесообразно **для линейных сооружений** или при моделировании **сложных разрезов и откосов** - созданную 2D модель можно **преобразовать в 3D модель** и продолжить редактирование.

В режиме 2D вид программы будет доступен только в виде 2D - нет доступа к переключению в 3D вид. Работа и управление аналогично режиму 3D - только на 1 размер проще.

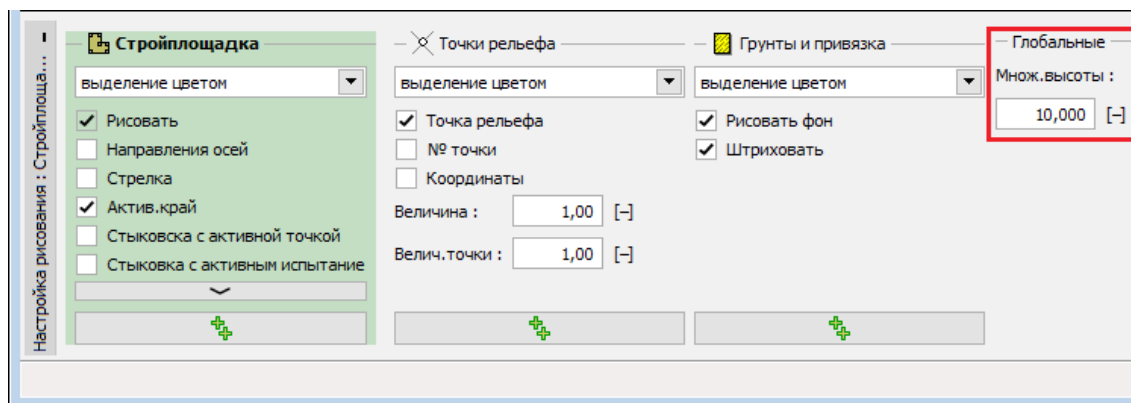


## 2D модель

После переключения в режим 2D произойдут следующие изменения:

- **Стройплощадка** всегда задана как «прямоугольник», вводим или вычисляем только координаты  $S_{min}$ ,  $S_{max}$
- **Точки рельефа, Испытания, Профили испытаний, Зонды, Разрезы 2D, Профили 1D** - не задаются (не определены) координаты  $X, Y$ , задаётся только координата  $S$
- **Модель грунта основания** - в не изображаются (не определены) «**Форма рельефа**», «**Слои**». Наоборот, вырисован Разрез в пределах  $S_{min}$ ,  $S_{max}$
- **Разрезы 2D** - содержит автоматически сгенерированный разрез вдоль всей длины задачи, который нельзя удалить.

Важным инструментом для работы с 2D-моделью является возможность ввода «**Множителя высоты**», что позволит работать с длинными склонами с небольшим превышением.



Рамка «Настройка рисования»

**Модель 2D** можно преобразовать в **Модель 3D** переключением в рамке «**Настройка**». В таком случае будут присвоены размеры «**Стройплощадка**» в направлении  $Y$  на  $Y_{min} = -S/2$ ,  $Y_{max} = S/2$ , а тип изменится в заданный прямоугольник. Координаты  $S$  переходят на  $X$ .

## Стройплощадка

Стройплощадка определяет контур создаваемой модели. Контур или **задаём (прямоугольник, полигон)**, или программа его **автоматически вычисляет (прямоугольник, выпуклая оболочка)** из заданных точек рельефа и всех испытаний.

У заданных точек «**Стройплощадка**» не определена координата  $z$  – **координата  $z$**  края стройплощадки будет вычислена как координата ближайшей действительной точки модели (Точка, Испытание с координатой  $z$ ).

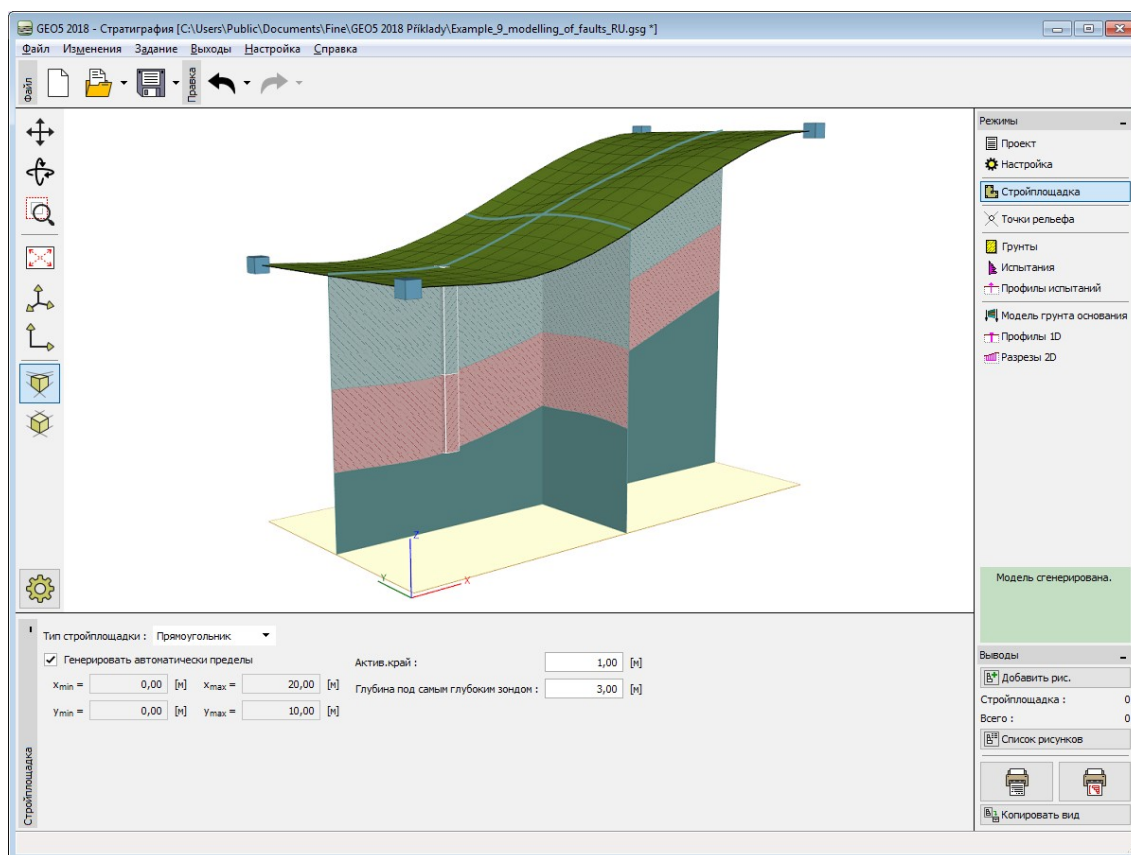
В контур стройплощадки проецируются также точки или слои **активного края** стройплощадки.

**Точки рельефа** или **испытания** можно задавать или импортировать вне пределов текущей **стройплощадки**. В случае **фиксированных размеров стройплощадки** у таких точек и испытаний в таблице появится «**Вне стройплощадки**» и они не будут вырисованы. В случае **автоматического подсчёта** координат - повторится генерирование **Стройплощадки**.

В случае **нереальных размеров стройплощадки** (расстояние каких-либо точек



стройплощадки больше чем 5000 м) – программа не вырисовывает конструкцию, а сообщает о необходимости редактирования модели.



Рамка «Стройплощадка»

## Активная кромка

Для создания корректной цифровой модели рельефа и грунта основания очень важны **краевые условия** - высота точек в углах и на краях стройплощадки.

**Точки и скважины на краях строительной площадки** программа **создаёт автоматически** при генерировании геологической модели -сперва точкам стройплощадки присваивает координату  $z$  ближайшей точки (или испытания), затем присваивает ближайший зонд.

Для моделирования плоского рельефа эта модель удовлетворительна - при моделировании склонов (откосов) ухудшается **поведение модели на краях**, где краевые условия не определены. **Активный край (кромка)** (задаётся в метрах / дюймах) позволяет простым способом **определять поведение модели на краях стройплощадки**.

**Активный край** показан **красным цветом**.

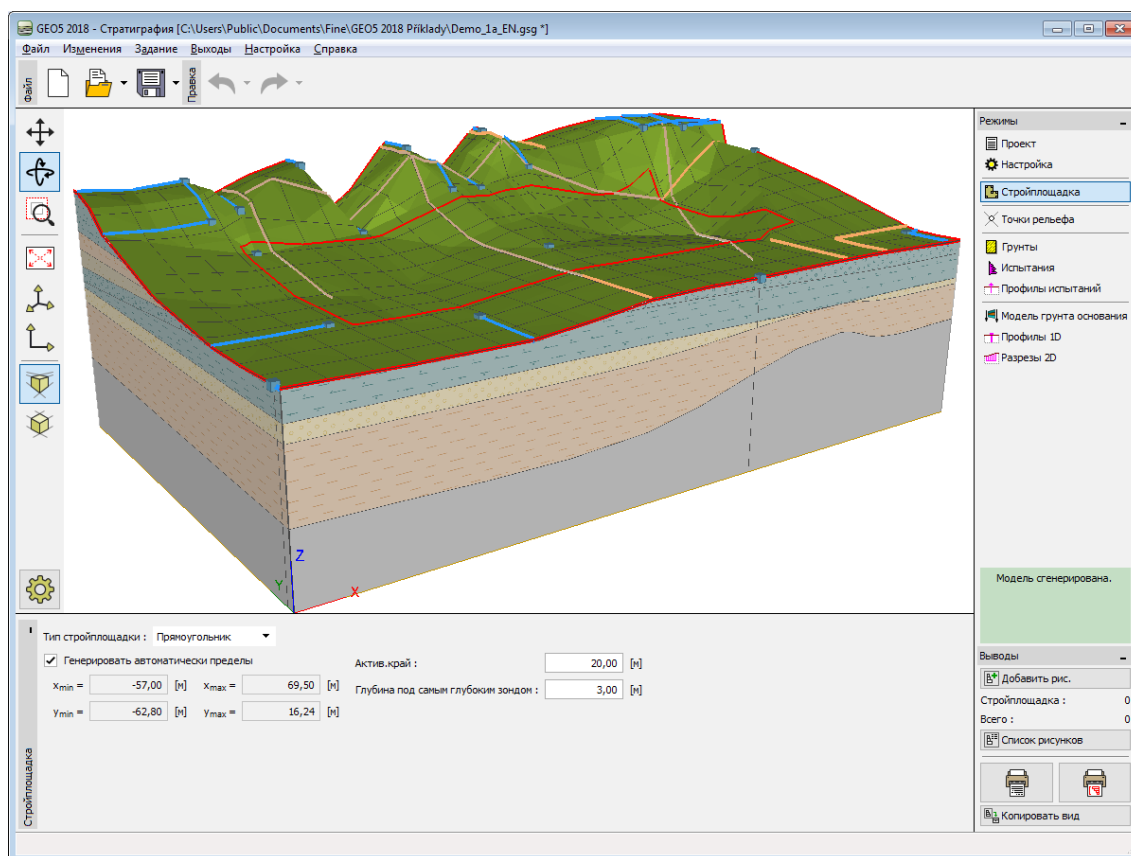
При **генерировании модели рельефа** все точки и испытания с заданной координатой  $z$  расположенной в активном крае образуют вспомогательную точку, расположенную на краю модели. **Соединительные линии точек и вспомогательных точек** показаны **синим цветом**.

При **генерировании модели грунта основания** все зонды, расположенные в активном крае



(кромке) образуют вспомогательный зонд, расположенный на краю модели.

**Соединительные линии зондов и вспомогательных зондов** отображены **оранжевым цветом**.



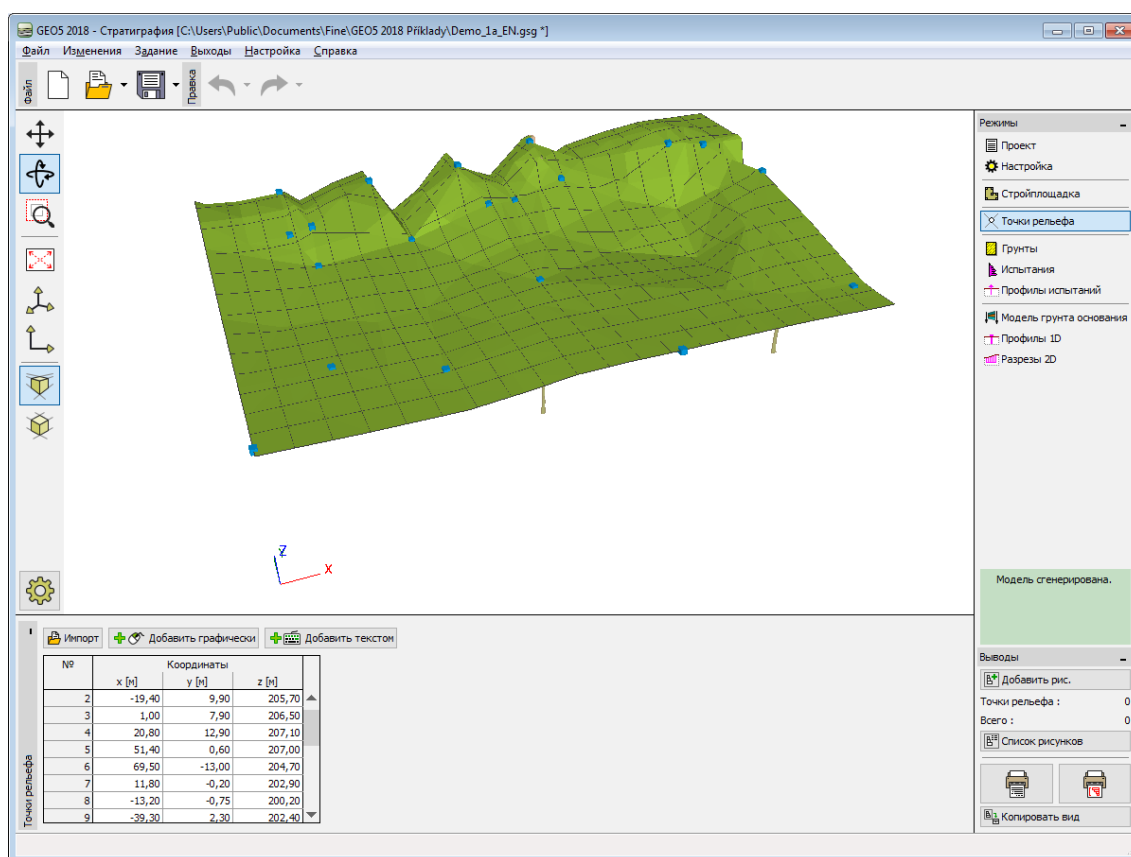
Рамка «Стройплощадка» - настройка активного края

Применение активного края очевидно на следующем изображении, а также объяснено на примере **использования активного края**:

## Точки рельефа

В рамке «**Точки рельефа**» задаём координаты точек рельефа. **Добавление** точек выполняем в **диалоговом окне «Новые точки рельефа»**.

При задавании новых точек рельефа на уже сгенерированную модель программа **автоматически вычисляет высоты** точки  $Z$ . Одной координате  $X$ ,  $Y$  можно задавать только одну точку.



Рамка «Точки рельефа»

Модель рельефа **генерируется автоматически всегда** после добавления или изменения какой-либо точки. Точки также можно импортировать в виде табличных данных с помощью кнопки «Импорт»

Изображение рисунка на рабочем столе можно в любом режиме ввода данных редактировать с помощью настройки в диалоговом окне «Настройка рисования» и с помощью кнопок на панели инструментов «Управление рисунком».

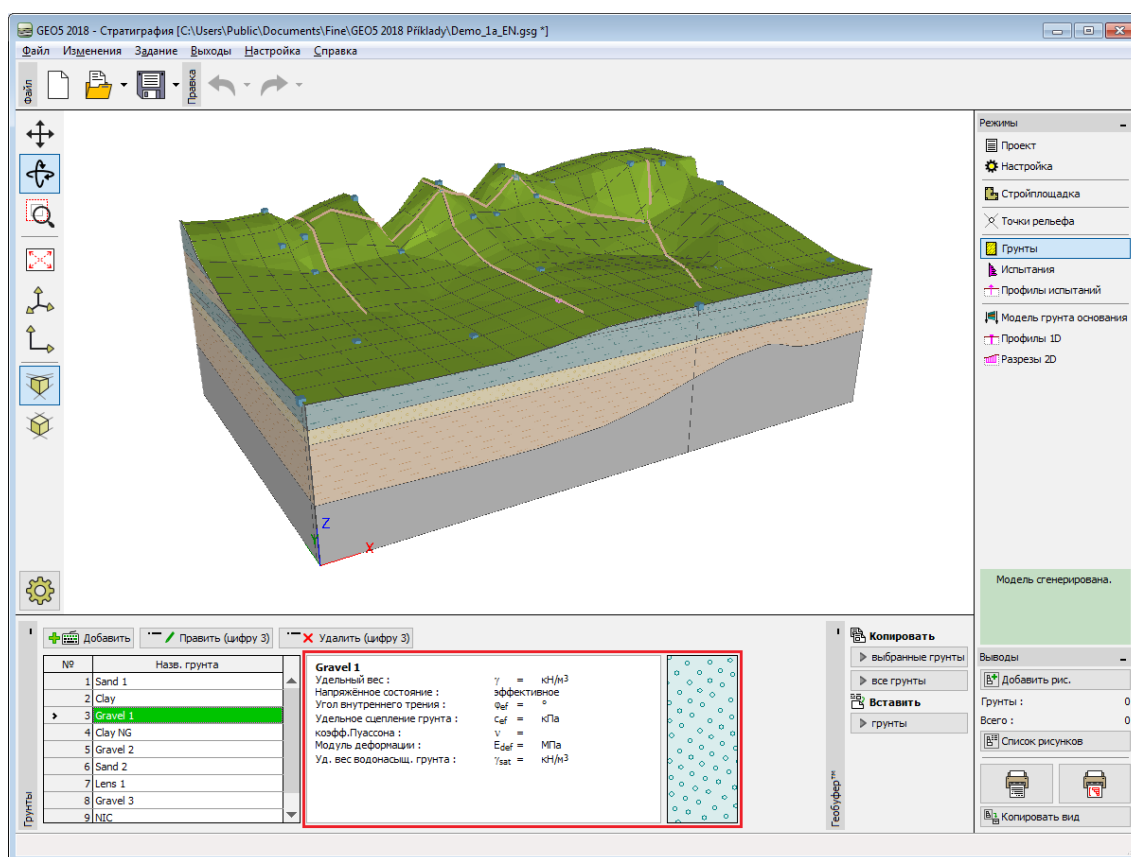
## Грунты

В рамке «Грунты» есть таблица со списком заданных грунтов. Таблица отображает текущие данные о выбранном грунте в правой части рамки. Если в таблице выделено несколько грунтов, то информация по отдельным грунтам упорядочена в последовательном порядке.

Добавление грунта выполняем в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

Для построения геологической модели грунта программе «Стратиграфия» **параметры грунтов вообще не нужны**, однако их можно задать для **экспорта в другие программы GEO5**.

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера», или использовать экспорт в рамках «Профили 1D» и «Разрезы 2D».



Рамка «Грунты»

## Испытания

В рамке «Испытания» находится таблица со всеми заданными испытаниями. В таблице указаны **имя** и **тип испытания**, **координаты** и **статус испытания**. Возле таблицы вырисовано выбранное испытание.

В рамку вводим **нескорректированные данные полевых испытаний**, выполненных на стройплощадке, причём не только данные, необходимые для создания **геологической модели**, а (в необязательном порядке) также данные для создания **геологической документации**.

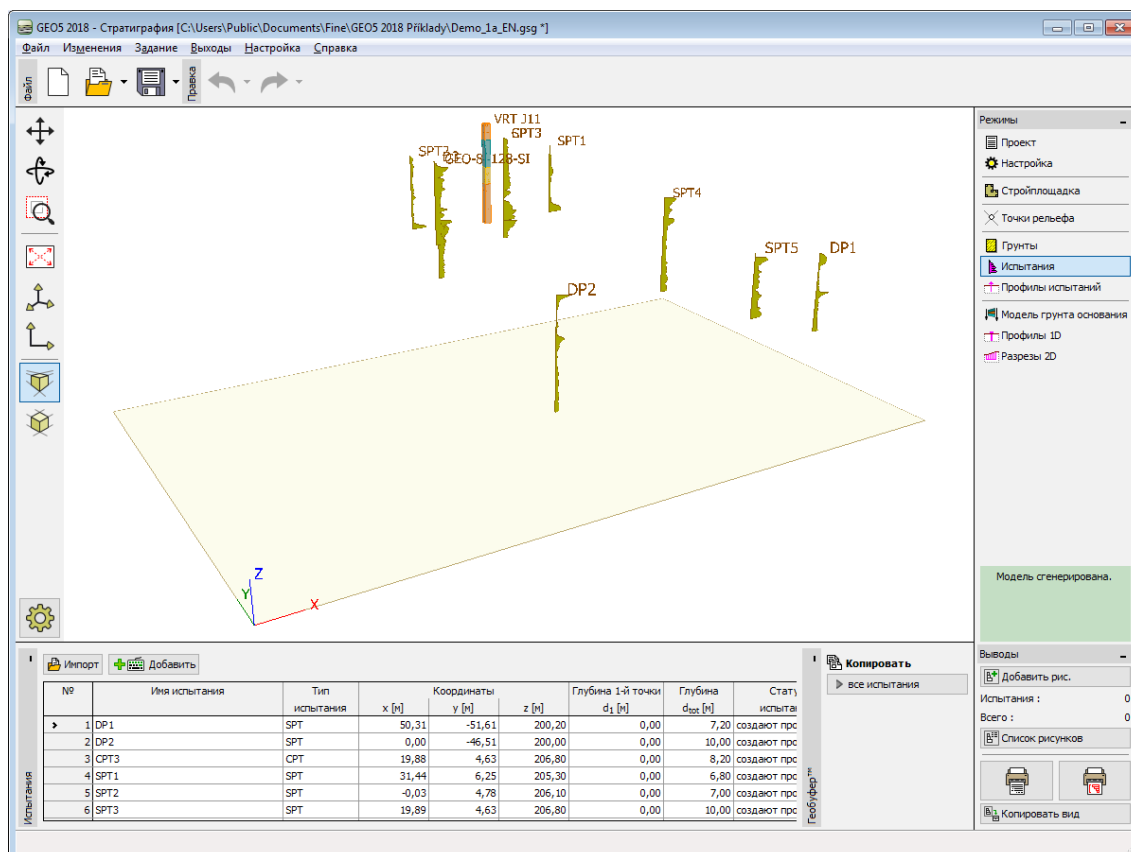
В эту рамку следует вводить неотредактированные испытания - в соответствии с показаниями замеренными на стройплощадке. Само редактирование скважин или интерпретация полевых испытаний выполняется в рамке «Профили испытаний». Каждое **испытание автоматически создаёт профиль испытания** (если не запретить это отключением кнопки «Испытание создаёт профиль испытания»).

Испытание приобретает особый статус в случае, что оно расположено **вне пределов стройплощадки**. Это может произойти прежде всего при импорте данных большого количества испытаний. В таком случае программа не вырисовывает испытание и **не создаёт Профиль испытания**.

Испытания можно вводить вручную кнопкой «Добавить» или **импортировать** с помощью кнопки «Импорт».

Программа «Стратиграфия» поддерживает следующие типы испытаний:

- Буровая скважина, шурф
- CPT (Статическое пенетрационное испытание)
- DPT (Динамическое пенетрационное испытание)
- SPT (Стандартное пенетрационное испытание)
- DMT (Дилатометрическое испытание)
- PMT (Прессиометрическое испытание)



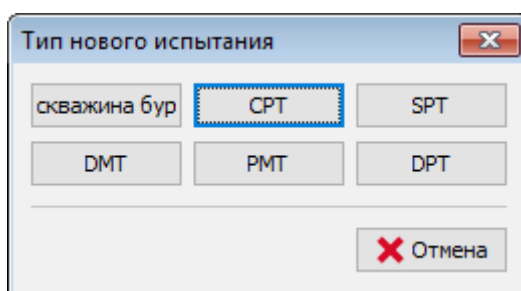
Рамка «Испытания»

Изображение рисунка на рабочем столе можно редактировать в любом режиме ввода данных в диалоговом окне «**Настройка рисования**» и с помощью кнопок на панели инструментов «**Управление рисунком**».

Кнопка «**Отмена**» выполняет важную функцию программы: возврат в **исходное состояние перед редактированием**.

## Импорт испытаний

Кнопка «**Импорт**» открывает диалоговое окно «**Тип нового испытания**», в котором для импорта выбираем тип полевого испытания.



Диалоговое окно «Тип нового испытания»

Программа «**Стратиграфия**» позволяет импорт следующих типов испытаний:

- Скважина, шурф
- CPT (Статическое пенетрационное испытание)
- DPT (Динамическое пенетрационное испытание)
- SPT (Стандартное пенетрационное испытание)
- DMT (Дилатометрическое испытание)
- PMT (Прессиометрическое испытание)

## Скважина, шурф

В диалоговом окне «**Новое испытание (скважина)**» задаём имя испытания, координаты испытания и глубину первой точки испытания.

Отметку начала испытания (координату  $z$ ) можно или автоматически вычислить (испытание проводилось на уровне земли) или задать.

Далее, можно задавать положение уровня грунтовой воды (в буровой скважине и установившийся).

Создать испытание (скважина бур.)

— Параметры испытания

Имя испытания : СКВАЖИНА (2)

Координаты : x = 22,51 [м] y = 16,24 [м]

Высота : автоматически на поверхность рельефа z = 207,10 [м]

Глубина 1-й точки от уровня земли : d<sub>1</sub> = 0,00 [м]

☒ Испытание создаёт профиль

— Параметры бур. скважины

Общая глубина : d<sub>tot</sub> = 10,30 [м] Кол-во проб : 0

УГВ в буровой скважине : GWT<sub>b</sub> = (не задано) [м] УГВ установившаяся : GWT<sub>s</sub> = (не задано) [м] Пробы

— Слои скважины

№ слоя	Толщина t [м]	Глубина d [м]	Грунт
1	1,60	0,00 .. 1,60	Gravel 3
2	2,80	1,60 .. 4,40	Clay
3	1,70	4,40 .. 6,10	Gravel 2
4	4,20	6,10 .. 10,30	Clay NG

+ Добавить (на конец)

Печать протокол Импорт + Добавить + Закрой + Добавить ✗ Отмена

Параметры для протокола

Грунт

Глубина [м]

0,00 0,55 1,10 1,65 2,20 2,75 3,30 3,85 4,40 4,95 5,50 6,05 6,60 7,15 7,70 8,25 8,80 9,35 9,90 10,30

Gravel 3 2 3 4

Clay NG

Диалоговое окно «Новое испытание»

Кнопкой «**Добавить**» открываем диалоговое окно «**Новые слои**», в котором задаём толщину слоя  $t$  и присваиваем слою соответствующий грунт. Если грунт предварительно не задан в рамке «**Грунты**», то задать дополнительно его можно кнопкой «**Добавить грунт**».

Новые слои

Толщина : t = 2,00 [м] Параметры для протокола

Грунт : Clay Добавить грунт

+ Добавить ✗ Отмена

Диалоговое окно «Новые грунты»

## Геологическая документация

Программа позволяет распечатку документации об **испытаниях, созданных профилях испытаний** и выходной документации в рамках «**Профили 1D**» и «**Разрезы 2D**».

К каждому испытанию можно задавать **дополнительные данные**, которые не оказывают влияния на генерирование геологической модели, но являются важным элементом геологической документации. Нажав кнопку «**Параметры в протокол**», задаём дополнительные данные для распечатки документации. Сведения о проекте в целом автоматически принимаются из данных в рамке «**Проект**».

Создать испытание (скважина бур.)

Имя испытания : СКВАЖИНА (2)

Координаты : x = 22,51 [м] y = 16,24 [м]

Высота : автоматически на поверхность рельефа z = 207,10 [м]

Глубина 1-й точки от уровня земли : d<sub>1</sub> = 0,00 [м]

☒ Испытание создаёт профиль

Параметры бур. скважины

Общая глубина : d<sub>общ</sub> = 10,30 [м] Кол-во проб : 0

УГВ в буровой скважине : GWT<sub>b</sub> = (не задано) [м] УГВ установившаяся : GWT<sub>g</sub> = (не задано) [м]

Слои скважины

№ слоя	Толщина t [м]	Глубина d [м]	Грунт
1	1,60	0,00 .. 1,60	Gravel 3
2	2,80	1,60 .. 4,40	Clay
3	1,70	4,40 .. 6,10	Gravel 2
4	4,20	6,10 .. 10,30	Clay NG

Печатайте протокол

Параметры для протокола

Грунт

Глубина [м]

0,00  
0,55  
1,10  
1,65  
2,20  
2,75  
3,30  
3,85  
4,40  
4,95  
5,50  
6,05  
6,60  
7,15  
7,70  
8,25  
8,80  
9,35  
9,90  
10,30

1  
2  
3  
4

Тип ПД :

Сист. коорд. :

Реализация :

Дата начала : 30.12.1899

Дата конца : 30.12.1899

Оборудование :

Технология :

Диаметр скважины :

Диаметр крепи :

Тип бур. головки :

Буровой мастер :

Документ составил :

Обработал :

Надзор :

### Диалоговое окно «Редактирование свойств испытания (скважина)»

Когда задаём слои в скважине можно сразу задать описание отдельных слоёв.

Редактирование слоя

Толщина : t = 1,70 [м]



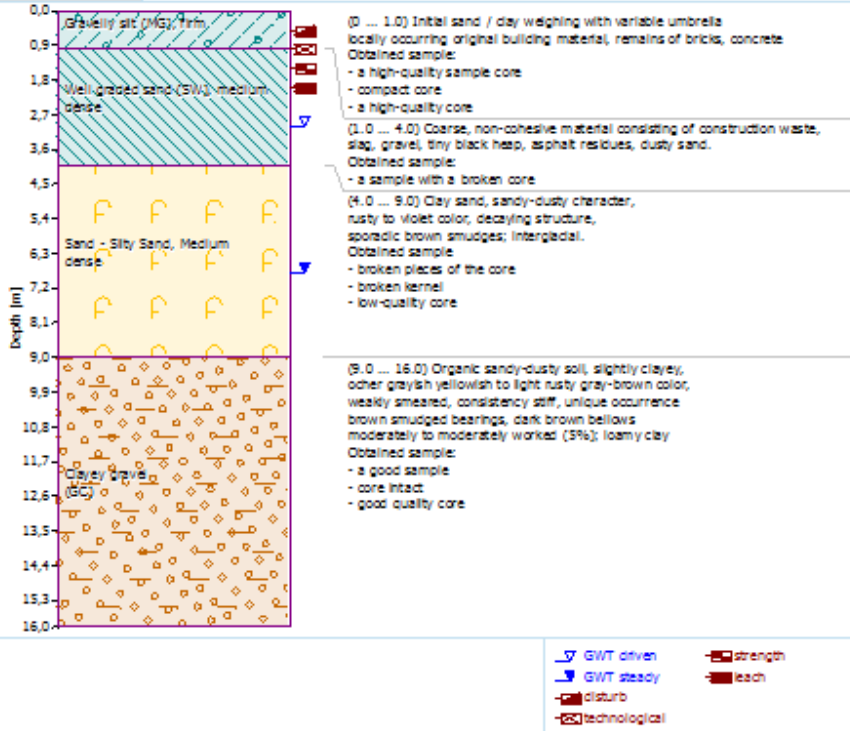
Грунт : Gravel 2

Описание слоя :

### Диалоговое окно «Редактирование слоя»

Конечный протокол можно распечатать, нажав кнопку «**Печать протокола**» прямо в окне испытания или в рамке «Испытания» - в таком случае можно распечатать протокол сразу обо всех выбранных испытаниях.



 ProGeo LTD. Site geological survey		Eng. John Small, Eng. Carl Middle  AH PPI2017, 12789/082017	
<b>Log of Borehole BH 0,00; GV_2</b>			
Task : Site exploration, project New West investment 2020 Part : Field tests and borehole documentation Description : Boreholes for geological model creation Customer : PF Beta Investment Project Type : Detailed project documentation Project ID : AH PPI2017 Project number : 12789/082017		 X = 20.00 m Y = 20.00 m Z = 15.00 m (input) Coord. Syst. : JTSK/Balt.	
Carried Out By : Drilling CZ Start Date : 9.10.2017 End Date : 10.10.2017 Equipment Type : UDEGA II Technology : core borehole	Borehole Diameter : 0 ... 2 m – 200 mm 2 ... 6 m – 150 mm 6 ... 8 m – 120 mm Casing Diameter : 0 ... 2 m – 240 mm 2 ... 8 m – 200 mm Drill Type : 6/8" Roller	Drilling Foreman : John Good Reported By : Bill Fine Evaluated By : Fredy Steel Supervised By : Owen Master	
Depth : 16,00 m Original GWT : 3,00 m Static GWT : 6,80 m		Scale : -	
			
Strana 1/1, ProGeo LTD.,		5.2.2018, 10:59	

Печать протокола

## Профили испытаний

В рамке «Профили испытаний» находится таблица со всеми профилями испытаний. В таблице указаны **имя испытания**, **координаты испытания** и **тип профиля** - рядом с таблицей вырисован выбранный профиль.

Профили испытаний формируются автоматически из **испытаний**. Каждому испытанию соответствует один профиль испытания. Невозможно вводить или редактировать имя профиля и координаты испытания - они всегда соответствуют соответствующему испытанию.

Следовательно, профиль испытания является **интерпретацией испытания** в виде

### геологического профиля.

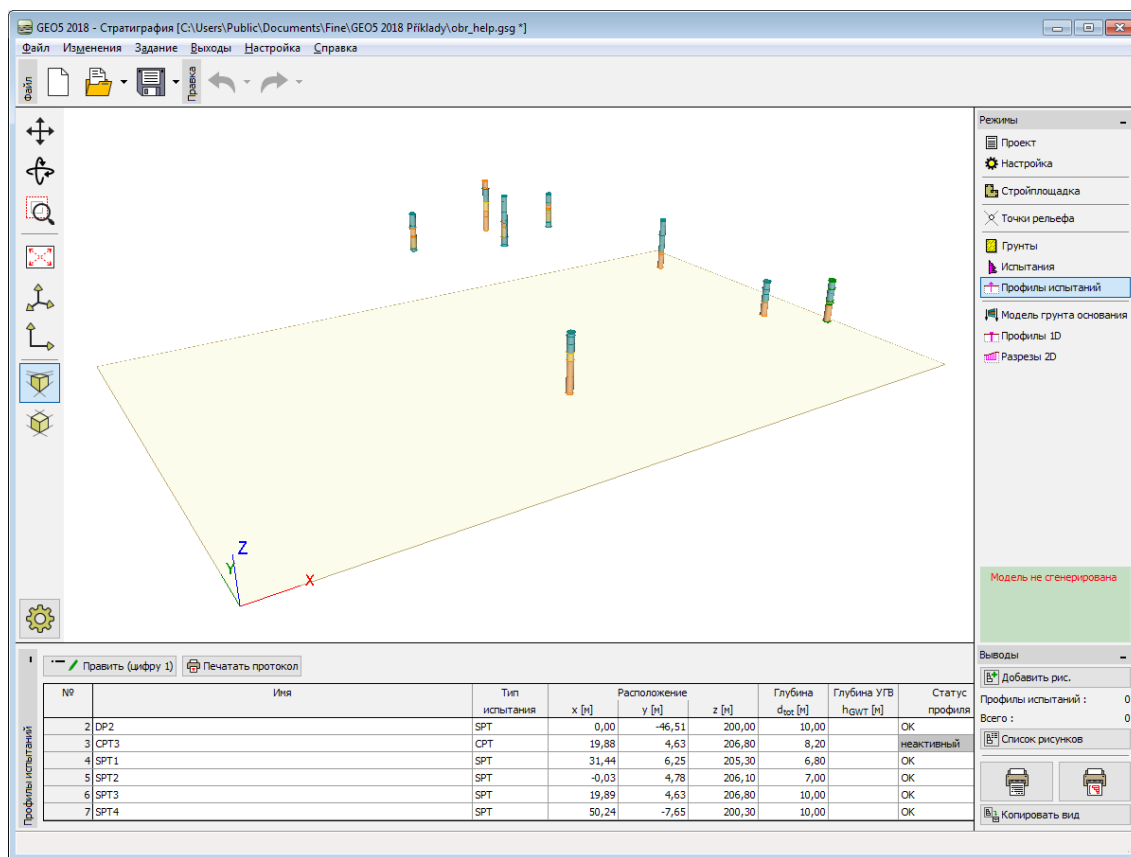
Из профилей испытаний формируются зонды, а из них создаётся **геологическая модель**. Каждый корректно заданный **профиль испытания автоматически создаёт зонд** - (если это не запретить, отключив кнопку «**Активный профиль для генерации геологической модели**»).

В случае **некорректного задания** профиля испытания он будет в таблице обозначен красным цветом с подписью «**Не определён**» и не будет создан зонд для генерации геологической модели.

Особый статус приобретает профиль испытания в случае, что он расположен **за пределами стройплощадки**. В таком случае профиль испытания не вырисовывает и не создают зонд.

### Создание профиля проходит по-разному в зависимости от типа испытания:

- Создание профиля из буровой скважины
- Создание профиля из испытания СРТ
- Создание профиля из испытания DPT, SPT, PMT, DMT



Рамка «Профили испытаний»

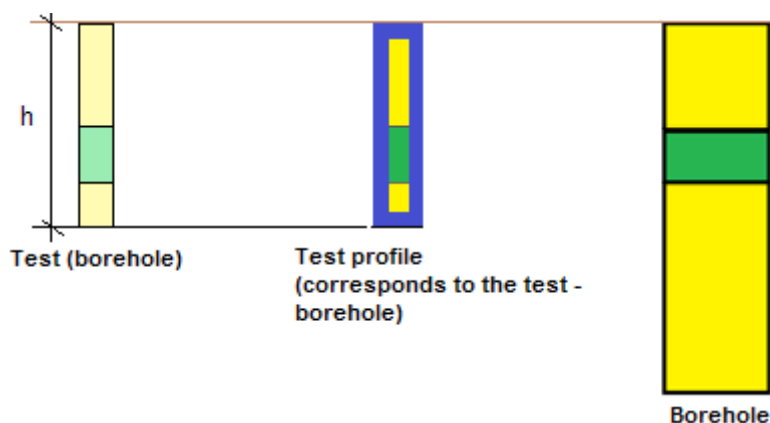
Изображение рисунка на рабочем столе можно редактировать в любом режиме ввода данных в диалоговом окне «**Настройка рисования**» и с помощью кнопок на панели инструментов «**Управление рисунком**».

Кнопка «**Отмена**» выполняет важную функцию программы: возврат в **исходное состояние до редактирования**.

## Взаимоотношение между профилем испытания и испытанием, зондом

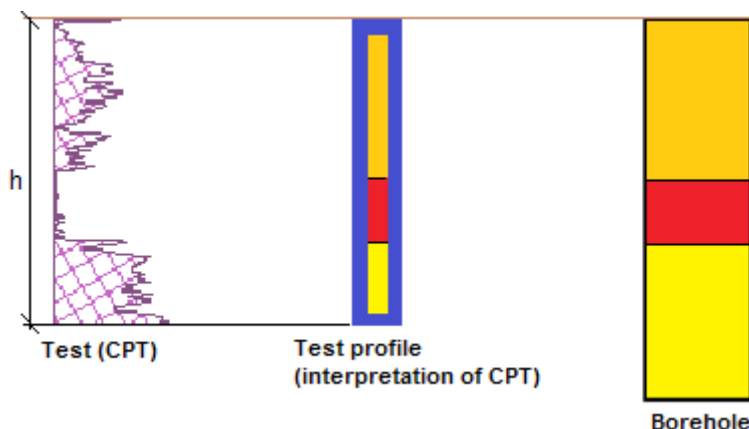
**Испытание создаёт профиль испытания, а из профиля испытания образуется зонд.** Ни для профиля испытания, ни для зонда нельзя менять заданные координаты - они соответствуют координатам испытания.

При испытании типа **Скважина**, программа создаёт автоматически профиль **испытания** и нет необходимости в каких-либо дальнейших правках.



*Взаимоотношение между профилем испытания и испытанием, зондом.*

При испытании **какого-либо другого типа** (другого чем скважина) необходимо **преобразовать это испытание в данные Профиля испытания** (толщи слоёв и присвоенный грунт).

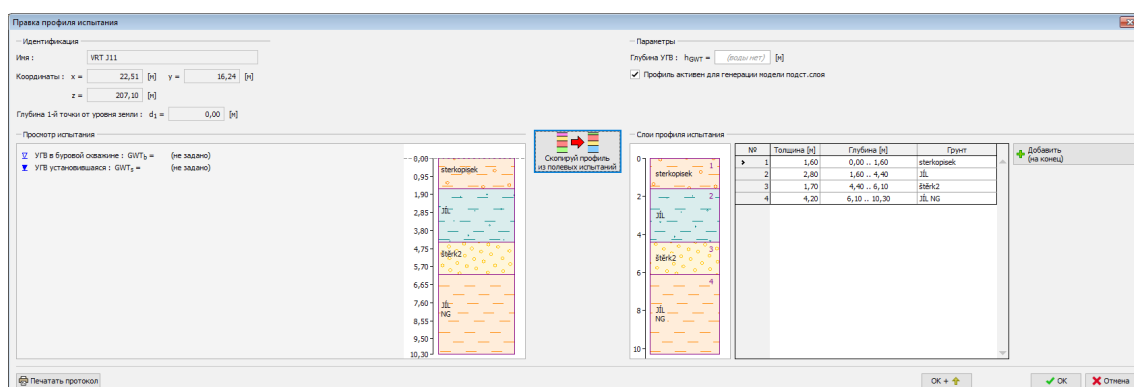


*Взаимоотношение между профилем испытания и испытанием, зондом.*

В случае изменения данных испытания -профиль испытания автоматически меняется тоже. С изменением профиля испытания произойдёт изменение зонда, следовательно, последует изменение всей геологической модели.

## Создание профиля испытания из скважины

Если профиль испытания создаём на основании **скважины**, то с помощью кнопки **«Скопируй профиль из полевых испытаний»** будут скопированы слои грунтов так, как были заданы в рамке **«Испытания»**.



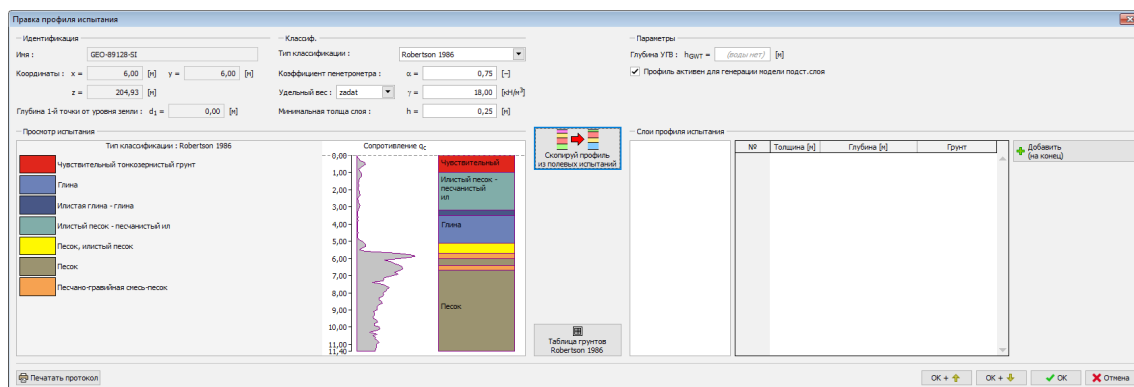
Диалоговое окно «Редактирование профиля испытания» - скважина

Исходное заданное испытание (**скважина**) показано в левой части диалогового окна. В правой части диалогового окна показан профиль испытания. Толщи слоёв и типы грунтов в таблице можно править произвольным способом.

## Создание профиля испытания из СРТ

При создании профиля испытания из **СРТ**, программа позволяет создать профиль **двумя основными способами** в соответствии с выбором **типа сортировки**:

- **«Robertson 2010», «Robertson 1986»** - **Создание профиля на основании классификации грунтов**
- **«Не сортировать»** - в этом случае задаём профиль таким же способом как и у других полевых испытаний-см. **создание профиля из DPT, SPT, PMT**

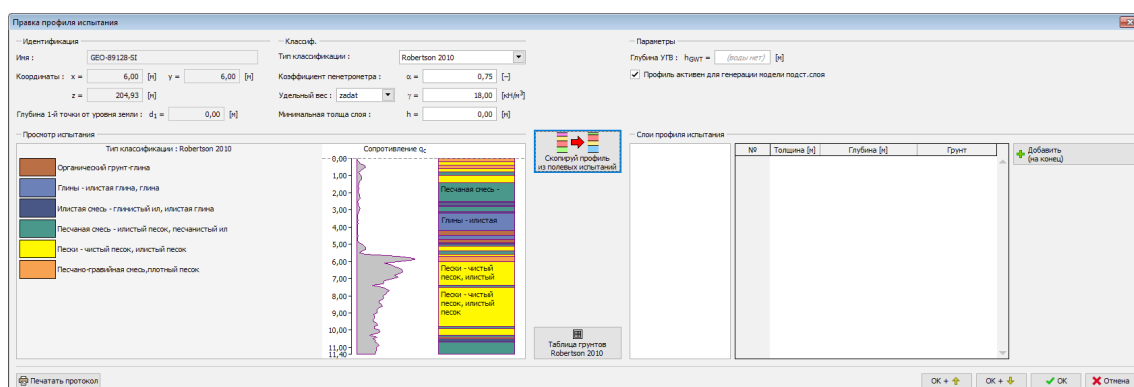


Диалоговое окно «Правка профиля испытания» по результатам СРТ

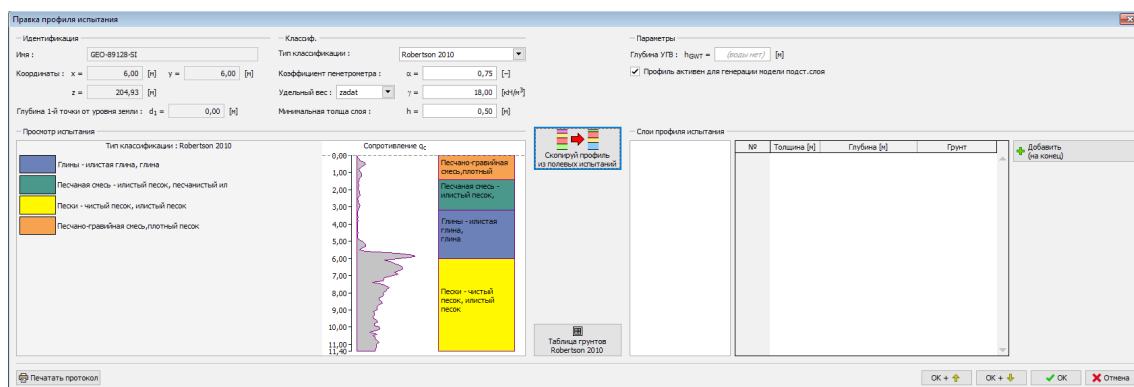
## Создание профиля испытания на основании классификации грунтов

В части **«Классификация»** задаём тип **классификации** (Robertson 2010, Robertson 1986) и остальные параметры - **коэффициент пенетromетра**  $\alpha$ , способ определения удельного веса  $\gamma$ .

Обычно программа выдаст большое количество тонких слоёв.



Диалоговое окно «Правка профиля испытания» - не задана минимальная толщина слоя  
Поэтому целесообразно использовать фильтр и задать минимальную толщину слоя  $h$ .



Диалоговое окно «Правка профиля испытания» - задана минимальная толщина слоя

Кнопка «**Таблица грунтов**» в нижней части открывает диалоговое окно «**Таблица привязки грунтов**». В этом окне можно присоединить к характеристикам грунта по Робертсону соответствующие грунты, заданные в программе. В случае, что грунт не был предварительно задан в рамку «**Грунты**», грунт дополнительно задаём кнопкой «**Добавить грунт**». К характеристикам грунтов, которых не оказалось в результатах испытания, не нужно привязывать грунты.

Таблица грунтов (Robertson 2010)

Характеристика грунта		Přirazená zemina	
Чувствительный тонкозернистый грунт		(нет привязки) ▼	Добавить грунт
Органический грунт-глина		(нет привязки) ▼	Добавить грунт
Глины - илстая глина, глина		(нет привязки) ▼	Добавить грунт
Илистая смесь - глинистый ил, илстая глина		(нет привязки) ▼	Добавить грунт
Песчаная смесь - илистый песок, песчаный ил		(нет привязки) ▼	Добавить грунт
Пески - чистый песок, илистый песок		(нет привязки) ▼	Добавить грунт
Песчано-гравийная смесь, плотный песок		(нет привязки) ▼	Добавить грунт
Очень плотный песок, глинистый песок		(нет привязки) ▼	Добавить грунт
Очень твёрдый тонкозернистый грунт		(нет привязки) ▼	Добавить грунт

OK Отмена

### Диалоговое окно «Таблица грунтов»

С помощью кнопки **«Скопируй профиль из полевых испытаний»** можно получить профиль испытания, который создан из заданных грунтов в слоях соответствующих результатам **испытания СРТ**.

Правка профиля испытания

Имя: GEO-09128-61

Координаты: x = 6,00 [m] y = 6,00 [m] z = 204,93 [m]

Глубина 1-й точки от уровня земли: d<sub>1</sub> = 0,00 [m]

Классиф. Тип классификации: Robertson 2010

Коэффициент пенетротметра: α = 0,75 [-]

Удельный вес: задат γ = 18,00 [kN/m³]

Максимальная толщина слоя: h = 0,50 [m]

Параметры: Глубина УТВ: Рдт = [Введите значение] [m]

☒ Профиль активен для генерации модели пласт. слоя

Профиль испытания

Тип классификации: Robertson 2010

Сопоставление ос:

Слой профиля испытания

№	Толщина [m]	Глубина [m]	Грунт
1	1,40	0,00 ... 1,40	стеркорсек
2	1,80	1,40 ... 3,20	Р18СХ
3	2,80	3,20 ... 6,00	ПБ
4	5,40	6,00 ... 11,40	Р18СХ2

Добавить (на конец)  
Вставить (перед 4)  
Редактировать (№ 4)  
Удалить (№ 4)  
Разделить (№ 4)

Печать протокол

OK + OK + OK + OK +

### Диалоговое окно «Правка профиля испытания» - СРТ

Созданный профиль можно редактировать с помощью кнопок в правой части диалогового окна.

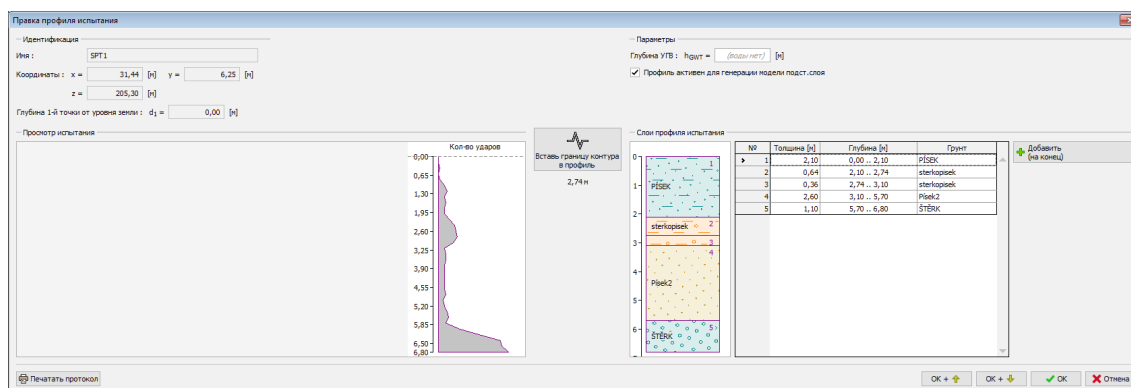
## Создание профиля испытания из DPT, SPT, PMT

Если профиль испытания создаём на основании испытания **DPT**, **SPT**, **PMT**, то приходится его создать вручную.

В левой части диалогового окна показаны замеренные данные (в данном случае

испытания **SPT** - количество ударов на глубине). Если сюда кликнуть левой кнопкой мыши, то программа создаёт границы контуров, которые будут изображены в правой части диалогового окна.

Используя кнопку **«Вставь границу контура в профиль»**, можно ввести глубину границ контура  $d$  непосредственно в диалоговом окне **«Добавление границ контура»**. После добавления всех границ необходимо в **таблицу** в правой части диалогового окна ввести соответствующий грунт, который был задан в рамке **«Грунты»**, а в случае, что грунт не был предварительно задан в рамку, то это можно дополнительно сделать с помощью кнопки **«Добавить грунт»**. На этом ручное создание профиля заканчивается и профиль может быть использован для генерирования геологической модели.

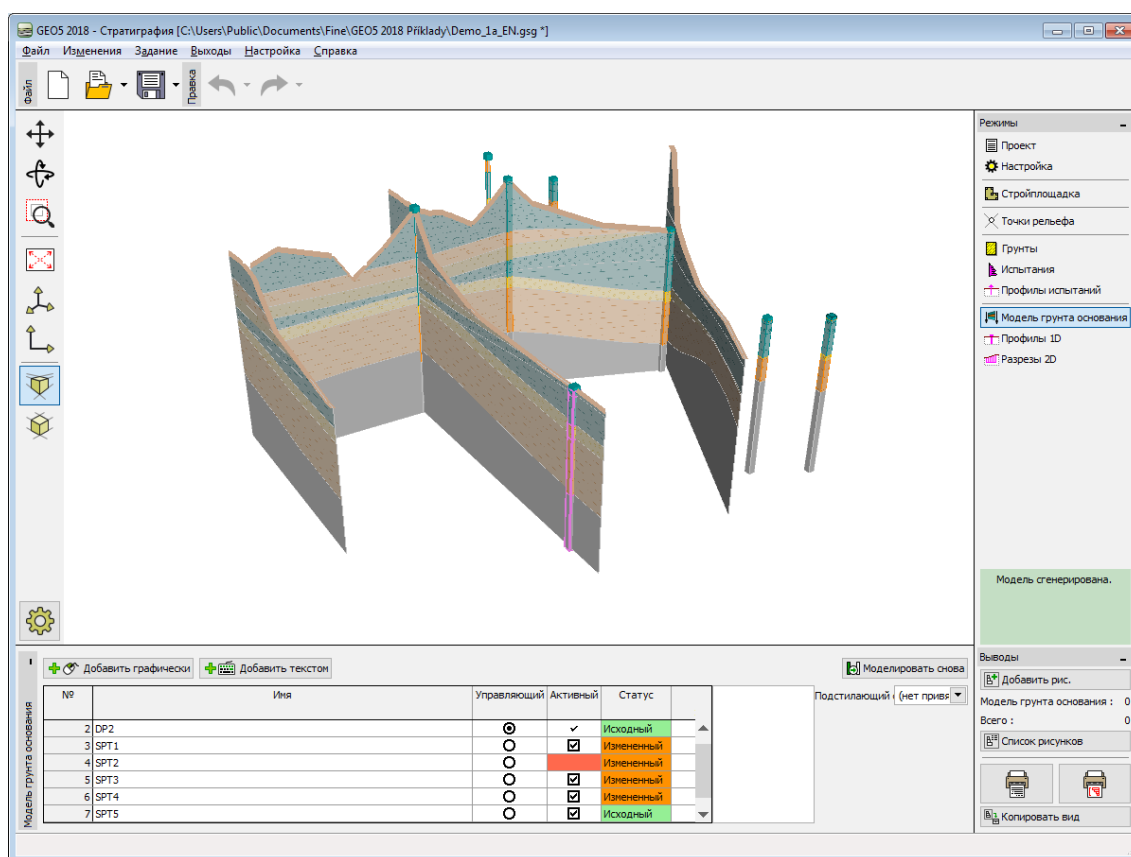


Диалоговое окно «Правка профиля испытания» - создание профиля испытания SPT вручную

## Геологическая модель

**Генерирование** геологической модели (модели грунта) происходит **из зондов**, отображённых в рамке в таблице. **Зонды** являются **единственными входными данными** для **генерирования геологической модели**.





Рамка «Геологическая модель»

**Зонды образуются** двумя способами (способ создания предопределяет **тип зонда**):

- **Первоначальный зонд** или **Модифицированный зонд** образуются автоматически из **Профилей испытаний**
- **Новый зонд** образуется с помощью кнопок «**Добавить графически**» или «**Добавить текстом**».

Один из зондов всегда определён как **управляющий зонд**. Генерация геологической модели происходит из этого зонда и **совместимых** с ним зондов. Цель моделирования - **включить в модель все зонды**, чтобы созданная модель соответствовала всем входным данным.

Следовательно, в процессе моделирования **редактируем зонды**, меняя несовместимые зонды в совместимые и таким образом их вводим в геологическую модель.

В этой рамке можно также задавать **грунт** последнего, т.е. **подстилающего слоя** геологической модели.

Созданная модель может быть удалена в любой момент кнопкой «**Отменить модель**». После этого будут **удалены все вновь созданные зонды**, а у зондов, созданных из **Профилей испытаний** будут восстановлены их исходные значения. Таким же порядком можно удалять зонды - новые зонды убираем, а зонды, образованные из профилей испытаний всегда восстанавливаются из соответствующего профиля.

В случае, что созданный зонд мы в модели не собираемся учитывать, то в таблице зонда вычеркиваем кнопку «**Активный**».

Новым пользователям рекомендуем прежде всего приступить к изучению отдельных **примеров моделирования**.

Изображение рисунка на рабочем столе можно редактировать в любом режиме ввода данных в диалоговом окне «**Настройка рисования**» и с помощью кнопок на панели инструментов «**Управление рисунком**».

Кнопка «**Отмена**» выполнять важную функцию программы: возврат в **исходное состояние** до **редактирования**.

## Создание геологической модели - примеры порядка действия

Программа «**Стратиграфия**» позволяет создать 3D геологическую модель простым логическим образом шаг за шагом в т.ч. даже в самых сложных случаях.

Программа не принимает никаких решений автоматически, все решения о том, какой вид примет модель должен принимать пользователь. Поняв основные принципы работы программы, пользователю предстоит несложная и приятная работа.

В последующих примерах показаны **основные процедуры** для **создания и редактирования геологической модели**.

- Порядок действий при создании геологической модели
- Создание модели рельефа (ДМТ)
- Модель с горизонтальными слоями грунта
- Модель со слоями копирующими рельеф
- Construction Site Edges - Active Edge
- Редактирование слоёв в модели
- Создание линзы грунта в модели
- Создание новых слоёв
- Создание тектонического сброса в модели

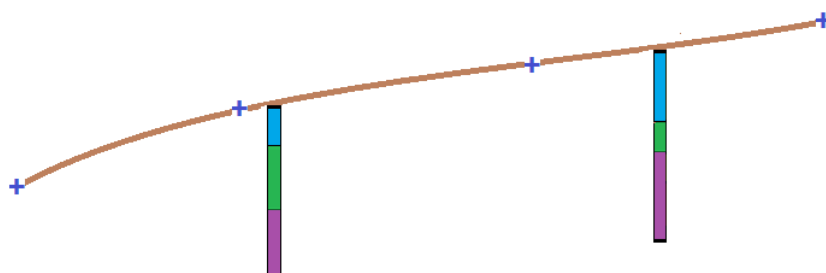
Кнопка «**Отмена**» выполняет важную функцию программы: позволяет в любой момент возврат в **исходное состояние до редактирования**.

## Процедура создания геологической модели.

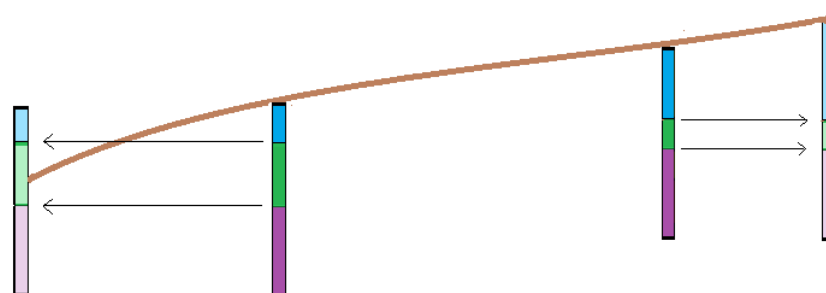
Следующий пример

Чтобы понять как возникает геологическая (модель грунта) нужно знать собственно **процедуру генерирования модели**.

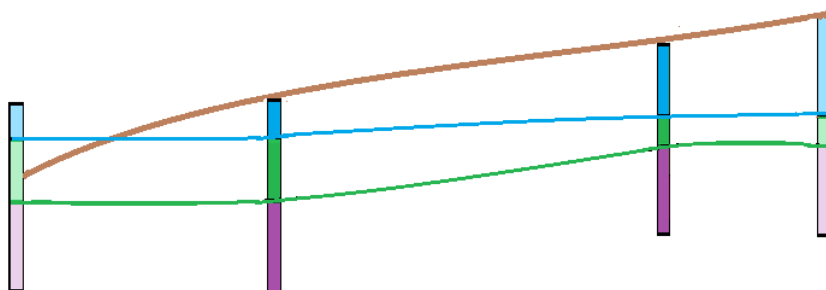
1. Сперва программа создаёт цифровую модель поверхности рельефа. Модель возникает автоматически по заданным **точкам рельефа** и **испытаниям**, у которых **задана координата z**. После этого в модель размещаются зонды.



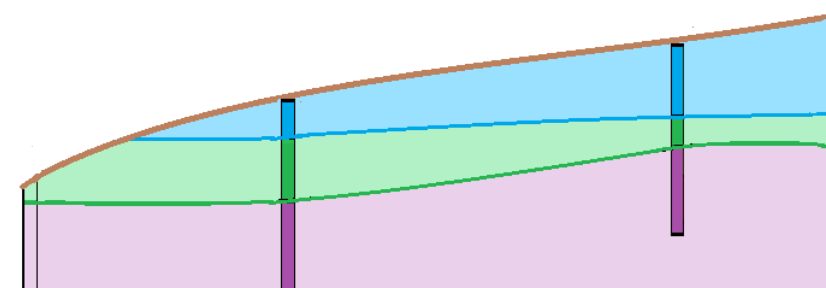
2. Во всех крайних точках «**Стройплощадки**» программа автоматически генерирует **вспомогательные зонды**, соответствующие ближайшему **активному зонду**. Также в крайние точки стройплощадки проецируются **все зонды**, расположенные в **активном краю (кромке)**.



3. Из активнх зондов и вспомогательных зондов (в точках и на краях «**Стройплощадки**») генерируются **модели отдельных слоёв** геологической модели и уровни грунтовой воды.



4. Далее, последует **контроль слоёв**, которые **не должны перекрещиваться** с рельефом (или другими слоями). Слой над рельефом программа **обрезает** так, чтобы копировать рельеф.



Следующий пример

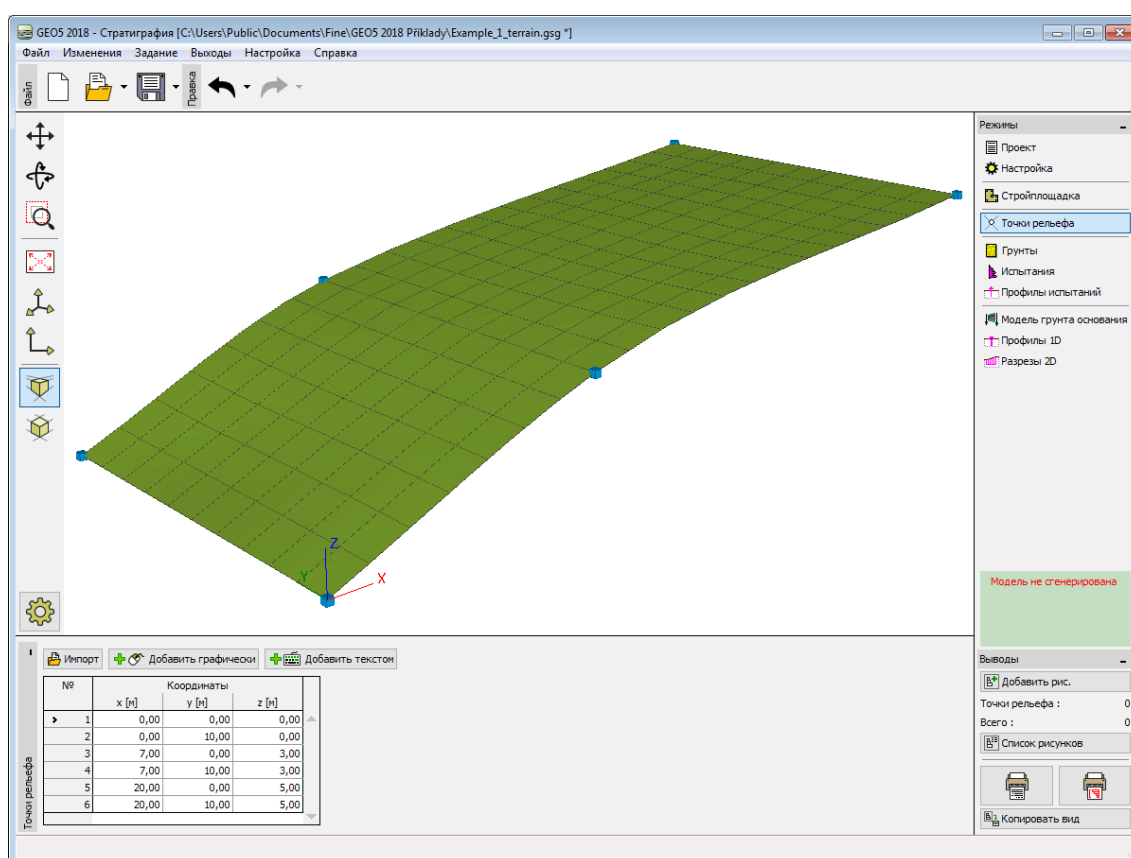
## Создание модели рельефа (DMT)

Предыдущий пример Следующий пример

**Создание модели рельефа** - первый шаг в большинстве задач. Модель строится в размерах Стройплощадки из **заданных точек рельефа**.

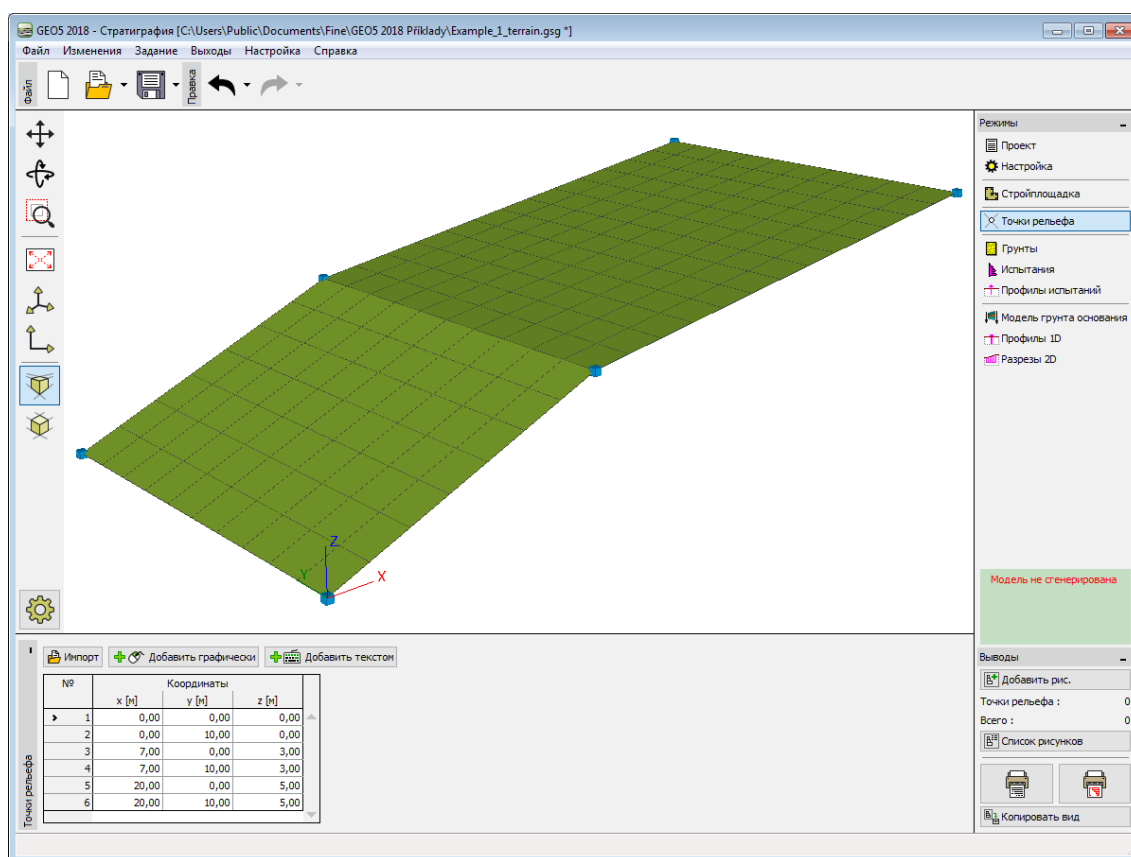
Точки рельефа задаём или импортируем. Генерирование рельефа происходит автоматически после каждого изменения заданных точек. На форму рельефа могут также подействовать **Испытания**, у которых **задана координата z** - эти точки испытаний также участвуют в генерировании рельефа. При моделировании склонов (откосов) и пересечённой местности важно задавать **активные края (кромки) модели**.

В данном примере модель склона создана из шести точек  $[x; y; z]$  is shown:  $[0; 0; 0]$ ,  $[0; 10; 0]$ ,  $[7; 0; 3]$ ,  $[7; 10; 3]$ ,  $[20; 0; 5]$ ,  $[20; 10; 5]$ .



*Рельеф со средним сглаживанием*

На форму модели может в значительной степени повлиять способ **сглаживания поверхностей** между треугольниками. Сглаживание задаём в рамке «**Настройка**». Данный пример получен для «**среднего**» **сглаживания**. При настройке сглаживания «**нет**» получаем модель следующего вида:



Рельеф без сглаживания

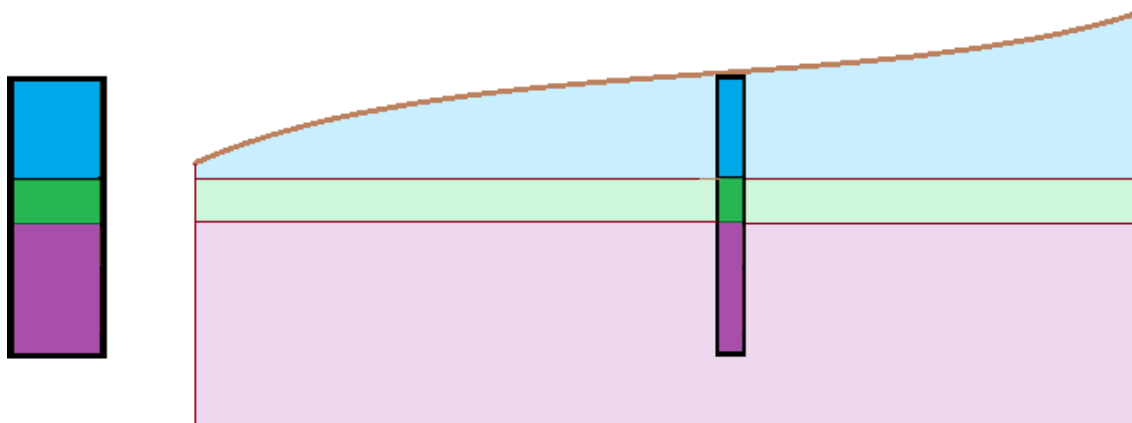
При большей степени сглаживания получаем **более реальные модели**, но в случае количества слоёв побольше **генерация идёт медленно**. Иногда целесообразно создавать более крупные модели без сглаживания и только при печати выходной документации и построении разрезов **включить сглаживание модели**.

[Предыдущий пример](#) [Следующий пример](#)

## Геологическая модель с горизонтальными слоями

[Предыдущий пример](#) [Следующий пример](#)

В сгенерированную **модель рельефа** создаём модель грунта с **горизонтальными слоями**, см. рисунок.



Сперва в рамку «Испытания» задаём испытание типа «СКВАЖИНА» - имя **Скважина1**, координаты  $[x; y; z]$  -  $[5, 5, \text{на рельеф}]$ , толщина слоёв  $[2; 1; 3]$ . **Грунты** [синий, зелёный, бурый] можно задать прямо в окне «**задать слои скважины**» или в рамке «Грунты».

Создать испытание (скважина бур.)

Параметры испытания

Имя испытания: СКВАЖИНА 1

Координаты:  $x = 5,00$  [м]  $y = 5,00$  [м]  $z = 2,24$  [м]

Высота: автоматически на поверхность рельефа

Глубина 1-й точки от уровня земли:  $d_1 = 0,00$  [м]

☒ Испытание создаёт профиль

Параметры бур. скважины

Общая глубина:  $d_{\text{tot}} = 6,00$  [м] Кол-во проб: 0

УГВ в буровой скважине:  $\text{GWT}_b = (\text{не задано})$  [м] УГВ установившаяся:  $\text{GWT}_s = (\text{не задано})$  [м] Пробы

Слои скважины

№ слоя	Толщина $t$ [м]	Глубина $d$ [м]	Грунт
1	2,00	0,00 .. 2,00	синий
2	1,00	2,00 .. 3,00	зелёный
3	3,00	3,00 .. 6,00	бурый

+ Добавить (на конец)

Печать протокол Импорт + Добавить + Закрой + Добавить ✗ Отмена

Параметры для протокола

Грунт

Глубина [м]

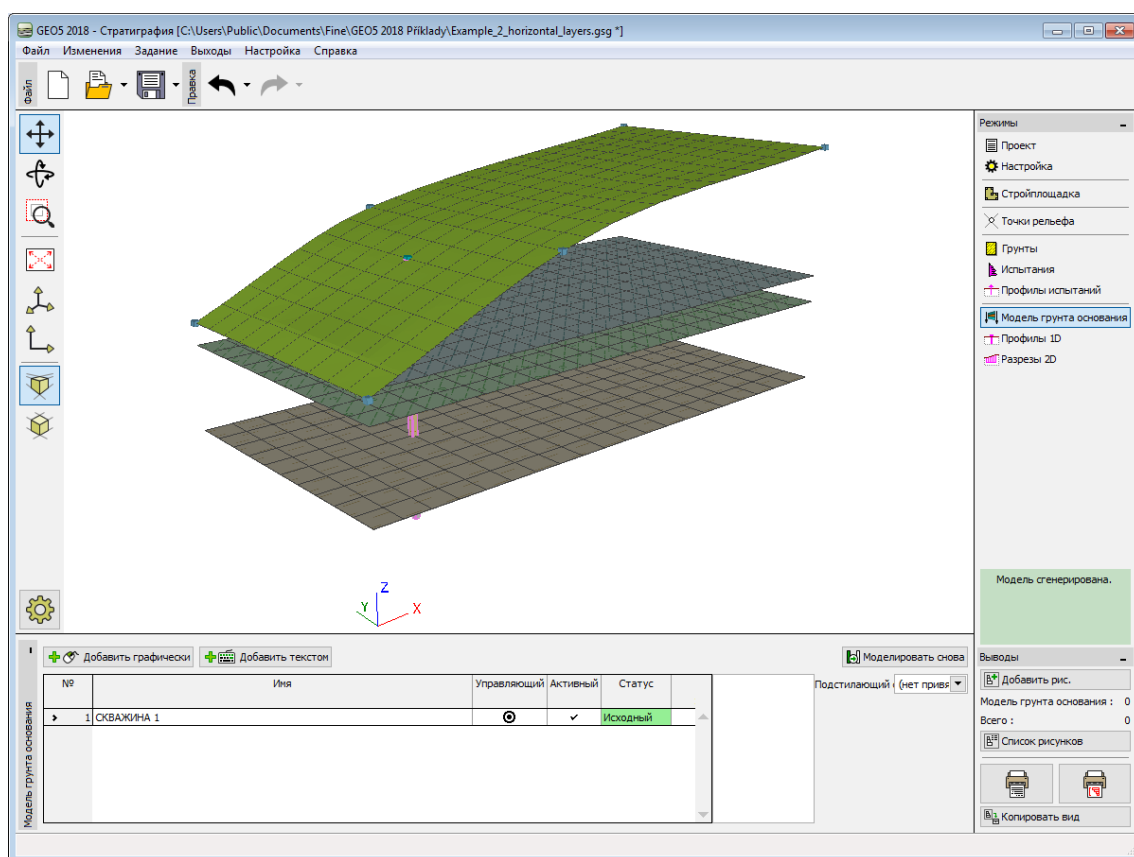
0,0  
0,3  
0,6  
0,9  
1,2  
1,5  
1,8  
2,1  
2,4  
2,7  
3,0  
3,3  
3,6  
3,9  
4,2  
4,5  
4,8  
5,1  
5,4  
5,7  
6,0

1  
2  
3

синий  
зелёный  
бурый

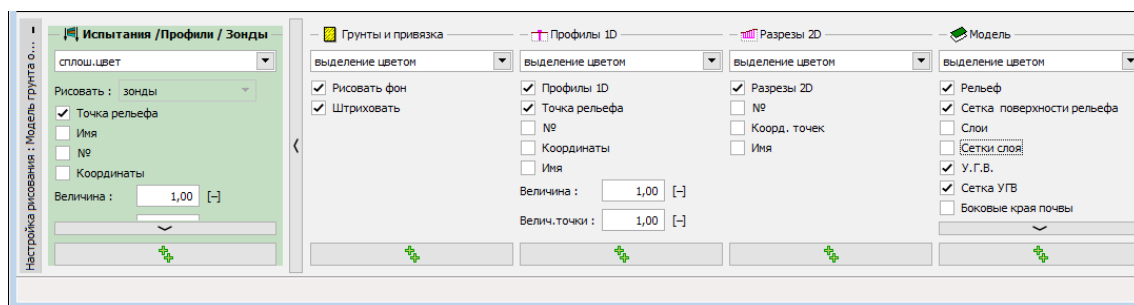
### Задание скважины

Профиль испытания и зонд будут в испытании типа «СКВАЖИНА» созданы автоматически. После переключения в рамку «Геологическая модель» необходимая модель будет сгенерирована. (Если в рамке **Настройка** не был выбран пункт «Генерировать модель автоматически», то для сгенерирования геологической модели необходимо нажать кнопку «Генерируй»).



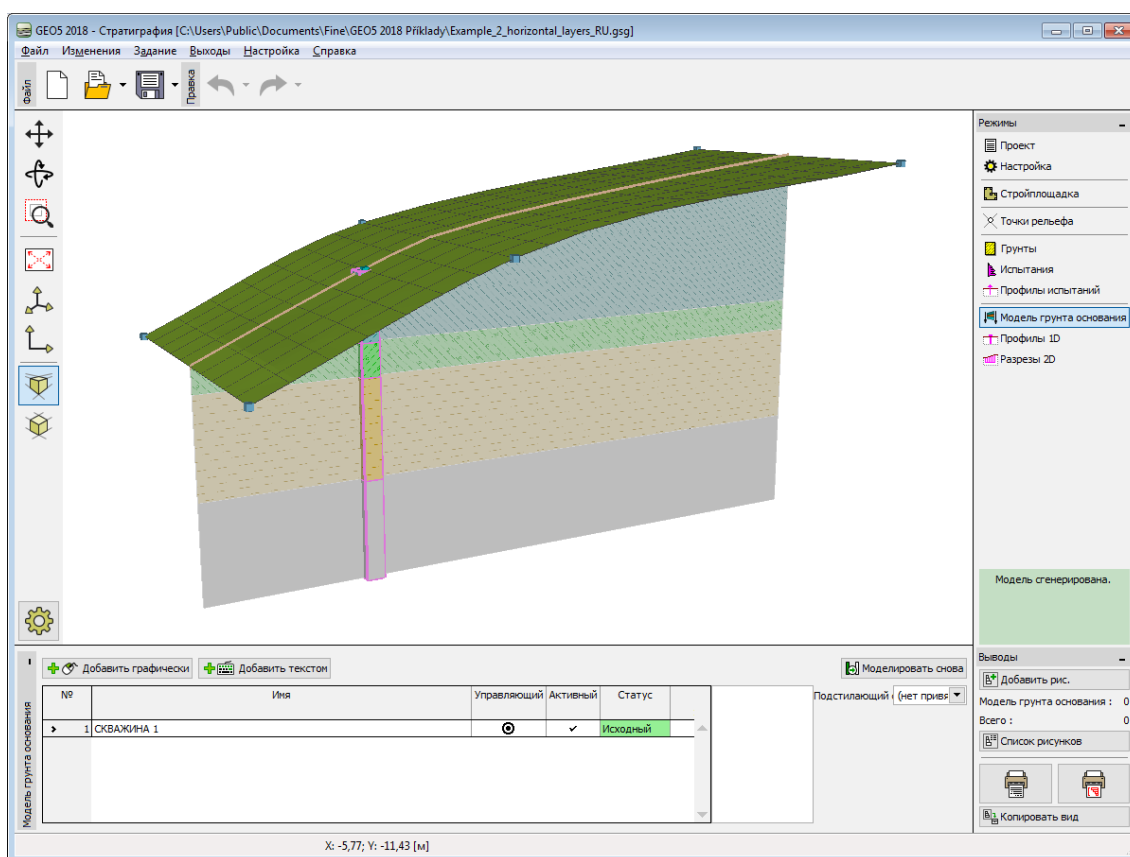
Сгенерированная модель

Для наглядности задаём в рамку **Разрезы 2D** разрез - точки  $[x; y]$  -  $[0; 5]$ ,  $[20; 5]$  и отредактируем настройку рисунка.



Рамка «Геологическая модель» - настройка рисунка





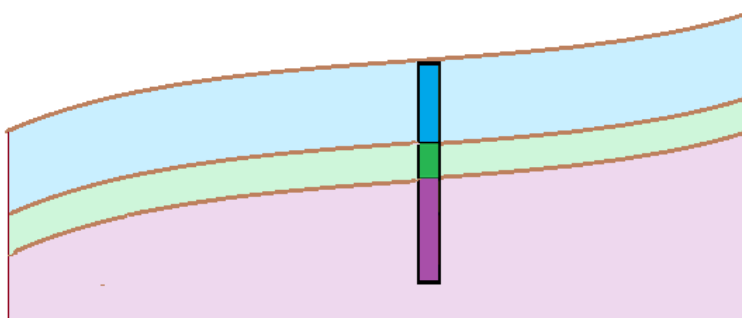
Визуализация модели с помощью разреза

Предыдущий пример Следующий пример

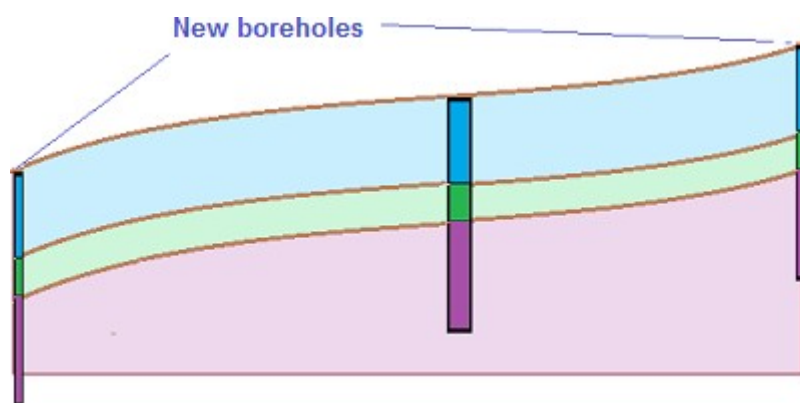
## Геологическая модель - слои копируют рельеф

Предыдущий пример Следующий пример

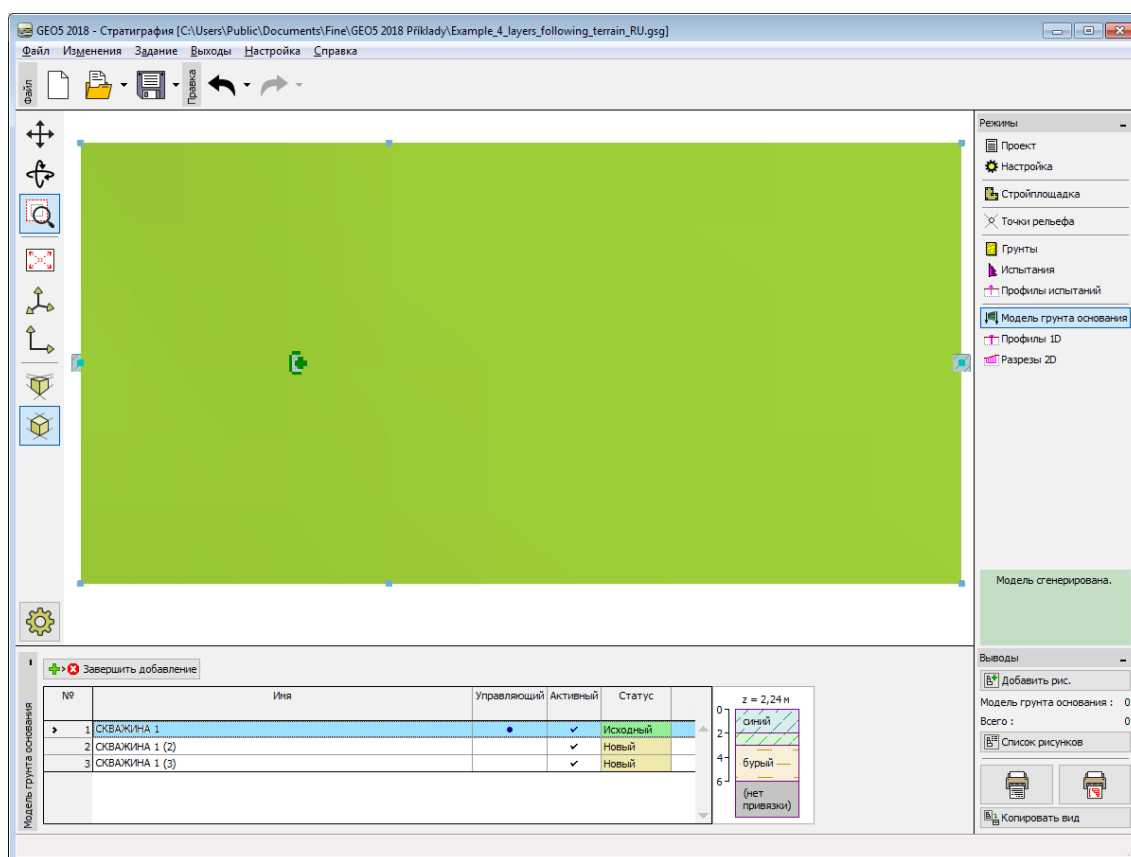
Создадим модель грунта так, чтобы слои грунта копировали форму рельефа.



Отправляемся от предыдущего примера. Принцип редактирования очевиден на рисунке - необходимо **задать новые зонды** на краях (контурах) стройплощадки.



В рамке «**Геологическая модель**» выбираем зонд «**Скважина 1**» и задаём новые зонды в точках  $[0,5]$ ,  $[20,5]$ . (Кнопки «**Добавить графически**» или «**Добавить текстом**»).



### Графический ввод нового зонда

В диалоговом окне «**Новый зонд**» видим, что **скопирован зонд «Скважина1»**. Новый зонд помещаем в координатах  $[0,5]$ ,  $[20,5]$ .



Новые зонды

Имя : СКВАЖИНА 1 (2)

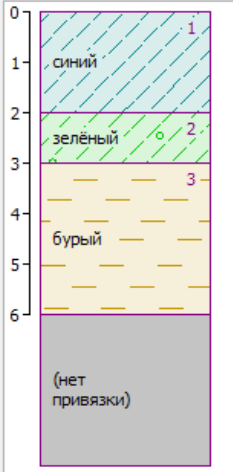
Координаты : x = 0,00 [м] y = 5,00 [м]  
z = 0,00 [м]




Глубина УГВ : h<sub>гвт</sub> = (воды нет) [м] ☒ Зонд - активный Зонд взаимосовместимый

— Слои зонда

Слои взяты из зонда № 1 "СКВАЖИНА 1"  Изменить режим  Добавить (на конец)

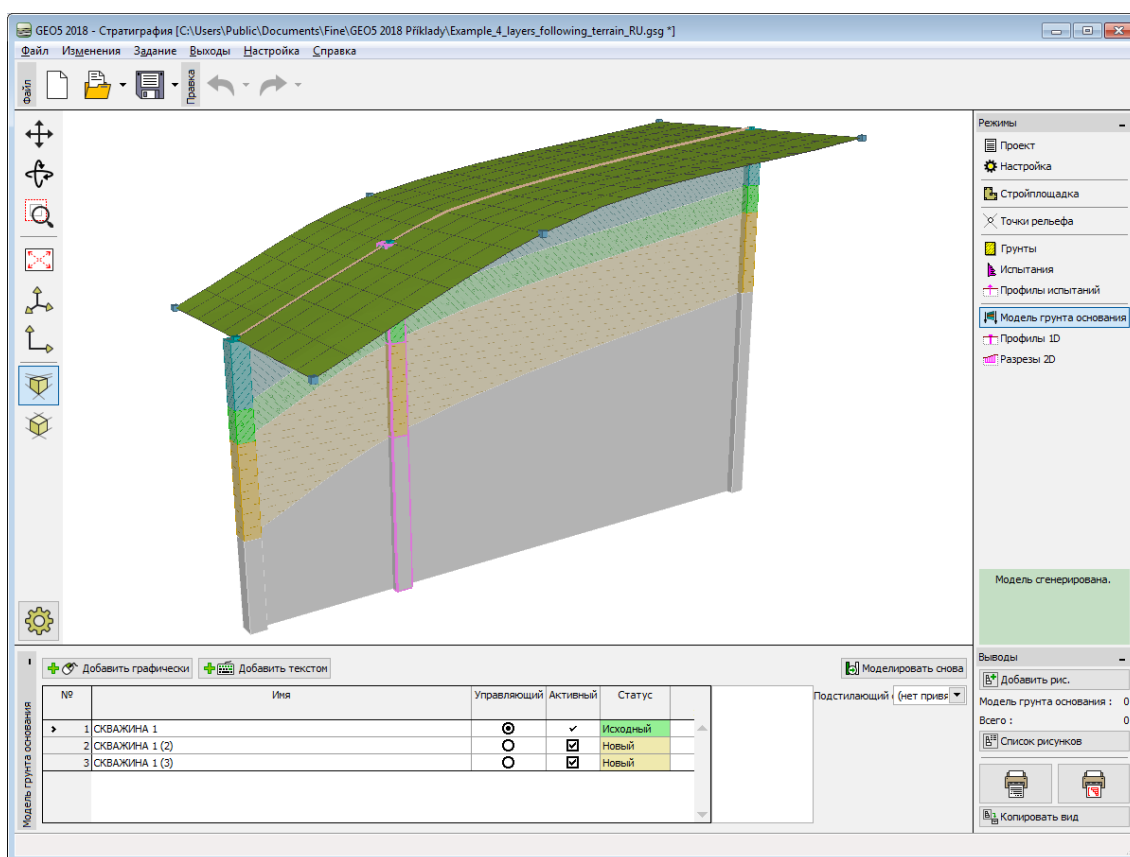
№	Толщина [м]	Глубина [м]	Грунт
1	2,00	0,00 .. 2,00	синий
2	1,00	2,00 .. 3,00	зелёный
3	3,00	3,00 .. 6,00	бурый



 Добавить + Закрой  Добавить  Отмена

*Диалоговое окно для ввода нового зонда*

В результате создана модель.



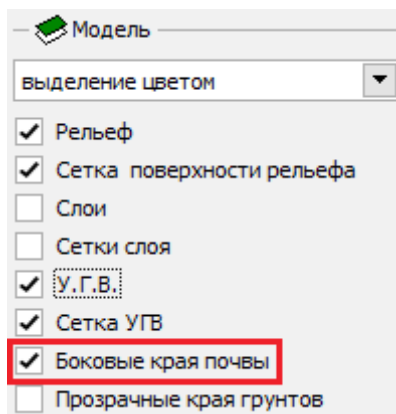
Итоговая модель

Предыдущий пример Следующий пример

## Рёбра стройплощадки - активная зона

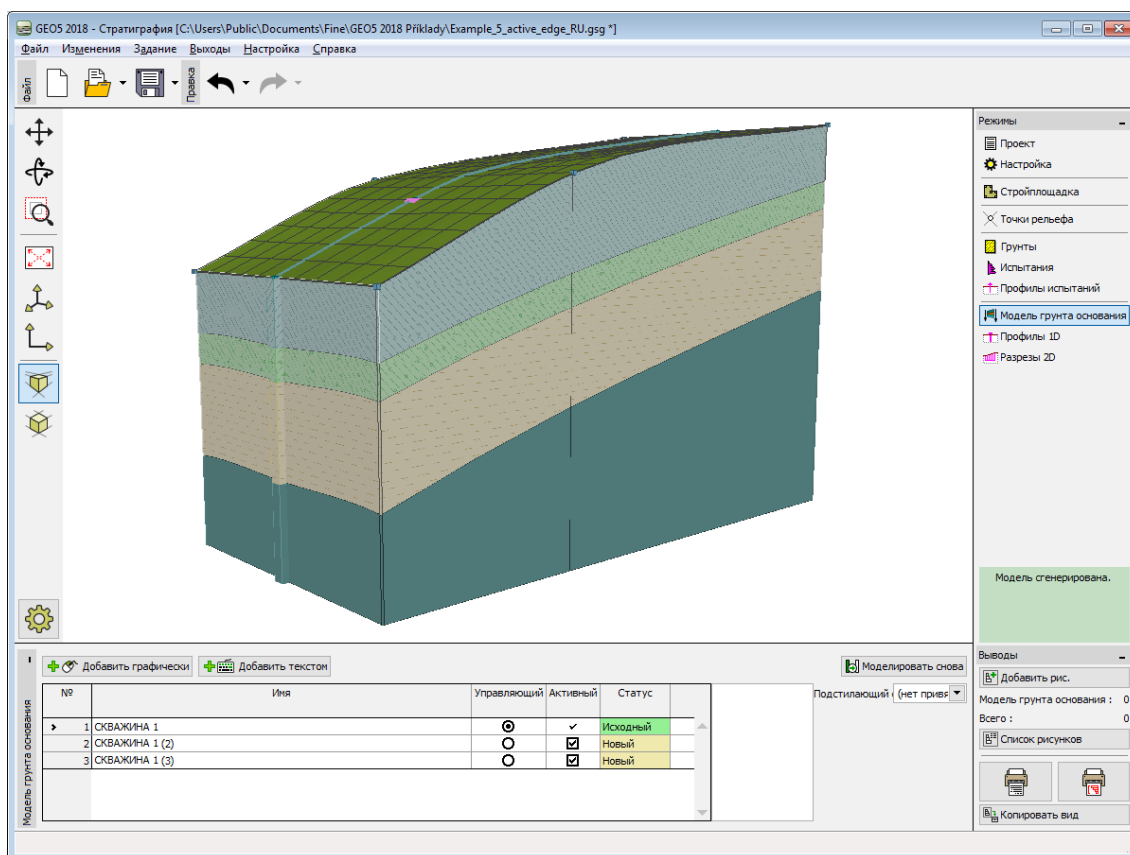
Предыдущий пример Следующий пример

Переключаем вырисовку модели задачи предыдущего примера в визуализацию **боковых краев модели**.



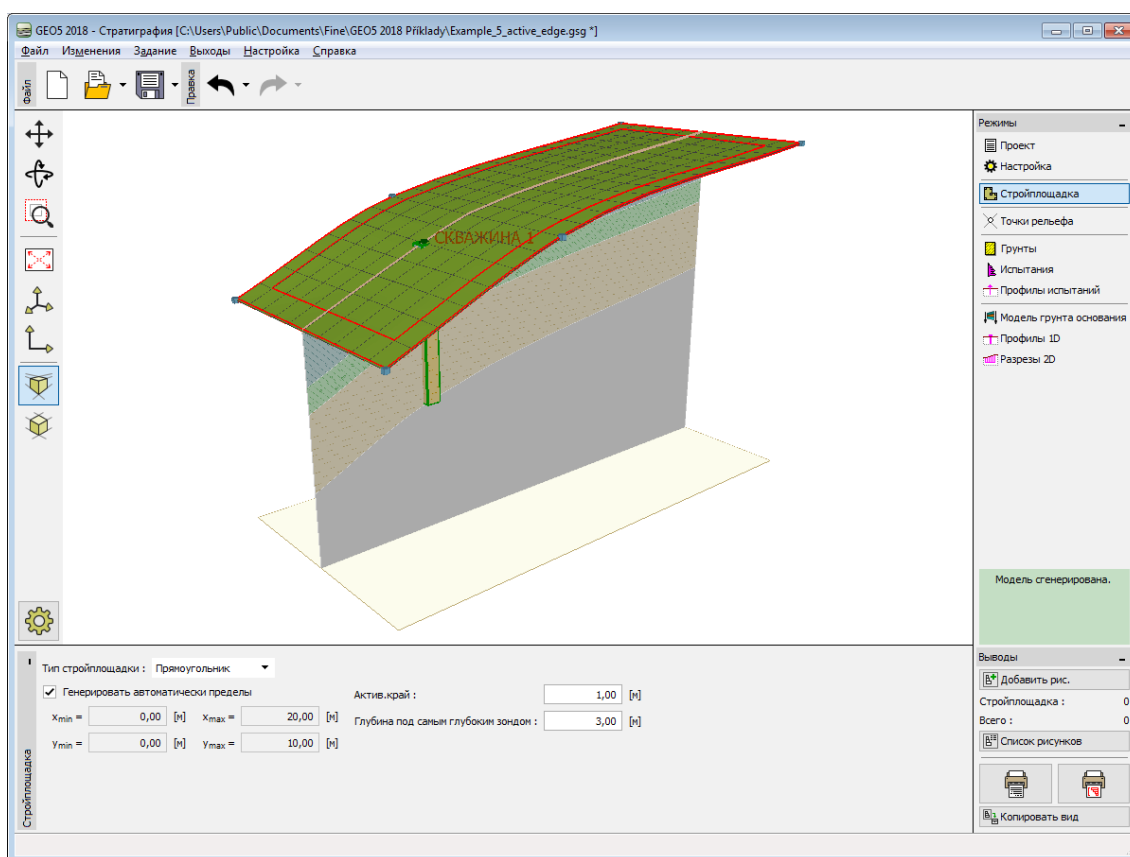
Настройка рисования модели

Края (рёбра) модели образованы только вспомогательными зондами в углах модели - слои на краях модели следовательно почти прямые.



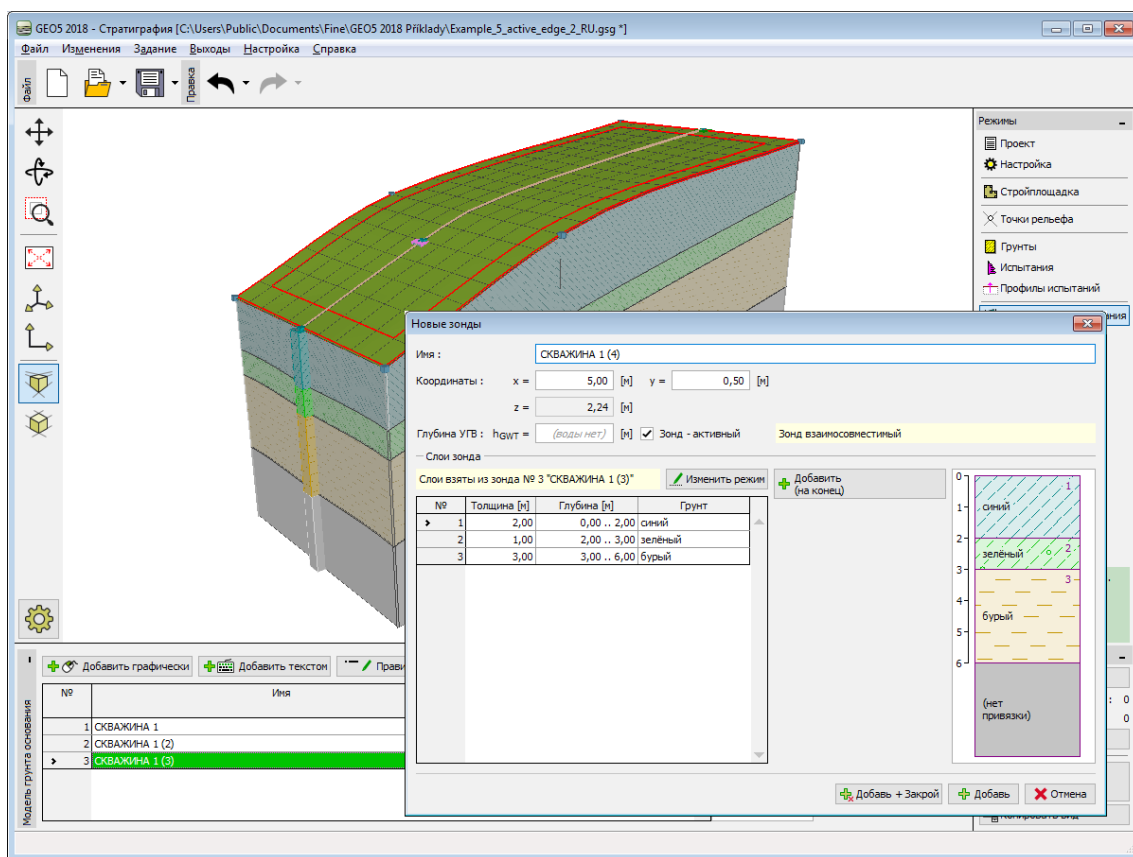
*Геологическая модель с прямыми слоями по краям*

Переключаем в рамку Стройплощадка и задаём **активный край 1м**. Активная зона показана красным цветом.



*Изображение активной зоны в рамке «Стройплощадка»*

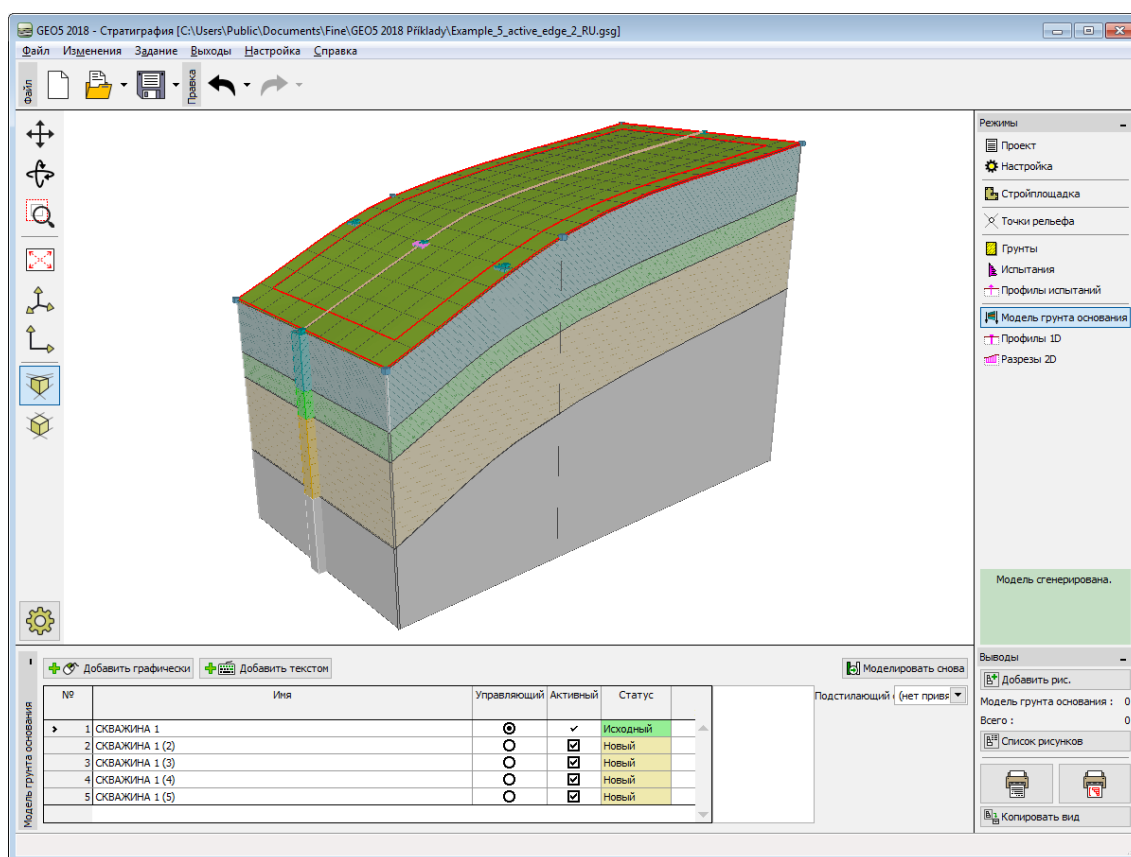
Зонд «**Скважина1**» не расположен в активной зоне, следовательно модель остаётся без изменений. Возвращаемся в рамку геологической модели - выбираем в таблице зонд «**Скважина1**» и кнопкой «**Добавить текстом**» добавляем два новых зонда «**Скважина1(4)**» [5;0.5] и «**Скважина1(5)**» [5;9.5].



### Ввод новых зондов в активную зону

Оба зонда расположены в активной зоне-в процессе генерирования модели образуется на ребре модели вспомогательный зонд с теми же слоями. Жёлтая линия на поверхности рельефа показывает способ **образования вспомогательных зондов**.





Итоговая модель

Модель на краях сильно изменилась и стала одинаковой как сечение в центре.

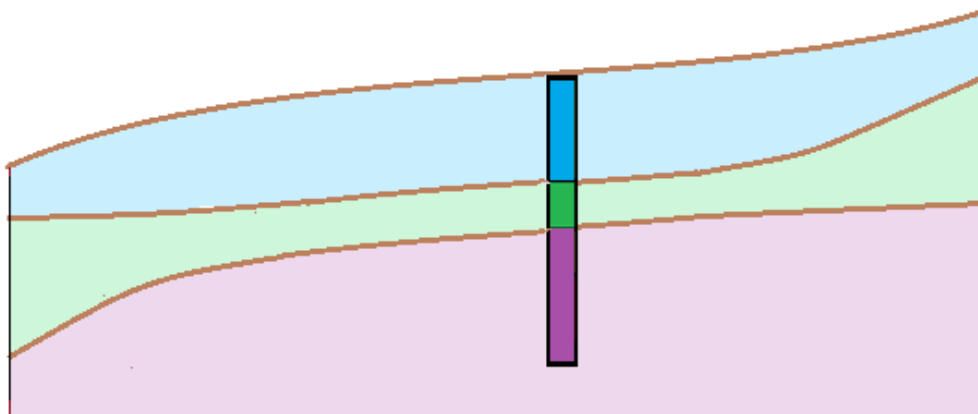
В реальных конструкциях целесообразно задавать активную зону края так, чтобы ближайшие от **края стройплощадки** точки и зонды были расположены в активной зоне.

[Предыдущий пример](#) [Следующий пример](#)

## Правка слоёв модели

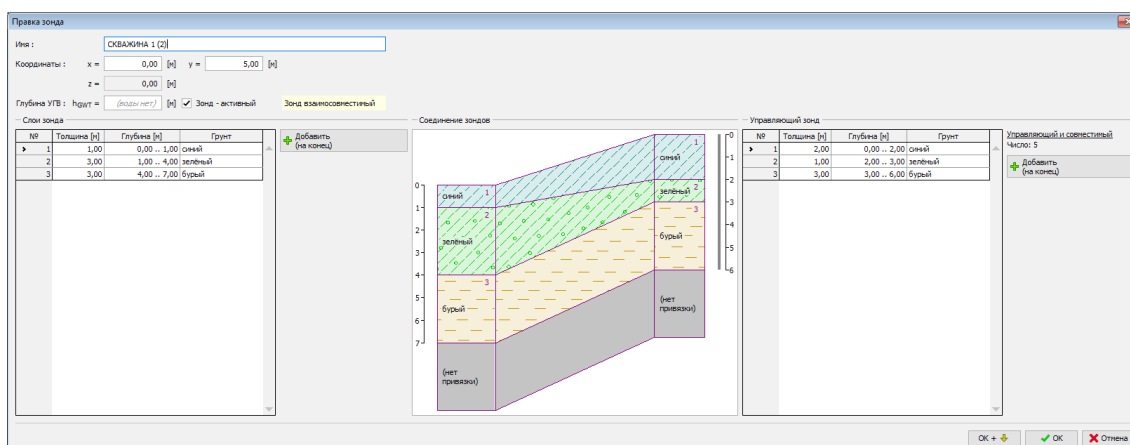
[Предыдущий пример](#) [Следующий пример](#)

Ныне на созданной модели отредактируем зелёный слой таким образом, чтобы на обоих своих концах он стал шире.



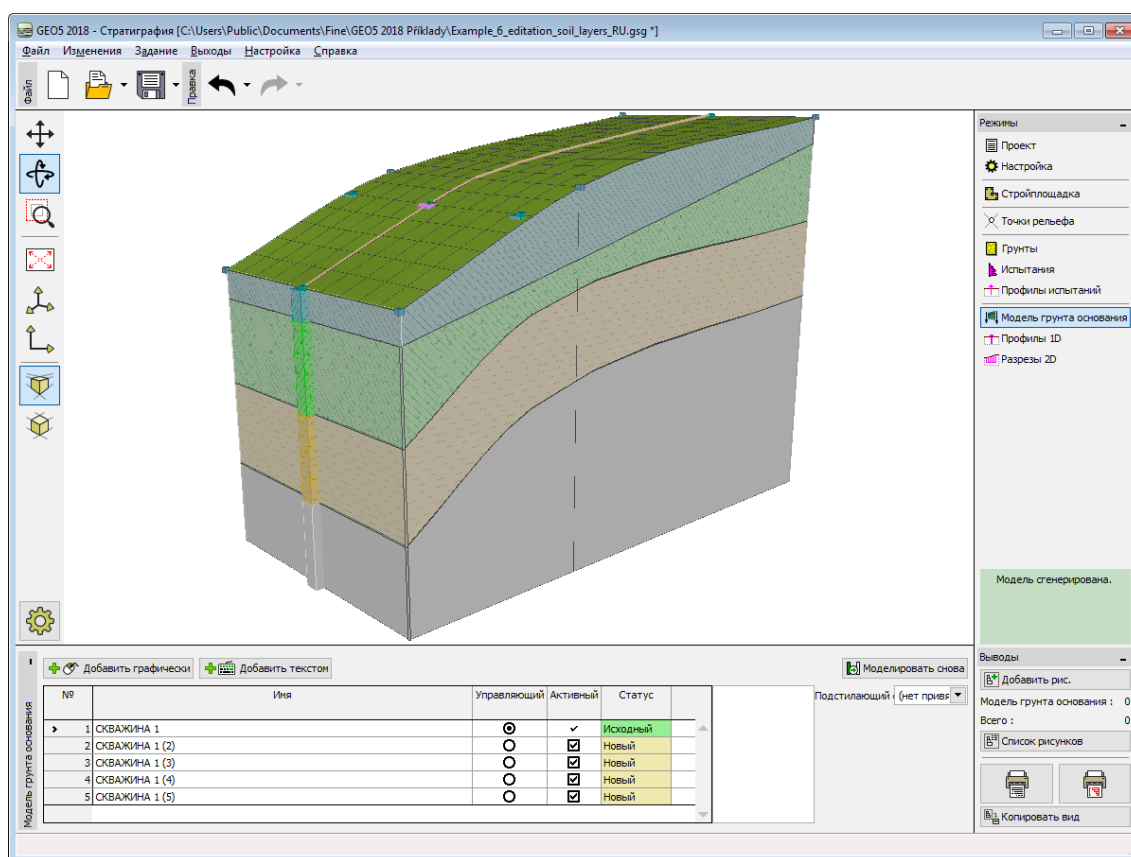
### Задание - расширение зелёного слоя

Используем диалоговое окно «**Правка зонда**». Выбираем оба новых зонда **Скважина1(2)** и **Скважина1(3)** и выполняем их редактирование - **увеличиваем** толщину **зелёного слоя** с 1 to 3 м и **уменьшаем** толщину **голубого слоя** с 2 до 1 м.



### Диалоговое окно «Правка зонда»

В результате получаем отредактированную модель.



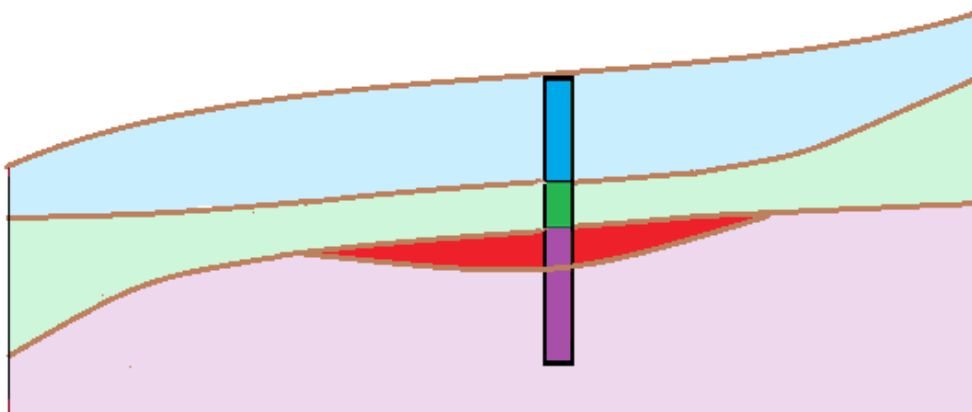
Отредактированная модель

Предыдущий пример Следующий пример

## Создание линзы в грунте

Предыдущий пример Следующий пример

Моделируем «**линзу грунта**» в соответствии с рисунком.



В рамке «**Геологическая модель**» нажимаем кнопку «**Добавить текстом**» и создаём контур линзы из нескольких **новых зондов**, [S, S (2) - S (6)], которые соответствуют уже сгенерированной модели. Координаты точек новых зондов в нашем задании - это [5.7, 5], [9, 8], [13, 8], [17, 5], [13, 2], [9, 2]. (В момент нажатия кнопки «**Добавить**» в

таблице не должен быть выбран ни один зонд).

В диалоговом окне «**Новый зонд**» отображено сообщение «**Слои сгенерированы из геологической модели**» о создании зонда. В случае другого сообщения (копируем другую скважину) статус зонда меняем кнопкой «**Изменить статус**».

Новые зонды

Имя : S

Координаты : x = 5,70 [м] y = 5,00 [м]  
z = 2,53 [м]

Глубина УГВ : h<sub>гвт</sub> = (воды нет) [м] ☐ Зонд - активный Зонд совместимый

— Слои зонда

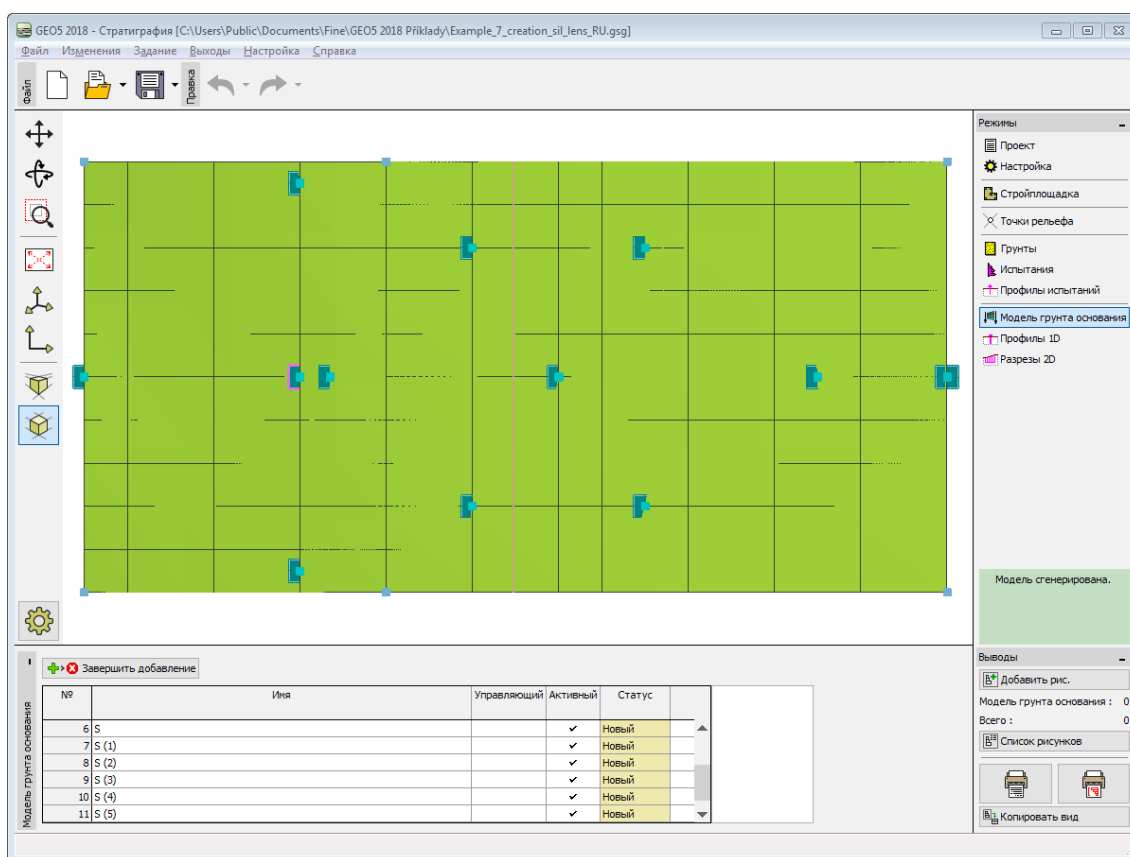
Слои изменены вручную

№	Толщина [м]	Глубина [м]	Грунт
1	2,11	0,00 .. 2,11	синий
2	0,99	2,11 .. 3,10	зелёный
3	3,00	3,10 .. 6,10	бурый

0 1 2 3 4 5 6 7

синий  
зелёный  
бурый  
(нет привязки)

*Вновь созданный зонд соответствующий ранее созданной геологической модели (модели грунта)*



*Расположение новых зондов по краям линзы*

Далее, **задаём новый зонд в центре линзы [11, 5]** и **задаём новый слой (красный)** и его толщину (0,5 м), кнопкой Вставить (перед 3). Коричневый слой (находится под добавляемым слоем) уменьшаем на толщину добавляемого слоя (на 0,5 м) чтобы модель в глубине осталась без изменения. После добавления зонд отобразится в таблице красным цветом и не будет активным, т.к. не **совместим** с остальными зондами.

**Новые зонды**

Имя :

Координаты : x =  [м] y =  [м]

z =  [м]

Глубина УГВ : h<sub>гвт</sub> =  [м] ☒ Зонд - активный Зонд совместимый

— Слои зонда

Слои взяты из зонда № 12 "S(center)"

№	Толщина [м]	Глубина [м]	Грунт
1	2,00	0,00 .. 2,00	синий
2	1,24	2,00 .. 3,24	зелёный
3	0,50	3,24 .. 3,74	красный
4	2,50	3,74 .. 6,24	бурый

Добавить (на конец)  
 Вставить (перед 4)  
 Редактировать (№ 4)  
 Удалить (№ 4)  
 Разделить (№ 4)

0 1 2 3 4 5 6 7

синий  
зелёный  
красный  
бурый  
(нет привязки)

### Ввод нового зонда в центр линзы

GEO5 2018 - Стратиграфия [C:\Users\Public\Documents\Fine\GEO5 2018 Prilady\Example\_7\_creation\_sil\_lens\_RU.gsg]

Файл Изменения Задание Выводы Настройка Справка

Файл

Режимы

- Проект
- Настройка
- Строительная
- Точки рельефа
- Грунты
- Испытания
- Профили испытаний
- Модель грунта основания**
- Профили 1D
- Разрезы 2D

Модель сгенерирована.

Выводы

Модель грунта основания : 0  
 Всего : 0

Модель грунта основания

№	Имя	Управляющий	Активный	Статус
7	S (1)		✓	Новый
8	S (2)		✓	Новый
9	S (3)		✓	Новый
10	S (4)		✓	Новый
11	S (5)		✓	Новый
12	S(center)		✓	Новый

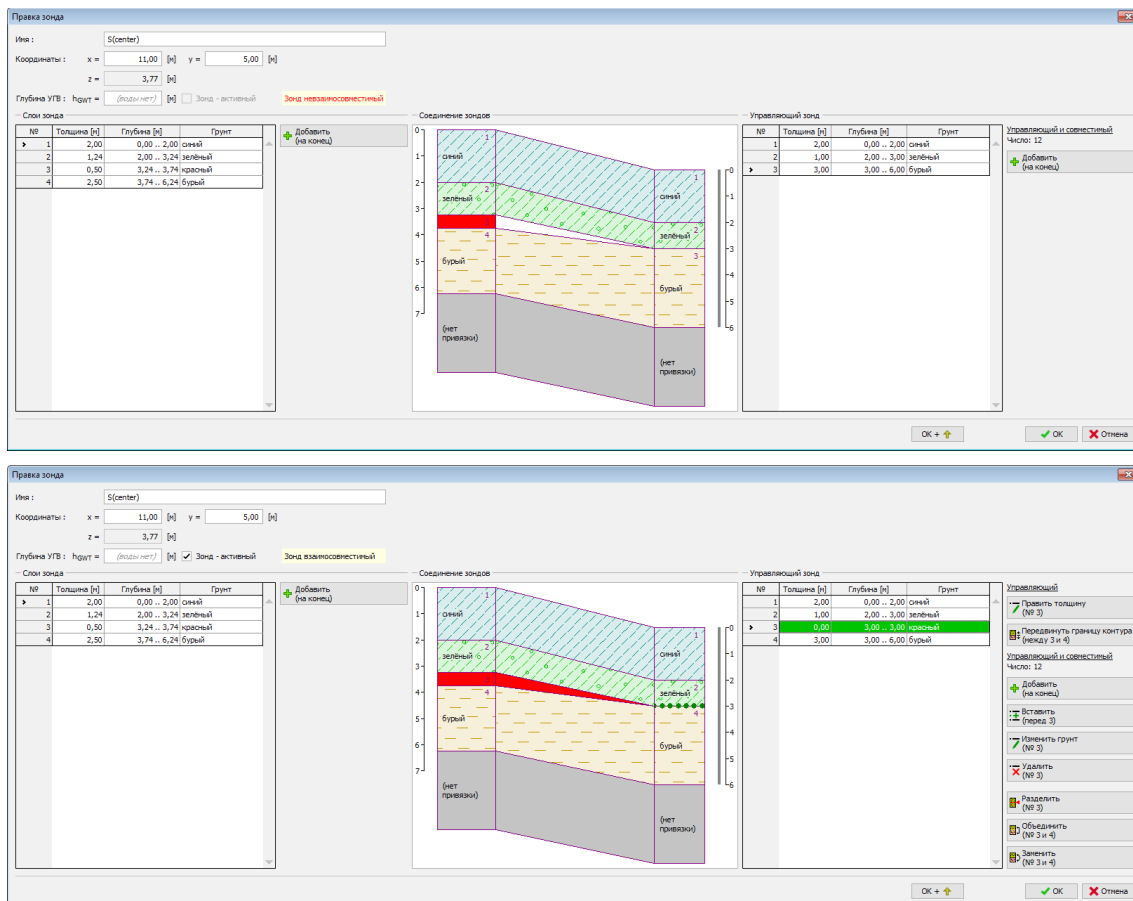
z = 3,77 м

0 1 2 3 4 5 6 7

синий  
зелёный  
красный  
бурый  
(нет привязки)

### Размещение зонда в центр линзы

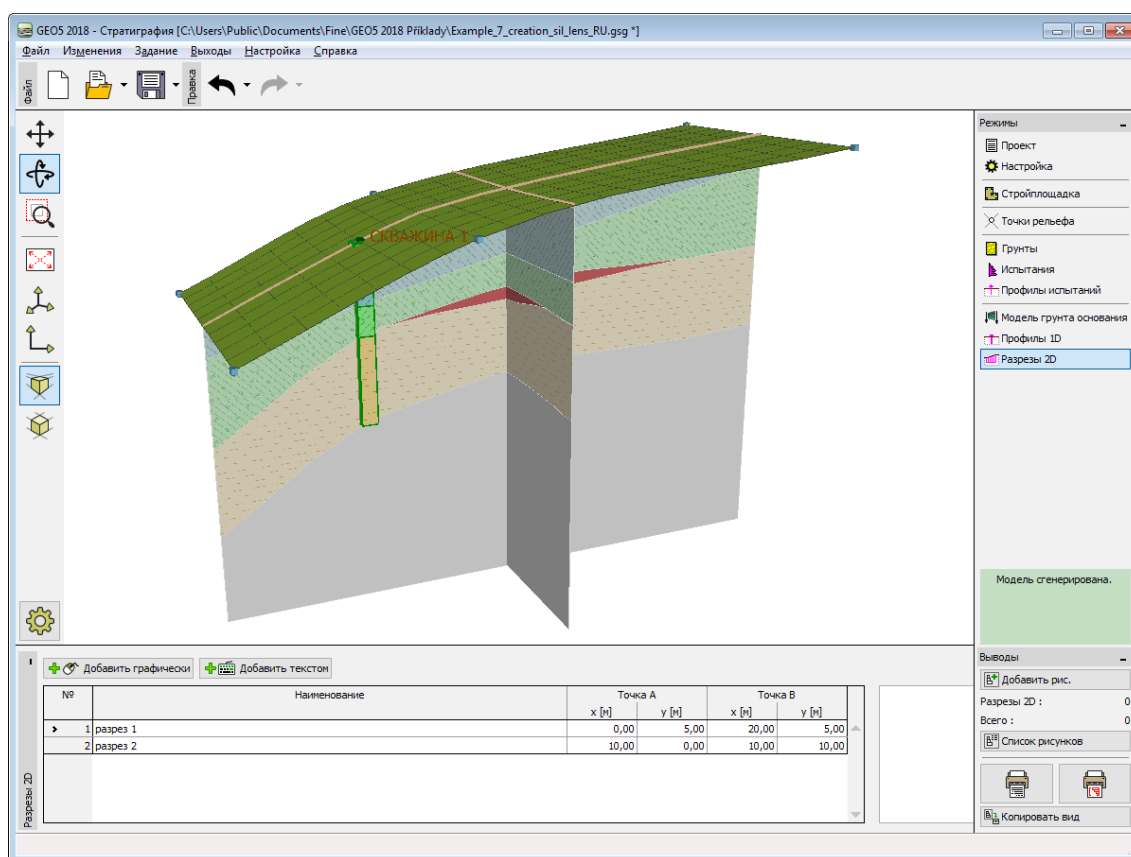
Выполняем редактирование этого зонда: в **управляющий зонд** (всегда с правой стороны) вводим **слой красного грунта толщиной ноль**. Этот слой потом передаётся во все остальные зонды.



### Обеспечиваем совместимость зондов.oles

На этом завершается генерация линзы. Для большей наглядности добавляем новый разрез с координатами [10;0],[10;10].





Итоговая модель с линзой грунта

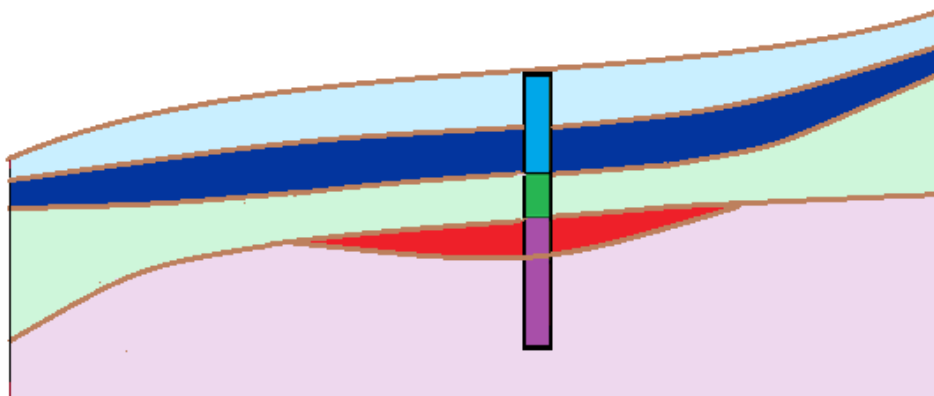
Предыдущий пример Следующий пример

## Создание нового слоя в модели

Предыдущий пример Следующий пример

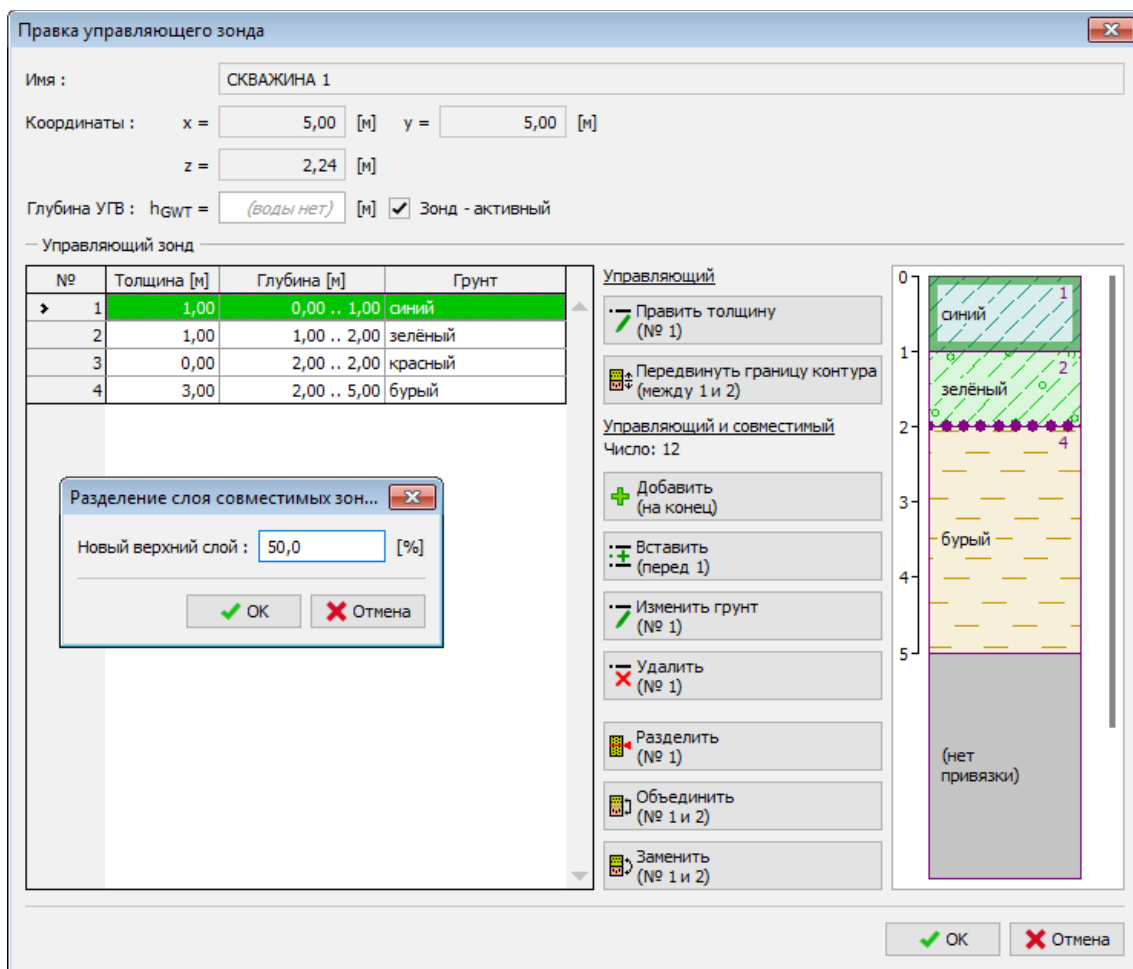
Голубой слой из предыдущего примера хотим разделить на голубой и синий слои.

**Разделение (и объединение) слоёв** относительно частые действия, обусловленные прежде всего переменчивыми параметрами грунтов.

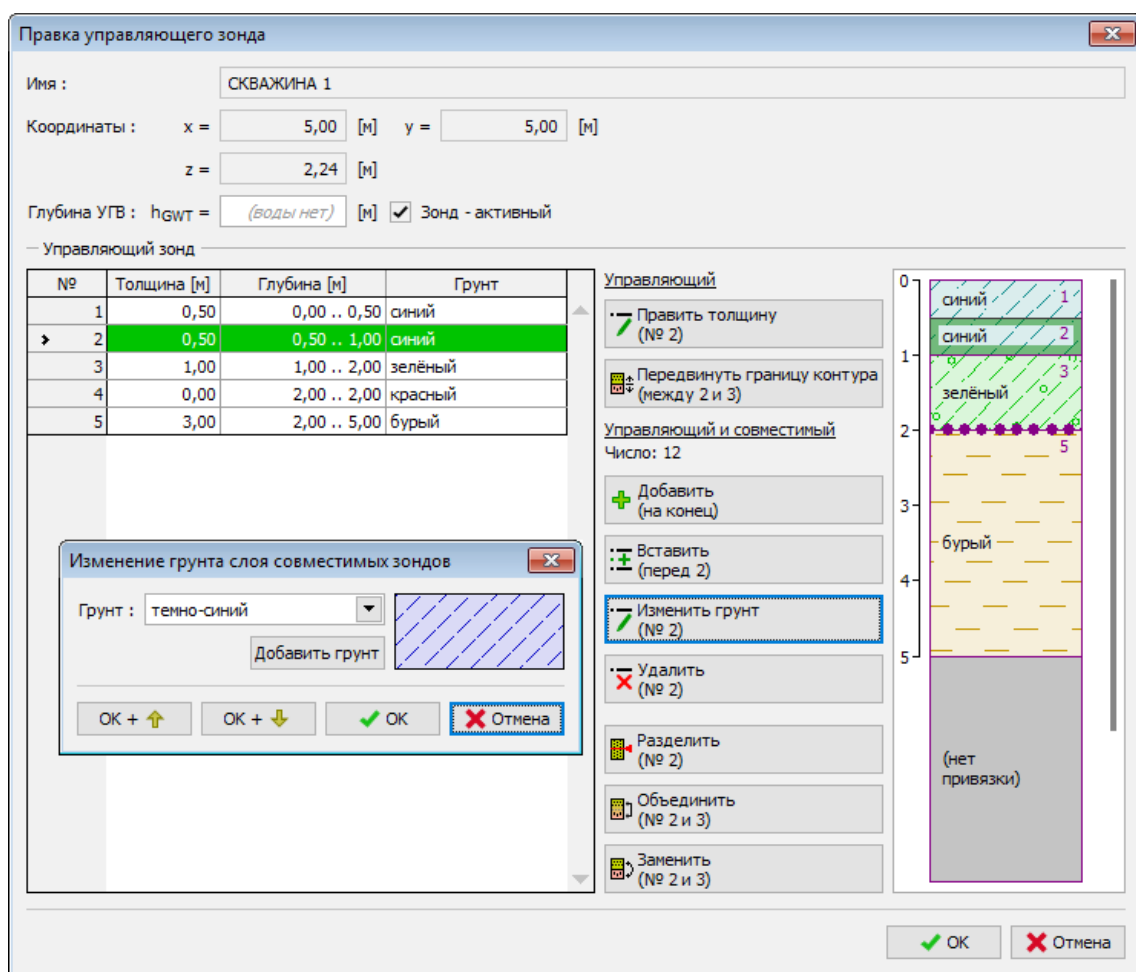


В рамке «**Геологическая модель**» редактируем **управляющий зонд** - сперва делим

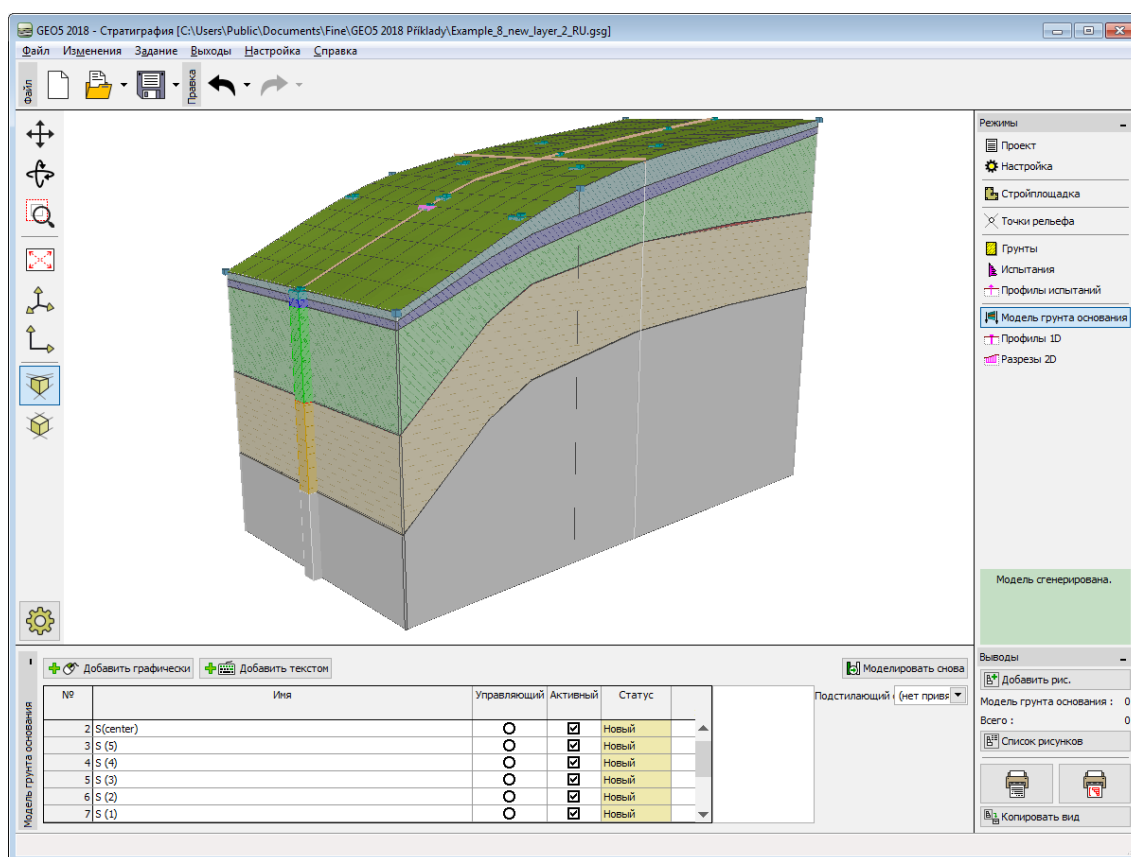
голубой слой с помощью кнопки «**Разделение слоя (№1)**» и дальше меняем нижний новый слой в синий кнопкой «**Изменить грунт (No.2)**».



Диалоговое окно «Правка управляющего зонда» - до правки



Диалоговое окно «Правка управляющего зонда» - после разделения голубого слоя  
После сгенерирования модели слой изменился.



Итоговая модель

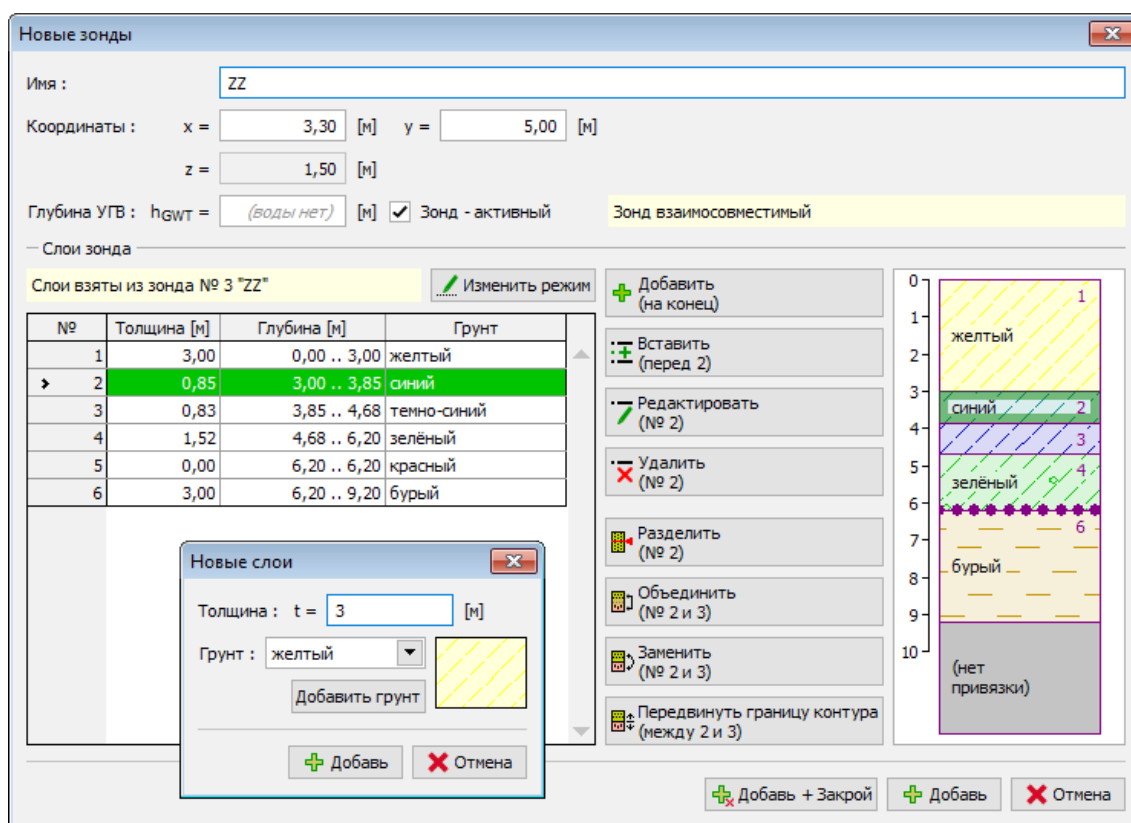
Предыдущий пример Следующий пример

## Создание модели тектонического сброса

Предыдущий пример

В этом примере дана задача создать модель **тектонического сброса** пересекающего стройплощадку. Левая сторона стройплощадки лежит на слое жёлтого грунта толщиной в 3 м, остальные слои расположены ниже этого слоя.

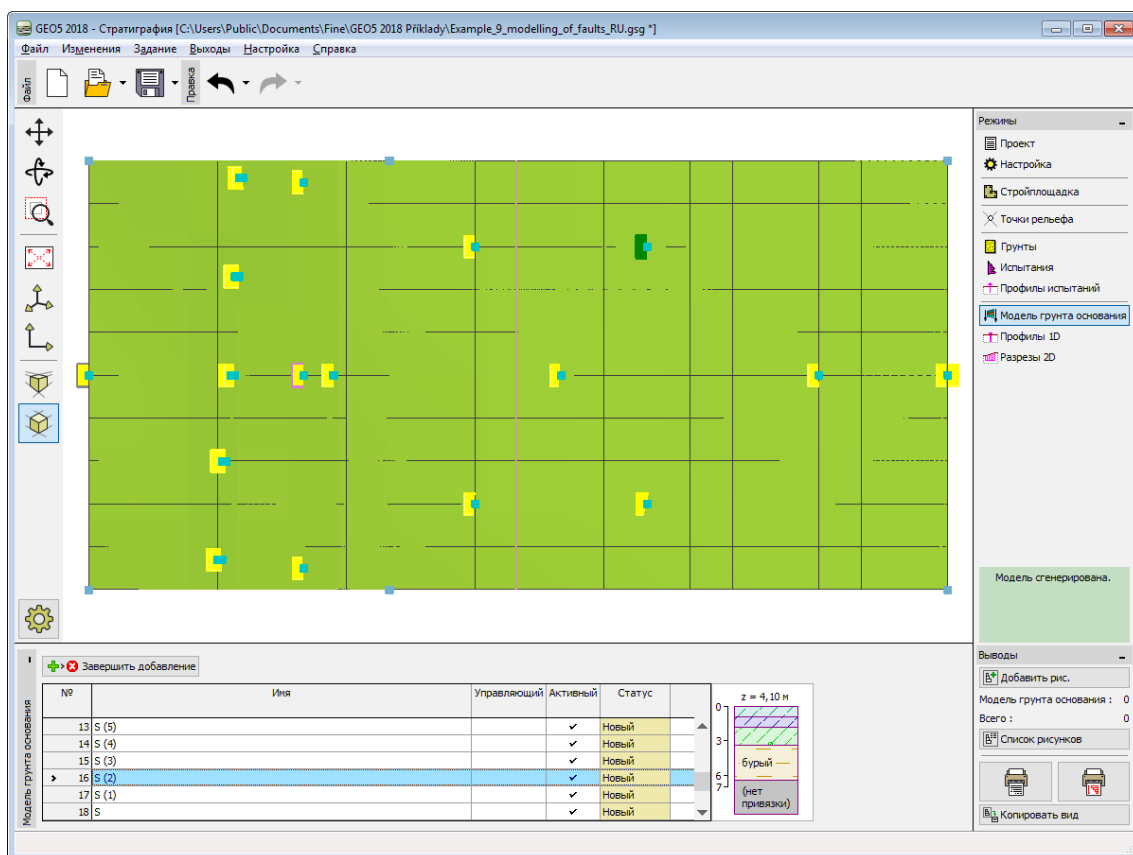
Задаём **новый зонд «ZZ»** [3.3, 5] и добавляем в него **слой жёлтого грунта** (толщиной 3 м) с помощью кнопки «Вставить (перед 1)».



*Вставляем жёлтый слой во вновь сгенерированный зонд ZZ*

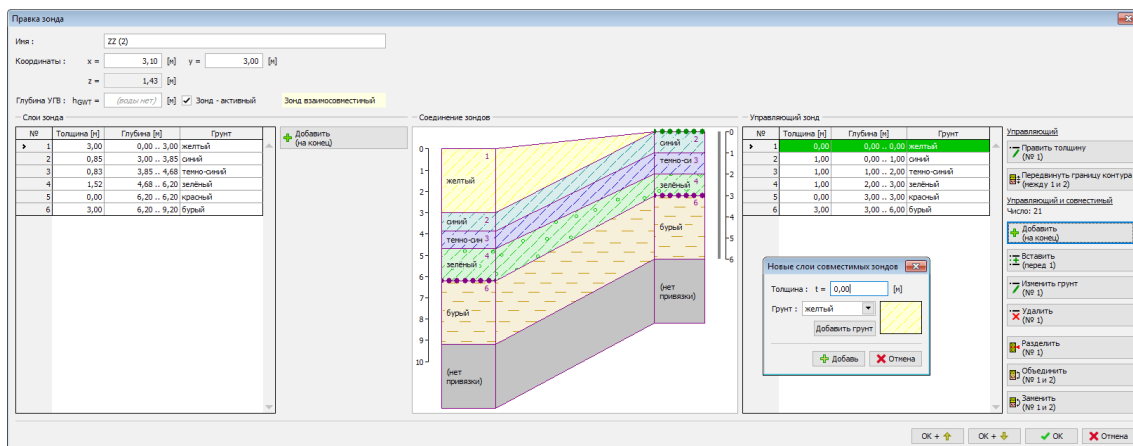
Этот зонд выбираем и копируем вдоль предполагаемого сброса - **возникнут зонды ZZ (2) – ZZ (5)** в координатах [3.0, 0.7], [3.1, 3.0], [3.4; 7.3], [3.5; 9.6].

Далее, выделяем исходный зонд «**Скважина1**» и копируем его рядом с созданными новыми зондами ZZ – ZZ (5) - **образуются зонды VV – V V (5)** – эти зонды сдвигаем относительно зондов ZZ на 0,1 м в направлении оси X на координаты [3.1, 0.7], [3.2, 3.0], [3.4, 5], [3.5, 7.3], [3.6, 9.6]. На рисунке ниже видны **две линии, созданные новыми зондами.**



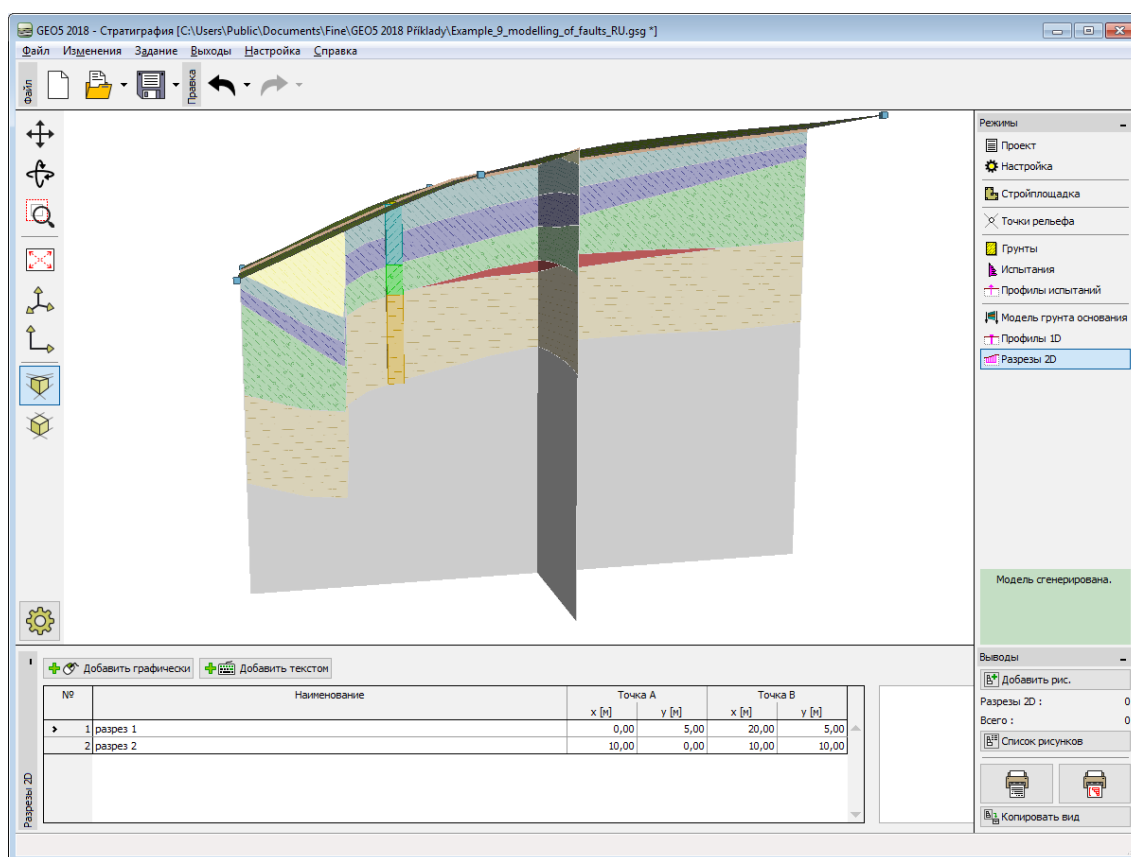
### Ввод новых зондов образующих сброс

Ныне обеспечим совместимость обоих зондов между собой (в управляющий зонд добавляем слой жёлтого грунта толщиной ноль).



### Правка несовместимых зондов ZZ

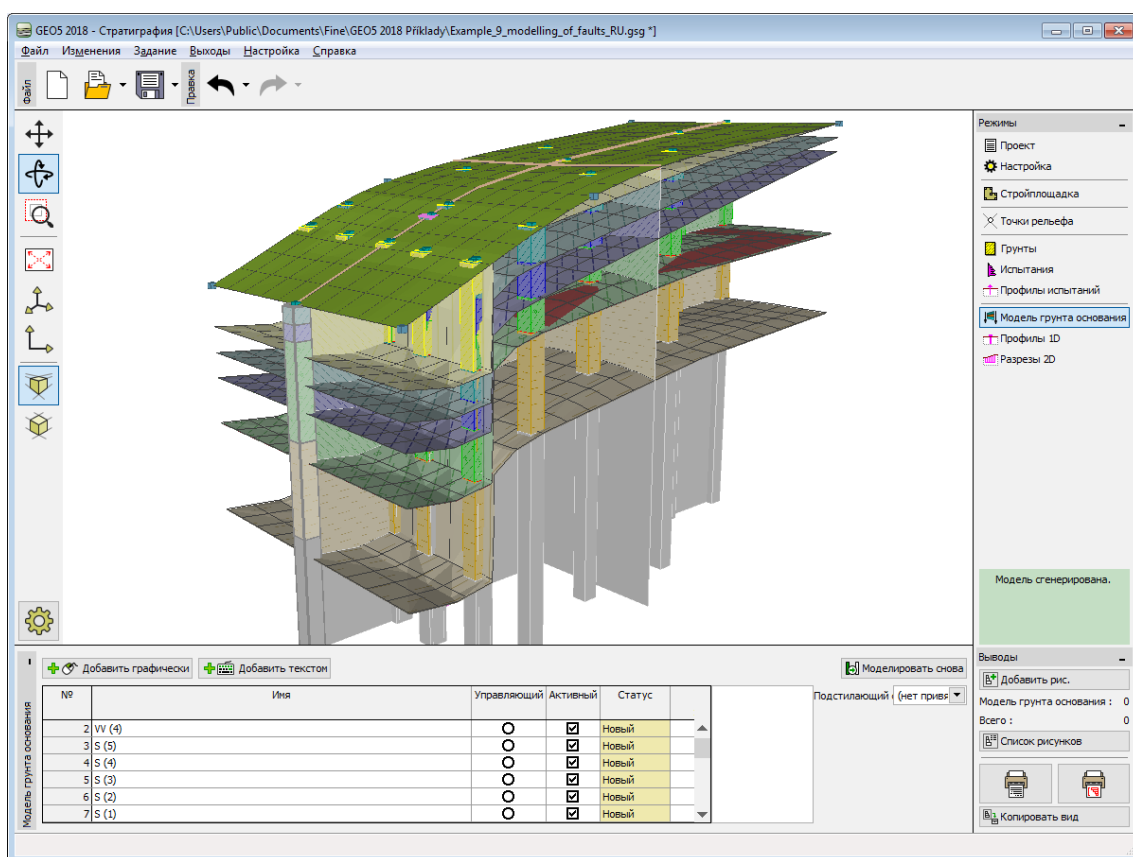
После сгенерирования модели получаем сброс. Центр передней части модели однако некорректно создан.



*Модель с наклонным жёлтым слоем*

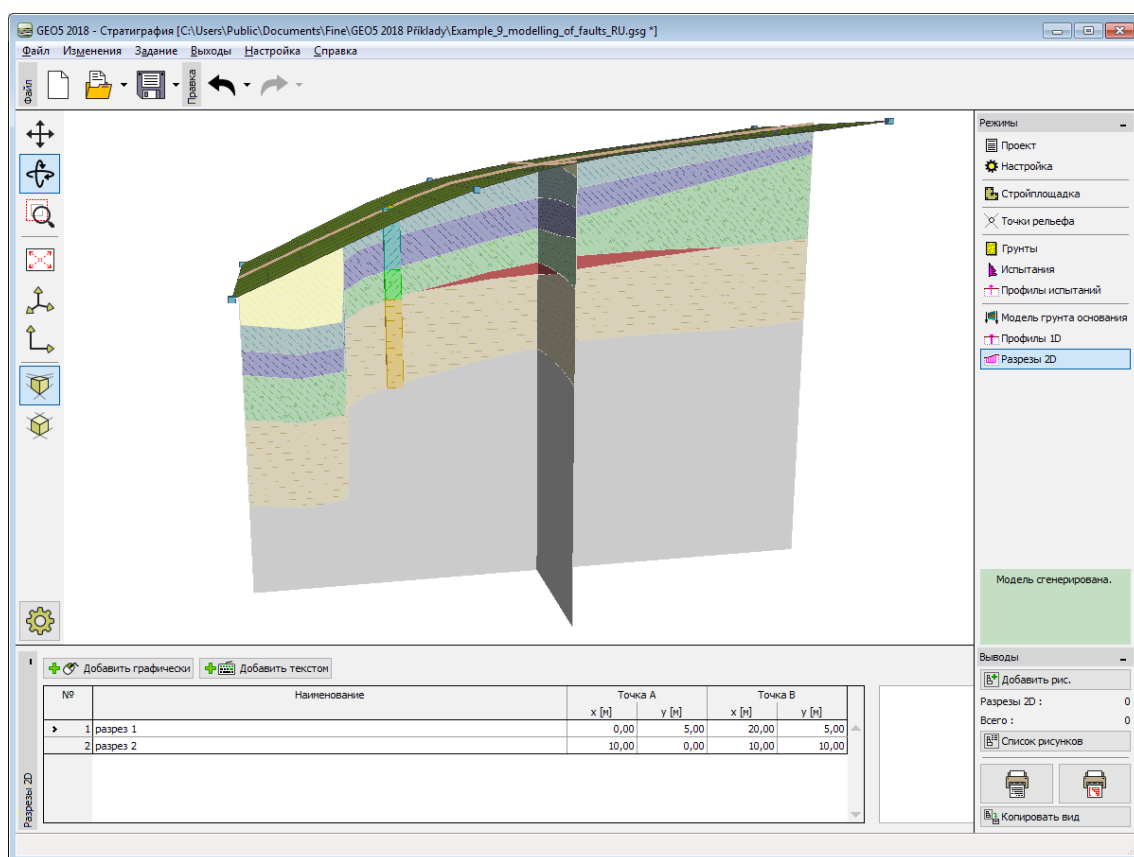
В зонде в точке [0, 5] - «**Скважина1 (2)**» можно отредактировать слои, но для упрощения их просто опускаем - достаточно, что **зонд не будет активным**.





*Перемена зонда Скважина1 (2) в неактивный*

В результате создана эта модель.



Итоговая модель.

Предыдущий пример

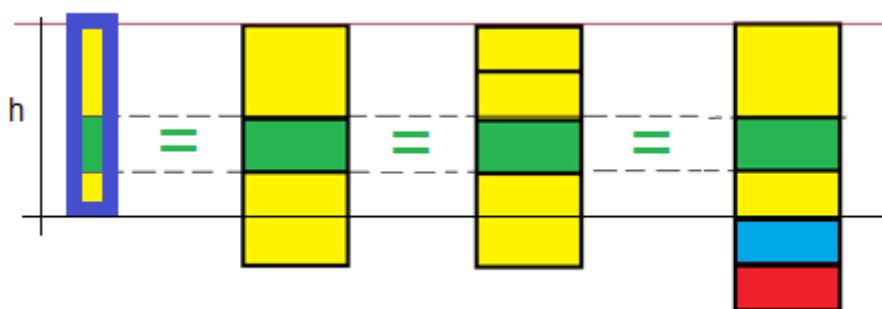
## Типы зондов

Тип зонда определяет отношение между исходным «Профилем испытания» и «Зондом». Это не существенно для генерации геологической модели, зато позволяет иметь наглядную информацию о выполненных модификациях модели.

№	Имя	Управляющий	Активный	Статус
4	SPT2	○	☑	Измененный
5	SPT3	○	☑	Измененный
6	SPT4	○	☑	Измененный
7	SPT5	○	☑	Исходный
8	BOREHOLE J11	○	☑	Исходный
9	New 1	○	☑	Новый

Имеем зонды трёх типов :

**Исходный** - «Зонд» генерирован из «Профиля испытания» и соответствует его геологическому профилю ( т.е. всегда на одинаковой глубине находится одинаковый грунт). Слои заданные ниже общей глубины «Профиля испытания» не влияют на тип зонда. Зонд может содержать произвольное количество нулевых слоёв в любом месте профиля - но всегда считается исходным.



**Модифицированный** - этот зонд генерирован из Профиля испытания, но изменился его геологический профиль - или заменён грунт, или изменилась толщина слоёв.



**Новый** – Этот зонд создан отдельно и не имеет никакого отношения к испытаниям и профилям испытаний. Этот зонд может быть удалён из модели.

## Управляющий зонд

Управляющая скважина влияет на вид модели принципиальным образом. Геологическая модель **генерируется из управляющего зонда и зондов, совместимых** с ним.

Управляющий зонд выбираем в рамке «Геологическая модель».

		Добавить графически		Добавить текстом	
№	Имя	Управляющий	Активный	Статус	
1	СКВАЖИНА 1	⊙	✓	Исходный	
2	S(center)	○	☑	Новый	
3	S (5)	○	☑	Новый	
4	S (4)	○	☑	Новый	
5	S (3)	○	☑	Новый	
6	S (2)	○	☑	Новый	

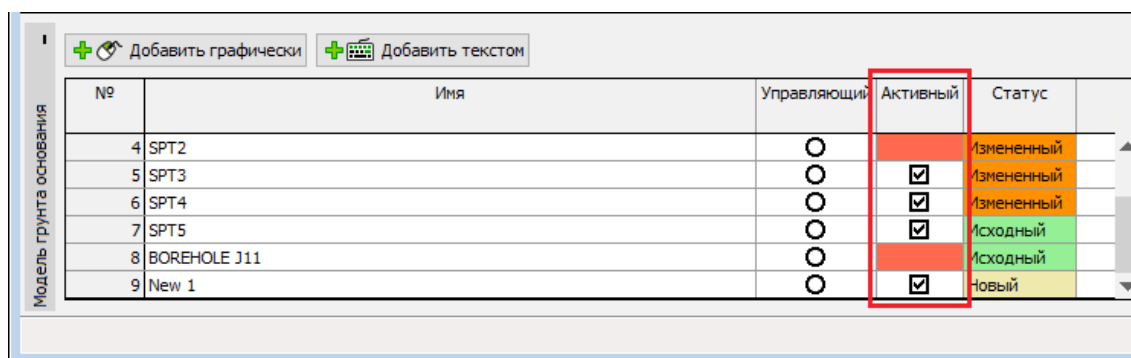
Рамка «Геологическая модель» - выбор управляющего зонда

**Управляющий зонд следует выбирать** с учётом следующих требований к нему:

- в максимальной степени **характеризует геологический профиль**
- **возможно как можно глубже**
- заслуживающий **доверия**.

Как правило целесообразно принять за управляющий зонд слой, образовавшийся из колонковой скважины (керновый материал), чем интерпретацию СРТ.

В процессе создания модели несовместимые с управляющим зонды последовательно **модифицируем в совместимые** и таким образом вводим в модель. Если в модели все зонды совместимы, то модель образована из всех зондов (это единственный случай когда теряет значение управляющий зонд). **У зондов несовместимых с управляющим** будет в таблице колонка «Активный» изображена **красным цветом** - такие зонды нельзя включать в генерирование модели.



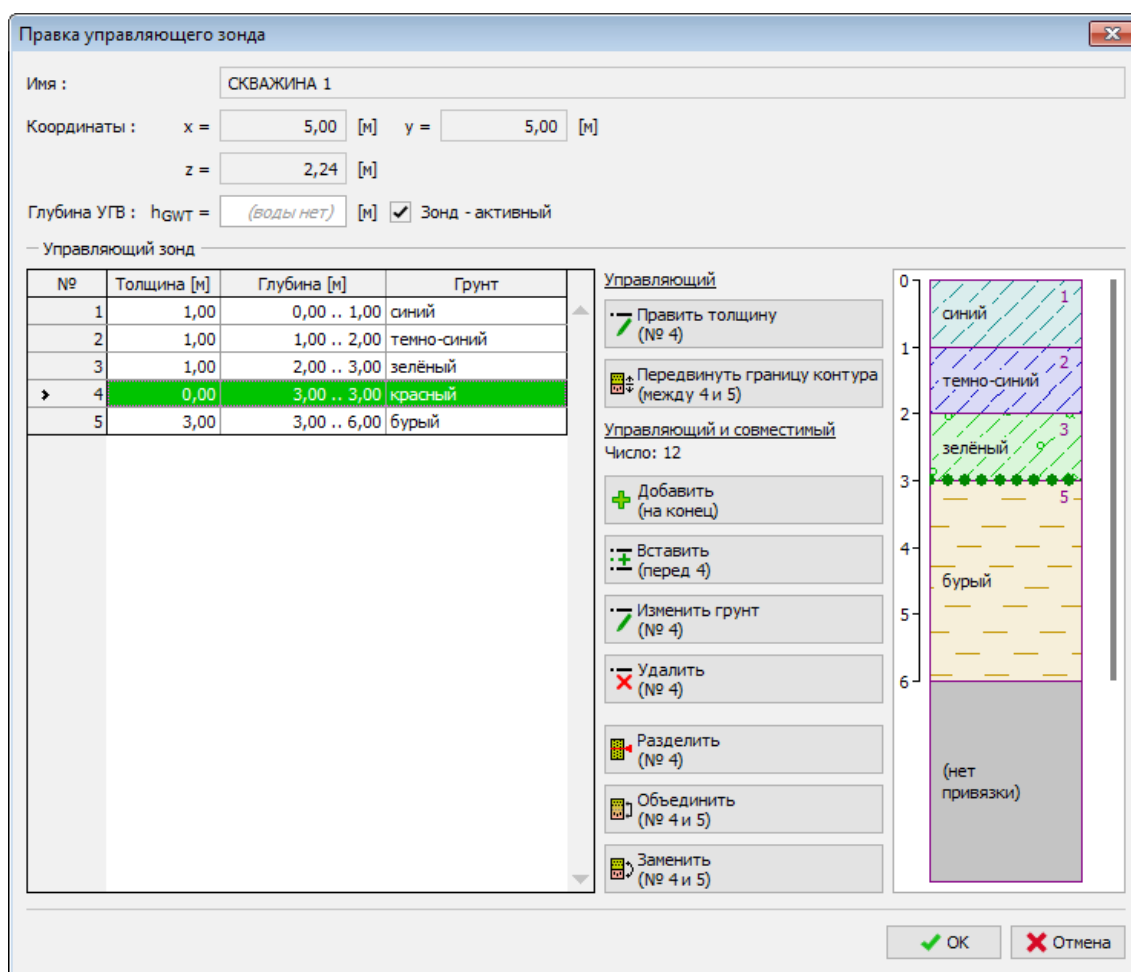
№	Имя	Управляющий	Активный	Статус	
4	SPT2	<input type="radio"/>		Измененный	▲
5	SPT3	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Измененный	
6	SPT4	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Измененный	
7	SPT5	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Исходный	
8	BOREHOLE J11	<input type="radio"/>		Исходный	
9	New 1	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Новый	▼

В случае **изменения управляющего зонда**, программа автоматически определяет новые совместимые зонды и генерирует новую геологическую модель.

Модификацию управляющего зонда выполняем в диалоговом окне «**Правка управляющего зонда**», или при **редактировании остальных зондов**.

Верхняя кнопка «**Править толщину**» относится только к управляющему зонду.

Другие кнопки («**Вставить**», «**Добавить**», «**Изменить грунт**», «**Разделить слой**», «**Объединить**», «**Удалить слой**») меняют одновременно **все совместимые с управляющим зонды** - т.е. одним изменением можно произвести изменения в нескольких зондах. Этим можно воспользоваться, напр., для **создания нового слоя** в уже сгенерированной модели.

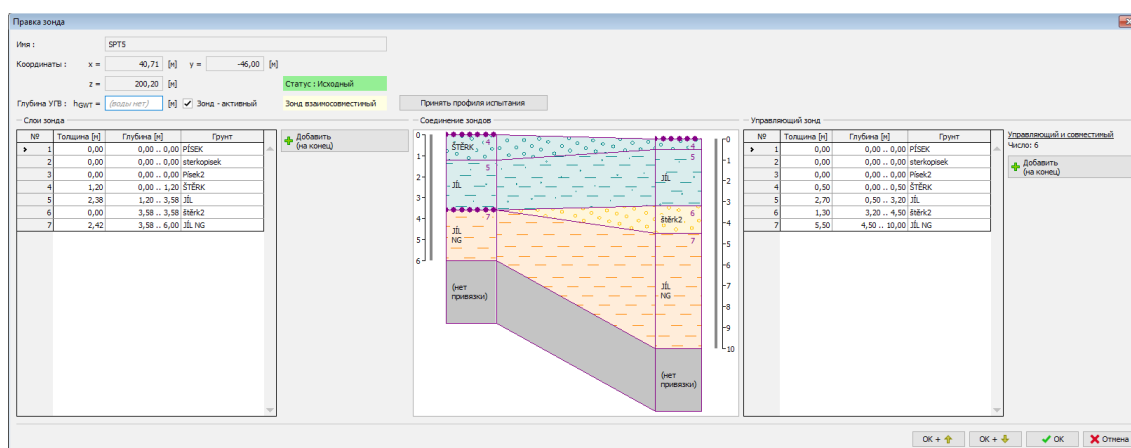


Диалоговое окно «Правка управляющего зонда»

## Правка зонда

Редактировать зонды можно в диалоговом окне **«Правка зонда»**. Окно позволяет не только менять редактируемый зонд (в левой части окна), но редактировать также и **управляющий зонд** (правая часть окна).

Работу окна покажем на примере правки зонда на рисунке.



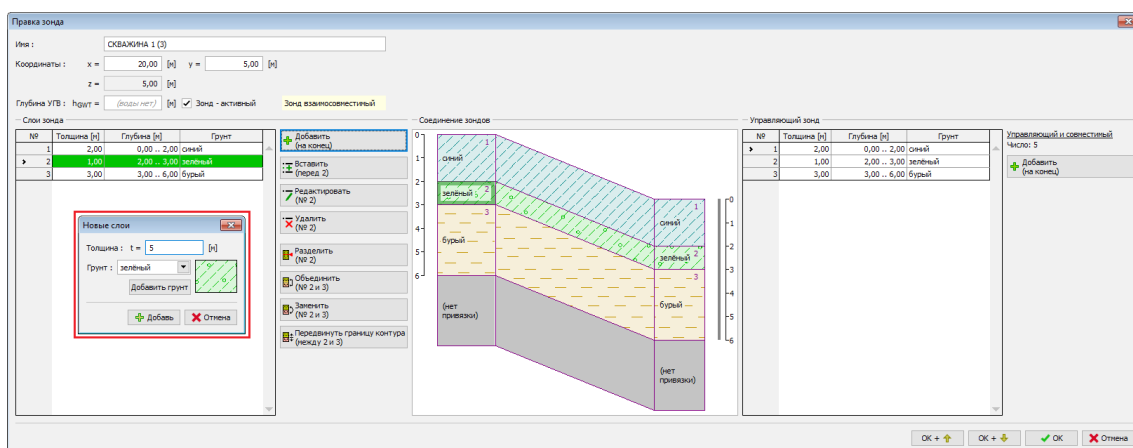
### Диалоговое окно «Edit borehole»

В левой части диалогового окна отображаются данные о редактируемом зонде. Над рисунком виден статус зонда - **совместимый/несовместимый**. Задачей редактирования **сделать зонд совместимым** и этим включить его в геологическую модель.

На рисунке в средней части окна **показана взаимосвязь между зондами**. Высота зондов вырисована корректно, т.ч. видно какой из слоёв является горизонтальным. В случае что зонды (редактируемый или управляющий) созданы из испытания, то серая скважина **показывает длину испытания**. На рисунке видно, что редактируемый зонд создан из испытания, глубина которого не доходила до нижних жёлтых слоёв. Напротив, управляющий зонд создан из испытания, которое проводилось ниже по склону или в выемке - здесь отсутствуют верхние слои редактируемого зонда.

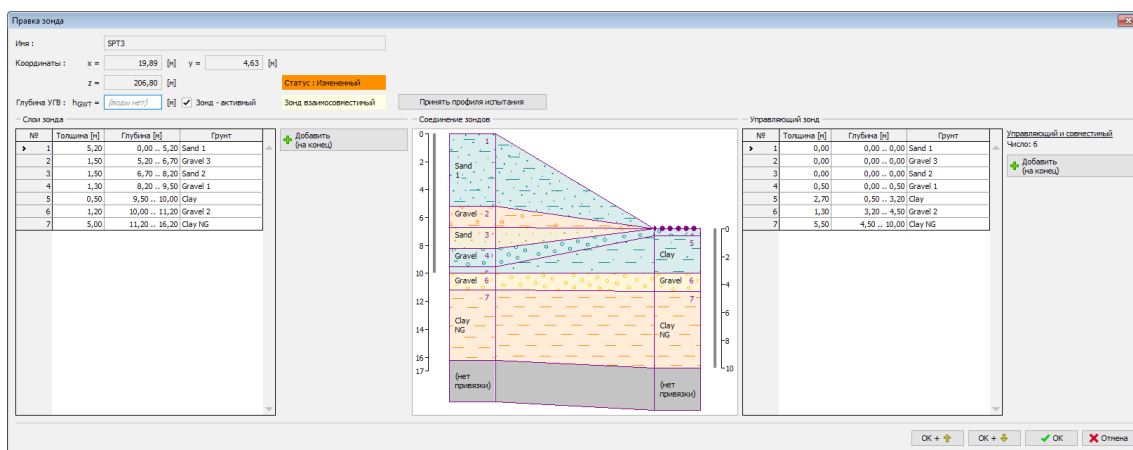
Для редактирования зондов можно воспользоваться кнопками: **«Вставить»**, **«Добавить»**, **«Изменить грунт»**, **«Разделить слой»**, **«Объединить»**, **«Удалить слой»** для обеих таблиц. (Если в таблице нет выбранной строки, то имеем доступ только к кнопке **«Добавить»**). После выбора строки (слоя) - откроется доступ к остальным кнопкам.

Данный зонд можно **изменить в совместимый** следующим порядком действий  
- в редактируемый зонд в левой части окна кнопкой **«Добавить слои»** добавляем слои **«Гравий 2»** (толщина 1,3 м) и **«Глина NG»** (толщина 5,5 м).



### Диалоговое окно «Правка зонда»

- в управляющий зонд в правой части окна кнопкой **«Вставить перед 1»** (должна быть выделена первая строка таблицы управляющего зонда) добавляем слои **«НПС»** а **«Песок»** в нулевой толщине. После этого получаем совместимую связь.



### Диалоговое окно «Правка зонда»

Этот способ редактирования используют относительно часто и добавление большего количества слоёв занимает много времени, но программа позволяет эти операции выполнить простым способом-нажимая кнопки «**Добавить нижние слои**» и «**Добавить верхние слои**» в правой верхней части диалогового окна.

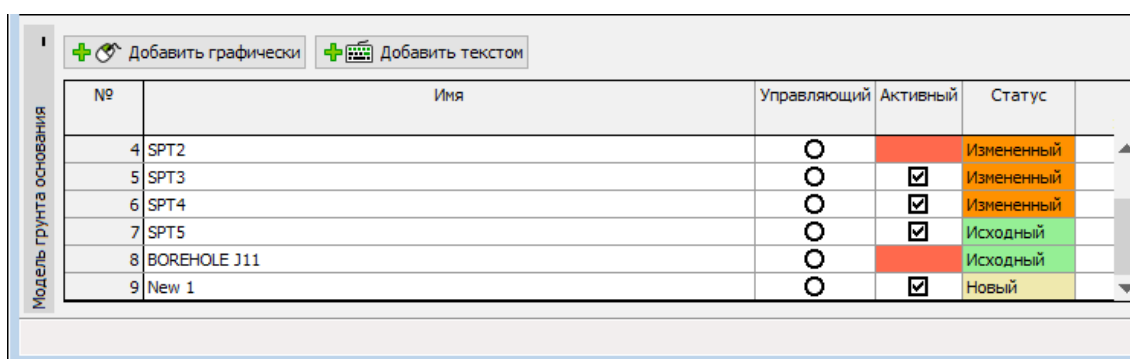
Программа в диалоговом окне отображает **статус зонда** - **исходный** зонд (соответствует полностью Профилю испытания ) или **модифицированный**. К исходному профилю испытания можно вернуться с помощью кнопки **История**.

## Добавление зонда

Новые зонды добавляем в модель с помощью кнопок «**Добавить графически**», «**Добавить текстом**».



Если в момент нажатия кнопки «**Добавить**» в таблице **нет выбранного зонда**, то добавляемый зонд будет **создан из геологической модели**. Информация о статусе находится над таблицей со слоями зонда. Статус зонда можно в окне менять - в таком случае произойдёт регенерация слоёв зонда. Если меняем слои зонда, то меняется статус создания зонда на «**Задание пользователем**».





**Новые зонды**

Имя :

Координаты : x =  [м] y =  [м]

z =  [м]

Глубина УГВ :  [м] ☒ Зонд - активный Зонд совместимый

— Слои зонда

Слои взяты из зонда № 5 "SPT3"

№	Толщина [м]	Глубина [м]	Грунт
1	5,20	0,00 .. 5,20	Sand 1
2	1,50	5,20 .. 6,70	Gravel 3
3	1,50	6,70 .. 8,20	Sand 2
4	1,30	8,20 .. 9,50	Gravel 1
5	0,50	9,50 .. 10,00	Clay
6	1,20	10,00 .. 11,20	Gravel 2
7	5,00	11,20 .. 16,20	Clay NG

Диалоговое окно «Новый зонд»

Добавление нового зонда с **автоматической генерацией слоёв в соответствии с геологической моделью** важно прежде всего для **редактирования геологической модели** (редактирование модели происходит **только с помощью зондов**, - т.е. если на месте, которое хотим редактировать отсутствует зонд, на этом месте нужно создать зонд) или **создания линзы грунта**.

Если в таблице **зонд выбран**, то добавляемый зонд будет **копией этого существующего зонда**.

№	Имя	Управляющий	Активный	Статус
2	DP2	⊙	✓	Исходный
3	SPT1	○	☑	Измененный
4	SPT2	○	☑	Измененный
5	SPT3	○	☑	Измененный
6	SPT4	○	☑	Измененный
7	SPT5	○	☑	Исходный

Модель грунта основания

Новые зонды

Имя : SPT2 (2)

Координаты : x = 25,00 [м] y = 15,00 [м]

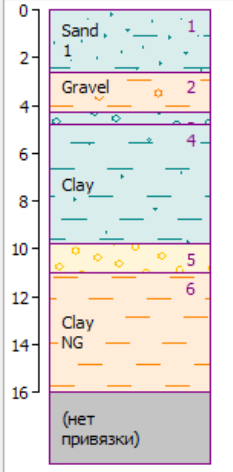
z = 204,37 [м]

Глубина УГВ : h<sub>ГВТ</sub> = (воды нет) [м] ☐ Зонд - активный Зонд несовместимый

— Слои зонда

Слои взяты из зонда № 4 "SPT2" ✎ Изменить режим + Добавить (на конец)

№	Толщина [м]	Глубина [м]	Грунт
1	2,60	0,00 .. 2,60	Sand 1
2	1,70	2,60 .. 4,30	Gravel 3
3	0,50	4,30 .. 4,80	Gravel 1
4	5,00	4,80 .. 9,80	Clay
5	1,20	9,80 .. 11,00	Gravel 2
6	5,00	11,00 .. 16,00	Clay NG



✎ Добавить + Закрой + Добавить ✕ Отмена

Диалоговое окно «Новый зонд»

Добавление нового **зонда-копии существующего** использовано в следующих примерах: моделирование слоёв копирующих рельеф, создание линзы грунта, создание геологического сброса.

Кнопка «Отмена» выполняет важную функцию программы: возврат в **исходное состояние до редактирования**.

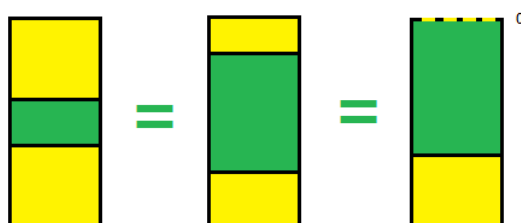
## Совместимость зондов

Целью генерации геологической модели - создание модели как можно больше соответствующей реальной картине - т.е. в которую включены все созданные зонды. Для этого все зонды - должны быть совместимыми.

**Совместимый зонд** имеет идентичное количество слоёв и идентичную последовательность слоёв как **управляющий зонд**. В таблице в колонке «**Активный**» поле зонда показано белым. Если зонд одновременно активен, то он будет включен в генерацию геологической модели.

<div> <div>+</div> <div>Добавить графически</div> </div> <div> <div>+</div> <div>Добавить текстом</div> </div>					
№	Имя	Управляющий	Активный	Статус	
4	SPT2	<input type="radio"/>		Измененный	▲
5	SPT3	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Измененный	
6	SPT4	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Измененный	
7	SPT5	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Исходный	
8	BOREHOLE J11	<input type="radio"/>		Исходный	
9	New 1	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Новый	▼

Примеры **совместимых зондов**:



**У зондов несовместимых с управляющим** будет в таблице колонка «**Активный**» показана **красным цветом** - такие зонды нельзя включать в генерирование модели.

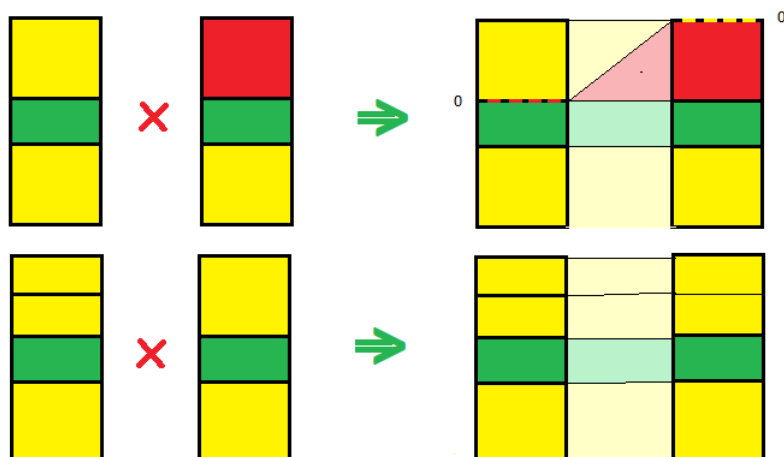
<div> <div>+</div> <div>Добавить графически</div> </div> <div> <div>+</div> <div>Добавить текстом</div> </div>					
№	Имя	Управляющий	Активный	Статус	
4	SPT2	<input type="radio"/>		Измененный	▲
5	SPT3	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Измененный	
6	SPT4	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Измененный	
7	SPT5	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Исходный	
8	BOREHOLE J11	<input type="radio"/>		Исходный	
9	New 1	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Новый	▼

Примеры **несовместимых зондов**:



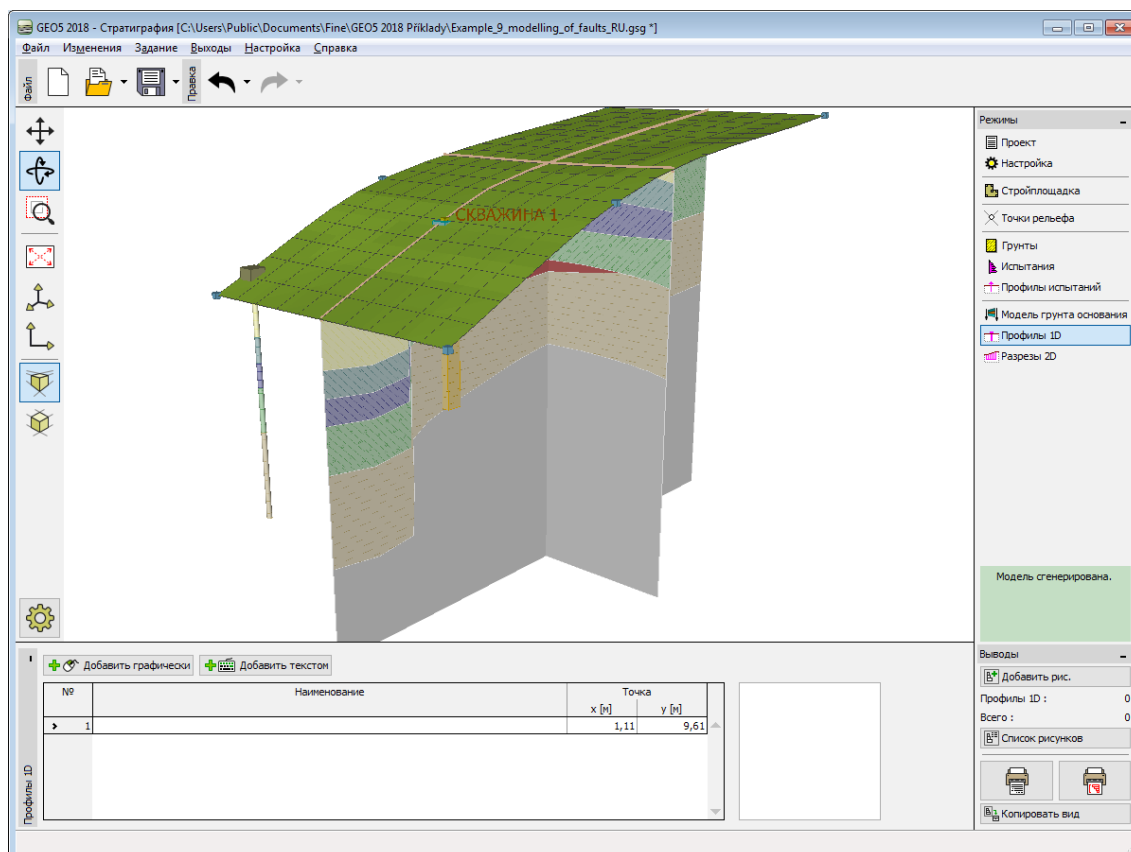
Несовместимые зонды можно преобразовать в совместимые в диалоговом окне «**Правка зонда**» - используя для этого, напр., **вставку нулевых слоёв** или **добавление (удаление) слоёв грунта**.

Примеры преобразования несовместимых зондов в совместимые:



## Профили 1D

В рамке «Профили 1D» находится таблица со всеми заданными профилями 1D. В таблице приводится имя профиля и координаты точки, которая определяет профиль. Рядом с таблицей вырисован выделенный 1D профиль.



Рамка «Профили 1D»

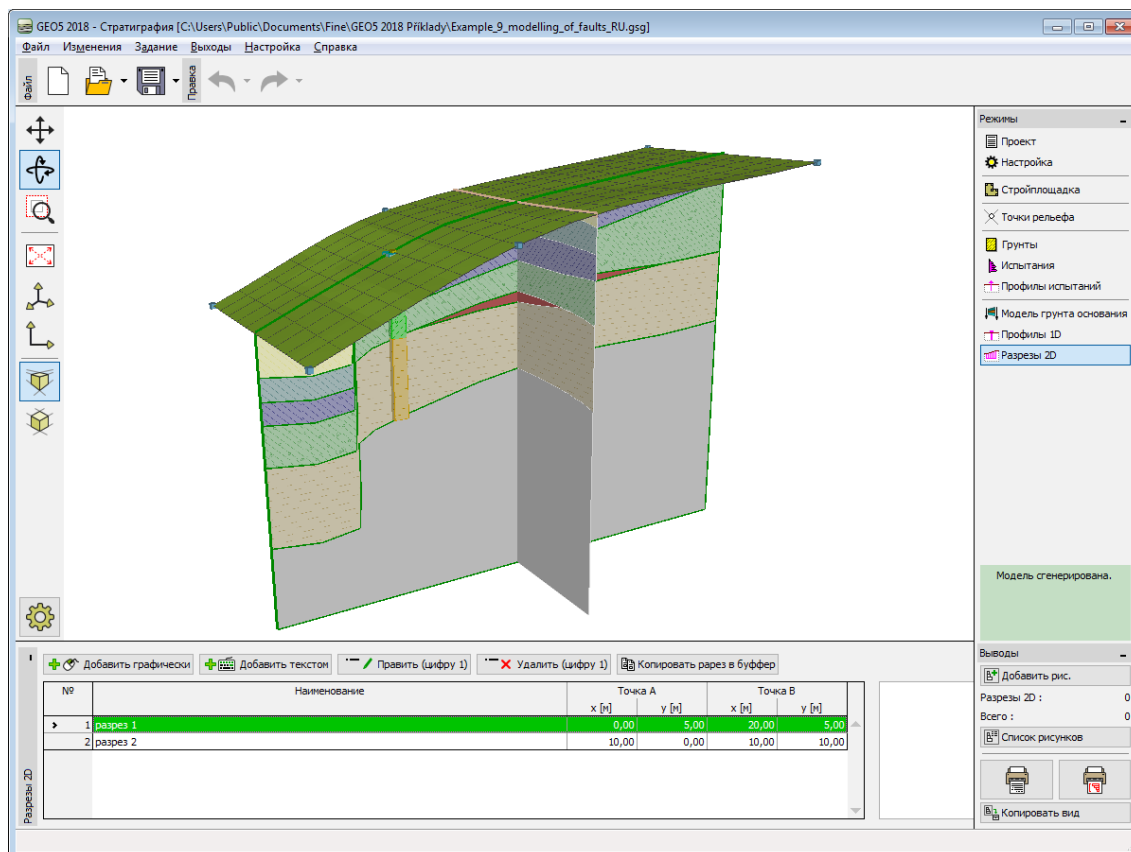
Изображение рисунка на рабочем столе можно редактировать в любом режиме ввода данных в диалоговом окне «Настройка рисования» и с помощью кнопок на панели инструментов «Управление рисунком».

Кнопка «Отмена» выполнять важную функцию программы: возврат в **исходное состояние** до **редактирования**.

Программа позволяет **копировать** данные профиля в другие программы GEO5.

## Разрезы 2D

В рамке «Разрезы 2D» находится **таблица** со всеми заданными разрезами 2D. В таблице приводится **имя разреза** и координаты точек, которые определяют разрез. Рядом с таблицей вырисована схема разреза.



Рамка «Разрезы 2D»

Изображение рисунка на рабочем столе можно редактировать в любом режиме ввода данных в диалоговом окне «**Настройка рисования**» и с помощью кнопок на панели инструментов «**Управление рисунком**».

Кнопка «Отмена» выполнять важную функцию программы: возврат в **исходное состояние** до **редактирования**..

Программа позволяет **копировать** данные разреза в другие программы GEO5.

## Программа МКЭ

Программа МКЭ (в т.ч. модули **Консолидация**, **Фильтрация гр.воды**, **Тоннель**) предназначена для моделирования ряда геотехнических задач, как напр.,:

- осадка местности, или консолидации

- конструкции ограждения
- анкерованная опорная конструкция
- устойчивость откоса
- балки на основании
- расчёты горных выработок, тоннелей
- расчёт фильтрации гр. вод и пр.

### Справка для программы «МКЭ» распространяется на следующие области:

- Ввод данных в отдельные рамки:

Топология:	Проект	Настройка	Границы контура	Грунты	Твёрдые тела	Привязка
Типы контактов	Обделка	Свободные точки	Свободные линии	Сгущение точек	Сгущение линий	Свободные сгущения
Генерация сетки						
Этап проектирования:	Экспкавация	Активация	Привязка	Обделка	Балки	Контакты
Контакты и балки	Сосредоточенные опоры	Сосредоточенная фильтрация	Линейные опоры	Линейная фильтрация	Анкеры	Распорки
Геоармировки	Пригрузка	Упругие области	Нагрузки балок	Вода	Расчёт	Мониторы
Графы	Устойчивость					

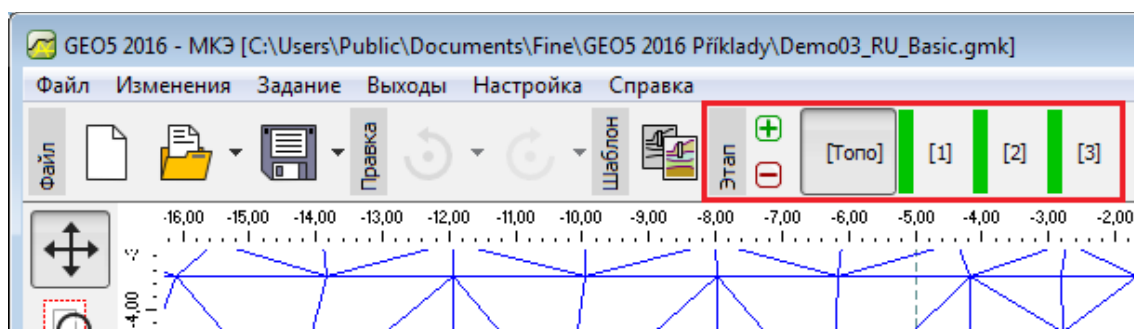
- Справка относительно **результатов на выходе**
- Информация общего характера о работе в **пользовательской среде** программ GEO5
- **Общие операции** для всех программ

## Топология

Способ ввода задания в программу GEO МКЭ отличается от других программ GEO5: прежде всего необходимо определить **топологию конструкции**, задать границы контуров слоёв грунтов, линии построек, параметры грунтов и контактов, сгенерировать сетку конечных элементов. Для правильного ввода данных задачи следует ознакомиться с

принятыми **системами координат**.

Режим ввода топологических данных выбирают нажатием кнопки на горизонтальной панели «**Этапы проектирования**».



Панель инструментов «Этапы проектирования» - переключение между режимом «Топология» и этапами проектирования

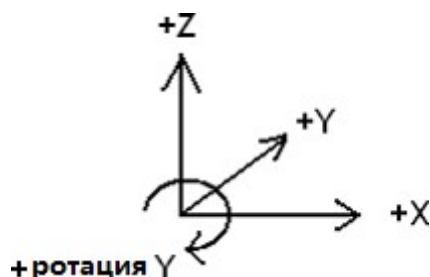
Собственно расчёты выполняются на **этапах проектирования**, на которых можно определять активность частей конструкции, задавать балки, анкера, пригрузку, моделировать влияние воды и др.

В соответствии с выбором режима меняется **вертикальная панель управления** программы.

## Системы координат

### Глобальная система координат

- Правая
- Положительное направление оси  $X$  слева направо
- Положительное направление оси  $Z$  снизу вверх
- Положительное направление оси  $Y$  ...ось «втыкается» в плоскость  $XZ$
- Положительное направление ротации вокруг оси  $Y$  = ротация по часовой стрелке



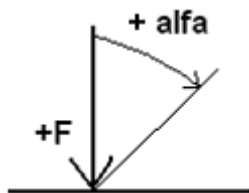
- ГСК используется для координат
- В общем случае положительная нагрузка действует против положительной оси, положительное вращение - это в положительном направлении положительный знак глобальной ротации
- Во всех случаях нужно изучить спецификацию положительного направления (знака)

### Пригрузка

- Всегда на горизонтальную линию (или на точку)

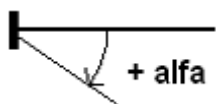


- Задаём начало (точку) и длину
- Положительная пригрузка под нулевым углом действует в противоположном направлении оси  $Z$
- Нулевой угол обозначает вертикальную пригрузку
- Угол увеличивается в направлении часовой стрелки
- Диапазон угла  $\langle -180^{\circ}, 180^{\circ} \rangle$



### Анкеры

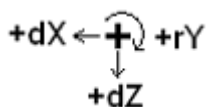
- Анкер задают началом и углом в том числе
- Нулевой угол имеет направление оси  $X$
- Угол увеличивается в направлении часовой стрелки



- Интервал угла  $\langle -180^{\circ}, 180^{\circ} \rangle$

### Осадка и поворот опоры

- Осадку задают в направлении осей  $X, Z$  и вокруг оси  $Y$
- Положительная осадка - против направления оси

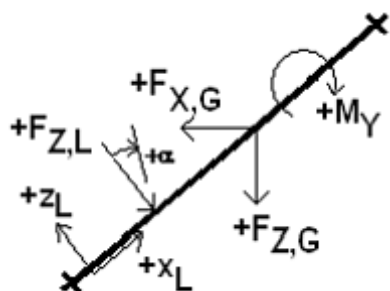


- Положительный поворот - в направлении часовой стрелки

### Нагрузка на балки

- Локальная система координат - правая
- Ось  $X_L$  балки проходит от начала балки до её конца
- Ось  $Z_L$  балки перпендикулярна относительно балки с разворотом на  $90^{\circ}$  против направления часовой стрелки
- zatížení může Нагрузка может иметь три направления:
  - глобальная  $Z$
  - глобальная  $X$
  - локальная перпендикулярно ( $Z$ )

- Положительная нагрузка в глобальном направлении действует против соответствующей оси
- Положительная нагрузка в перпендикулярном направлении действует против направления оси  $Z_L$
- Угол нагрузки  $\alpha$  - положительный в направлении часовой стрелки
- Положительный момент действует в направлении часовой стрелки



- Расположение нагрузки в оси  $X_L$ 
  - координата, координата начала
  - длина нагрузки
- Виды нагрузок (всегда в вышеуказанных направлениях)
  - сосредоточенная сила
  - сосредоточенный момент
  - равномерно распределённая по всей балке
  - распределённая по трапеции на всю балку (может быть «бабочка»)
  - равномерно распределённая на часть балки
  - распределённая по трапеции на часть балки (может быть «бабочка»)

### Результаты на плоскости

- плюсовое напряжение *Sigma* - сжатие, минусовое - растяжение
- плюсовая деформация *Epsilon* - сжатие, минусовая - растяжение

### Внутренние силы на балках

- плюсовое  $N$  - растяжение, минусовые - сжатие
- плюсовая деформация *Epsilon* - сжатие, минусовая - растяжение

## Проект

В **рамку «Проект»** задают исходные данные о задаче. В рамке находится формуляр для ввода данных о задаче, т.е., информации об объекте, описания объекта, даты и пр. Позднее эти данные приводятся в выдаваемой **текстовой и графической информации**.

В рамке можно переключать системы единиц измерения (**метрическую / дюймовую**). Данные о проекте можно скопировать во всех программах GEO5 с помощью **«Геобуфера»**.

Рамка «Проект»

## Настройка

Рамка «**Настройка**» предназначена для общей настройки вычислений, выполняемых программой. В рамке выбираем основные теории или стандарты в соответствии с которыми будет выполнен расчёт задачи.

В рамку задают характеристики задачи (тип задачи, тип расчёта), способ расчёта первичного напряжённого состояния (геостатическое напряжённое состояние,  $K_o$  процедура) и нормативы расчёта бетонных и стальных конструкций.

**Доступ к задачам типа (плоские задачи, осевая симметрия) и расчётам типа (напряжённое состояние, устойчивость откоса, установившаяся или неуставившаяся фильтрация, тоннели, консолидация) обусловлен конфигурацией программы, которая Вами была закуплена.**

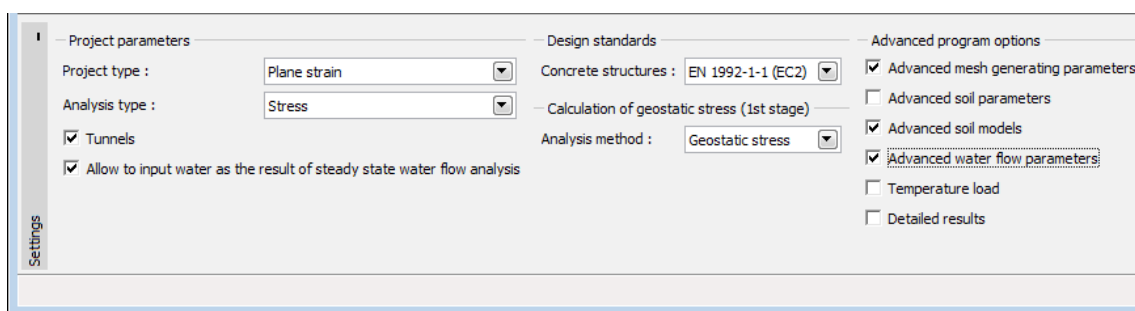
**Даже в случае, когда вы располагаете всеми модулями, рекомендуем осмотрительно выбирать тип расчёта - более сложные типы требуют существенно больший объём входных данных и могут зря усложнять работу с программой.**

Здесь также определяется способ расчёта напряжённого состояния первого этапа - или стандартный расчёт **геостатического напряжённого состояния**, или  $K_o$  процедура.

В этой рамке можно выбрать пункты для **расширенных возможностей программы**, которые для обычных расчётов нет необходимости задавать.

Это следующие опции:

- **Подробные параметры генерации сети**
- **Подробные параметры грунтов**
- **Специальные модели грунтов**
- **Подробные параметры фильтрации**
- **Температурная нагрузка**
- **Подробные результаты**



Рамка «Настройка»

## Расчёты на устойчивость

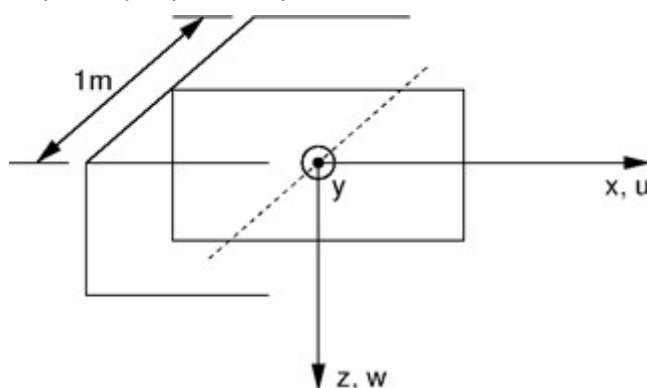
**Расчёты на устойчивость откоса** можно выполнять в программе МКЭ двумя способами в зависимости от типа задачи:

1. Определить тип расчёта задачи как **«Устойчивость откоса»** в рамке **«Настройка»**.
2. Запустить модуль в режиме **«Устойчивость откоса»** на любом **этапе проектирования** классического расчёта нажатием кнопки **«Устойчивость»** - в этом случае сгенерируется новая подчинённая задача (которую можно сохранить отдельно). Работа над задачей будет аналогична пункту 1.

Порядок задавания и проектирования модели в режиме **«Устойчивость откоса»** полностью соответствует режиму **«Напряжённое состояние»** - только кнопка **«Расчёт»** **запускает вычисление степени устойчивости** конструкции. Отдельные расчёты устойчивости откоса на этапах проектирования обладают полной самостоятельностью и никаким образом **не относятся к предшествующим этапам и расчётам**.

## Плоская задача

Этот вычислительный модуль подходит для решения линейных сооружений (**тоннель, насыпь, выемка, плотина**), для которых характерен на порядок больший продольный размер, чем поперечные размеры рассматриваемой области.



Предпосылка плоской деформации

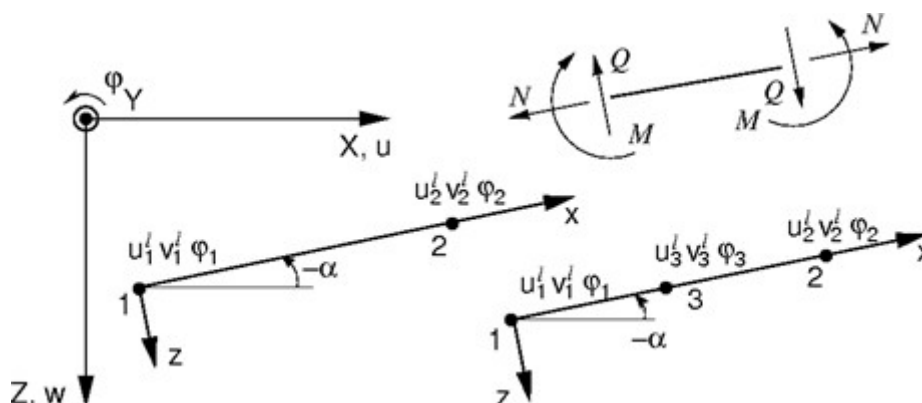
В таком случае целесообразно отнести расчёт на  $1$  погонный  $m$  конструкции (см.рис.) и задачу решать на предпосылке плоской деформации. Деформациями в плоскостях параллельных с продольной осью конструкции в данном случае можно пренебречь. В массиве, следовательно, принимаем только образование деформаций и напряжений в плоскости перпендикулярной к продольной оси и, в результате поперечного сжатия также

нормального напряжения в направлении продольной оси. Соответствующие ненулевые составляющие напряжения и деформации можно сложить в вектор напряжения и деформации следующим образом:

$$\sigma^T = \{\sigma_{xx} \sigma_{zz} \tau_{xz} \sigma_{yy}\}$$

$$\varepsilon^T = \{\varepsilon_{xx} \varepsilon_{zz} \gamma_{xz} \varepsilon_{yy} = 0\}$$

В случае балочных элементов речь идёт о решении пояса пластины шириной в  $1\text{ м}$ . Ненулевые составляющие узловых деформаций видны на следующем рисунке для двухузлового балочного элемента совместимого с трёхузловым треугольным плоским элементом и для трёхузлового балочного элемента совместимого с шестиузловым треугольным плоским элементом.



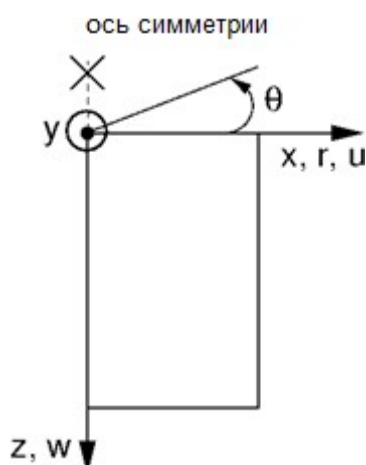
*Балочный двухузловый и трехузловый элементы*

Соответствующие составляющие внутренних сил (см.рис.), отнесённые к  $1\text{ м}$  ширины можно сложить в вектор напряжения следующим образом:

$$\sigma^T = \{N \equiv n_{xl}, M \equiv m_y, Q \equiv q_{zl}\}$$

## Осевая симметрия

Использование этого расчётного модуля целесообразно для решения вращательно-симметричных задач. Этому предположению должны удовлетворять и геометрия конструкции, и нагрузки. Подходящим примером может послужить решение задачи вертикальной нагрузки одиночной сваи, круглой выемки, или откачка подземной воды из круглой скважины.



### Предпосылка осевой симметрии

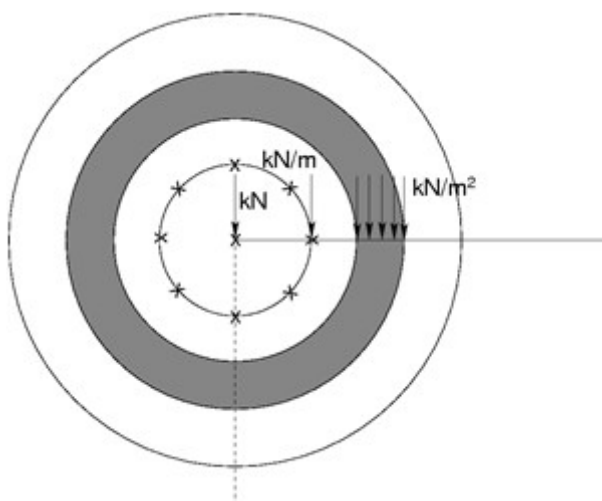
Подобно задаче плоской деформации речь идёт об общей трёхмерной проблеме, которую можно преобразовать в решение двумерной задачи (см.рис.). Решение будет отнесено к  $l$  длины дуги радиусом  $x(r)$ . Ось симметрии всегда представляет начало координаты  $x(r)$ . Сдвигающими составляющими деформации в направлении ротации можно пренебречь. Наряду с составляющими напряжения и деформации в плоскости сечения принимаем во внимание также образование периметрической нормальной составляющей напряжения и деформации. Соответствующие ненулевые составляющие напряжения и деформации можно сложить в вектор напряжения и деформации следующим образом:

$$\sigma^T = \{\sigma_{xx} \sigma_{zz} \tau_{xz} \sigma_{\theta\theta}\}$$

$$\varepsilon^T = \left\{ \varepsilon_{xx} \varepsilon_{zz} \gamma_{xz} \varepsilon_{\theta\theta} = \frac{u}{r} \right\}$$

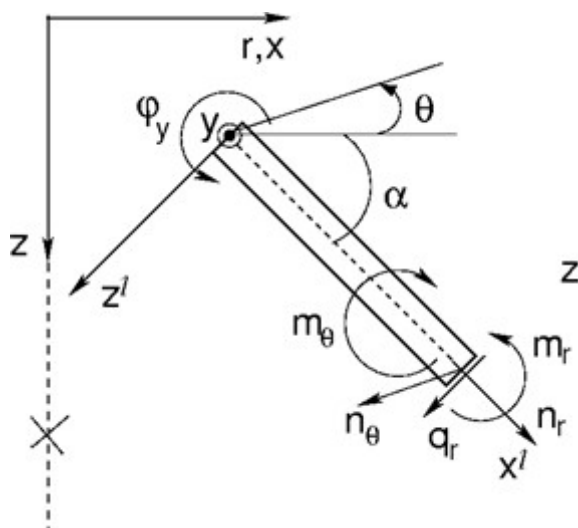
Очевидно, что периметрическая составляющая деформации, а следовательно, также задействованные нормальные составляющие напряжения приобретают на оси симметрии бесконечные значения. С точки зрения аппроксимации методом конечных элементов для повышения точности их определения необходима достаточно густая сетка кругом оси симметрии.

Внимания заслуживает также приложение линейной и плоской нагрузки. Отдельные примеры нагружения поверхности территории представлены на следующем рисунке. Очевидно, что эффект от таких нагрузок увеличивается с увеличением расстояния от оси симметрии. Следовательно, приложение нагрузки такого типа непосредственно на ось симметрии не скажется на расчёте. В таком случае необходимо выбрать тип нагружения оси симметрии. Программа позволяет нагружение только сосредоточенной силой.



*Примеры пригрузки рельефа*

У балочных элементов имеем дело с задачей плоской ротационно-симметричной оболочки с влиянием изгибающих воздействий. Ненулевые степени свободы аналогичны примеру пояса пластин, принятого для решения задачи плоской деформации. Наряду с осевыми (меридиальными) воздействиями необходимо принимать во внимание также оболочечные и изгибающие воздействия в периметрическом направлении (см. следующий рисунок).



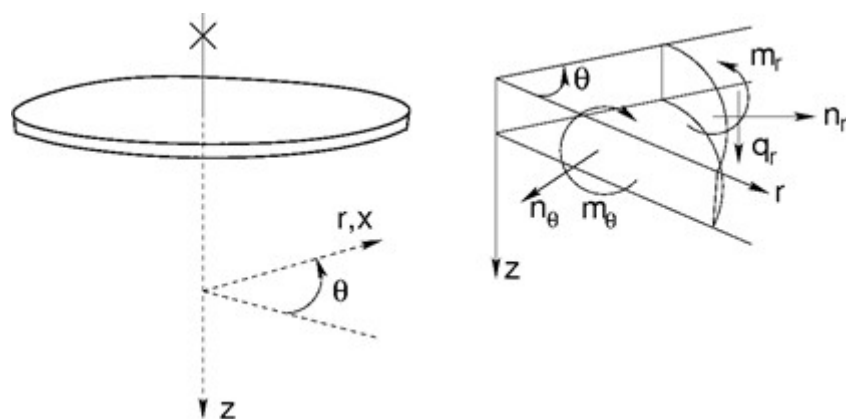
*Балочный элемент в осевой симметрии*

Соответствующие составляющие внутренних сил (см.рис.), отнесённые к  $1\text{ м}$  ширины можно сложить в вектор напряжения следующим образом:

$$\sigma^T = \{n_r, m_r, q_r, n_\theta, m_\theta\}$$

В случае круговой пластины или кругового кольца (угол  $\alpha = 0$ ) можно говорить о радиальных и периметрических составляющих внутренних сил (см. следующий рисунок).





Внутренние силы на круговой пластине

Отношение между внутренними силами и соответствующими составляющими деформации могут быть в общем случае записаны в виде:

$$\begin{Bmatrix} n_r \\ m_r \\ q_r \\ n_\theta \\ m_\theta \end{Bmatrix} = \frac{1}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} EA & 0 & 0 & \nu EA & 0 \\ 0 & EI_y & 0 & 0 & \nu EI_y \\ 0 & 0 & \frac{(1-\nu)kEA}{2} & 0 & 0 \\ \nu EI_y & 0 & 0 & EA & 0 \\ 0 & \nu EI_y & 0 & 0 & EI_y \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{du^I}{dx} \\ \frac{d\varphi_y}{dx} \\ \varphi_y + \frac{dw^I}{dx} \\ \frac{u^I \sin \alpha - w^I \cos \alpha}{r} \\ \frac{\varphi_y \cos \alpha}{r} \end{Bmatrix}$$

Принимаем радиус  $r$  равным бесконечности и переходим к проблеме плоской деформации. Стоит обратить внимание на обстоятельство, что у сдвигающих сил их величина, в отличие от проблемы плоской деформации, находится в сильной зависимости от плотности разбивки балки на элементы. То же самое касается вертикальных реакций.

### Замечание по движению потока

Напомним, что таким же образом как реакции при анализе напряжения, значения сосредоточенных потоков в узлах сетки с нормированными поровыми давлениями тоже отнесены к  $l$  м длины дуги радиусом  $x(r)$ . В случае плоской деформации соответствующие значения сосредоточенных потоков отнесены к  $l$  м длины. Этому соответствуют и общие значения расходов, которые можно определить по сосредоточенным потокам [ $m^3/сутки/м$ ] следующим образом:

### Плоская деформация

$$\sum Q = \sum_{i=1}^N Q_i \quad [m^3/den/m]$$

### Осевая симметрия

$$\sum Q = \sum_{i=1}^N 2\pi x_i Q_i \quad [m^3/den]$$

где  $N$  - количество узлов на соответствующей линии сетки, в которых рассчитывают сосредоточенные потоки  $Q_i$  [ $m^3/сутки/м$ ]. В случае осевой симметрии представляет  $x_i$  значение  $x$ -координаты данной точки, т.е. общий расход [ $m^3/сутки$ ] напр., через

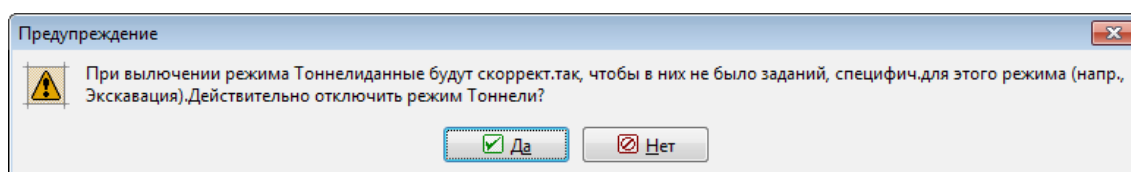
цилиндрическую поверхность (вертикальная линия) или через круглоцилиндрическую поверхность (горизонтальная линия).

## Тоннели

В рамке «**Настройка**» можно отметить выбор «**Тоннели**». (Выбор доступен только в случае, что пользователь **приобрёл** этот модуль.). После выбора режима «**Тоннели**» в программу можно вводить данные и вычислять:

- **экскавацию** (моделирование 3D эффекта забоя по новому австрийскому методу)
- **деградацию балок**
- **тепловую нагрузку балок**
- **тепловую нагрузку областей** (нужен «**Расширенные возможности программы**»)
- **нагрузку областей набуханием**
- **мониторы результатов**

Режим «**Тоннели**» можно в любой момент выключать и включать, однако этим отменяются все выполненные расчёты. Переход от нормального режима в режим «**Тоннели**» вполне безопасен. При переходе из режима «**Тоннели**» в нормальный режим будут потеряны все дополнительно заданные данные - программа сообщает об этом в диалоговом окне.



*Предупреждение о корректировке данных при выходе из режима «Тоннели»*

## Консолидация

Расчёт **консолидации** - один из опциональных модулей программы МКЭ. Включается в рамке «**Настройка**» путём переключения «**Тип расчёта**» в «**Консолидация**».

Имеются следующие **ограничения**:

- нет доступа к режиму «**Тоннели**»
- можно использовать только некоторые из **материальных моделей** грунтов: **эластичную**, модели **Mohr-Coulomb**, **Mohr-Coulomb** модифицированную и **Drucker-Prager**
- активную область определяем на первом этапе, на последующих этапах разрешена только **активация** областей, расположенных выше рельефа предыдущего этапа, т.е. нельзя создавать выемки и отверстия
- в сетке конечных элементов обязательно должны быть использованы **многоузловые элементы**
- **задавать воду** можно только на первом этапе и только «**Воды нет**» или «**У.Г.В.**»
- **балки** в поперечном направлении всегда водонепроницаемы, определяем только дренаж вдоль балки независимо слева и справа
- запрещено задавать движение воды в точках, **линии** на краях задачи обладают только характеристиками «**проницаемая**» а «**непроницаемая**»

Последовательность ввода и расчёта:

- определяем **топологию** задачи таким же образом как при расчёте напряжённого состояния, **генируется сеть** конечных элементов
- на первом **этапе проектирования** задаём в рамку «**Вода**» распределение поровых давлений, путём определения **уровня грунтовой воды**
- на последующих этапах, вводим помимо данных для расчёта напряжённого состояния также краевые условия для **движения воды**, свойства балок и **контактов для фильтрации**, а также **параметры** для расчёта, т.е. продолжительность этапа и способ приложения нагрузки

**Результаты** будут отображены таким же способом как при **расчёте** напряжённого состояния, кроме того вычислены скорости движения воды в массиве.

Теоретические допущения для расчёта см. [здесь](#).

## Прицип численного решения консолидации

### Консолидация

В задачах напряжённого состояния программа GEO5 МКЭ позволяет использовать два специфических подхода к моделированию воздействий порового давления на земляное полотно. В случае недренированных условий допускаем непроницаемость всех границ слоя недренированного грунта и объёмную несжимаемость грунта, а воздействие нагрузки скажется немедленным возрастанием порового давления внутри этого слоя. Если соответствующим образом поменять граничные условия и этим позволить постепенную диссипацию неустановившегося порового давления, то переходим на дренированные условия и допускаем, что на полученное в результате поровое давление деформация скелета уже не влияет. Решением перехода от недренированных к дренированным условиям занимается теория консолидации.

Под понятием консолидация подразумевается деформация грунта во времени под воздействием внешней нагрузки - постоянной или переменной во времени. Речь идёт, следовательно, о реологическом процессе. В нашем случае ограничимся так наз. первичной консолидацией, для которой характерно уменьшение объёма поров, следовательно изменение внутренней структуры грунта от воздействия нагрузки, сопровождаемое выжиманием воды из поров. Предполагаем полную водонасыщенность грунта. Задачу консолидации в частично насыщенном грунте текущая версия программы не решает. Управляющее уравнение для описания движения воды (фильтрации) - (условие неразрывности,  $\dot{a}$  представляет деривацию во времени данной переменной) в полностью водонасыщенном грунте ( $S = 1, \dot{S} = 0$ ) с предполагаемой деформацией скелета записываем в виде (напомним об уравнении Ричардса, описывающем **неустановившееся движение воды (фильтрацию)**).

$$\frac{1}{M} \dot{p} + \alpha \dot{\epsilon}_v + \nabla^T \left( - \frac{K_{sat}}{\gamma_w} (\nabla p - \gamma_w i_g) \right) = 0 \quad (1)$$

где:  $M$  - модуль Биота, принимаем в диапазоне  $M = (100-1000)K_{sk}$  ( $K_{sk}$  - это объёмный модуль скелета). В общем это достаточно большое число, обеспечивающее объёмную несжимаемость полностью водонасыщенного грунта за очень короткое время в начале консолидации. Стандартная настройка  $M = 10^6 \text{ kPa}$ .

- $\alpha$  - параметр Биота, принимаем, как правило  $\alpha = 1$   
 $p$  - поровое давление  
 $\nabla p$  - градиент порового давления  
 $\mathbf{K}_{sat}$  - матрица проводности, объединяющая коэффициенты проницаемости, определённые для полностью водонасыщенной среды, проницаемости типичные значения для выбранных грунтов приведены в [vred](#) в [Таблице](#)  
 $i_g$  - гидравлический градиент

Скорость изменения тотального напряжения определена выражением:

$$\dot{\sigma} = \mathbf{D}^{ep} \dot{\varepsilon} - \alpha 3 \mathbf{m} \dot{p}_{ex} \quad (2)$$

- где:  $\mathbf{D}^{ep}$  - текущая матрица жёсткости  
 $p_{ex}$  - значение нерассеянного порового давления

$$\mathbf{m} = \left\{ \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, 0, \frac{1}{3} \right\}^T \text{ для плоской деформации или осевой симметрии}$$

Отметим, что общее поровое давление  $p$  - это сумма стационарного порового давления  $p_{ss}$  и нерассеянного порового давления  $p_{ex}$ . При этом в силе:

$$\dot{p}_{ss} = 0 \quad (3)$$

Уравнение неразрывности (1) можно записать как:

$$\frac{1}{M} \dot{p}_{ex} + \alpha \dot{\varepsilon}_v + \nabla^T \left( - \frac{\mathbf{K}_{sat}}{\gamma_w} \nabla p_{ex} \right) = 0 \quad (4)$$

с учётом нулевого значения нерассеянного порового давления на границе с нормированным поровым давлением:

$$p_{ex}(t) = 0 \quad (5)$$

и нулевого втекания/вытекания ( $q(t) = 0$ ) на границе с нормированным потоком:

$$\mathbf{n}^T \left( \frac{\mathbf{K}_{sat}}{\gamma_w} \nabla p_{ex}(t) \right) = 0 \quad (6)$$

где:  $\mathbf{n}$  - вектор составляющих внешней единичной нормали

См. дальше: **Настройка гидравлических краевых условий.**

Общее тотальное напряжение записываем в виде:

$$\sigma = \mathbf{D}^{el} (\varepsilon - \varepsilon^{pl}) - \alpha 3 \mathbf{m} (p_{ss} + p_{ex}) \quad (7)$$

где:  $\mathbf{D}^{el}$  - упругая матрица жёсткости

- $\epsilon$  - вектор общей деформации  
 $\epsilon^{pl}$  - вектор общей пластической деформации

Текущие значения деформаций и нерассеянного порового давления в уравнении (7) получаем удовлетворением статических условий равновесия и уравнения неразрывности (4) в рамках решения комбинированной проблемы напряжённого состояния и транспорта воды при использовании принципа виртуальных перемещений. Как и в случае **неустановившейся фильтрации (движения воды)** использован для временной дискретизации уравнения (4) полностью неявный метод Эйлера. Подробности см. в [1,2,3].

### Расчёт консолидации

Как и в случае расчёта неустановившегося движения воды (фильтрации) первый этап расчёта служит для настройки начальных условий, т.е., геостатического напряжённого состояния и установившегося порового давления. У порового давления это его окончательные значения при достижении стопроцентной степени консолидации. Настройка начальных значений порового давления выполняется только посредством уровня зеркала грунтовой воды (У.Г.В.). Следует принимать во внимание, что в случае, когда уровень грунтовых вод проходит внутри земляного полотна, то и выше У.Г.В. допускаем полностью водонасыщенный грунт. Такое же распространяется и на грунты в областях, которые в расчёт вводятся только на последующих этапах проектирования (активация новых областей). Удаление грунта (деактивацию областей) настоящая версия программы не разрешает. Собственно расчёт консолидации начинается только со второго этапа и для этого необходима настройка гидравлических краевых условий, продолжительности времени данного этапа проектирования, предполагаемого количества временных шагов и способа ввода нагрузки в расчёт.

### Настройка гидравлических краевых условий

Программа позволяет ввести только два типа краевых условий, см. уравнения (5), (6):

- Условие нулевого порового давления ( $p = 0$ ), когда вода может свободно вытекать из массива, т.е. условие полностью водопроницаемой границы. Это условие фактически соответствует нулевому значению нерассеянного порового давления  $p_{ex}$ . Общее значение порового давления вдоль этой границы следовательно составляет  $p = p_{ss}$ . Настройка является стандартной и предусматривается вдоль всей внешней границы земляного полотна, т.е. в том числе вдоль внешней границы новых областей.
- Условие нулевого втекания/вытекания ( $q = 0$ ), т.е. условие имитирующее водонепроницаемую границу. В случае необходимости условие активируют вручную.

От выбора краевого условия зависит скорость консолидации. Подробности см. в [1].

### Настройка продолжительности временного шага - ожидаемое количество временных шагов этапа

В отличие от задач **неустановившейся фильтрации** в задаче консолидации не нужно настраивать начальную продолжительность временного шага (дискретное значение прироста времени в решении уравнения (4)). т.к. он устанавливается непосредственно на основании заданной продолжительности этапа и заданного ожидаемого количества временных шагов, на которые разбито решение данного этапа. В случае линейной консолидации (допускается только линейно-эластичное поведение грунта) настройка количества шагов не меняется. В случае нелинейного отклика может иметь место сокращение установленной длины шага из-за конвергенции, следовательно, предполагаемое количество шагов увеличивается. При настройке количества шагов по отношению к продолжительности этапа следует учитывать, что временной шаг начале

консолидации следует настроить относительно небольшим ( в частности на этапе нагружения в сочетании с нелинейным поведением грунта), между тем, как по мере возрастания степени консолидации его продолжительность может достигать порядка десятков дней. Подробности можно найти в [1].

### **Ввод нагрузки в анализ.**

Как и в задачах **нестационарной фильтрации** программа предлагает только две опции:

- Нагрузка вводится в расчёт в начале данного этапа. Фактически предполагается линейное наращивание нагрузки в течение первого временного шага. Следовательно, если нас интересует поведение во времени  $t \rightarrow 0$ , необходимо соответствующим образом настроить параметры продолжительности этапа и предполагаемого количества шагов (напр., 0.001 и 1). В случае очень короткого временного шага и с допущением полной непроницаемости границы ( $q = 0$ ), принимаем для модели объёмно несжимаемый грунт ( $K \rightarrow \infty$ ) и конечное значение модуля сдвига. Результаты расчётов для  $t \rightarrow 0$  будут хорошо согласовываться с результатами полученными при условии недренированных грунтов. Остальные подробности находятся в [1].
- В течение этапа нагружение линейно возрастает. Прирост нагрузки находится в зависимости от текущей продолжительности временного шага. Особенно в случае нелинейной консолидации и этапа, на котором в расчёт вводим нагрузку, необходимо соблюдать «реальное» протекание нагрузки во времени. Таким образом, как правило, можно избегать проблем с конвергенцией.

В случае, что на данном этапе не меняется нагрузка, эта настройка будет нерелевантной.

### **Использование балок в задачах консолидации.**

Проницаемость балок зависит от их местоположения и выбора краевых гидрологических условий. Балка расположенная внутри земляного плотна в перпендикулярном направлении всегда непроницаема. На границе рассматриваемой области, проницаемость балки в нормальном направлении, как и в задачах фильтрации (движения воды), управляется краевым условием. В случае проницаемой границы ( $p = 0$ ) балка на границе будет полностью проницаема, но в случае непроницаемой границы ( $q = 0$ ) балка на границе будет непроницаемой.

### **Использование контактных элементов в задачах консолидации**

Включение контактных элементов в расчёт имеет двойное значение. Во-первых, позволяет перемещение относительно друг друга двух грунтов, грунта и породы, грунта и балочного элемента, напр., в задачах ограждений котлованов. Во-вторых, преследуется цель моделировать дренаж вдоль балки или линии общего характера, на которую размещаем контакт. В любом случае следует помнить, что имеем дело с сопряжённым моделированием обоих состояний - т.е. напряжённого состояния и фильтрацией. При такой настройке программа принимает фильтрацию (движение воды) через контактный элемент в зависимости от коэффициентов проницаемости окружающего грунта как в продольном направлении, так и в направлении нормали. В случае размещения контактного элемента на балку, значение коэффициента проницаемости в направлении нормали  $k_n$  не имеет значения, т.к. балка рассматривается или как непроницаемая ( $k_n = 0$ ) или полностью проницаемая ( $k_n \rightarrow \infty$ ), смотри «**Применение балок в задачах консолидации**».

### **Примечания общего характера**

Развитие во времени отдельных величин, напр., осадки, нерассеянного порового давления, будет в случае линейной консолидации всегда ограничено решением задач напряжённого состояния при условии недренированных грунтов (все активные грунты в

полотне считаем недренированными) или дренированных грунтов (стандартная настройка, все активные грунты считаем дренированными). В последнем случае имеем дело с установившимся состоянием при полном исчезновении нерассеянного порового давления. Результаты решения линейных задач напряжённого состояния с дренированными грунтами и консолидация для  $t \rightarrow \infty$  должны полностью совпадать, что не справедливо при решении нелинейных задач, т.к. в таком случае не действует принцип суперпозиции. Более подробно смотри в [1].

В отличие от задач анализа фильтрации (движения воды, в задачах консолидации в расчётах используются исключительно только многоузловые элементы. Значения перемещений выражаем во всех узлах данного элемента (квадратичная аппроксимация поля перемещения), в то время как значения порового давления рассчитываем только на вершинах элемента (линейная аппроксимация порового давления).

В отличие от одномерной задачи консолидации, имплементированной в программу «Осадка», для двумерных задач консолидации справедливо, что при  $t \rightarrow 0$  только объёмная деформация и следовательно среднее эффективное напряжение стремится к нулю, а не отдельные составляющие вектора перемещения.

*Литература:*

[1] M. Šejnoha, T. Janda, H. Pruška, M. Brouček, *Metoda konečných prvků v geomechanice: Teoretické základy a inženýrské aplikace, předpokládaný rok vydání (2015)* ("Метод конечных элементов в геомеханике: Теоретические основы и инженерные приложения", предполагаемый год издания (2015))

[2] Z. Bittnar and J. Šejnoha, *Numerické Metody Mechaniky II. České vysoké učení technické v Praze, 1992* ("Численные методы Механики II")

[3] Z. Bittnar and J. Šejnoha, *Numerical methods in structural engineering, ASCE Press, 1996*

## Ко процедура

$K_0$  процедура - это метод, позволяющий другим способом вычислять основные **геостатические состояния напряжения** (1. этап проектирования). Применяется в случае, когда нужно задать другое **начальное боковое состояние напряжения**. Напр., у **переуплотнённых грунтов** реальное боковое напряжение может быть существенно больше, чем у нормальных непереуплотнённых грунтов.

При **стандартном расчёте** выполняется стандартный анализ заданной конструкции методом конечных элементов. Использование нелинейных моделей позволяет учесть в расчёте возможное развитие площади разрушения ещё при определении геостатического состояния напряжения. В случае эластической деформации грунта между вертикальным  $\sigma_z$  и горизонтальным напряжением  $\sigma_x$  справедливо отношение известное из теории упругости:

$$\sigma_x = \frac{\nu}{(1-\nu)} \sigma_z$$

где:

- $\sigma_z$  - вертикальное нормальное напряжение
- $\sigma_x$  - горизонтальное нормальное напряжение
- $\nu$  - коэффициент Пуассона

При таком расчёте может у нелинейных моделей произойти изменение пластичности (вязкости) грунтов.



Расчёт с помощью  $K_0$  процедуры является эластичным и изменение пластичности (вязкости) грунта не может произойти. Боковое напряжение на первом этапе проектирования вычисляется из отношения:

$$\sigma_x = K_0 \sigma_z$$

где:

- $K_0$  - Коэффициент натурального бокового давления, заданный пользователем
- $\sigma_z$  - Вертикальное нормальное напряжение
- $\sigma_x$  - Горизонтальное нормальное напряжение

Коэффициент  $K_0$  задают как параметр грунта. Если параметр  $K_0$  не задан, его рассчитывают по формуле:

$$K_0 = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

## Движение потока

Программа разрешает выбор анализа **установившегося или неуставившегося движения потока** в массиве. Анализ неуставившегося потока позволяет определить развитие поровых давлений (высоты нагнетания) и текущую степень насыщения во времени. Время, после которого распределение поровых давлений больше не меняется, можно назвать временем необходимым для достижения установившегося состояния. Время зависит как от материальных свойств среды (значение коэффициента водопроницаемости, параметры моделей, описывающих кривую удержания воды в грунте - зависимость степени водонасыщения от отрицательной высоты давления или всасывания), так и от типа решаемой задачи (напр., открытый поток). В случае установившегося потока отдельные этапы проектирования полностью независимы друг от друга. В случае неуставившегося потока методика расчёта аналогична анализу напряжённого состояния. Отдельные этапы расчёта являются продолжением друг друга. Первый, независимый этап расчёта предназначен для настройки исходных условий, т.е. настройки исходных значений поровых давлений/высота нагнетания и степень водонасыщения в начале зависимо от времени расчёта, в водонасыщенном (положительные значения поровых давлений), а также в частично водонасыщенном (отрицательные значения поровых давлений-всасывание) грунте. На последующих этапах расчёта необходимо задавать продолжительность соответствующего этапа и историю нагружения (хронологию истории гидравлических граничных условий). В настоящей версии программы предполагается, что нагрузка была или полностью задана в начале этапа, или линейно увеличивается в течение этапа.

В общем в обоих случаях (установившееся/неуставившееся движение потока) речь идёт об описании движения потока в водоненасыщенной или частично водонасыщенной среде. Движение потока в полностью водонасыщенной среде происходит только ниже уровня грунтовой воды. Выше уровня грунтовой воды (движение потока в частично водонасыщенной среде) движение управляется подходящей моделью материала. Для расчёта движения потока со свободным зеркалом (свободного потока) программа предлагает для ввода одну из трёх **моделей материала: Log-линейную модель, модель Гарднера и модель Ван Генухтена**. Для решения задачи неуставившегося потока рекомендуем использовать **модель ван Генухтена**, т.к. он позволяет достоверно описать свойства грунтов удерживать воду. Ввиду того, что выбором модели обусловлена настройка исходных условий (исходная степень водонасыщения), менять модель материала на последующих этапах программа не разрешает. В таком же духе настоящая версия программы не позволяет менять геометрию модели заданную на начальном этапе.

Для решения задачи неустановившегося потока нужно на первом этапе расчёта сперва задавать исходные значения порового давления /высоты давления во времени  $t = 0$ , особенно над уровнем грунтовой воды в области водонасыщенного или частично водонасыщенного грунта (область всасывания). Программа позволяет установить исходные значения всасывания тремя способами, а именно: путём решения задачи установившегося потока, предположением равновесного распределения данного уравнения  $p = -\gamma_w \cdot z$ , где ордината  $z$  замеряется от текущего положения уровня грунтовой воды, либо начальные значения всасывания можно задавать напрямую. Для решения практических заданий не рекомендуется задавать максимальное значение отрицательной высоты давления  $h_p$  меньше чем  $-10 \text{ m}$  ( $p > -100 \text{ kPa}$ ), особенно, если имеем дело с крупнозернистыми грунтами. Напр., у песков уже при значении высоты давления  $h_p < -1 \text{ m}$  кривая удержания воды в грунте принимает практически горизонтальное положение и при огромных изменениях высоты давления изменение степени водонасыщения приближается нулю. То же самое распространяется на значение относительного коэффициента  $K_r$ , с помощью которого понижаем коэффициент водопроницаемости насыщенного грунта в ненасыщенной или частично насыщенной зоне. Сформулировать общую рекомендацию по установке минимальной высоты давления поэтому весьма сложно, т.к. у тонкозернистых грунтов отрицательные высоты давления могут достигать сотен, а у глин - тысячи метров.

Следующий пункт - это задание граничных условий (в **точках** или на **линиях**) всегда в начале нового этапа расчёта. В массиве можно моделировать **балочные** или **контактные** элементы. В **результате расчёта** получаем распределение поровых напряжений, общие высоты давления, всасывание (отрицательного порового давления) а в случае неустановившегося потока также степень водонасыщения в массиве, скорость и направления движения потока, а также информацию о величине втока/ оттока в массив /из массива соответственно.

## Расчёт движения потока

### Неустановившееся движение потока

Описание неустановившегося потока в частично водонасыщенной среде, основано на предпосылке несжимаемости скелета и поровой воды и решения общего уравнения Ричардса (уравнение непрерывности):

$$n \dot{S} + \text{div}(-K_r K_{\text{sat}} \nabla h) = Q$$

где:	$n$	-	Пористость материала
	$\dot{S}$	-	Изменение степени водонасыщения во времени
	$K_r$	-	Коэффициент относительной водопроницаемости
	$K_{\text{sat}}$	-	Матрица водопроводности объединяющая коэффициенты водопроницаемости, определённые для полностью водонасыщенной среды
	$\nabla h$	-	Градиент гидравлической высоты
	$Q$	-	Представляет источник (насос/колодец) [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

Временная дискретизация уравнения Ричардса основана на развёрнутой модифицированной итерационной схеме Пикарда [1]. Речь идёт о гибридной формуле, обеспечивающей удовлетворение закону сохранения массы. Ввиду того, что речь идёт о общей нелинейной проблеме, расчёт выполнен инкрементальным способом. Итерация условий равновесия выполняется стандартным методом Ньютона-Рафсона. В расчёт входит настройка начальных и граничных условий.

Отметим, что скорость и устойчивость процесса итерации в значительной степени обусловлены выбором материальной модели (определение коэффициента относительной водопроницаемости  $K_r$ , степени насыщения  $S$  и аппроксимации ёмкостного члена  $C = dS / dh_p$ ), особенно в отношении к нелинейным свойствам соответствующего грунта. Выражено нелинейное поведение наблюдается, напр., у песков - некорректно установленные начальные условия могут привести к нумерическим проблемам. Подробности даны, напр., в [2,3].

### Установившееся движение потока

Описание установившегося потока предполагает нулевое изменение степени водонасыщенности во времени. Управляющее уравнение проблемы сведено к формуле:

$$\operatorname{div}(-K, K_{sat} \nabla h) = Q$$

Следовательно, в отличие от неустановившегося движения потока решение данной проблемы независимо от времени. В расчёт вводят только граничные условия. Также и здесь в общем имеем дело с нелинейной проблемой (напр., решение задачи открытого потока, требующей применения итерационного метода Ньютона-Рафсона). Подробности приведены, напр., в [2,3].

Литература:

[1] M. A. Celia and E. T. Bouloutas, A general mass-conservative numerical solution for the unsaturated flow equation, *Water Resources Research* 26 (1990), no. 7, 1483-1496.

[2] M. Šejnoha, *Finite element analysis in geotechnical design, to appear* (2014)

[3] M. Šejnoha, T. Janda, H. Pruška, M. Brouček, *Modelování geotechnických úloh metodou konečných prvků: Teoretická základy a aplikace, předpokládaný rok vydání* (2014)

## Границы контура

В **рамку «Границы контура»** задают отдельные границы грунтов. Подробное описание работы с границами контура грунтов смотри [здесь](#).

Приблизительная оценка ширины в задаче как правило не вызывает большой проблемы (особое внимание нужно уделить достаточной величине площади окружающей объект, главным образом в заданиях по устойчивости) - однако существенное значение имеет также глубина сетки. Конец сетки можно вообразить как несжимаемое основание. При отсутствии несжимаемого основания в данном геологическом разрезе, можно предположить, что на определённом расстоянии от места нагрузки или контакта конструкции с основанием исчезают внутренние силы и, следовательно, не происходит деформация. На этом расстоянии и будем задавать диапазон координат задачи.

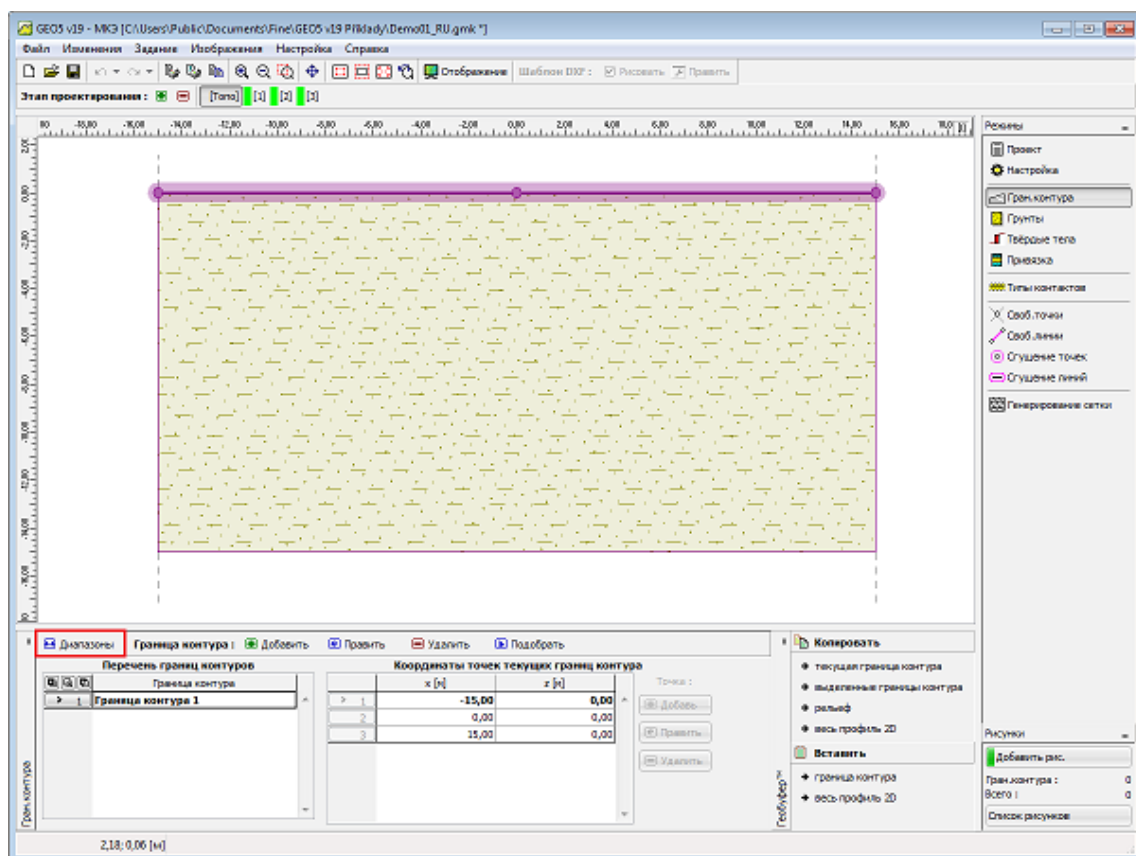
При сомнениях в правильном выборе **диапазона задачи**, целесообразно придерживаться следующего порядка действий:

- Сперва задаём большой диапазон координат с грубой сеткой и вычисляем изменения состояний напряжения в массиве.
- В следующем шагу уточняем величину диапазона координат (места, на которых не произошла деформация или не менялось напряжение можно обрезать), снова генерируем более густую сетку и выполняем новое, более точное вычисление.

Границу контура можно также импортировать из других программ системы GEO через буфер обмена.

Программа позволяет **импорт и экспорт** границ контура в формате \*.DXF. Заданные границы контура можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью

«Геобуфера».



Рамка «Границы контура»

## Грунты

В рамке «Грунты» находится таблица со списком заданных грунтов. Особенностью таблицы является отображение данных о текущем выборе грунта в правой части рамки. Если в таблице выбрано несколько грунтов, то информация по отдельным грунтам упорядочена в последовательном порядке.

Входные параметры грунтов зависят от выбора материальной модели, точнее материальной модели фильтрации.

Наиболее важными входными параметрами являются модуль упругости грунта  $E$  и коэффициент Пуассона (задаётся у всех моделей), далее, угол внутреннего трения и удельное сцепление грунта в нелинейных моделях. Программа моделирует установившееся состояние после перераспределения поровых давлений, следовательно работает с эффективными параметрами угла внутреннего трения  $\phi_{ef}$  и удельного сцепления  $c_{ef}$ .

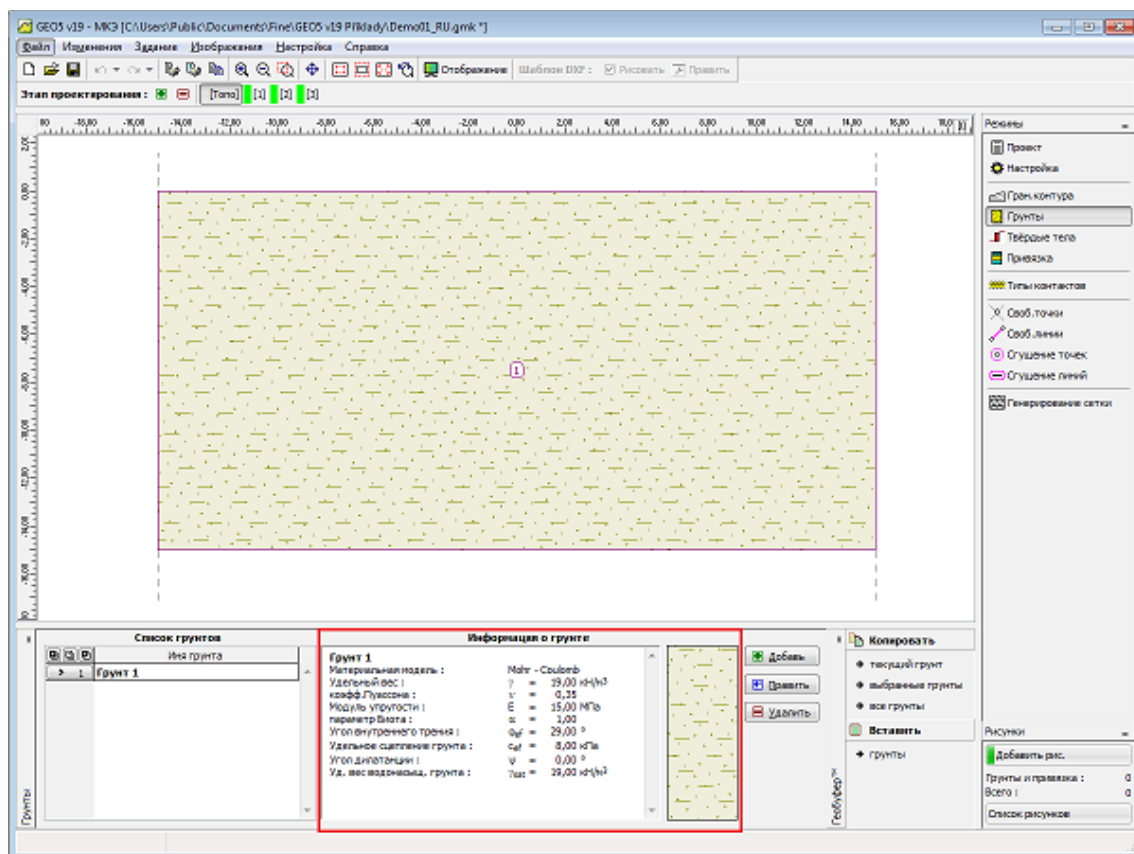
Входные параметры грунтов различаются также в зависимости от заданного режима ввода. При выборе расширенных возможностей программы (задаётся в рамке «Настройка») можно задавать специальные параметры, которые влияют на материальную модель (напр., параметр биоты, эффективный емкостный модуль воды и пр.). Эти параметры в подавляющем количестве расчётов являются несущественными и скорее назначены для научных анализов.

В расчёте можно комбинировать отдельные материальные модели - каждый из грунтов

может иметь свою собственную **материальную модель**.

Добавление грунта производится в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

Данные заданных грунтов можно копировать в рамках всех программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Грунты»

## Материальные модели

Выбор материальной модели и последующее задание параметров грунтов представляют собой одну из наиболее важных и в то же время самых проблемных задач при **моделировании конструкции** методом конечных элементов.

Материальные модели стараются дать достоверное описание поведения грунта (или породы). Модели можно разделять на две основные группы:

- **модели линейные**
- **модели нелинейные**

Правильный выбор материальной модели является **необходимым условием** **правильного моделирования конструкции**.

Для расчёта большинства конструкций нужны **нелинейные модели** (напр., расчёт ограждающей конструкции с линейной моделью грунта даст полностью нереальные результаты), однако в многих случаях использование **линейных моделей** может оказаться весьма удобным и упростит весь расчёт.

**Добавление новых грунтов**

Идентификация  
Имя : Zemina č. 1

Материальная модель  
Материальная модель : Mohr - Coulomb модифиц.  
эластичный  
эластич.модифицир.  
Mohr - Coulomb  
Mohr - Coulomb модифиц.  
Drucker - Prager  
Cam - Clay модифицир.  
Cam - Clay обобщенный  
Гипопластическая глина

Базовые данные  
Удельный вес :  
Модуль упруг. :  
коэфф.Пуассона :  
параметр Биота :  $\alpha = 1,00$  [-]  
Тип грунта : дренированный  
Способ задания Ко : расчёт из коэфф.Пуассона

Противодавление  
Расчёт взвешивающего усилия: стандартный  
Удельный вес водонасыщенный  $\gamma_{sat} = 19,00$  [кН/м³]

Модель Mohr - Coulomb модифиц.  
Смягчение /упрочнение : не учитывать  
Угол внутреннего трения :  $\phi_{ef} = 29,00$  [°]  
Удельное сцепление грунта :  $c_{ef} = 8,00$  [кПа]  
Угол дилатации :  $\psi = 0,00$  [°]

Отображение  
Color  
Pattern category: GEO  
Pattern: Clayey sand

Классификация  
Определить  
Стереть  
Добавить  
Отмена

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - выбор материальной модели

## Линейные модели

Линейные модели дают относительно быструю, но не очень точную оценку материала. Эта модель может быть использована в случаях, когда только интересует напряжение деформационного состояния грунтовых масс. Они не обеспечивают информацией о размещении и возможных механизмах отказа.

Они могут быть использованы для моделей поведения грунтов в регионах, где имеются только локальные (местные) разрушения без эффекта глобальных неудач, но которые могут быть причиной преждевременной потерей от конвергенции. Обеспечение главного интереса в достоверном описании поведения грунта важно использовать **нелинейные модели**.



Линейные модели включают:

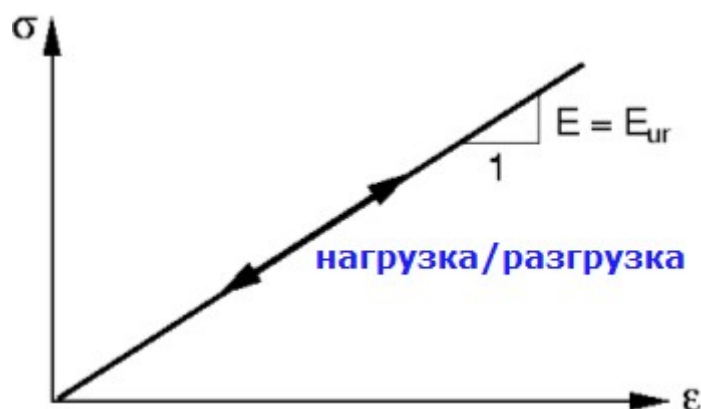
- Эластичные модели
- Модифицированные эластичные модели

## Эластичны модели

Линейные модели это базовые материальные модели которые предполагают линейное взаимодействие между напряжением и деформацией данная в законе Гука. Следующие данные требуют:

- $\gamma$  - основная масса веса грунта
- $\nu$  - коэффициент Пуассона
- $E$  - модуль эластичности

Одна измерительная задача закона Гука - описать линейную зависимость напряжения  $\sigma$  в деформации  $\epsilon$  через модуль Юнга  $E$  (модуль эластичности), см. диаграмму ниже. В этом случае линейная модель обеспечивает линейную вариацию смещения как функции приложенной нагрузки.



*Взаимодействие напряжения и деформации для линейной модели*

## Модифицированная эластичная модель

Очевидно, что для почв линейное поведение приемлемо только для относительно низких величин прикладываемых грузов. Это видно после разгрузки, которая обычно показывает, что довольно небольшое количество упругой деформации сравнивается с полной деформацией. Модифицированная линейная модель пытается по крайней мере в определенной степени принять это во внимание, рассматривая различные модули для загрузки и разгрузки, как изображено на рисунке.

Снижение жесткости материала вдоль заданного пути нагружения, относится к пластической текучести и изображается посредством модуля деформации  $E_{def}$ , который может быть представлен как секущий модуль, связанный с определенным уровнем напряжения.

Допускаем, возможность упругой реакции при разгрузке. Для повышения четкости отображения моделей модуль упругости для линии разгрузки заменяется модулем разгрузки/перезагрузки  $E_{ur}$ , который регулирует реакцию почвы на выгрузке и последующей перезагрузке в критическом состоянии, определенный в материальной точке до начала разгрузки.

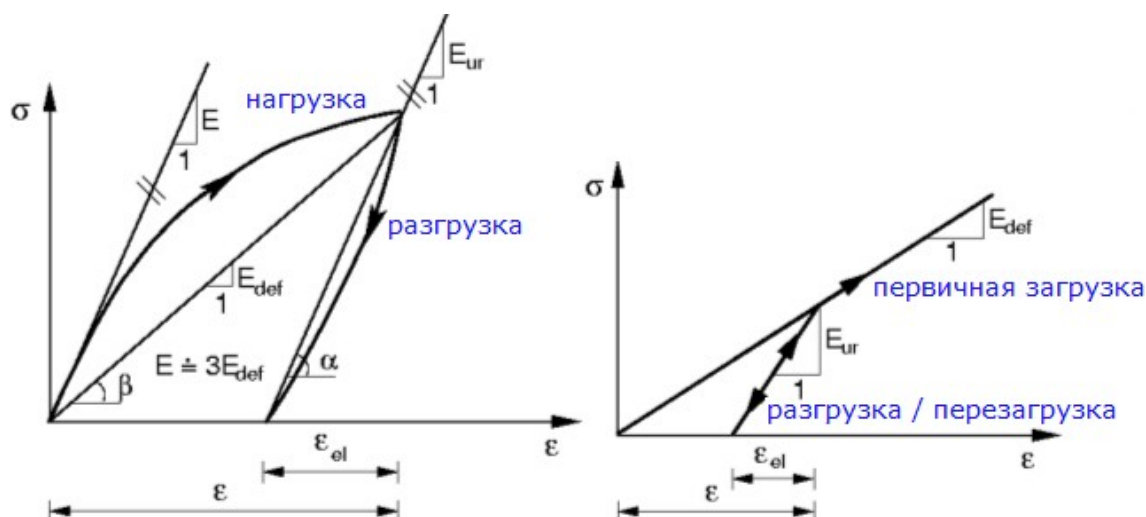


Ссылаясь на нижеследующие схемы, эти модули определяются по формулам:

$$E_{def} = \tan \beta = \Delta \sigma / \Delta \varepsilon$$

$$E_{ur} = \tan \alpha = \Delta \sigma / \Delta \varepsilon^{el}$$

где:  $E_{def}$  -деформационный модуль [МПа]  
 $E_{ur}$  -модуль разгрузки/перезагрузки [МПа]



а) Настоящая напряженно-деформированное схема почвы, (б) Упрощенная напряженно-деформированное схема MLM (модифицированный метод Лангеля)

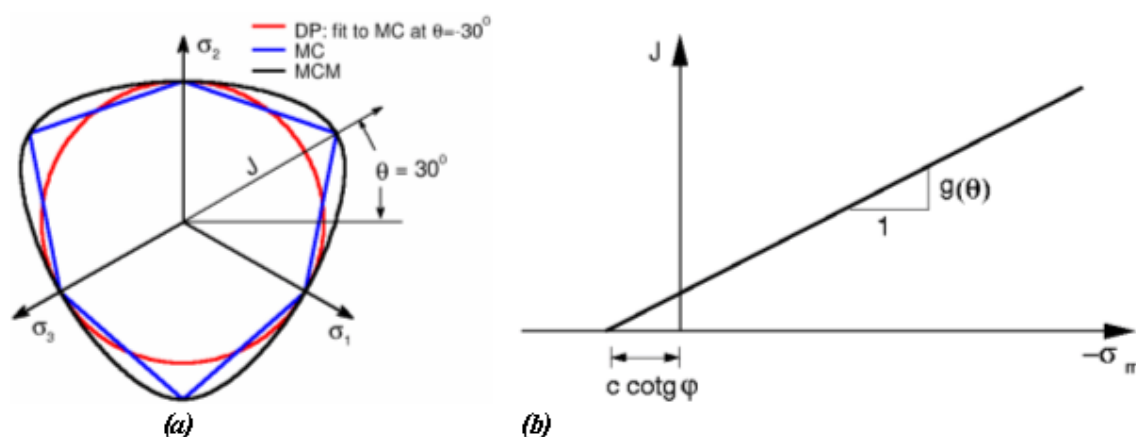
В ходе первичной нагрузки реакция почвы регулируется секущим модулем в то время как на выгрузке она следует по пути, установленной модуля разгрузки-перезагрузки  $E_{ur}$ . Приближенное значение этого модуля **3\*секанс**  $E_{def}$ . В любом случае, оба параметра должны быть получены от надежных экспериментальных измерений.

## Нелинейные модели

Основные нелинейные модели могут быть разделены на две группы.

Первый класс моделей происходит от классического критерия разрушения Мора-Кулона. В частности, **Друкер-Прагер**, **Мора-Кулона** и **модифицированные модели Мора-Кулона** попадают в эту категорию. Эти модели могут моделировать также **упрочнение и смягчение**. Общей особенностью этих моделей является развитие неограниченных упругих деформаций при загрузке по геостатической оси. Это видно из рисунка ниже, который показывает проекции поверхностей текучести в девиаторных и меридиональных плоскостях соответственно. Пример влияния выбранной модели **приводится**.

Вторая группа основных материальных моделей представлена **модифицированной Cam-clay**, **Обобщенной Cam-clay** и моделью **гипопластической глины**, использующей концепцию критического состояния почв.



Проекция текучести поверхностей в (а) девиаторной, (б) меридиональной плоскости

Применение нелинейных моделей позволяет нам увидеть типичные нелинейные реакции почв.

Эти модели описывают развитие постоянной (пластической) деформации материала почвы. Наступление пластической деформации контролируется так называемой поверхностью текучести. Поверхностная энергоотдача может быть либо постоянной (совершенно упругого пластического материала), или может зависит от текущего состояния напряжения (материальной с упрочнением/смягчением).



Напряженно-деформированное схема для нелинейных моделей

В отличие от модифицированной линейной модели нелинейные модели требуют указать только модуль упругости. Снижение жесткости материала является результатом развития пластических деформаций и соответствующего перераспределения напряжений. Это в свою очередь дает мгновенную касательную материальную жесткость в зависимости от текущего состояния напряжения, представленной на рисунке по мгновенному касательного модуля  $E_T$ .

В дополнение к основным параметрам материалов, описанных в разделе «**Эластичны модели**» нелинейные модели требуют введения определенных прочностных характеристик грунта, необходимого в определении данной текучести поверхности. Со ссылкой на первую группу материалов следующие параметры должны быть указаны:

- $\varphi$  - угол внутреннего трения [°]
- $c$  - когезия почвы [кПа]

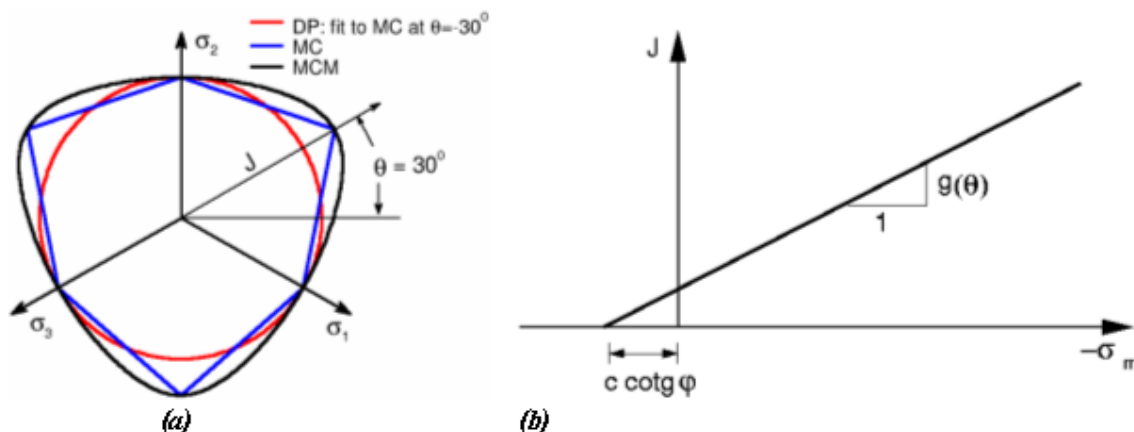
$\psi$  - угол расширения [°]

Угол внутреннего трения и когезия определяет **начало пластической деформации**. **Угол расширения** контролирует развитие пластической объемной деформации (растяжения).

## Мора-Кулона (МС)

Модель требует ввода следующих параметров: **модуль упругости  $E$** , **коэффициент Пуассона**, **угол внутреннего трения** и **когезия**. Последние два параметра служат для определения состояния текучести. Формулировка определяющих уравнений предполагает эффективные параметры угла внутреннего трения  $\varphi_{eff}$  и сцепления  $c_{eff}$ . **Угол растяжения** тоже должен быть указан.

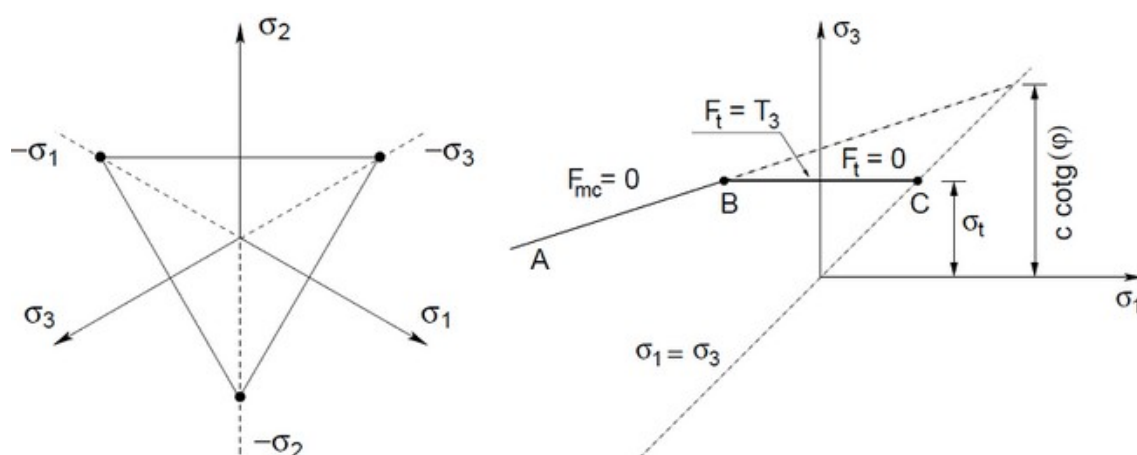
Поверхностная текучесть Мора-Кулона может быть определена по трем предельным функциям, как участок неоднородного гексагонального конуса в основном месте напряжений. Проекция этой поверхности текучести в девиаторных и меридиональных плоскостях изображены на рисунке. Как видно из этого рисунка (часть) функция текучести МС имеет углы, которые могут вызвать определенные трудности в реализации этой модели в методе конечных элементов. Преимуществом с другой стороны является то что традиционные механика грунтов и также частично механика горных пород основаны на этой модели.



Проекция текучести поверхностей в: (а) девиаторной, (б) меридиональной плоскости

## Модель Мора-Кулона с ограничением прочности на разрыв

Классическая формулировка **модели материала Мора-Кулона** расширена за счет введения условия пластичности Ренкина, см. рисунок (а), позволяющего понизить прочность грунта на разрыв, которая в стандартной модели Мора-Кулона определена выражением  $c * \cotg \varphi$  где  $c$  - сцепление и  $\varphi$  - угол внутреннего трения. Это значение может быть уменьшено путем внедрения пониженной прочности на разрыв  $\sigma_t$ , как следует из рис (б). Если справедливо, что  $\sigma_t > c * \cotg \varphi$ , то программа автоматически принимает  $\sigma_t = c * \cotg \varphi$ . Данную модель можно применить только в случае включения **расширенных возможностей программы**.

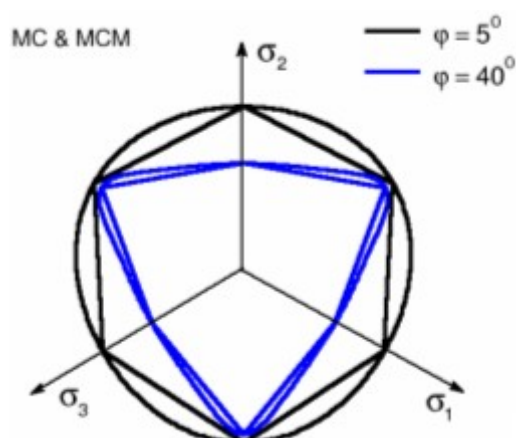


а) Проекция условия пластичности Ренкина на девиаторную плоскость б) Проекция расширенного условия пластичности Мора-Кулона на плоскость главных напряжений  $\sigma_1, \sigma_3$

## Модифицированная модель Мора-Кулона (МСМ)

Входными параметрами в этой модели являются: **модуль упругости грунта  $E$** , **коэффициент Пуассона**, **угол внутреннего трения** и **сцепление грунта**. Последние два параметра служат для определения состояния текучести. Программа моделирует установившееся состояние после перераспределения поровых давлений, следовательно, использует **эффективные параметры** угла внутреннего трения  $\varphi_{eff}$  и сцепления  $c_{eff}$ . Задаём также **угол дилатанции**.

Как и в модели DP Модифицированная модель Мора-Кулона сглаживает углы поверхности текучести МС. Как указывается в рисунке проекция поверхности текучести МСМ в девиаторной плоскости проходит через все углы шестиугольника Мора-Кулона и как функция текучести МС функция текучести МСМ зависит от эффективной длины  $\sigma_m$  напряжений и угла Лоде  $\theta$ . Со ссылкой на его определении менее жесткая реакция материала следует ожидать при пластичности модели МСМ по сравнению с моделями МС и DP.

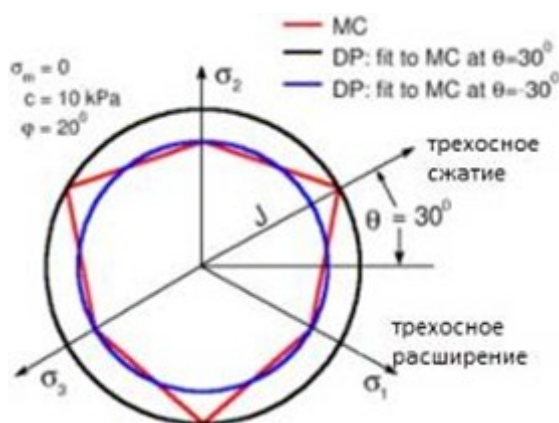


МСМ и МС текучесть поверхности в девиаторной плоскости

## Друкер-Прагер

Модель требует ввода следующих параметров: **модуль упругости  $E$** , **коэффициент Пуассона**, **угол внутреннего трения** и **сцепления**. Последние два параметра служат для определения состояния текучести. Формулировка определяющих уравнений предполагает **эффективные параметры** угла внутреннего трения  $\varphi^{eff}$  и сцепления  $c^{eff}$ . **Угол растяжения** тоже должен быть указан.

Модель Друкера-Прагера (иногда также известный как расширенной модели Мизеса) изменяет функцию текучести Мора-Кулона, чтобы избежать особенностей, связанных с углами. В отличие от модели Мора-Кулона поверхность текучести Друкера-Прагера гладкая и участки в виде цилиндрического конуса в основном пространстве напряжений. Как и в модели МС поверхность текучести DP зависит от эффективного среднего напряжения  $\sigma_m$ . Данная версия модели DP, реализованного в МКЭ основывается на предположении трехосного расширения. Другими словами, поверхность проекции текучести в девиаторной плоскости затрагивает внутренние углы шестиугольника Мора-Кулона ( $\theta = -300$ ), где  $\theta$  - угол Лоде.



DP и MC текучесть поверхности в девиаторной плоскости

## Ослабление и усиление

Стандартная формулировка **Друкер-Прагера** и **модифицированные модели Мора-Кулона** предполагает упругое жесткопластическое поведение почвы, когда параметры прочности грунта  $c$  и  $\varphi$  остаются неизменными в течение анализа. Расширенная версия обеих моделей (**расширенный ввод** вариантов загрузки) позволяет для развития этих параметров в зависимости от эквивалентной девиаторной пластической деформации:

$$c = c(E_d^{pl})$$

$$\varphi = \varphi(E_d^{pl})$$

где:  $E_d^{pl}$  - эквивалент девиаторной пластической деформации задается следующими выражениями:

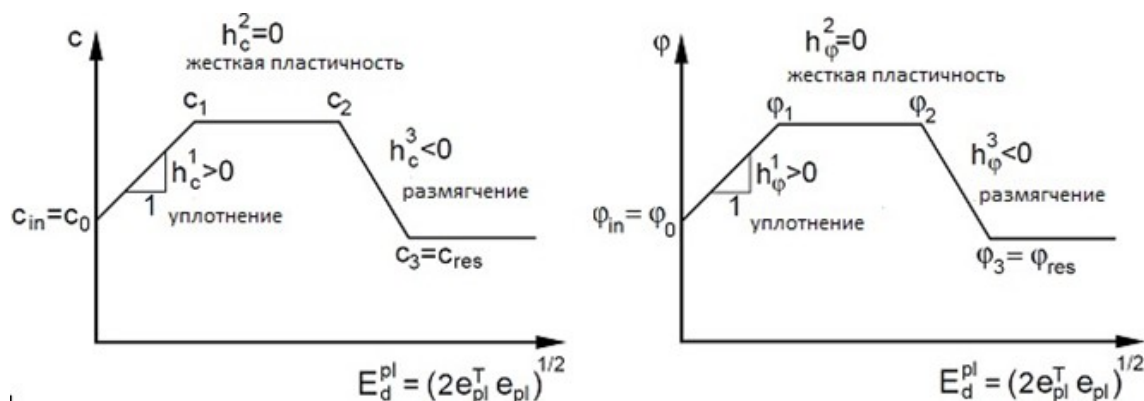
$$E_d^{pl} = \sqrt{2e_{ij}^{pl}e_{ij}^{pl}}$$

$$e_{ij}^{pl} = \varepsilon_{ij}^{pl} - \frac{1}{3}\varepsilon_v^{pl}\delta_{ij}$$

$$e_v^{pl} = \varepsilon_x^{pl} + \varepsilon_y^{pl} + \varepsilon_z^{pl}$$

где:  $E_d^{pl}$  - эквивалент девиаторная пластическая деформация  
 $e_{ij}^{pl}$  - девиаторная пластическая деформация Тензор  
 $\varepsilon_{ij}^{pl}$  - тензор пластической деформации  
 $\varepsilon_v^{pl}$  - объемная пластическая деформация  
 $\delta_{ij}$  - дельта Кронекера

Допускаем, кусочно-линейное изменение прочностных параметров, это видно из рисунка.



Полилинейный закон уплотнения-размягчения: влияние а) сцепления и б) угла внутреннего трения на эквивалентную девиаторную пластическую деформацию  $E_d^{pl}$

Угол расширения  $\psi$  можно считать постоянным ибо он может развиваться как функции угла внутреннего трения  $\varphi$  следующей теории расширения Rowes:

$$\sin \psi = \frac{\sin \varphi - \sin \varphi_{cv}}{1 - \sin \varphi \sin \varphi_{cv}}$$

где  $\varphi_{cv}$  является углом внутреннего трения при постоянном объеме в соответствии с критическим состоянием почвы (состояние, при котором почва деформируется при нулевых объемных пластических деформациях). Для предотвращения бесконечного увеличения угла растяжения (увеличение растягивающих объемных пластических деформаций) он должен быть ограничен, например, в зависимости от максимального коэффициента пористости  $e_{max}$ , приемлемой для данного материала. Теория расширения Rowes требует введения следующих параметров:

$\varphi_{cv}$  - угол внутреннего трения при постоянном объеме [-]  
 $e_0$  - начальный коэффициент пустотности  
 $e_{max}$  - максимальный коэффициент пустотности [-]

В настоящее время коэффициент пористости  $e$  может быть выражен с точки зрения текущей объемной деформации  $\varepsilon_v$  и величины первоначального коэффициента пористости  $e_0$  как:

$$\lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{V} = \varepsilon_v = \frac{e - e_0}{1 + e_0}$$

$$\varepsilon_v = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$$

где:

- $e$  - текущий коэффициент пористости
- $e_0$  - начальный коэффициент пустотности
- $\varepsilon_v$  - общая объемная деформация

Когда текущий коэффициент пористости  $e$  превышает максимальный коэффициент пористости  $e_{max}$ , угол расширения  $\psi$  установлен на 0.

## Угол замедления

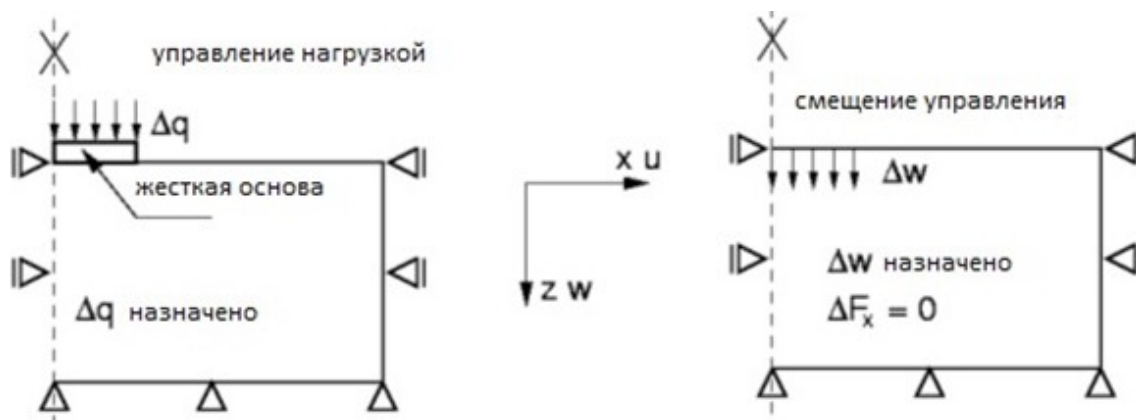
**Угол замедления** контролирует количество пластической объемной деформации, разработанной в ходе пластического сдвига и предполагается постоянной в течение пластического проседания. Значение  $\psi = 0$  соответствует объему сохранения деформации в то время как при сдвиге.

Глины (независимо от переуплотнения слоев) характеризуются очень низкой степенью расширения ( $\psi \approx 0$ ). Что касается песков, угол расширения зависит от угла внутреннего трения. Для несвязных грунтов (песок, гравий) с угла внутреннего трения  $\varphi > 30^\circ$  значения угла расширения можно оценить как  $\psi = \varphi - 30^\circ$ . Отрицательное значение угла расширения является приемлемым лишь при достаточно сыпучих песках. В большинстве же случаев допущение о  $\psi = 0$  может быть принято.

## Влияние материальной модели

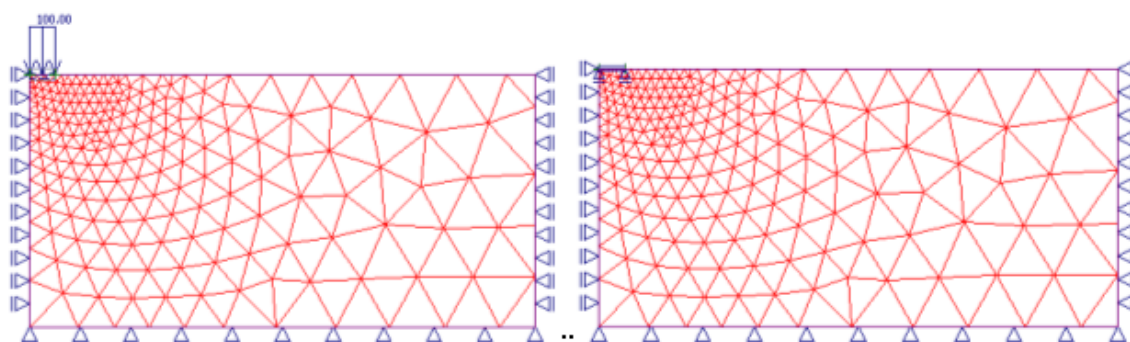
Для иллюстрации влияния той или иной модели, используемой для прогнозирования структурной реакции приведем пример мелкого фундамента нагруженного распределенной нагрузкой  $q$ . Некое упрощение этой задачи является предположение о бесконечно жестком основании нагруженного установленными смещениями.

Геометрическая модель и сетка конечных элементов для отдельных задач представлена на рисунке. Влияние почвы и собственного веса фундамента на результирующие реакции пренебрегают. В силу симметрии модели, анализируют только половину структуры.

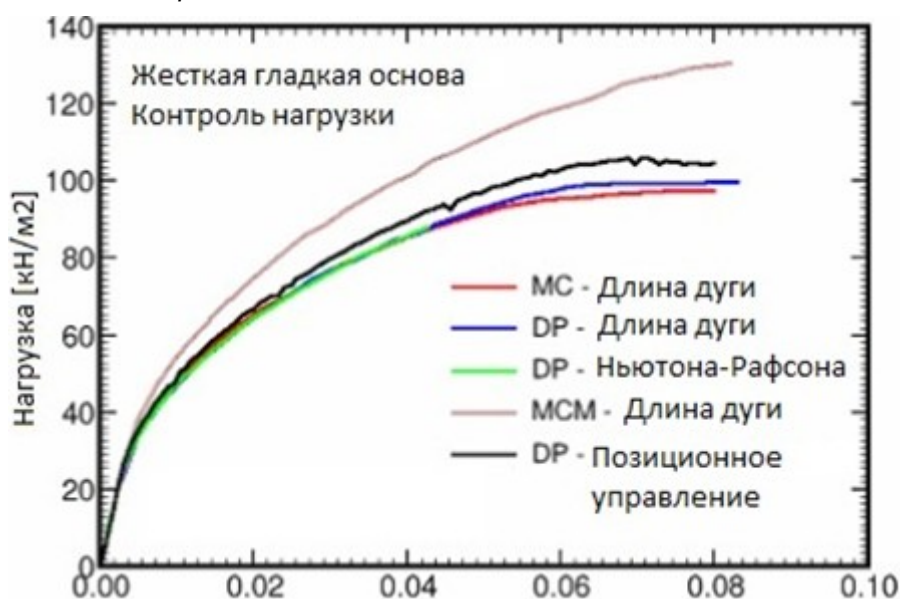


Назначенная задача: ленточный фундамент





Геометрическая модель и сетка конечных элементов



Результаты анализа

Полученные результаты свидетельствуют о значительно жесткой реакции почвы к внешней нагрузке при использовании модели MCM по сравнению с моделями DP и MC, которые в данном примере показывают аналогичную реакцию.

## Модифицированная модель Cam-clay (MCC)

Модель MCC была первоначально разработана для трехосных условий нагрузки. Экспериментальные измерения на мягких глинах послужили основой для развития конститутивной модели, выражающей изменение коэффициента пористости  $e$  (объемная деформация  $\varepsilon_v$ ) в зависимости от логарифма эффективной длины напряжения  $\sigma_m^{eff}$ , как видно из нижеследующего графика. Оба графика связаны следующим образом:

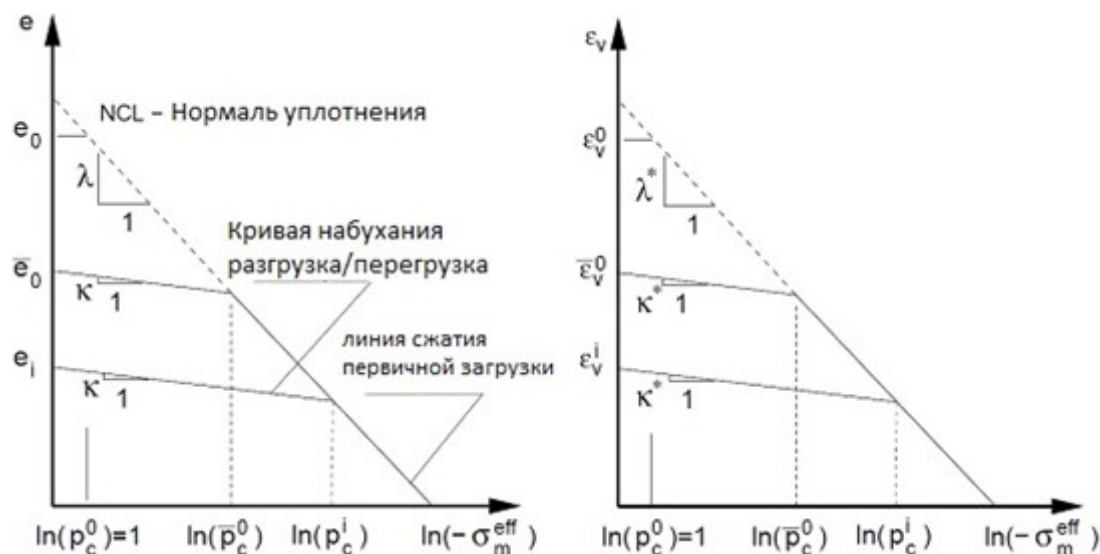
$$\lambda^* = \frac{\lambda}{1+e}$$

$$\kappa^* = \frac{\kappa}{1+e}$$

$\kappa$  - наклон пучения [-]

$\lambda$  - наклон NCL (нормального уплотнения) [-]

$e$  - текущий коэффициент пористости  $o$  [-]



Реакция материала при изотропном уплотнении (основополагающая модель)

График состоит из нормали уплотнения (NCL) и ряда кривых набухания. На первой загрузке нетронутый грунт перемещается вниз NCL. Далее, предположим, что почва была уплотнена до определенного уровня напряжения, которую называют давлением предуплотнения -  $p_c$ , и выгружается до текущую уровня набухания. Затем, после перезагрузки почва на первых этапах смещается к кривой набухания пока не достигнет напряженного состояния заданную параметром  $p_c$ , который существовал до начала разгрузки. В этот момент почва начинает двигаться до нормали уплотнения (первичная нагрузка - сжатия кривая).

Параметры  $\kappa$  и  $\lambda$  можно вывести из следующих выражений:

Parameters  $\kappa$  and  $\lambda$  can be estimated from the following expressions:

$$\lambda = \frac{C_e}{2,3}$$

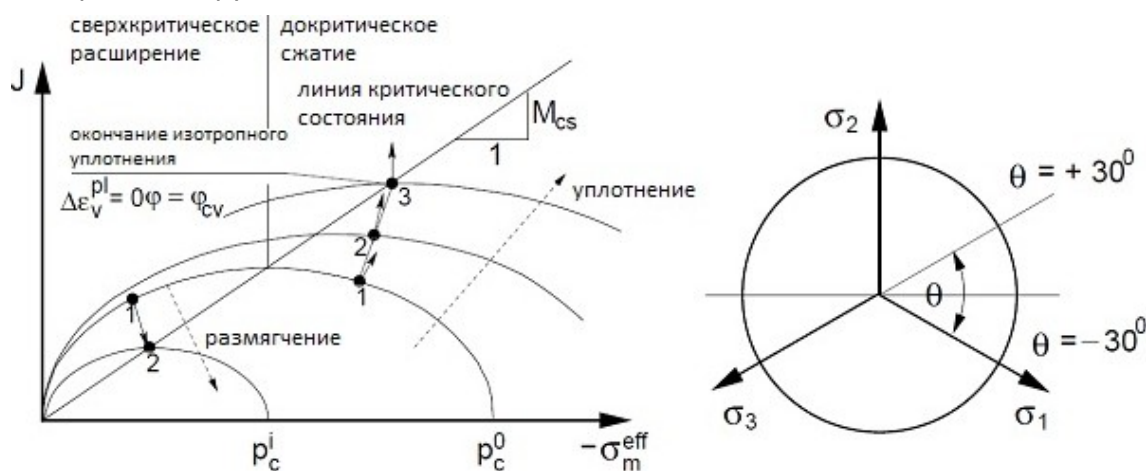
$$\kappa = 1,3 \frac{1 - \nu_e}{1 + \nu} C_s$$

где:  $C_e$  - одномерный индекс сжатия  
 $C_s$  - одномерный индекс набухания

Эти параметры следуют из простого теста Одометр.

Поверхность текучести является гладкой без возможности развития растягивающих напряжений. Модель МСС позволяет, в отличие от первой группы моделей, прямое моделирование деформационного упрочнения или размягчения для нормально уплотненных или переуплотненных грунтов, нелинейной зависимости объемной деформации на эффективные средние напряжения и предельные условия идеальной пластичности. При использовании модели МСС грунт загружается и при сдвиге может быть пластическая деформация без распада (точки 1,2 для не затвердевания пункт 2 для размягчения) до достижения критического состояния (точки 3 и 2 для затвердивания и размягчения, соответственно). Почва деформируется далее в сдвиге при условии идеальной пластичности без изменения  $e$  и  $\sigma_m^{eff}$ . После разгрузки, предполагается

линейная реакция грунта.



Отображение функции текучести в меридиональных и девиаторных плоскостях

Развитие поверхности текучести (упрочнение/размягчения) управляется текущим значением давления предуплотнения  $p_c$ :

$$p_c^{i+1} = p_c^i \exp \left[ \frac{-\Delta \varepsilon_v^{pl}}{\lambda^* - \kappa^*} \right]$$

где:  $p_c^{i+1}$  - текущее давление предуплотнения  
 $\Delta \varepsilon_v^{pl}$  - приращение объемной пластической деформации

Помимо параметров  $\kappa$  и  $\lambda$ , собственный вес и коэффициент Пуассона, модель MCC требует указание следующих трех параметров:

$M_{cs}$  - наклон критического состояния кривой [-]

$OCR$  - отношение переуплотнения [-]

$e_0$  - начальный коэффициент пористост [-]

Надежная инициализация модели описывается в разделе «[Численные реализации моделей MCC и GCC](#)».

Наклон критического состояния кривой  $M_{cs}$  может быть определена из выражения:

$$M_{cs}^{+30^\circ}(\varphi_{cv}) = \frac{2\sqrt{3} \sin \varphi_{cv}}{3 - \sin \varphi_{cv}} \quad \text{для трехосного сжатия}$$

$$M_{cs}^{-30^\circ}(\varphi_{cv}) = \frac{2\sqrt{3} \sin \varphi_{cv}}{3 + \sin \varphi_{cv}} \quad \text{для трехосного расширения}$$

где  $\varphi_{cv}$  является углом внутреннего трения для постоянного объема, соответствующий критическому состоянию.

## Обобщенная модель Cam clay (GCC)

Модель является существенным усовершенствованием Модифицированной модели Cam-clay (MCC), в частности, при моделировании грунта в сверхкритической области, (см.рис.), где условие разрушения копирует классические модели Мора-Кулона, Друкер-Прагер и Модифицированной модели Мора-Кулона (ММС). В отличие от Модифицированной модели Cam clay (штриховая линия), проекция на девиаторную плоскость имеет тот же вид как Модифицированная модель Мора-Кулона. Проекция модели MCC, как и модели Друкер-Прагер имеет вид окружности. В докритической области поведение моделей MCC и GCC идентично. При разгрузке предполагается линейная реакция грунта. GCC модель доступна только в случае **расширенных возможностей программы**. Надёжная инициализация модели описана в разделе «Численные реализации моделей MCC и GCC».



Проекция площади пластичности моделей MCC и GCC на меридианную и девиаторическую плоскость

Параметры, которые необходимо задавать, применяя Обобщенную модель Cam-clay, соответствуют параметрам моделей MCC и MMC:

- $κ$  - угловой коэффициент линии вспучивания
- $λ$  - угловой коэффициент нормали уплотнения (NCL)
- $e_0$  - начальный коэффициент пористости
- $OCR$  - коэффициент переуплотнения
- $c$  - сцепление (когезия)
- $φ$  - угол внутреннего трения
- $φ_{cv}$  - угол внутреннего трения при постоянном объеме [-]
- $ν$  - коэффициент Пуассона

Параметры  $κ$  и  $λ$  можно прикинуть по следующим выражениям:

$$λ = \frac{C_c}{2,3}$$

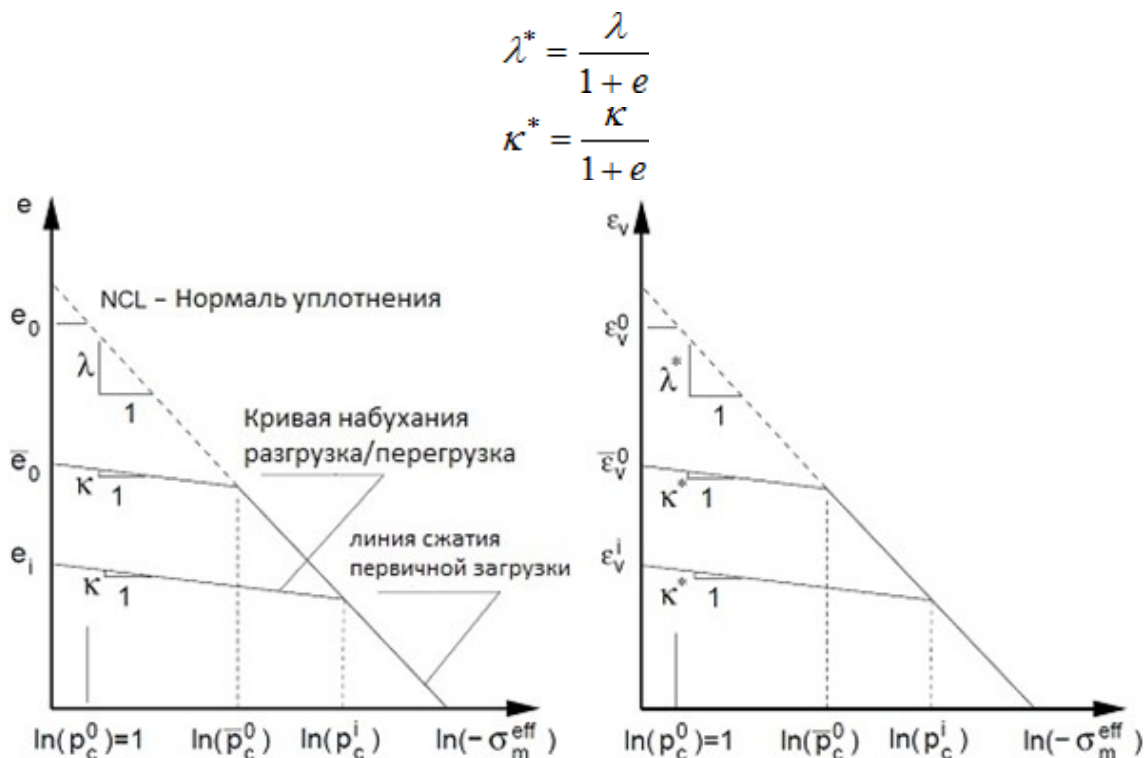
$$κ = 1,3 \frac{1-ν}{1+ν} C_c$$

где:  $C_c$  - коэффициент одномерный сжимаемости

$C_s$  коэффициент одномерного вспучивания

Эти параметры получаем в несложном одометрическом испытании.

Как и в модели МСС в основе формулировки модели GCC лежит соотношение между коэффициентом пористости (объемной деформации) и средним эффективным напряжением, как показано на следующем изображении. Оба графика связаны следующим образом:



Реакция материала при изотропном сжатии (конститутивная модель)

Развитие условий пластичности (упрочнение / смягчение) управляется текущим напряжением предуплотнения  $p_c$ :

$$p_c^{i+1} = p_c^i \exp \left[ \frac{-\Delta \varepsilon_v^{pl}}{\lambda^* - \kappa^*} \right]$$

где:  $p_c^{i+1}$  - текущее давления предуплотнения  
 $\Delta \varepsilon_v^{pl}$  - приращение объемной пластической деформации

## Численная реализация моделей МСС и GCC

Важным шагом, обеспечение надежного применения модели МСС и GCC, является определение первоначального давления предуплотнения  $p_c^{in}$  и соответствующего модуля сжатия  $K^{in}$ . Эти два параметра, однако, непосредственно не задаются пользователем. Вместо этого они выводятся с помощью программы, основанной на предположении распределения начального геостатического давления. Напомним, три основных варианта для получения первоначального геостатического давления:

## 1. С использованием методики $K_o$

Применение методики  $K_o$  дает следующее первоначальное значение среднего напряжения:

$$\sigma_m = \frac{1}{3} \gamma h (1 + 2K_o)$$

где:  $K_o$  - коэффициент давления грунта в состоянии покоя  
 $\gamma$  - объемный вес грунта  
 $h$  - текущее значение глубины от уровня земли

Считая уплотнение нормальное, значение  $p_c^{in}$  определяется таким образом, чтоб усилия полученные с помощью методики  $K_o$  удовлетворяли следующему условию:

$$p_c^{in} = -\frac{J^2}{M_{cs}^2 \sigma_m} - \sigma_m$$

где:  $M_{cs}$  - наклон линии критического состояния  
 $J$  - эквивалент девиаторного давления  
 $\sigma_m$  - среднее напряжение

Величины  $J$  и  $\sigma_m$  определяются следующими выражениями:

$$S_{ij} = \sigma_{ij} - \sigma_m \delta_{ij}$$

$$\sigma_{ij} = D_{ijkl} \varepsilon_{kl}$$

$$\sigma_m = \frac{1}{3} (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$$

$$e_{ij} = \varepsilon_{ij} - \frac{1}{3} \varepsilon_v \delta_{ij}$$

$$S_{ij} = 2G e_{ij}$$

$$J = \sqrt{\frac{1}{2} S_{ij} S_{ij}}$$

$$J = G E_d$$

$$\sigma_m = K \varepsilon_v$$

$$e_v = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$$

$$E_d = \sqrt{e_{ij} e_{ij}}$$

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} = \frac{GE}{3(3G-E)} = \frac{2(1+\nu)}{3(1-2\nu)} G$$

где:  $E_d$  - эквивалент девиаторного давления  
 $e_{ij}$  - девиаторный тензор деформаций  
 $\varepsilon_{ij}$  - общая тензор деформация  
 $\varepsilon_v$  - объемная деформация  
 $\sigma_{ij}$  - тензор напряжение  
 $s_{ij}$  - девиаторный тензор напряжений  
 $\delta_{ij}$  - дельта Кронекера  
 $D_{ijkl}$  - тензор упругой жесткости  
 $G$  - модуль упругости при сдвиге

- $K$  - эластичный объемный модуль  
 $E$  - модуль Юнга  
 $\nu$  - число Пуассона

В случае трехосного сжатия или растяжения можно определить наклон кривой критического состояния  $M_{cs}$  из следующих выражений:

$$M_{cs}^{+30^\circ}(\varphi_{cv}) = \frac{2\sqrt{3} \sin \varphi_{cv}}{3 - \sin \varphi_{cv}}$$

$$M_{cs}^{-30^\circ}(\varphi_{cv}) = \frac{2\sqrt{3} \sin \varphi_{cv}}{3 + \sin \varphi_{cv}}$$

В случае переуплотнения грунтов начальное значение  $p_c^{in}$  приводится как:

$$p_c^{in} = p_c^{in} OCR$$

Начальное значение объемного модуля следует из:

$$K^{in} = -\frac{1+e}{\kappa} \sigma_m$$

где текущий коэффициент пористости  $e$  записывается в виде:

$$e = e_0 - \lambda \ln(p_c^{in}) + \kappa \ln\left(-\frac{p_c^{in}}{\sigma_m}\right)$$

Для малых напряжений  $\left|\frac{\sigma_m^{in}}{\sigma_m}\right| < 1$  получим:

$$p_c^{in} = 1$$

$$K_{in} = -\frac{1+e^0}{\kappa}$$

## 2. Стандартный (эластичный) анализ

Напомним, что программа допускает для замены материала модели между стадиями строительства. В том случае, если процедуру  $K_o$  нельзя использовать, можно провести анализ в предположении упругой реакции глинистой почвы. Полученные напряжения используются для получения начальных значений  $p_c^{in}$  и  $K^{in}$  использующие ранее заданные выражения. В следующих этапах строительства оригинальная модель эластичного материала заменяется необходимыми MCC или GSC моделями.

## 3. Стандартный (пластичный) анализ

Эта опция позволяет грунту консолидироваться в предположении нелинейной зависимости при формировании геостатического давления. Это приводит к развитию пластических деформаций уже на первом этапе строительства. Как и в процедуре  $K_o$  рассмотрим правило консолидированного грунта, который, в ходе деформации, смещается ниже нормали консолидации с начальными значениями  $p_c^{in}$  и  $K^{in}$  определяется по формуле:

$$p_c^{in} = 1$$



$$K_{in} = -\frac{1+e^0}{\kappa}$$

Перед следующим этапом анализа полученные пластические деформации считаются равными нулю. В отдельных случаях такой анализ может не сойтись.

## Гипопластическая глина

Гипопластическая глина применяется для моделирования мягких мелкозернистых грунтов.. Подобно всем другим моделям это относится к семейству стандартных феноменологических моделей. Поскольку при описании реакции грунта он попадает в группу критического состояния моделей (**Cam clay**, **Обобщенные Cam-clay**). Эта модель, однако, объясняет

нелинейный отклик почв, как при нагрузке и разгрузке. По сравнению с другими моделями, основанными на теории пластичности, это позволяет при расчете только полных деформаций. Таким образом, нет никакой разницы между упругой и пластической деформаций. Индикация типа и расположения потенциального отказа, в других моделях предоставляемых графиком эквивалентной пластической деформации девиаторной, может быть в случае гипоплазии глины, представленного распределения мобилизованного угла внутреннего трения.

При описании реакции грунта, модель позволяет отражать другую жесткость в погрузке и разгрузке, смягчения или упрочнения в зависимости от уплотнения почвы и изменение объема при сдвиге (расширение, сжатие). В настоящее время жесткость зависит только от направления нагрузки, но также и от текущего состояния почвы, заданной пористости. В отличие от моделей **Cam глины**, он строго исключает растягивающие напряжения в почве, см. Рисунок 1а.

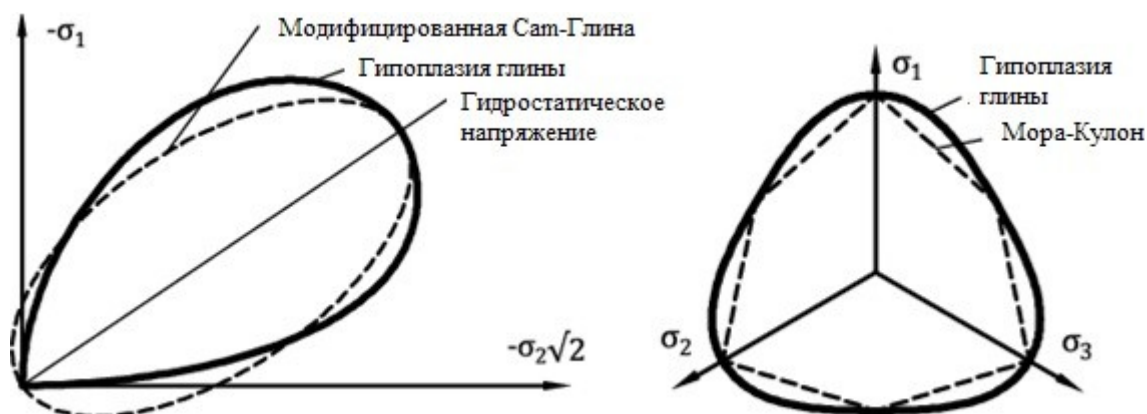


Рисунок 1: Форма границы гипопластической модели - (а) сравнение с поверхностью текучести модели Cam глины в меридиональной плоскости, (б) сравнение с поверхностью текучести модели Мора-Кулона в девиаторной плоскости

В случае гипопластической модели стандартная поверхность текучести заменяется так называемой границей состояния поверхности. Ее проекция в девиаторной плоскости похожа на модель, см. рисунок 1б. Это правило потока неассоциированных результатов в несимметричной матрице жесткости (ср. например с моделью **Мора-Кулона**, имея различные значения для угла внутреннего трения  $\varphi$  и угла расширения  $\psi$ ). Подробности о модельном формулировке можно найти в [1].

## Параметры модели

Основной вариант модели требует ввода пяти материальных параметров:

- Угол внутреннего трения для постоянного объема (критический угол внутреннего трения)  $\varphi_{cv}$
- Наклон кривой набухания  $\kappa^*$
- Наклон нормали уплотнения (NCL - нормаль уплотнения)  $\lambda^*$
- Начало нормали уплотнения  $N$
- Соотношение между объемом и модулем сдвига  $r$

Параметры  $\kappa^*$ ,  $\lambda^*$  и  $N$  определяют билинейную схему изотропного уплотнения в двойном логарифмическом масштабе, рисунке 2а. В том случае, если параметры билинейной **Cam clay модели** (в полулогарифмическом масштабе, 2б) доступны, можно ввести эти значения и параметры гипопластической модели снова рассчитаны. Параметрами билинейной модели **Cam-clay** являются:

- Наклон кривой набухания  $\kappa$  (в полулогарифмическом масштабе)
- Наклон нормали уплотнения  $\lambda$  (в полулогарифмическом масштабе)
- Коэффициент пористости  $e_{max}$  для нормали изотропного уплотнения при давлении  $1 \text{ кПа}$

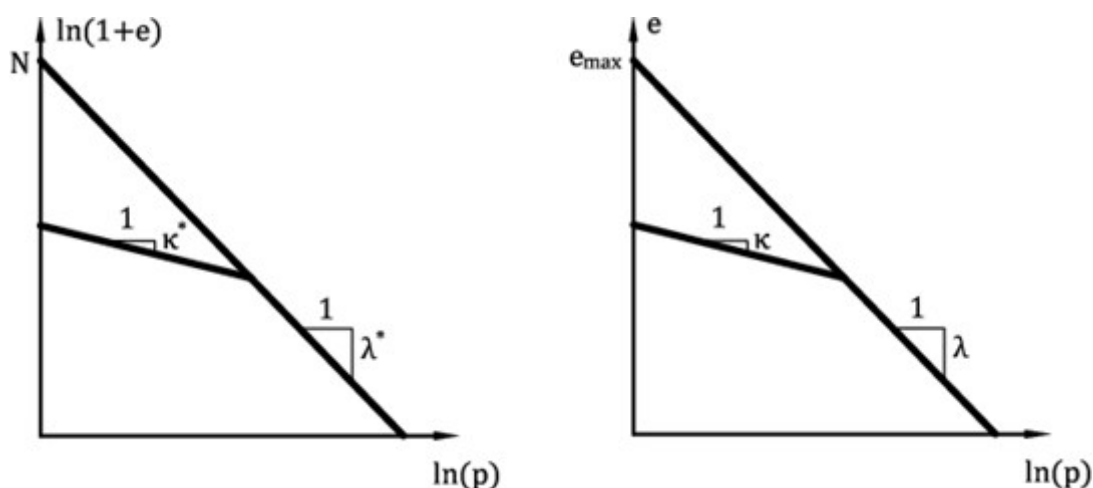


Рисунок 2: Билинейные схемы изотропного уплотнения - (а) гипоплазия глины, (б) модель Cam-clay

#### Критический угол внутреннего трения $\varphi_{cv}$

- Идентичный для исходного (невозмущенного) и восстановленного впоследствии уплотнения образца
- Может быть определен из стандартного трехосного испытания с применением различных давлений секций на восстановленный образец
- Оба дренирующий и недренирующий грунт (ускоренный) теста могут быть выполнены
- Наиболее распространенные значения находятся в диапазоне от  $18^\circ$  -  $35^\circ$

#### Уклон нормали уплотнения $\lambda^*$

- Она определяется графически из линии нагрузки одометрического теста или изотропного теста уплотнения, см. рисунок 3
- Для жесткой глины является предпочтительным запуск теста на восстановленный образец

- Наиболее распространенные значения находятся в диапазоне от 0,04 - 0,15

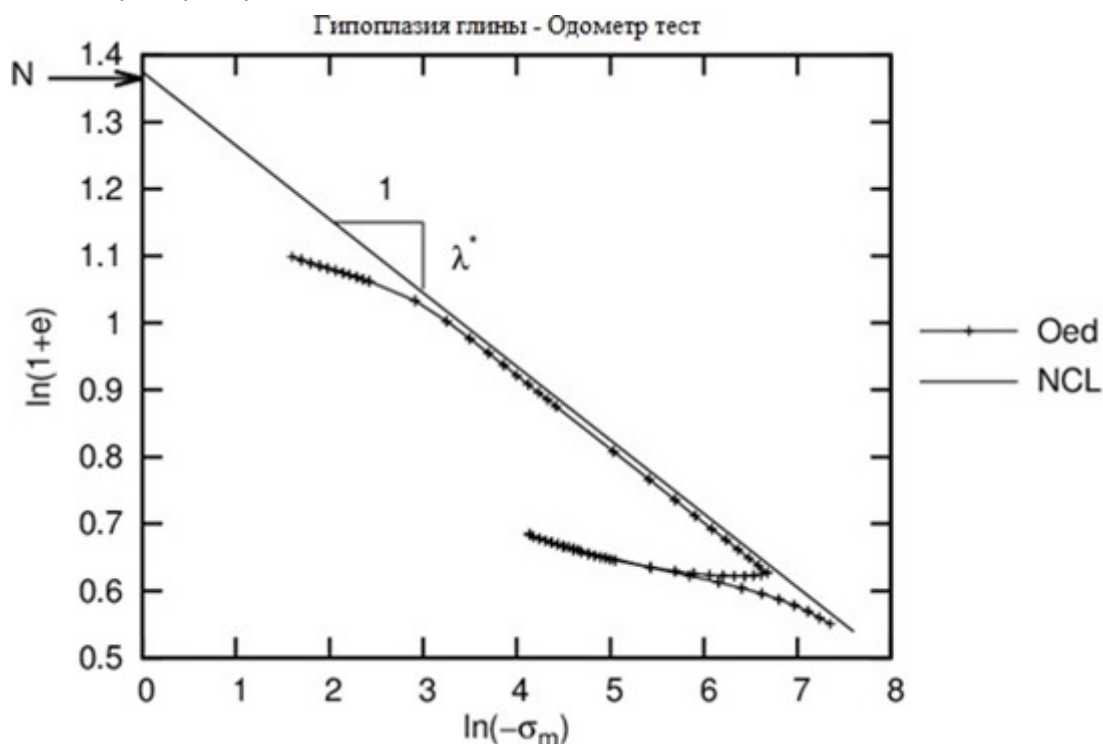


Рисунок. 3: Моделирование одометрического теста с гипопластической моделью

#### Наклон линии набухания $\kappa^*$

- Она может быть определена аналогично тому, как параметр  $\lambda^*$  графически или путем выполнения параметрическое исследование - сравнение измерений и моделирования вдоль разгрузки линии одометрической или изотропного теста уплотнения, см. рисунок 3
- Наиболее распространенные значения  $\kappa$  находятся в диапазоне от 0,01 - 0,02
- Соотношение  $\lambda/\kappa$  должна быть большой, чем 4,0

#### Начало нормали уплотнения $N$

- Она определяется графически из нагрузки линии одометрического или изотропного теста уплотнения
- Испытание должно проводиться на ненарушенных образцах - при поиске пересечения лямбда соответствии с вертикальной осью, можно определить наклон лямбда полученный из восстановленного образца, см. рисунок 3
- Наиболее распространенные значения находятся в диапазоне 0.8 - 1.6

#### Отношение объема и модуля сдвига $r$

- Физический смысл этого параметра определяется выражением  $r = K_i/G_i$
- $K_i$  соответствует касательной объемной упругости от изотропного сжатия в соответствии с нормалью уплотнения
- $G_i$  соответствует касательной модуля сдвига к испытанию недренирующего грунта на сдвиг исходя из той же напряженного состояния
- Параметр  $r$  может быть определен путем параметрического исследования сдвига

трехосным испытанием

- Наиболее распространенные значения находятся в диапазоне 0,05 - 0,7

### Настройка начального состояния грунта

При гипопластической глине текущее состояние почвы, связанное с текущим уплотнением, представлено коэффициентом пористости. Внедрение модели позволяет для ввода начального или текущего коэффициента пористости непосредственно или он может быть снова рассчитываться с использованием введенного давления предуплотнения  $OCR$ . В первом случае, введенное значение  $e_0$  соответствует коэффициенту пористости, измеренной в незагруженном образце, извлеченного из заданной глубины. Во втором случае, введенный значение  $e_{curr}$  соответствует коэффициенту пористости напряженной почвы. В последнем случае, значение  $OCR$  указан. Этот параметр представляет собой соотношение между средней нагрузки на NCL и начальной среднего напряжения, см. рисунок 46.

При инициализации задачу с использованием процедуры  $K_o$  начальное состояние напряжения в начале второй стадии присваивается текущее состояние давления. Если принять стандартный анализ на первом этапе (модель гипопластической глины вводится уже на первом этапе расчета), где почва загружается его собственным весом, значение начального напряжения  $p_{in} = 1 \text{ кПа}$  предполагается, и он держит  $e_{curr} = e_0$ . В том случае, если другой материал (например, эластичный материал рассматривается в первом этапе расчета) заменяется моделью гипопластической глины, начальное состояние напряжения, полученного на предыдущем этапе принимается. Напомним, что при использовании эластичного материала на первом этапе расчета полученный напряженного состояния соответствует результатам, предусмотренных процедурой  $K_o$  для  $K_o$  ( $v$  - коэффициент Пуассона).

$$K_o = -\frac{v}{1-v}$$

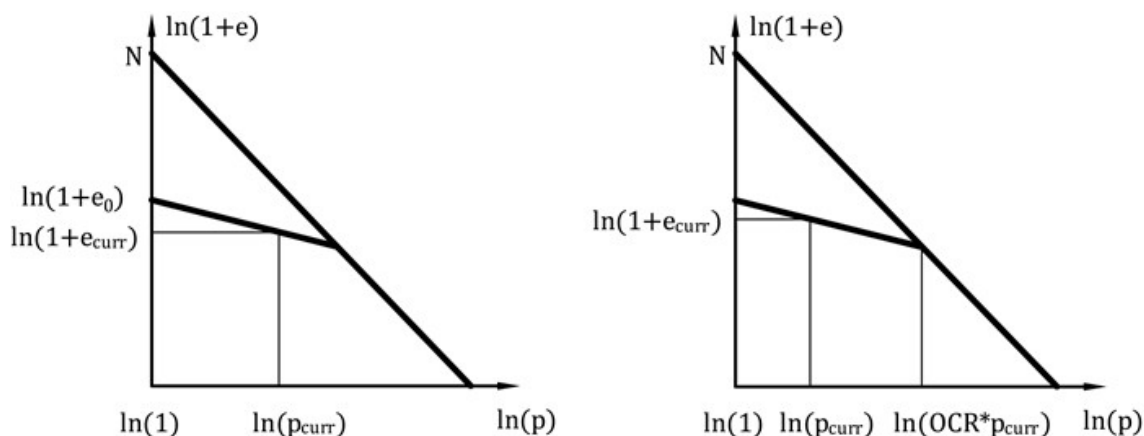


Рисунок 4: Инициирование коэффициента пористости - (а) с помощью начального коэффициента пористости, (б) инициирование OCR

Как видно из рис 5, что для нормально уплотненных грунтов состояние, для которого  $OCR = 1.0$  соответствует только изотропное уплотнение, таким образом, для  $K_o = 1.0$ . Если почва испытывает ненулевое девиаторное напряженное состояние соответствующее  $OCR$  для нормально уплотненных грунтов превышает 1.0. Точное значение зависит как от параметров грунта и пути напряжения (величина  $K_o$ ). На рисунке 5 показана зависимость минимума для различных значений  $K_o$  и различных видов глинистых грунтов. Конкретные значения указаны в таблице 1. Основные параметры материала из этого набора грунтов

приведены в таблице 2.

Выбор  $OCR = 1.0$  для нормально уплотненных грунтов с  $K_0$  не равным 1.0 создают неприемлемые напряженные состояния, что может привести к потере конвергенции.

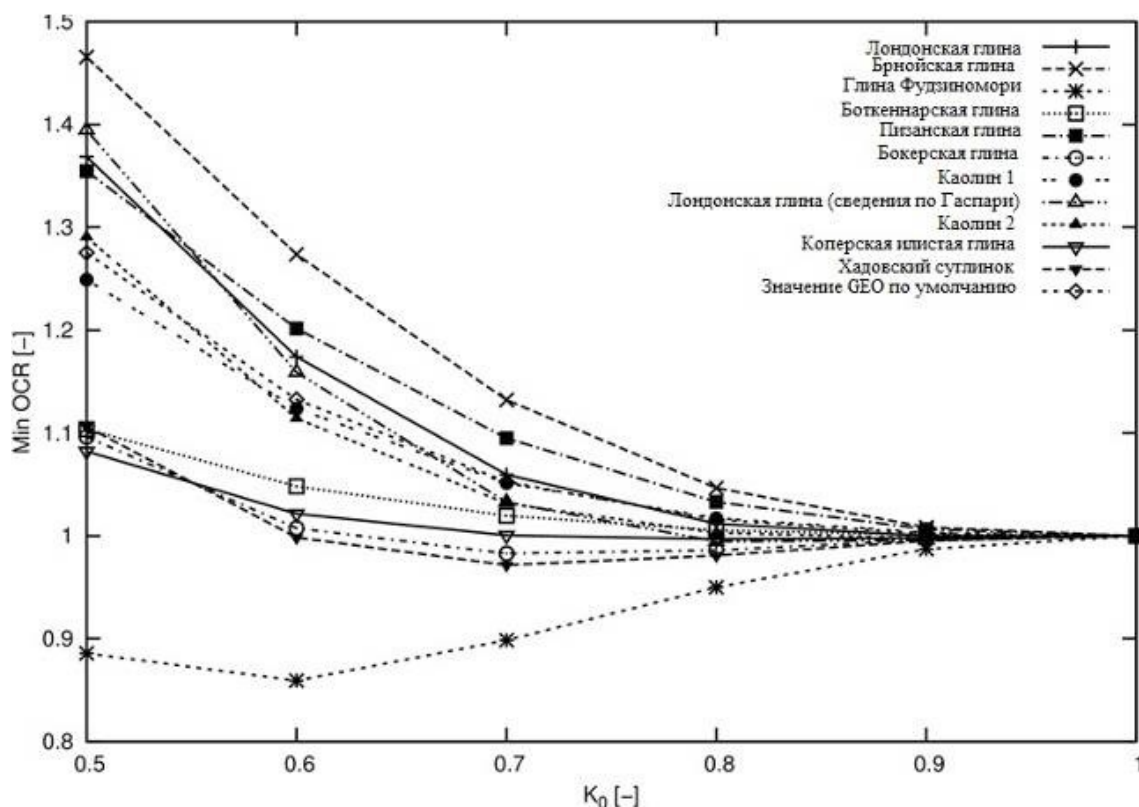


Рисунок 5: Зависимость OCR от коэффициента давления грунта при покое  $K_0$

Грунт / $K_0$	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
	OCR					
Лондонская глина (London clay)	1.309	1.174	1.059	1.011	1.000	1.0
Лондонская глина (сведения по Гаспарри) (London clay (data Gasparre))	1.394	1.159	1.033	0.994	0.995	1.0
Глина Фудзиномори (Fujinomor clay)	0.886	0.859	0.898	0.950	0.987	1.0
Боткеннарская глина (Bothkennar clay)	1.104	1.048	1.019	1.001	1.001	1.0
Пизанская глина (Pisa clay)	1.354	1.202	1.085	1.033	1.006	1.0
Бокерская глина (Beaucaire clay)	1.096	1.008	0.981	0.986	0.996	1.0
Каолин 1 (Kaolin 1)	1.249	1.123	1.051	1.017	1.003	1.0
Каолин 2 (Kaolin 2)	1.291	1.114	1.031	1.001	0.998	1.0
Коперская илистая глина (Koper silty clay)	1.081	1.021	1.001	0.997	0.998	1.0
Брнйская глина (Brno clay)	1.466	1.274	1.132	1.047	1.008	1.0
Европейский (Хадовка) суглинок (Evropska (Hadovka) sandy clay)	1.106	0.998	0.972	0.981	0.995	1.0
GEO МКЭ значения по умолчанию (GEO FEM default values)	1.275	1.132	1.052	1.010	1.1102	1.0

Таблица 1: Коэффициент переуплотнения  $OCR$  из выбранных грунтов в качестве значения функции  $K_0$

Грунт	$\phi_{cv}$	$\lambda$	$k$	$N$	$r$
Лондонская глина (London clay)	22.6	0.11	0.016	1.375	0.4
Лондонская глина (сведения по Гаспарри) (London clay (data Gasparre))	21.9	0.1	0.02	1.26	0.5
Глина Фудзиномери (Fujinomori clay)	34.0	0.045	0.011	0.887	1.3
Боткеннарская глина (Bothkennar clay)	35.0	0.12	0.01	1.34	0.07
Пизанская глина (Pisa clay)	21.9	0.14	0.01	1.56	0.3
Бокерская глина (Beaucaire clay)	33.0	0.06	0.01	0.85	0.4
Каолин 1 (Kaolin 1)	27.5	0.11	0.01	1.32	0.45
Каолин 2 (Kaolin 2)	27.5	0.07	0.01	0.92	0.67
Коперская илистая глина (Koper silty clay)	33.0	0.103	0.015	1.31	0.3
Трмицевская глина (Trmice clay)	18.7	0.09	0.01	1.09	0.18
Брнйская глина (Brno clay)	19.9	0.13	0.01	1.51	0.45
Европейский (Хадовка) суглинок (Evropska (Hadvka) sandy clay)	32.4	0.0411	0.0078	0.593	0.2
GEO МКЭ значения по умолчанию (GEO FEM default values)	27.0	0.1	0.01	1.2	0.4

Таблица 2: Параметры материалов отобранных грунтов

### Межкристаллическая деформация

Базовая версия модели пригодна при анализе с преобладающим направлением напряженного пути нагружения. В случаях с циклической нагрузкой (загрузка-разгрузка-перезагрузка) целесообразнее использовать современную формулировку с понятием межкристаллической деформации. Это дает возможность ограничить нежелательный рост остаточной деформации, возникающие во время небольших повторяющихся изменениях нагрузки (прерывистое движение). Введение межкристаллического напряжения дает при моделировании большую жесткости, которую глины испытывают во время малых деформациях. Этот параметр не является частью на каких-либо других моделей, реализованных в GEO МКЭ. Понятие межкристаллической деформации предполагает, что общая деформация грунта состоит из небольшой деформации межкристаллического слоя (межкристаллическое натяжения) и деформации, вызванной взаимным скольжением частиц. Изменение пути нагрузки меняет сначала межкристаллическое напряжение. При достижении предельного значения межкристаллического напряжения, деформация, связанная с движением зерен урегулируется.

Принимая понятия межкристаллической деформации необходимо пять дополнительных параметров:

- Диапазон упругой межкристаллической деформации  $R$
- Параметры  $m_R$  и  $m_T$  управляют небольшой жесткостью деформации
- Параметры  $\beta_r$  и  $\chi$  управляют степенью деградации жесткости с увеличением деформации сдвига

Эти параметры калибруются после осознания материальных данных основной гипопластической модели.

### Предел упругой межкристаллической деформации $R$

- Он определяет диапазон максимальной межкристаллической деформации
- Это Он может быть определен с помощью параметрического анализа кривой деградации  $G = G(\varepsilon_s)$ , рисунок 5
- В качестве альтернативы можно рассматривать как независимую константу  $R = 10^{-4}$
- Наиболее распространенные значения находятся в диапазоне от  $2 \cdot 10^{-5}$  -  $1 \cdot 10^{-4}$



Рисунок 6: Кривая, описывающая потери жесткости модуля сдвига

### Параметр $m_R$

- Он определяет величину модуля сдвига при изменении пути нагрузки в меридиональной плоскости ( $\sigma_m - J$ ) о  $180^\circ$
- Линейное соотношение между параметром  $m_R$  и начальным модулем сдвига  $G_0$  обеспечивается  $G_0 = p^*(m_r/(r^*\lambda^*))$
- Первоначальный модуль сдвига может быть определен путем измерения распространения сдвиговой волны [2]
- Наиболее распространенные значения находятся в диапазоне 4.0 - 20.0

### Параметр $m_T$

- Он определяет величину модуля сдвига при изменении пути нагрузки в меридиональной плоскости ( $\sigma_m - J$ ) о  $90^\circ$
- Он содержит  $m_R/m_T = G_0/G_{90}$
- Соотношение исходных модулей можно оценить из соотношения этих модулей для большей деформации. Значение коэффициента  $m_R/m_T$  обычно в диапазоне 1,0 - 2,0
- Наиболее распространенные значения  $m_T$  в диапазоне 2.0 - 20.0

### Параметры $\beta_r$ и $\chi$

- Определение скорости деградации жесткости с увеличением деформации сдвига
- Он может быть определен с помощью параметрического анализа кривой деградации  $G = G(\varepsilon_s)$
- Наиболее распространенные значения параметра  $\beta_r$  находятся в диапазоне 0,05 - 0,5
- Наиболее распространенные значения параметра  $\chi$  находятся в диапазоне 0,50 - 6

Literature:



[1] D. Mašín, A hypoplastic constitutive model for clays, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics.*, 29:311-336, 2005.

## Переменная жёсткость

Жёсткость грунтов можно задавать увеличивающейся с глубиной. Это свойство определяем в диалоговом окне «**Редактирование параметров грунта**», в котором выбираем «**Жёсткость увеличивается с глубиной**». Задание параметра  $k_d$  гарантирует, что модуль упругости будет в отдельных элементах определён в соответствии с их глубиной (расстояние от отметки земли на первом этапе расчёта по формуле) по формуле

$$E(h) = E_0 + k_d h$$

где:  $E_0$  - модуль упругости на отметке земли [МПа]

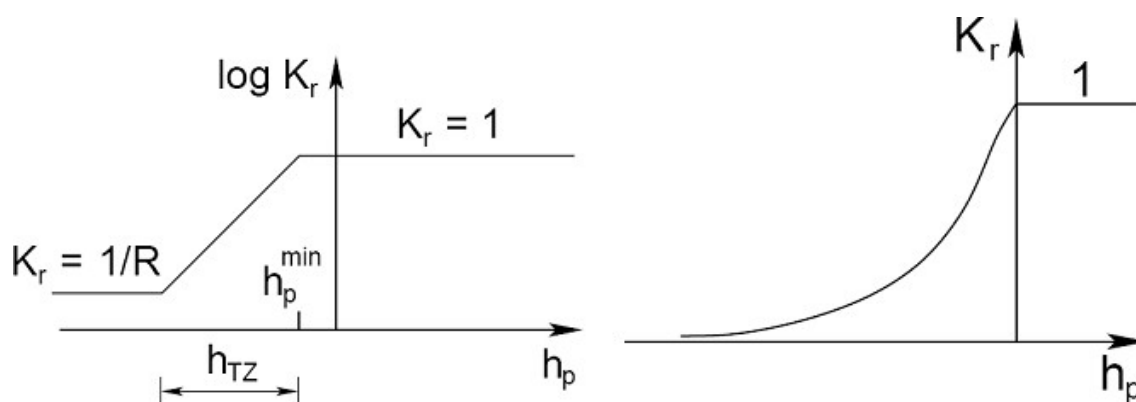
$h$  - глубина [м]

## Модели материала в течении анализа

Устойчивый анализ состояния потока управляется законом Дарси с указанием взаимосвязи между скоростью потока и градиента гидравлического напора. Данная версия программы принимает постоянные значения **коэффициентов проницаемости** независимо от давления в порах.

Программа также требует задания начального **коэффициента пористости**  $e_0$  для определения текущей пористости  $n$  а впоследствии фактической скорости воды, протекающей только через поры  $v_s = v/n$ , где  $v$  средняя скорость потока через всю площадь фильтрации. Справедливо в общем случае, что коэффициенту пористости  $e_0 = 1$  соответствует пористость грунта  $n = 50\%$ .

При введении относительного коэффициента проницаемости  $K_r$  программа позволяет для отслеживания переходной зоны между полностью насыщенной ( $S = 1$ ,  $K_r = 1$ ) и ненасыщенной ( $K_r \Rightarrow 0$ ) областью тела почвы. В качестве примера мы можем рассмотреть проблему безнапорного потока. Процесс отслеживания переходной зоны регулируется одной из трех моделей переходной зоны, определяющих развитие относительного коэффициента проницаемости  $K_r$  в зависимости от напора пор, см. рис.



(а) Логорифмическая модель [1], (б) Модель Ван Генухтена [2]

### Логорифмическая модель

Логорифмическая модель переходной зоны описанная, например, в [1] определяется по следующим параметрам:

где:  $h_{p\min}$  - минимальное значение пор давления главное в полностью насыщенной области [кПа]  
 $h_{TZ}$  - Ширина переходной зоны [м]  
 $R$  - Параметр уменьшения, достаточно большое число  $R = 100$  до  $1000$  [-]

Относительный коэффициент проницаемости  $K_r$  определяется по формуле:

$$K_r(h_p) = 10^{\frac{(h_p - h_{p\min}) \log R}{h_{TZ}}}$$

### Модель Гарднера

Это является эквивалентной моделью зависящая от только одного параметра  $\alpha$  [1/м].  
 Относительный коэффициент проницаемости  $K_r$  в данном случае задается [4]:

$$K_r(h_p) = e^{\alpha \cdot h_p}$$

### Модель Ван Генухтена

В этом случае величина относительного коэффициента проницаемости  $K_r$  определяется по формуле:

$$K_r(h_p) = \frac{\left\{ 1 - (\delta |h_p|)^{n-1} \left[ 1 + (\delta |h_p|)^n \right]^{-m} \right\}^2}{\left[ 1 + (\delta |h_p|)^n \right]^{m/2}}$$

где  $\delta$  [1/м],  $n$ ,  $m = 1 - 1/n$  параметры модели. Их значения могут быть получены из лабораторных измерений сохраненных аппроксимируемых кривых:

$$S = S_{irr} + (S_{sat} - S_{irr}) \cdot \Theta$$

$$\Theta = \left[ \frac{1}{1 + (\delta |h_p|)^n} \right]^m$$

где:  $S_{sat}$  - степень насыщения полностью насыщенного почвы, значение по умолчанию  $S_{sat} = 1$   
 $h_{TZ}$  - неприводимая степень насыщения, значение по умолчанию  $S_{irr} = 0$   
 $\Theta$  - нормализованное содержание воды

Параметр  $\Theta$  в целом обеспечивается:

$$\Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

где:  $\theta_r$  - остаточное содержание воды [м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>]  
 $\theta_s$  - содержание воды в полностью насыщенного почве [м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>]

В настоящее время степень насыщения  $S$  может быть выражена как отношение содержания воды  $\theta$  и пористости  $n$  следующим образом (нужно различать  $n$  выражающее пористость и  $n$  в модели Ван Генухтена, это разные величины)::

$$S_w = \frac{\theta}{n}$$

Логарифмическая и Гарднер модели принимают упрощенную версию модели Ван Генухтена соответствии с [5]:

$$\Theta = K_r^b$$

где параметр  $b > 0$  [-] вводим с целью более полно отразить

Рекомендуем следующую таблицу параметров, которые мы реально задаём. Это приведённые параметры к значениям, приводимым в исходных таблицах.

Ориентировочные значения параметров в модели ван Генухтена для разных способов классификации (сортировки) по величине зёрен USDA а FAO приведены в следующих таблицах.

**Таблица с коэффициентами регрессии для размера зерен MCX США в соответствии с Ван Генухтена (1991)**

Soil (grain size)	$K_{sat}$ [м/день]	RETC				Rosetta			
		$e$ [-]	$S_r$ [-]	$\alpha$ [1/м]	$n$ [-]	$e$ [-]	$S_r$ [-]	$\alpha$ [1/м]	$n$ [-]
Песок	7,13	0,75	0,11	14,5	2,68	0,60	0,14	3,5	3,18
Суглинистый песок	3,50	0,70	0,14	12,4	2,28	0,64	0,13	3,5	1,747
Песчанистый суглинок	1,06	0,70	0,16	7,5	1,89	0,63	0,10	2,7	1,448
Суглинок	0,25	0,75	0,18	3,6	1,56	0,66	0,15	1,1	1,474
Ил	0,06	0,85	0,07	1,6	1,37	0,96	0,10	0,7	1,677
Иловый суглинок	0,11	0,82	0,15	2,0	1,41	0,78	0,15	0,5	1,663
Песчаный жирный суглинок	0,314	0,64	0,26	5,9	1,48	0,62	0,16	2,1	1,33
Жирный суглинок	0,062	0,70	0,23	1,9	1,31	0,79	0,18	1,6	1,415
Илистые жирный суглинок	0,017	0,75	0,21	1,0	1,23	0,93	0,19	0,8	1,52
Тощая глина	0,029	0,61	0,26	2,7	1,23	0,63	0,30	3,3	1,207
Илистые глины	0,0048	0,56	0,19	0,5	1,09	0,93	0,23	1,6	1,321
Глина	0,048	0,61	0,18	0,8	1,09	0,85	0,21	1,5	1,253

**Таблица с коэффициентами регрессии для размер частиц ФАО в соответствии с Ван Генухтена (1998)**

Soil (grain size)	$K_{sat}$ [м/день]	$e$ [-]	$S_r$ [-]	$\alpha$ [1/м]	$n$ [-]
<b>Верхний слой почвы (&lt; 1 м)</b>					
Грубый (C)	0,600	0,68	0,062	3,83	1,3774
Средний (M)	0,121	0,78	0,023	3,14	1,1804
Средне-мелкий (MF)	0,023	0,75	0,023	0,83	1,2539
Мелкий (F)	0,248	1,08	0,019	3,67	1,0120
Очень мелко (VF)	0,150	0,78	0,016	2,65	1,1033
<b>Подстилающий слой почвы (&gt; 1 м)</b>					
Грубый (C)	0,700	0,58	0,068	4,30	1,5206
Средний (M)	0,108	0,65	0,026	2,49	1,1689
Средне-мелкий (MF)	0,040	0,70	0,024	0,82	1,2179
Мелкий (F)	0,085	0,93	0,021	1,98	1,0861
Очень мелко (VF)	0,082	1,17	0,019	1,68	1,0730

**Table: FAO texture classification system**

Soil	Definition
Coarse (C)	clay < 18% and sand > 65%
Medium (M)	18% < clay < 35% a 15% < sand nebo: clay < 18% a 15% < sand < 65%
Medium fine (MF)	clay < 35% a sand < 15%
Fine (F)	35% < clay < 60%
Very fine (VF)	60% < clay

Literature:

Details can be found in [2].

[1] D.M. Potts, L. Zdravkovič, *Finite element analysis in geotechnical engineering - theory*, Thomas Telford, London, 1999.

[2] M. Th. Van Genuchten, A closed formulation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Journal Soil Science Society of America* **44**, 239-259, 1988..

[3] M. Šejnoha, *Finite element analysis in geotechnical design*, to appear (2013)

[4] W. R. Gardner, *Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation to evaporation from a water table*, *Soil Science* **85(4)**, 228-232, 1958.

[5] M. Šejnoha, T. Janda, H. Pruška, M. Brouček, *Modelování geotechnických úloh metodou konečných prvků: Teoretická základy a aplikace, předpokládaný rok vydání (2014)*

[6] USDA 1951. *Soil Survey Manual*. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook No. 18. US Government Printing Office. Washington DC.

[7] Wösten, J.H.M., et. al. 1998. *Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models in environmental studies and in land use planning. Final Report on the European Union Funded project*. DLO Winand Staring Centre. Report 156, Wageningen, NL. **p. 106**. ISSN 0927-04537.

## Коэффициент проницаемости

Способность пористого тела (грунта, горной породы) для транспортировки воды с заданными свойствами (например грунтовых вод) обозначается как просачивания. Количество воды, протекающей через определенной области могут быть представлены **коэффициентом проницаемости**. Коэффициент проницаемости  $k$  представляет собой наклон линейной зависимости скорости потока воды от градиенты общего напора (градиент гидравлического напора) в законе Дарси записывается как:

$$\mathbf{v} = n\mathbf{v}_s = -K_r K_{sat} \nabla h$$

где:

- $\mathbf{v}_s$  - скорость воды, протекающей через поры
- $n$  - пористость
- $K_r$  - коэффициент относительной проницаемости
- $K_{sat}$  - проницаемость кристаллической решетки сохраняет коэффициенты проницаемости полностью насыщенного почвы  $k_x, k_y$ , который может отличаться по отдельным координатным осям
- $\nabla h$  - градиент полного напора

Гидравлический напор при заданной точке области течения определяется как сумма гидростатического давления и вертикальной координаты и в качестве такого оно определяет высоту воды в пьезометре в данной точке:

$$h = \frac{P}{\gamma_w} + y$$

где:  $\gamma_w$  - вес воды

**Пример значения коэффициентов проницаемости для различных грунтов**  
(Myslivec)

Тип почвы	Коэффициент проницаемости $k$ [m/day]	Движение частицы воды на 1 см для градиент гидравлического давления $i$ = 1 единицу времени
Мягкий песок	$10^2 - 10$	6 s - 10 min
Глинистый песок	$10^{-1} - 10^{-2}$	100 min - 18 hrs
Жирный суглинок	$10^{-2} - 10^{-4}$	18 hrs - 70 days
Суглинок	$10^{-4} - 10^{-5}$	70 days - 2 years
Глинистый грунт	$10^{-5} - 10^{-6}$	2 years - 20 years
Глина	$10^{-6} - 10^{-7}$	20 years - 200 years

Есть несколько способов для определения коэффициента проницаемости  $k$ . Они сгруппированы следующим образом:

#### а) Лабораторные измерения

Несколько видов доступны для диапазона  $k \cdot 10^4 - 10^{-6}$  м/день.

#### б) Полевые измерения

Тесты выдержки или погружения, измерение скорости фильтрации потока, для диапазона  $k \cdot 10^6 - 1$  м/день.

#### в) На основе эмпирических выражений

$$k = 100 d_{10}^2 e^2$$

Подходит для несвязных грунтов,  $k \cdot 10^6 - 10$  м/день, они дают только ориентировочные значения - например, по Терцаги:

где:  $k$  - коэффициент проницаемости [см/с]  
 $d_{10}$  - эффективный диаметр твердой частицы [см]  
 $e$  - коэффициент пористости [-]

#### г) При расчете с зависимым от времени процессом уплотнения

Надо знать коэффициент уплотнения  $c_v$  и кривую уплотнения (полулогарифмическая зависимость деформации от времени). Это только косвенное определение из выражения:

$$k = \frac{c_v \rho_w g a_v}{1 + e_0}$$

где:  $e_0$  - начальный коэффициент пористости  
 $c_v$  - коэффициент уплотнения  
 $\rho_w$  - объемная плотность воды

$g$	-	ускорение свободного падения
$a_v$	-	коэффициент сжимаемости

## Базовые данные

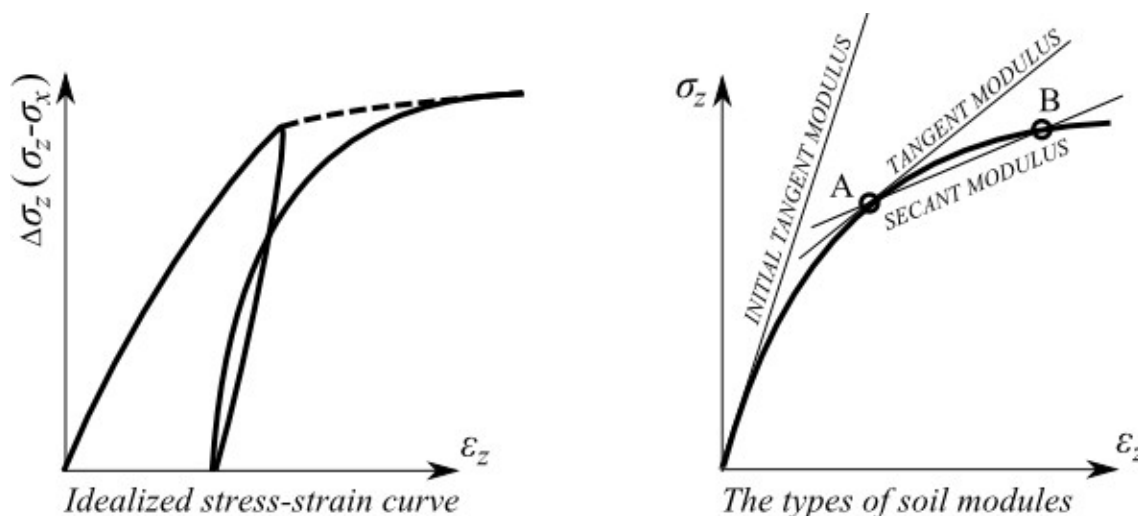
Для всех **материальных моделей** задают базовые (исходные) параметры грунта.

**Объёмная сила тяжести (удельный вес)**  $\gamma$  - задаётся объёмная сила тяжести грунта выше уровня грунтовой воды, а объёмная сила тяжести грунта под У.Г.В. программой рассчитывается по другим параметрам, задаваемым в секции «**Подъёмная сила**».

### Модуль упругости $E$

Модуль упругости описывает жёсткость материала, постоянную во всём диапазоне нагружения. В случае грунтов однако это предположение справедливо только в диапазоне небольших деформаций (упругих деформаций). У **нелинейных моделей** после удовлетворения условия- пластичности (изменения вязкости грунта) на поведение грунта не имеет модуль упругости  $E$  существенного влияния.

Вопрос который из модулей подходит данной материальной модели (начальный, касательный, секущий) и каково его значение не имеет однозначного ответа. Для выбора типа модуля необходимо знать **поведение грунта** в данной геомеханической задаче, а для определения величины - итоги **трёхосевого испытания** для соответствующей траектории напряжения. Тем не менее ориентировочные рекомендации определять можно.



Эпюра идеализированной кривой деформации грунта и выведение отдельных типов модулей

За модуль упругости  $E$  можно в материальных моделях подставить:

- **мгновенный модуль**  $E_0$  при расчётах небольших нагрузок (предполагается линейная зависимость деформация /напряжение) мгновенной осадки
- **секущий модуль**  $E_{50}$  предназначен для эталонного напряжения равного 50% напряжения при разрушениях (применяется напр., для расчёта фундаментов неглубокого заложения)
- **модуль деформации**  $E_{def}$  определяется из кривой нагружения нагружающего испытания, необходим у модифицированной линейной модели (которая различает



разное поведение грунта при нагружении и при снятии нагрузки) - при использовании этого модуля в случае расчёта снятия нагрузки на грунт (напр., подземные сооружения, подъём дна котлована) будут получены деформации побольше, чем при использовании модуля упругости  $E_{ur}$ , полученного из кривой снятия нагрузки  $r$  - действует приближённое отношение:

$$E_{ur} = 3 \cdot E_{def}$$

- **эдометрический модуль**  $E_{oed}$ , который зависит от напряжения в грунте следовало бы подставлять в зависимости от ожидаемого диапазона напряжения в грунте - перевод между модулем деформации  $E_{def}$  и эдометрическим модулем  $E_{oed}$  описан отношением:

$$E_{oed} = \frac{E_{def}}{\beta}$$

$$\beta = 1 - \frac{2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$$

где:  $\nu$  - Коэффициент Пуассона

$E_{def}$  - Модуль деформации  
 $f$

- **модуль упругости**  $E_{ur}$  выведенный из разгружающей кривой назначен для расчёта при разгрузке грунта (выемки) - его следует задавать в случае **модифицированной эластичной модели**.

Значения модулей упругости лучше всего определять с помощью триаксиала. При использовании других методов (пенетрационные испытания, прессиометры и т.п.), необходимо применить коэффициенты корреляции, описание которых дано в специальной литературе.

При самом моделировании рекомендуется выполнить расчёт сперва с помощью **эластичной материальной модели** и проверить величину деформаций - согласно закона Гука деформации прямо пропорциональны нагрузке и заданной модели упругости. При **нереально больших** деформациях рекомендуем **пересмотреть величину заданного модуля упругости**.

**Коэффициент Пуассона**  $\nu$  - или коэффициент поперечного сжатия в случае упругой однородной материи, к которой приложена нормальная нагрузка в одном направлении описан отношением:

$$\mu = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}$$

где:  $\varepsilon_y$  - Вертикальная относительная деформация

$\varepsilon_x$  - Горизонтальная относительная деформация

Коэффициент Пуассона можно определить сравнительно точно. Задавать можно с

помощью встроенной в программу базы данных грунтов. При расчётах небольших нагрузок и подставке в расчёт начального модуля упругости  $E_0$ , необходимо учитывать тоже коэффициент Пуассона  $\nu_0$ , определённый для начальной нагрузки.

## Геостатическое напряжение, расчёт подъёмной силы

Анализ напряжения в грунте основан на наличии слоёв грунтов, заданных пользователем. Программа вставит фиктивные слои в те места, где меняются напряжения или боковые давления (уровень грунтовых вод, точки конструкции и т.д.). Нормальное напряжение в  $i$ -ом слое рассчитывается по формуле:

$$\sigma_i = \sum h_i \gamma_i$$

где:  $h_i$  - толщина  $i$ -ого слоя  
 $\gamma_i$  - удельный вес грунта

Если слой находится ниже **уровня грунтовых вод**, то удельный вес грунта под водой определяется с помощью заданных параметров грунта следующим образом:

- для опции «**Стандартный**» из выражения:

$$\gamma_{su} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

где:  $\gamma_{sat}$  - удельный вес водонасыщенного грунта  
 $\gamma_w$  - удельный вес воды

- для опции «**Рассчитать по пористости**» из выражения:

$$\gamma_{su} = (1 - n)(\gamma_s - \gamma_w)$$

где:  $n$  - пористость  
 $\gamma_s$  - удельная масса твёрдых частиц (скелета) грунта  
 $\gamma_w$  - удельный вес воды

$$\gamma_s = \frac{G_d}{V - V_p}$$

где:  $V$  - объем грунта  
 $V_p$  - объем поров  
 $G_d$  - вес сухого грунта

Удельный вес воды принимается в программе равным  $10 \text{ кН/м}^3$  или  $0,0625 \text{ ксф}$ .

При расчёте грунтовых давлений в случае **уклона поверхности** за конструкцией ( $\beta \neq 0$ ) и слоистой среды, угол  $\beta$  при расчете коэффициента давления грунта  $K$  уменьшается в  $i$ -ом слое по следующей формуле:

$$\text{tg}\beta_i = \frac{\gamma}{\gamma_i} \text{tg}\beta$$

где:  $\gamma$  - удельный вес грунта в первом слое от поверхности  
 $\gamma_i$  - удельный вес грунта  $i$ -ом слое от поверхности

$\beta$  - уклон поверхности за конструкцией

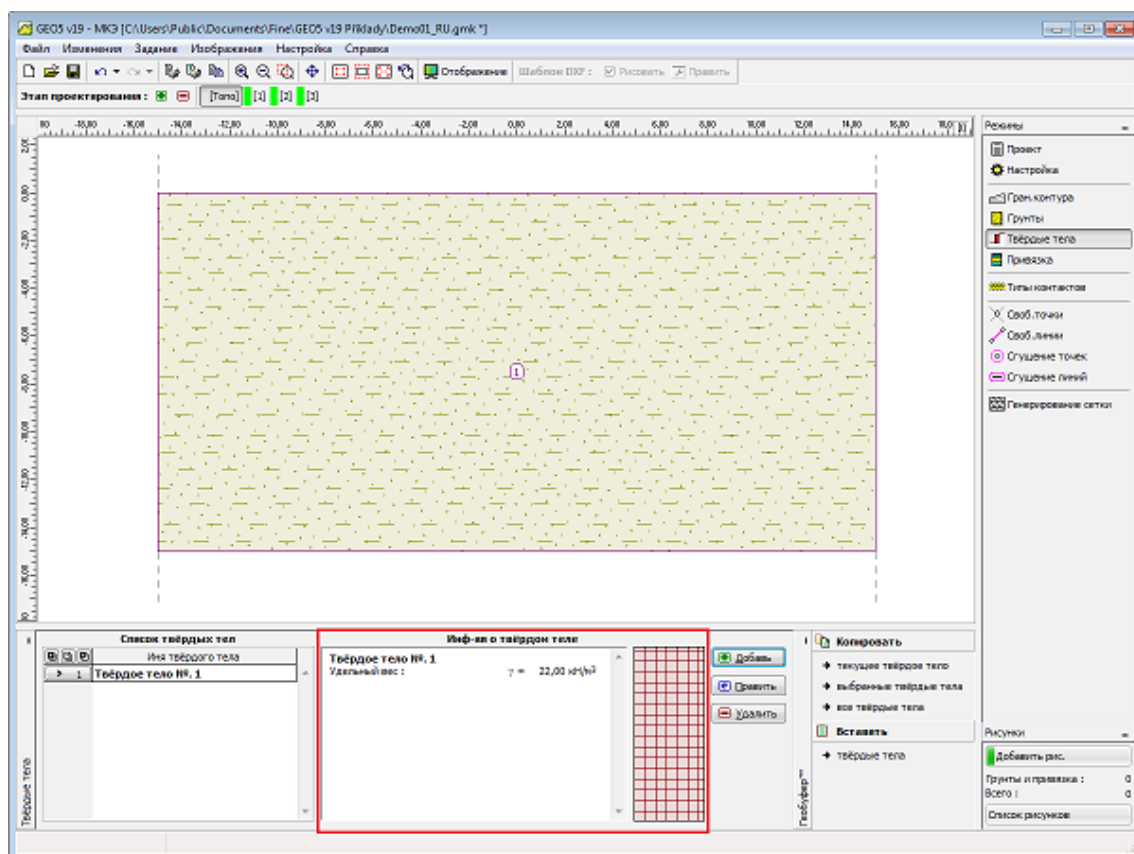
## Твёрдые тела

В рамке «Твёрдые тела» имеется таблица со списком заданных твёрдых тел.

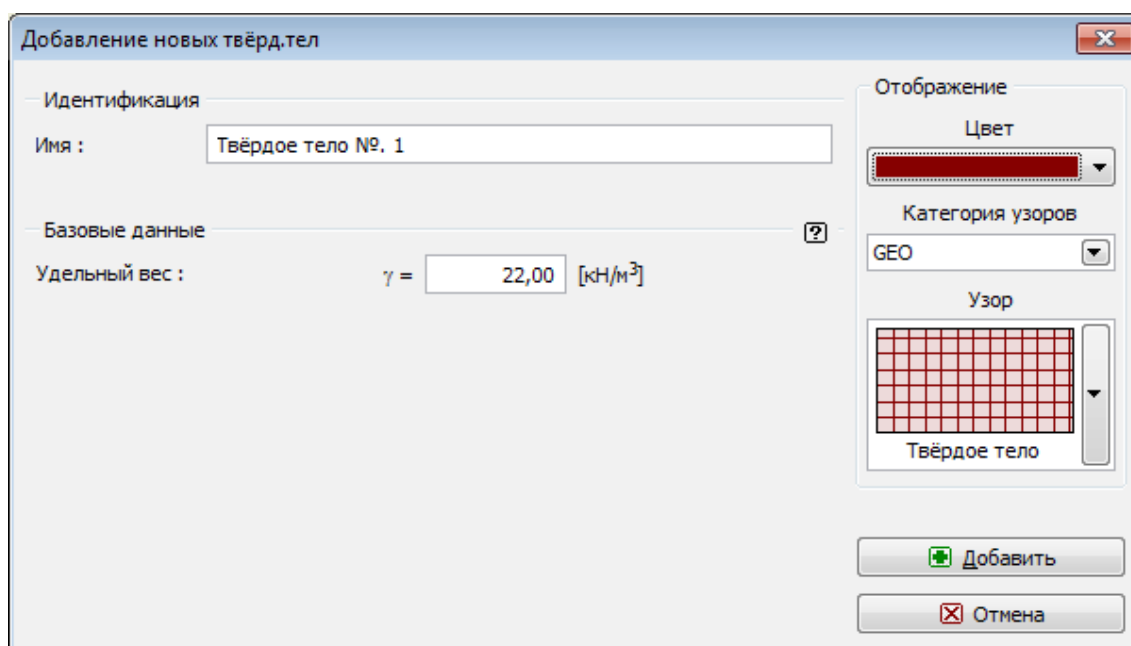
Программа позволяет задавать твёрдые тела, входным параметром у которых только объёмная сила тяжести (удельный вес) твёрдого тела. Материал тела рассматривается как **бесконечно твёрдый**. Такие тела служат прежде всего для моделирования массивных бетонных конструкций и стен не только в классических задачах, но также в задачах на устойчивость.

Добавление твёрдых тел выполняется в диалоговом окне «Добавление новых твёрдых тел».

Заданные твёрдые тела можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью «Геобуфера».



Рамка «Твёрдые тела»



Диалоговое окно «Добавление новых твёрдых тел»

## Привязка

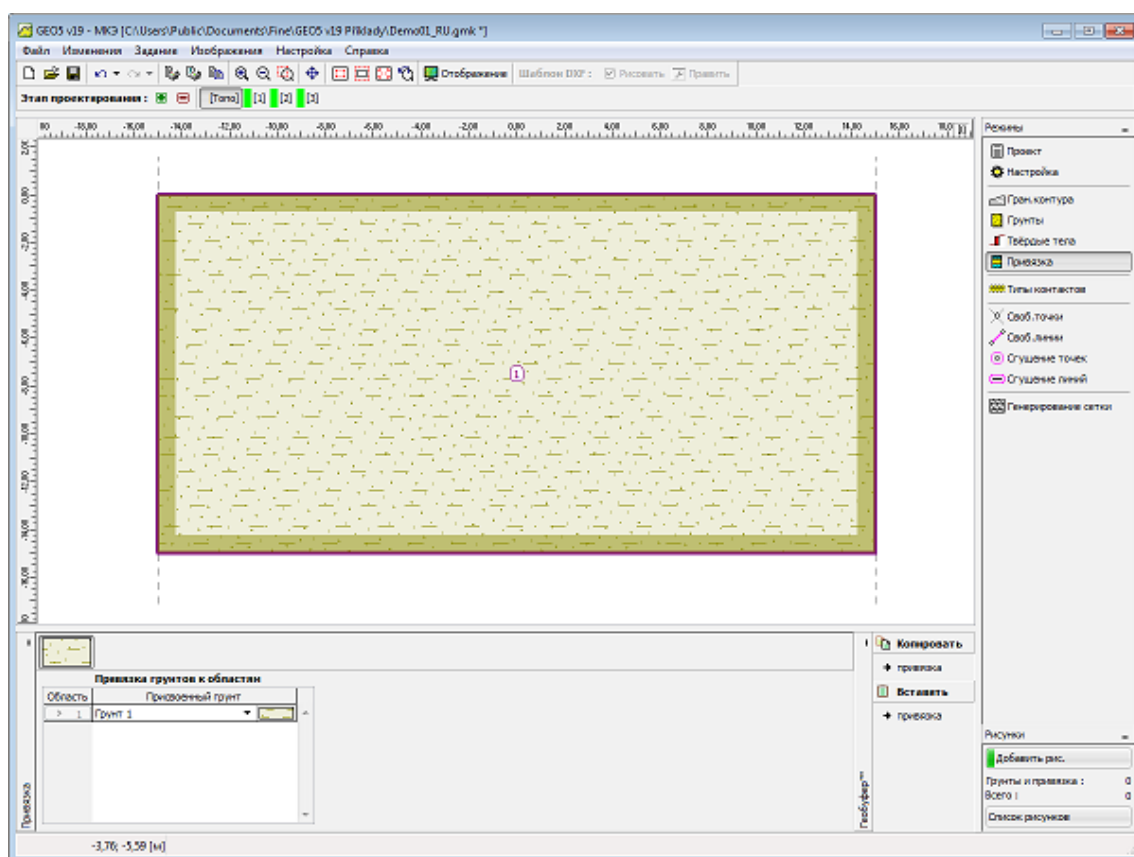
В **рамке** «Привязка» есть список слоёв (пластов) профиля (разреза) и присвоенных им грунтов. Список грунтов графически отображается при помощи кнопок в планке над таблицей, или к нему открыт доступ в выпадающем списке у каждого слоя (пласта) профиля.

Порядок привязки грунтов см. [здесь](#).

Единственная разница между привязкой грунта в этой и остальных программах отражается на этапах расчёта. Грунты не присваиваются отдельным границам контуров, а областям, которые автоматически образуются после **корректировки геометрии**.

После изменения в присвоении грунта в топологии новая привязка автоматически передаётся во все области, расположенные в данном геологическом слое.

Привязку грунтов можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью **«Геобуфера»**.

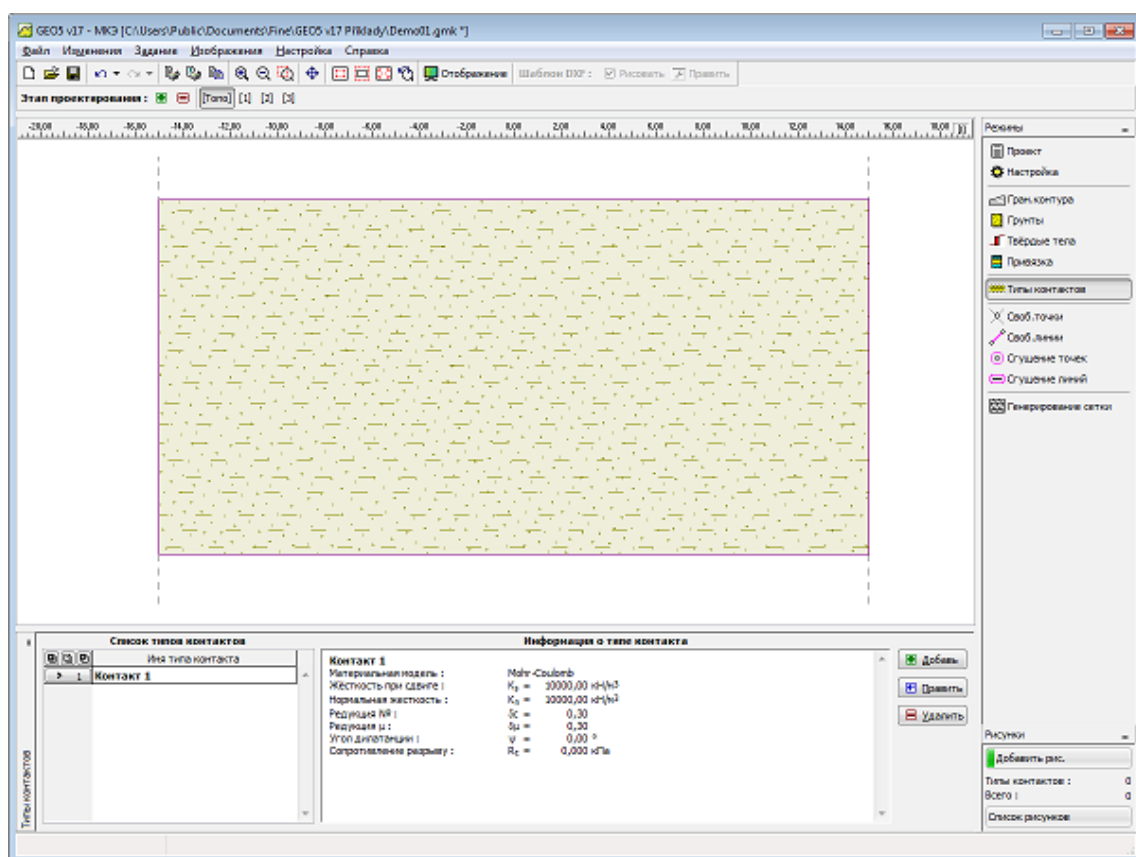


Рамка «Привязка»

## Типы контактов

В рамке «**Типы контактов**» находится таблица со списком заданных типов контактов. Добавление контактов производится в диалоговом окне «**Новые типы контактов**».

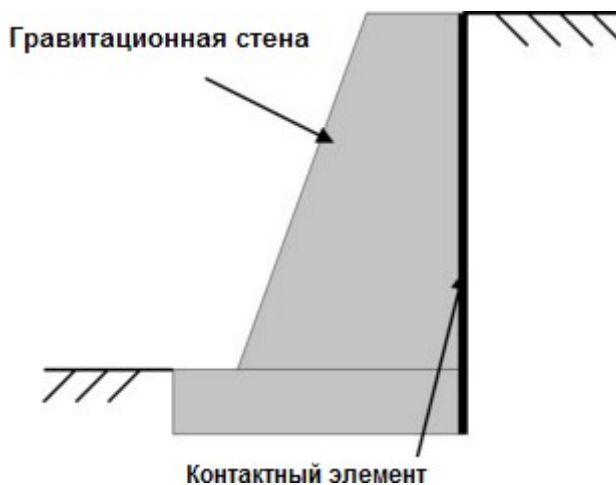
Здесь даны определения типов **контактных элементов**, которые вводят в модель в рамках «**Балки**» и «**Контакты**». Контакт может быть упругого или нелинейного типов.



Рамка «Типы контактов»

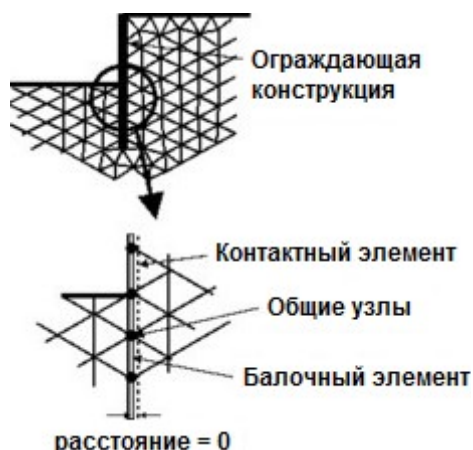
**Контактные элементы** используют для расчётов, в которых должно быть учтено взаимное воздействие конструкции и окружающей её среды - они представляют также удобное средство моделирования разрывов или же границ контуров двух совершенно разных материалов (грунт-породный массив). Типичный пример использования контактных элементов - моделирование **ограждающих конструкций, опорных стен** или **туннельной обделки**, где контактный элемент имитирует тонкую область грунта или породы, внутри которой происходит интенсивное нагружение преимущественно сдвигом.

Контакты можно задавать тоже самостоятельно между **отдельными границами контуров грунтов**.



### Расположение контактных элементов при моделировании гравитационной стены

Контактный элемент - это элемент нулевой толщины, отражающий взаимоотношение между контактным напряжением и относительным изменением перемещений вдоль контакта.



Генерирование ограждающей конструкции моделированной балочным и контактными элементами

## Контактные элементы

Контактные элементы могут иметь **эластичную материальную модель** (возможность изображения контактных напряжений при условии эластичного поведения контакта), или **пластичную материальную модель**, основанную на условиях пластичности Мора-Кулона при исключении прочности на растяжение.

Пластичная модель подходит для моделирования сепарации конструкции в случае растягивающего нагружения. Для расчётов **ограждающих конструкций** необходимо всегда принимать только пластичную модель контакта.

**Основными параметрами пластичной модели** являются когезия  $c$ , коэффициент трения  $\mu$ , и угол дилатансии  $\psi$ . Параметры  $c$  и  $\mu$  можно задавать и посредством редукции параметров  $c$  и  $\tan(\varphi)$  грунта в контакте. В случае, что контакт происходит между двумя грунтами, то решающими для редукции будут меньшие из значений  $c$  и  $\varphi$  обоих грунтов (пород).

Параметры контакта будут заданы отношениями:

$$c = \sigma_z \cdot c_{zem}$$

$$\mu = \sigma_\mu \cdot \tan(\varphi_{zem})$$

При отсутствии позволяющей точно определить параметры редукции информации, для стальных конструкций в песчаных грунтах можно принимать 2/3, а для стальных конструкций в глинистых грунтах 1/3. У бетонных конструкций обычно задают более высокие значения. В обычных случаях коэффициент редукции будет меньше 1. Угол дилатансии имеет подобное значение как в стандартных **моделях грунта**. Вводя  $\psi = 0$ , предполагаем эластичное поведение контакта при растяжении/сжатии. Пластическая деформация ограничится таким образом только сдвигом.

Следующими параметрами модели контакта - это **нормальная жёсткость**  $k_s$  и



**сдвигающая жёсткость**  $k_n$  контактного элемента отнесённые к единице длины. Эти величины можно представить как жёсткость пружин в данной границе контура. Выбор адекватных параметров не прост, очевидна зависимость выбора от рассматриваемой проблемы. Выбирая значения величин  $k_s$  и  $k_n$ , можно в определённой степени руководствоваться образом, каким эти параметры связаны с материальными характеристиками стыкующихся грунтов. При условии, что стыкуется с обеих сторон тот же материал, можно использовать следующие выражения:

$$K_n = \frac{E}{t}$$

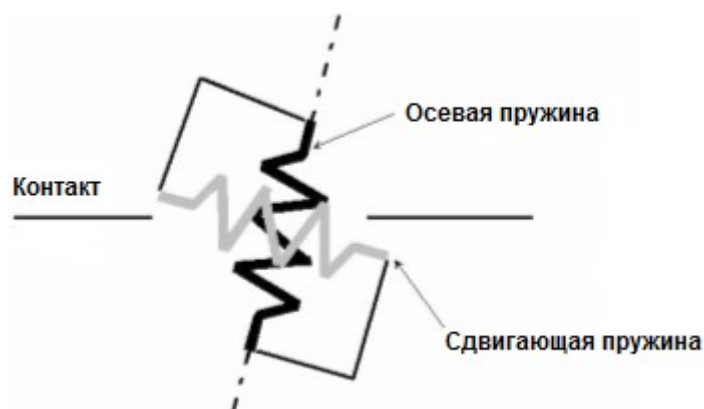
$$K_s = \frac{G}{t}$$

где:  $t$  -предполагаемая (фиктивная) толщина контактного слоя  
 $G$  -модуль упругости грунта при сдвиге  
 $E$  -модуль упругости

В случае разных материалов ( $E_1, E_2, G_1, G_2$ ) принимается более низкое значение  $k_s$  и  $k_n$ .

Хотя при полностью пластичном поведении контакта выбор параметров  $k_s$  и  $k_n$  не имеет существенного значения, но величина его значений является решающей для успешного решения рассматриваемой нелинейной задачи. Завышенные значения жёсткостей (больше  $100000 \text{ кН/м}^3$ ) могут приводить к осцилляции численного решения. Наоборот, заниженные значения параметров  $k_s$  и  $k_n$  (ниже  $10000 \text{ кН/м}^3$ ) дают нереальные деформации конструкций.

Стандартная настройка жёсткостей в программе -  $10000 \text{ кН/м}^3$ .



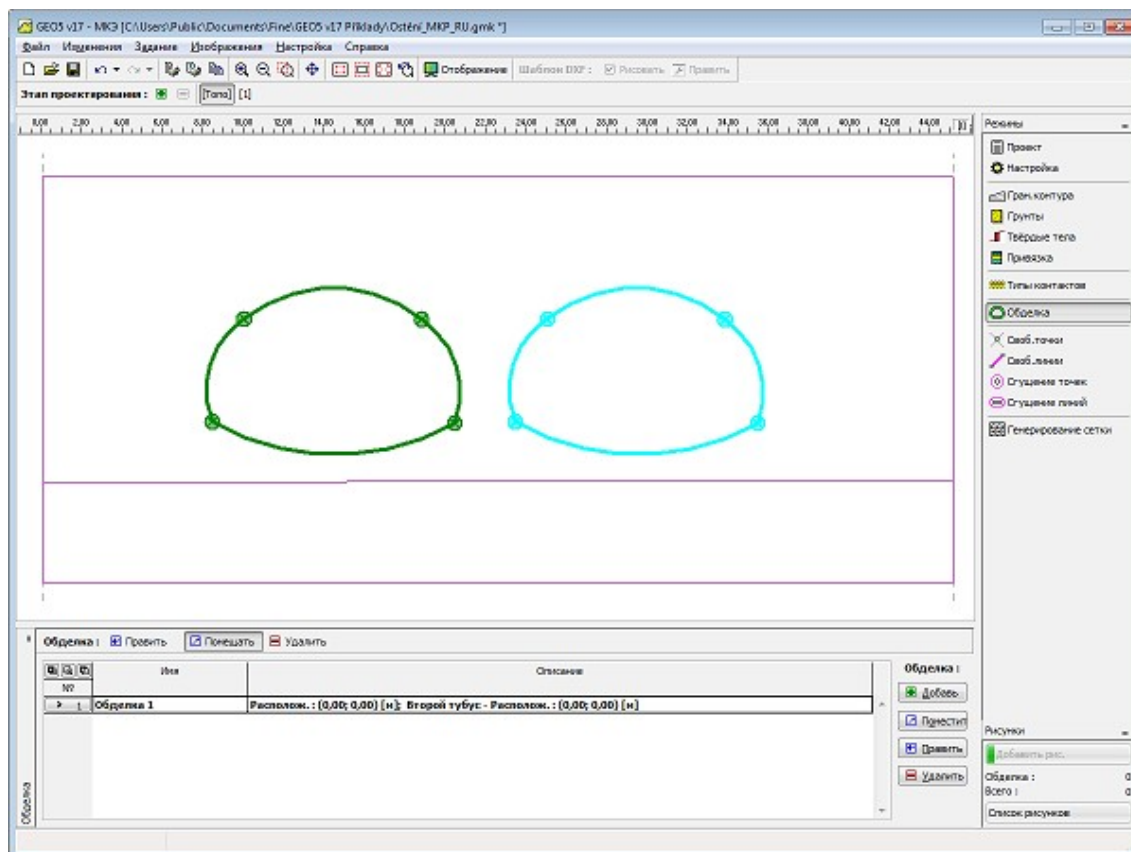
Изображение жёсткостей контактного элемента

## Обделка

В рамке «Обделка» находится таблица со списком заданных обделок. Рамка в программе доступна если в рамке «Настройка» включен режим «Тоннели». Модуль «Обделка - МКЭ» упрощает работу при моделировании и размещении отдельных обделок тоннелей.

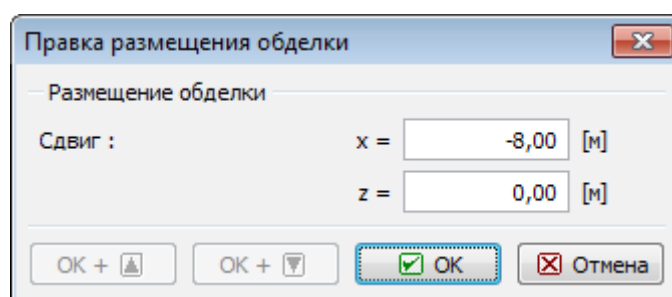
Для работы над обделками запускают самостоятельный модуль (приложение) «Обделка - МКЭ». Свободные точки, свободные линии, сгущение линий, анкеры, балки и нагрузка на балки созданные в данном модуле переносятся в программу МКЭ. В программе «МКЭ» эти элементы себя ведут стандартным образом, за одним исключением - их нельзя редактировать. Редактирование нужно выполнять только в модуле «Обделка - МКЭ».

Добавление обделки выполняется в модуле «Обделка - МКЭ». Порядок действий также описан в главе «Активные объекты».



Рамка «Обделка»

Нажимая кнопку «Разместить», открываем диалоговое окно «Правка размещения обделки», в котором можно редактировать координаты размещения обделки. Менять размещение обделки можно в программе МКЭ, без использования модуля «Обделка - МКЭ».



Диалоговое окно «Правка размещения обделки»

## Модуль Обделка - МКЭ

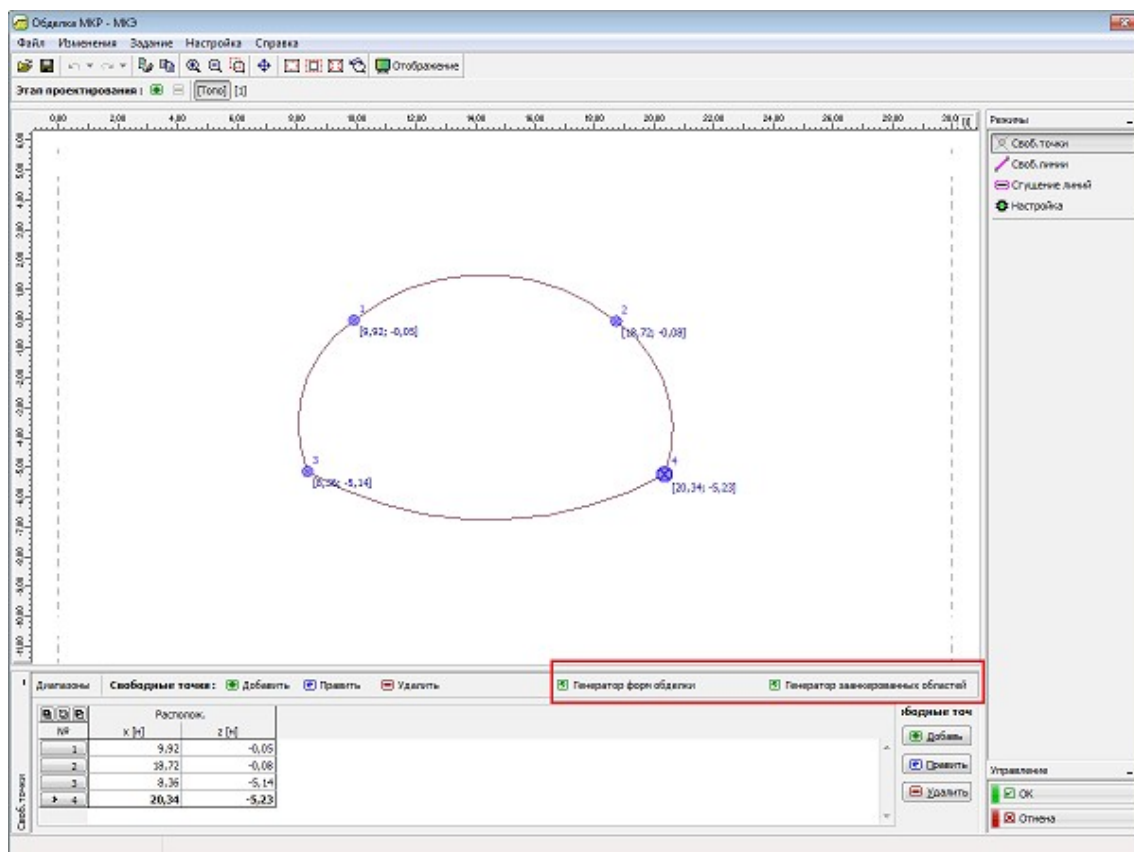
Модуль «**Обделка - МКЭ**» упрощает работу при моделировании и размещении отдельных обделок тоннелей. Модуль имеет характеристики главной программы МКЭ. Модуль располагает режимом «**Топология**» и **этапами проектирования**. В режиме «**Топология**» находится модуль рамки «**Свободные точки**», «**Свободные линии**», «**Сгущение линий**» и «**Настройка**». Рамки доступные на этапах проектирования описаны в рамках режима этапов проектирования программы «**МКЭ**».

Работу в модуле завершаем с помощью кнопки **«Завершить и передать»**, при этом созданные данные будут переданы в программу МКЭ, или с помощью кнопки **«Завершить без передачи»** - без передачи данных.

Программа позволяет производить **импорт** данных в формате \*.DXF.

Данные модуля обделки можно самостоятельно сохранять и загружать в рамках этого диалога посредством стандартных операций «**Открой**» и «**Сохрани**». Таким образом можно просто передавать обделку между несколькими решаемыми заданиями, или в рамках одного задания.

Если загружена обделка с меньшим количеством этапов, чем текущее состояние, оставшиеся этапы добавляются. Если загружен файл обделки с числом этапов больше, то такие этапы добавляются в диалог и впоследствии в главное окно. Данные диалога обделки нельзя считывать непосредственно в главном окне.

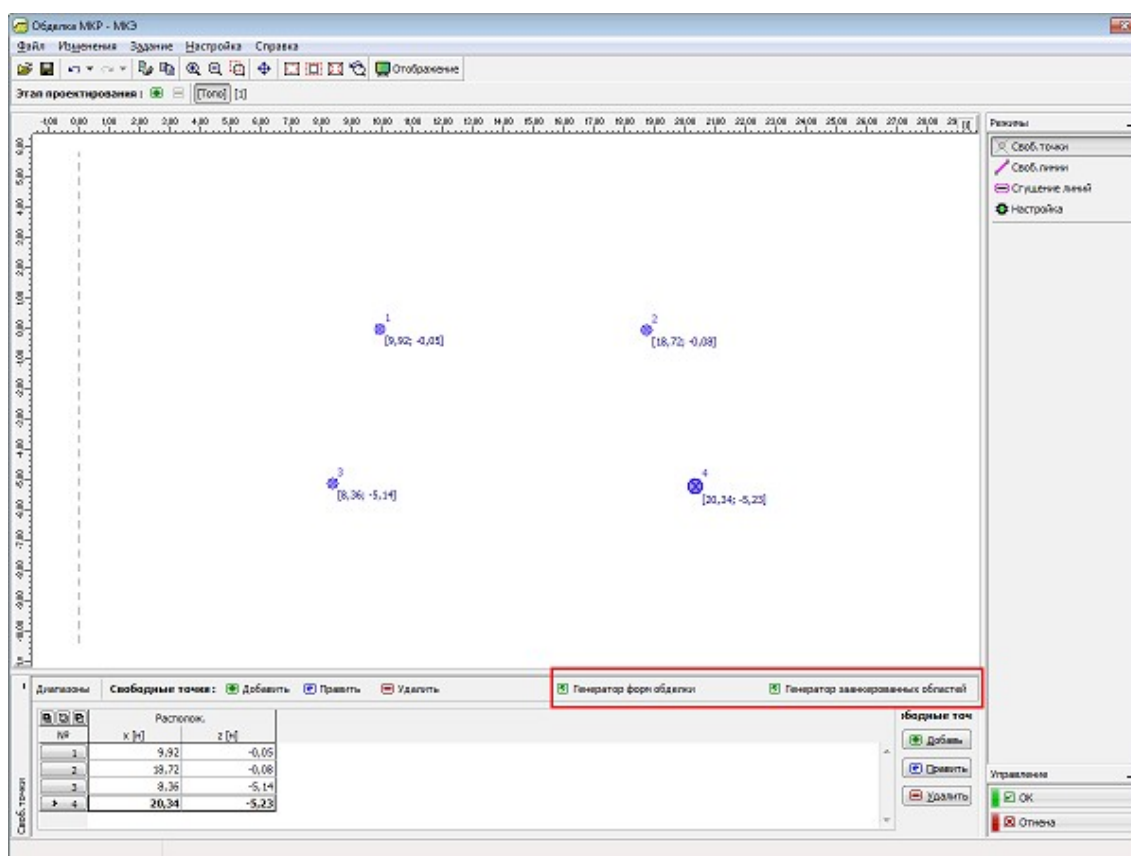


Модуль «Обделка»

## Свободные точки

В рамке «Свободные точки» находится таблица со списком заданных свободных точек. Операции над свободными точками соответствуют операциям в программе «МКЭ» в рамке «Свободные точки».

Рамка отличается функциями на горизонтальной строке, на которой находятся кнопки «Генератор форм обделки» и «Генератор заанкерowanych областей». Функция кнопки «Диапазоны» идентична с программой «МКЭ», в рамке «Граница контура».

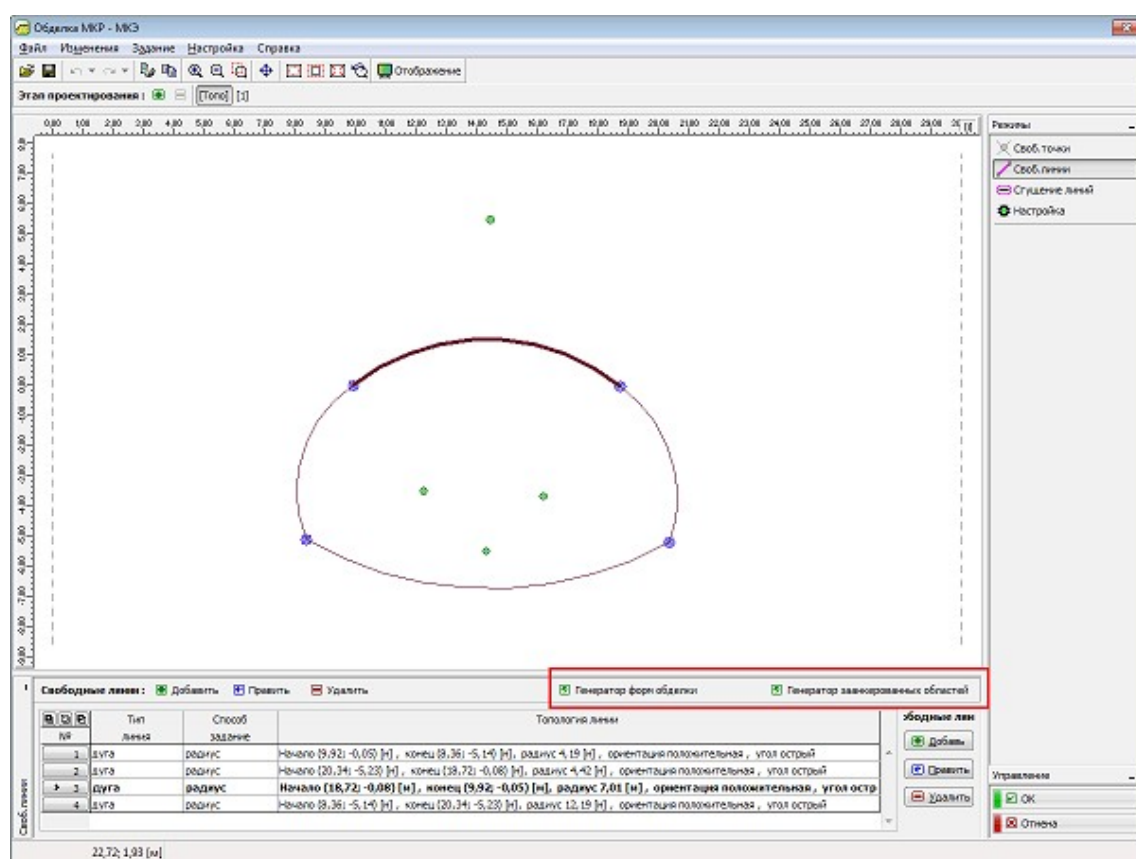


Рамка «Свободные точки»

## Свободные линии

В рамке «Свободные линии» находится таблица со списком заданных свободных линий. Операции над свободными линиями соответствуют операциям в программе «МКЭ» в рамке «Свободные линии».

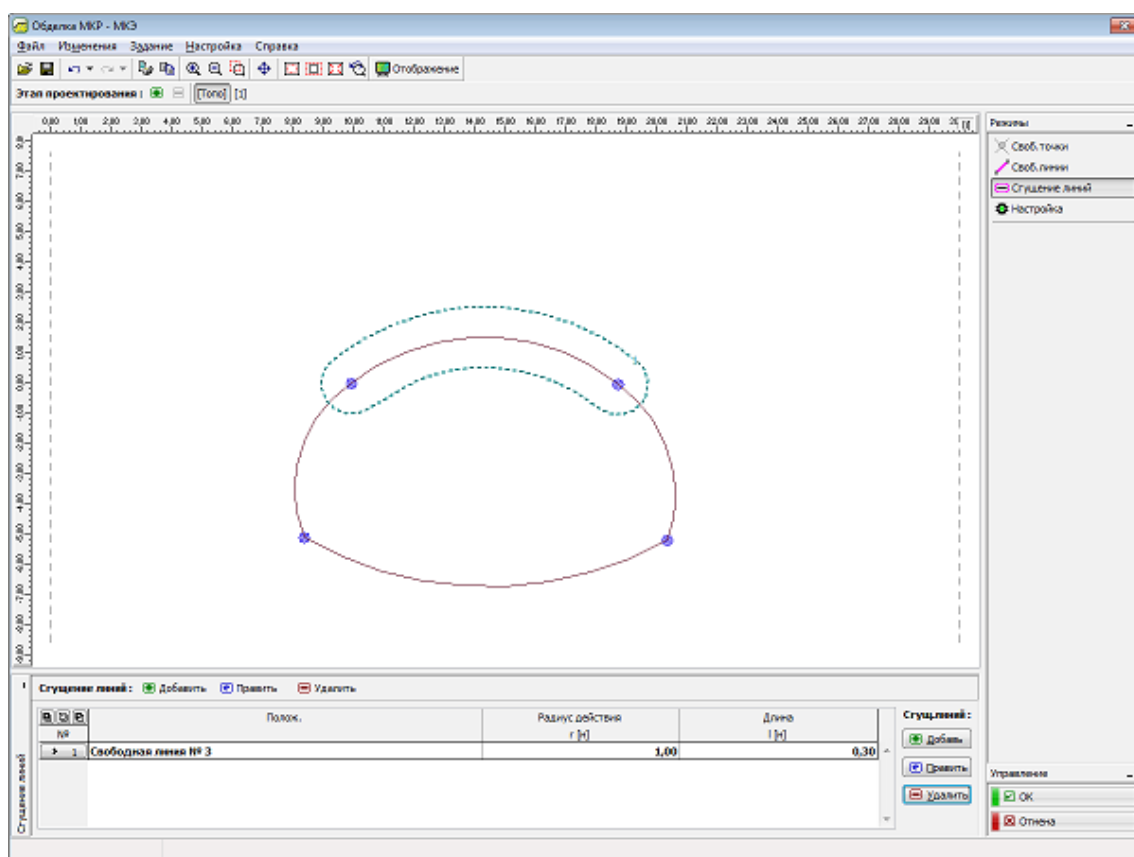
Рамка отличается функциями на горизонтальной строке, на которой находятся кнопки «Генератор форм обделки» и «Генератор заанкерowanych областей».



Рамка «Свободные линии»

## Сгущение линий

В рамке «Сгущение линий» находится таблица со списком заданных сгущений свободных линий. Операции над сгущениями свободных линий соответствуют программе «МКЭ» в рамке «Сгущение линий».

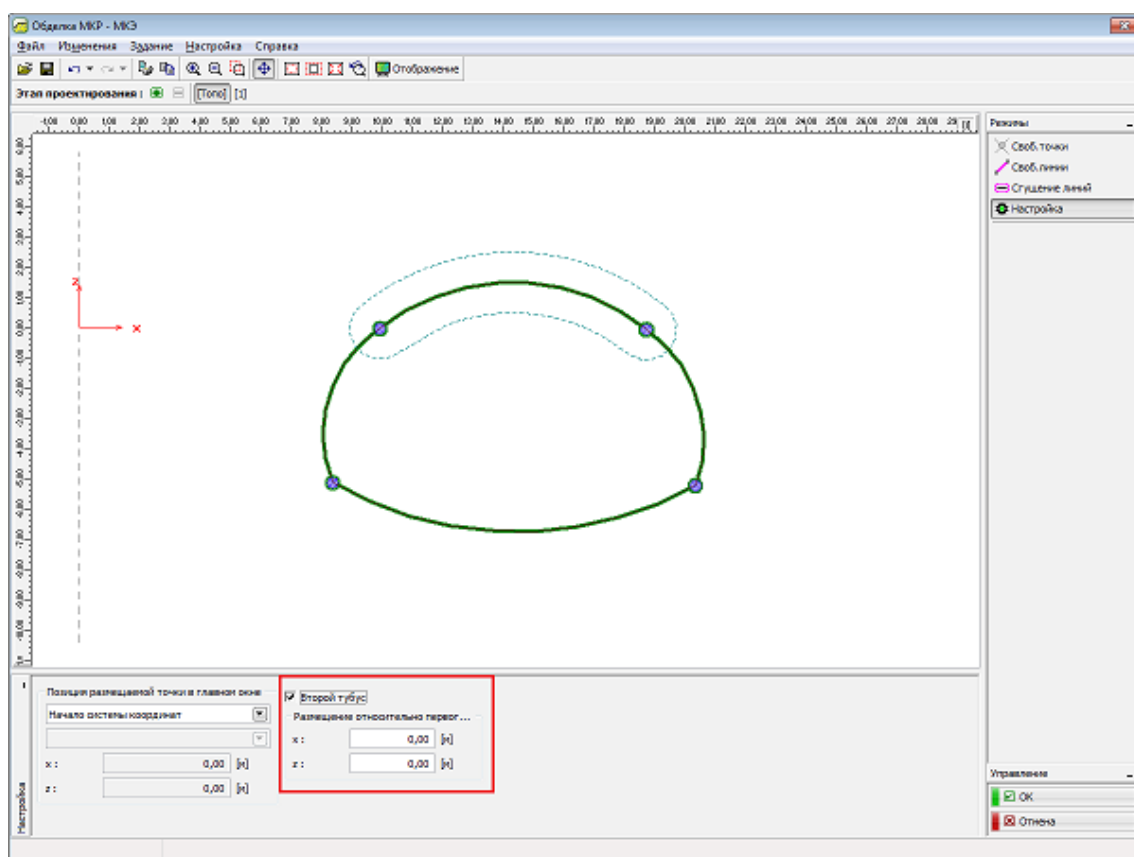


Рамка «Сгущение линий»

## Настройка

В **рамке «Настройка»** можно изменить расположение точки, которая впоследствии помещена в главное окно программы МКЭ. Положение точки можно определить на выбранную свободную точку, начало системы координат или на любые координаты. Таким способом можно точно поместить данную точку конструкции обделки в главное окно программы **«МКЭ»**.

В правой части рамки можно активировать второй тубус. Второй тубус в рамке **«Настройка»** отобразится для просмотра, а дальше только после переноса данных в программу **«МКЭ»**. Второй тубус - это клон заданной обделки, разница только в его расположении относительно первоначально заданной конструкции.



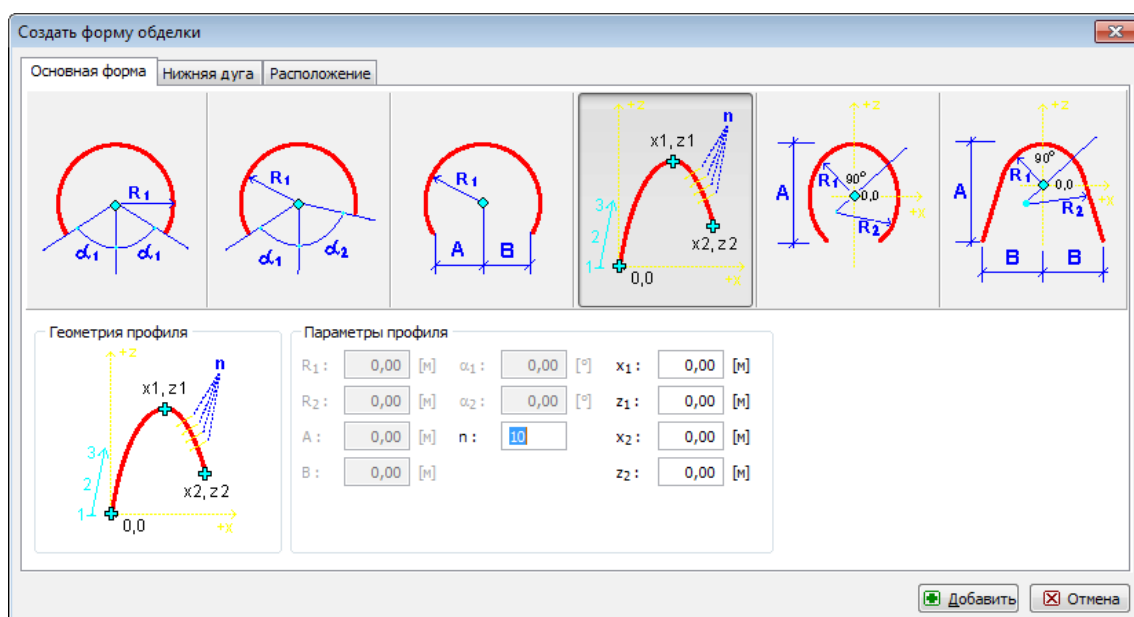
Рамка «Настройка»

## Генератор форм обделки

Генераторы создают на основании параметров соответствующие элементы, работа над которыми дальше ведётся самостоятельно, без возможности изменять параметры. Если параметры генерации корректны, то в ходе их редактирования отображается текущий графический вид сгенерированных элементов.

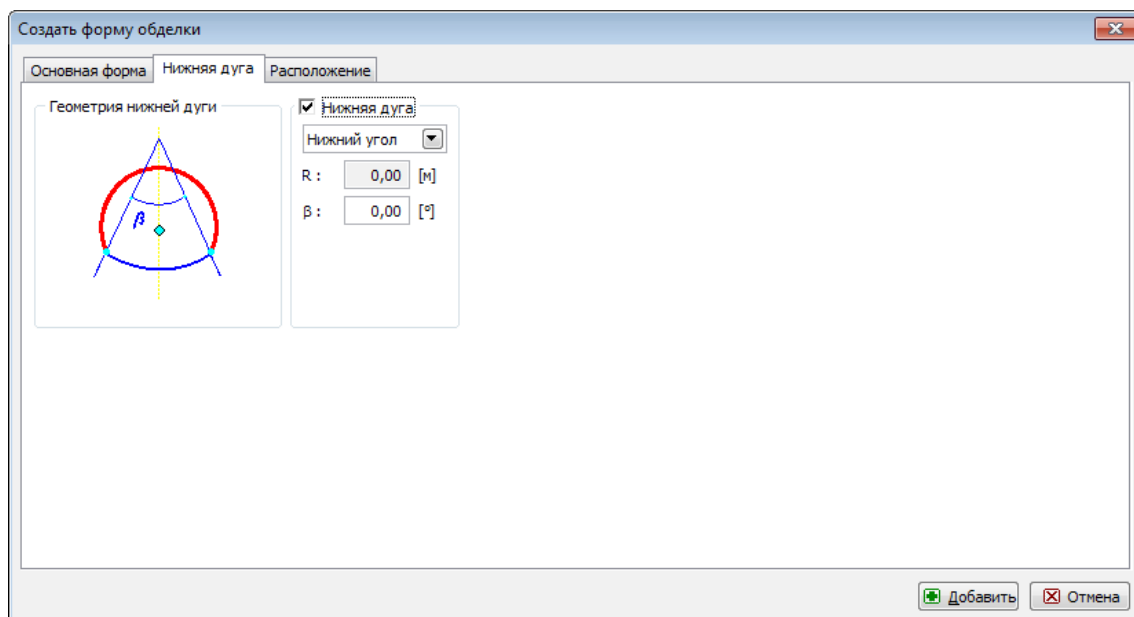
В диалоговом окне «**Создать форму обделки**» происходит генерация свободных точек и свободных линий из шести базовых форм обделки. Каждую форму определяет несколько параметров (диаметры, углы, высота, шаг, количество делений, контрольные точки).





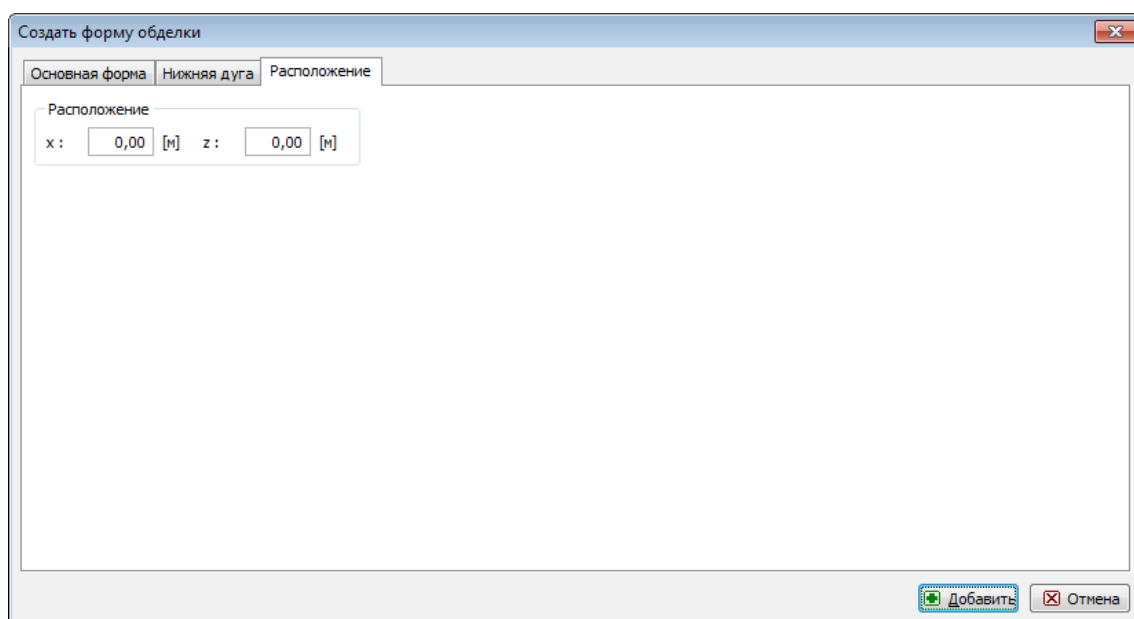
Диалоговое окно «Создать форму обделки» - закладка «Основная форма»

В закладке «**Нижняя дуга**», задавая параметры углом или радиусом, определяем каким будет дно обделки - ровным или дугообразным .



Диалоговое окно «Создать форму обделки» - закладка «Нижняя дуга»

В закладке «**Расположение**» можно с помощью координат изменить расположение обделки.

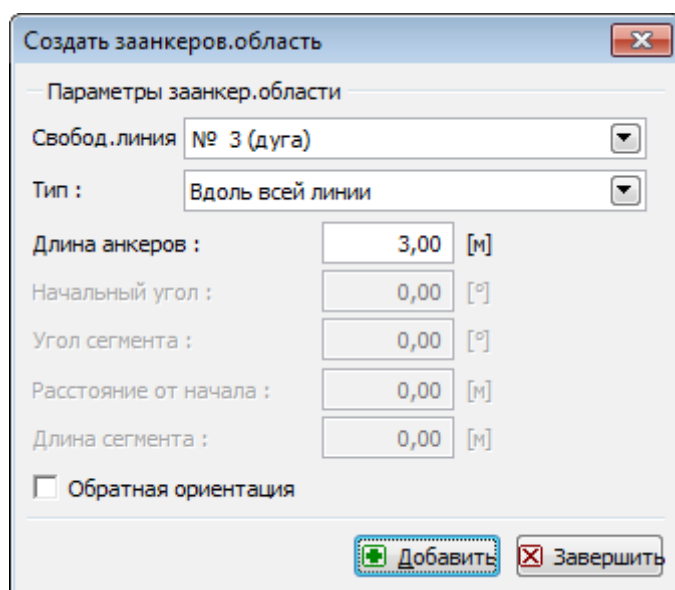


Диалоговое окно «Создать форму обделки» - закладка «Расположение»

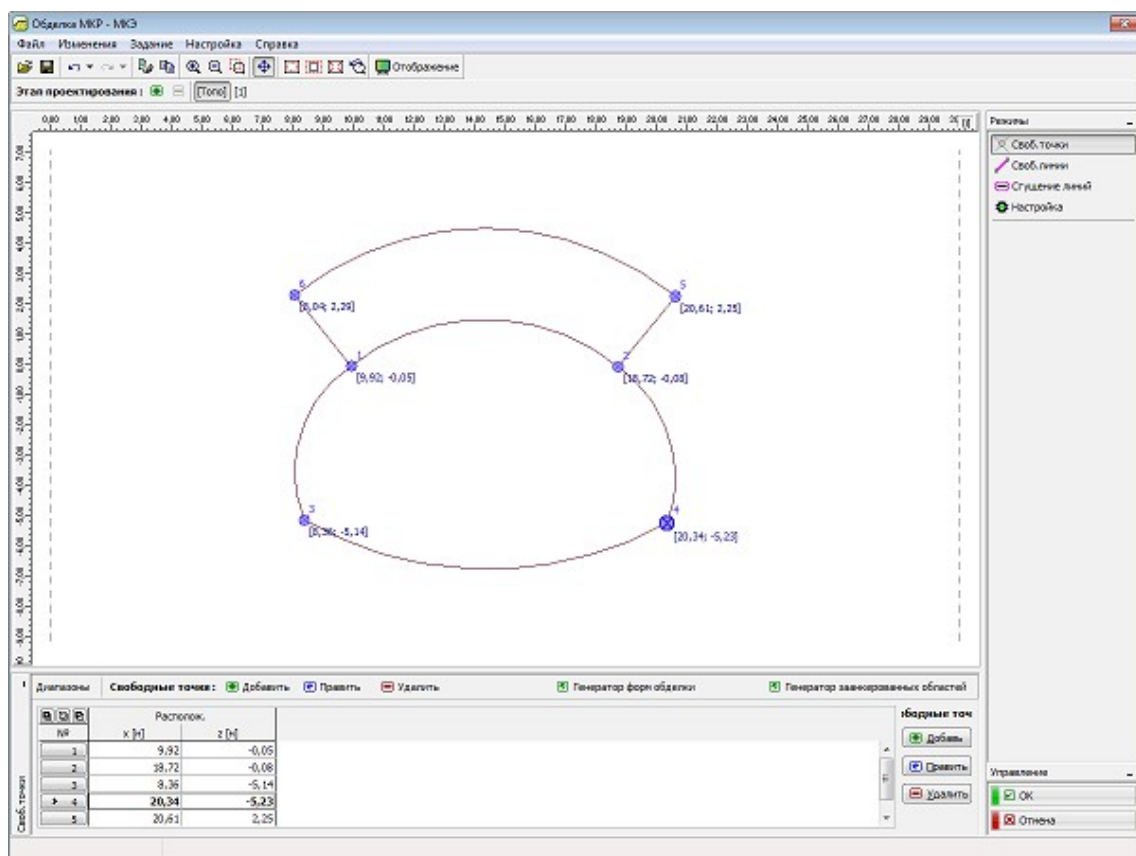
## Генератор заанкерowanych областей

Генераторы по заданным параметрам создают соответствующие элементы, над которыми ведётся работа уже самостоятельно, без возможности задним ходом менять их параметры. Если параметры генерации корректны, то в ходе их редактирования отображается текущий графический вид сгенерированных элементов.

В диалоговом окне «**Создать заанкерованную область**» идёт генерация свободных точек и свободных линий, но на основании уже заданных линий. В результате получаем замкнутую область, которой в программе «**МКЭ**» присваивается специальный грунт, характеризующий область с плотной анкеровкой. В диалоговом окне задают номер линии и параметры соответствующие типу заанкерования (вдоль всей линии, угловой сектор, начало и длина).



### Диалоговое окно «Содать заанкеррованную область»



Задание заанкеррованной области

## Этапы проектирования

Этапы проектирования в модуле «Обделка - МКЭ» и в программе МКЭ идентичны, только работа над ними отличается в некоторых пунктах.

Разница в поведении этапов в модуле «Обделка - МКЭ»:

- можно переключаться в этапы проектирования из режима «Топология» без генерации сетки
- этапы проектирования, которые добавляются в модуле «Обделка - МКЭ» после подтверждения изменений, передаются тоже в программу «МКЭ»
- этапы проектирования, предшествующие этапу, на котором модуль «Обделка - МКЭ» был запущен, не имеют к себе доступа
- этапы проектирования заданные перед пуском модуля «Обделка - МКЭ», не поддаются удалению

## Свободные точки

В рамке «Свободные точки» находится таблица со списком заданных свободных точек. Добавление свободных точек производится в диалоговом окне «Создать свободные точки».

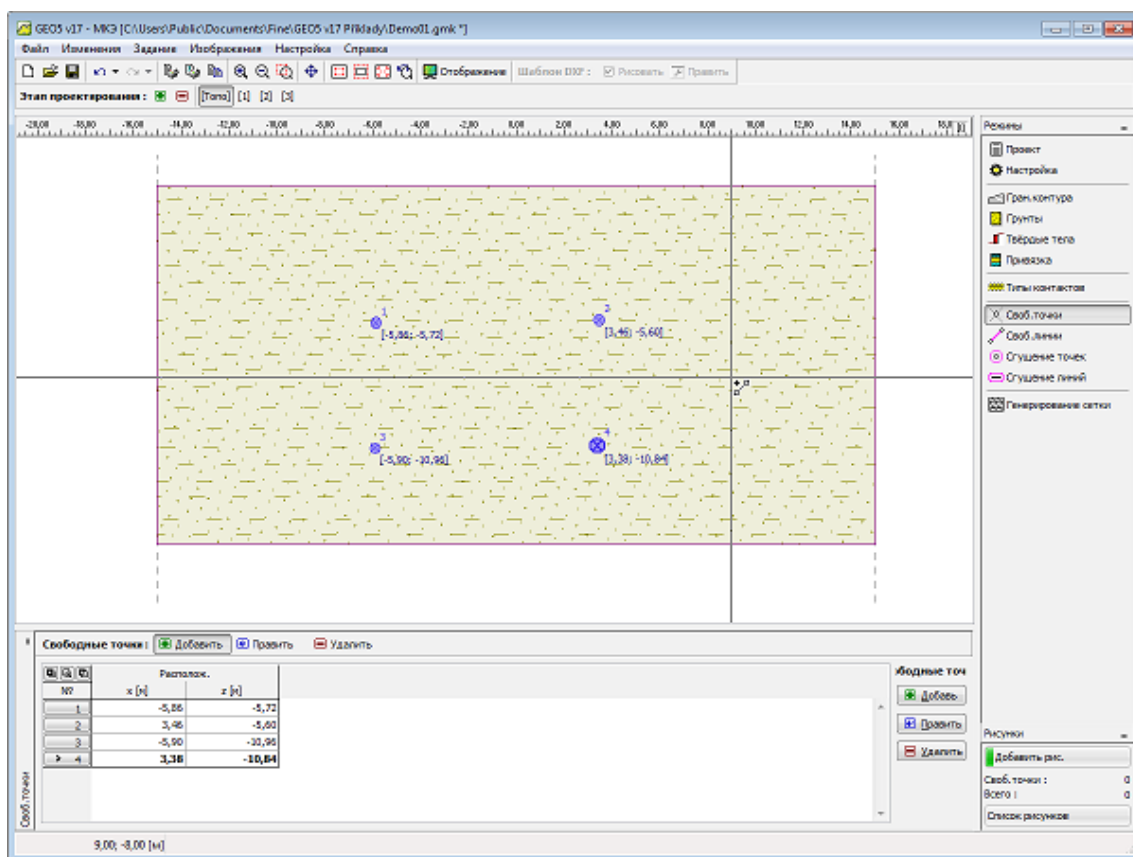
Заданные свободные точки можно редактировать на рабочем столе с помощью активных

### объектов.

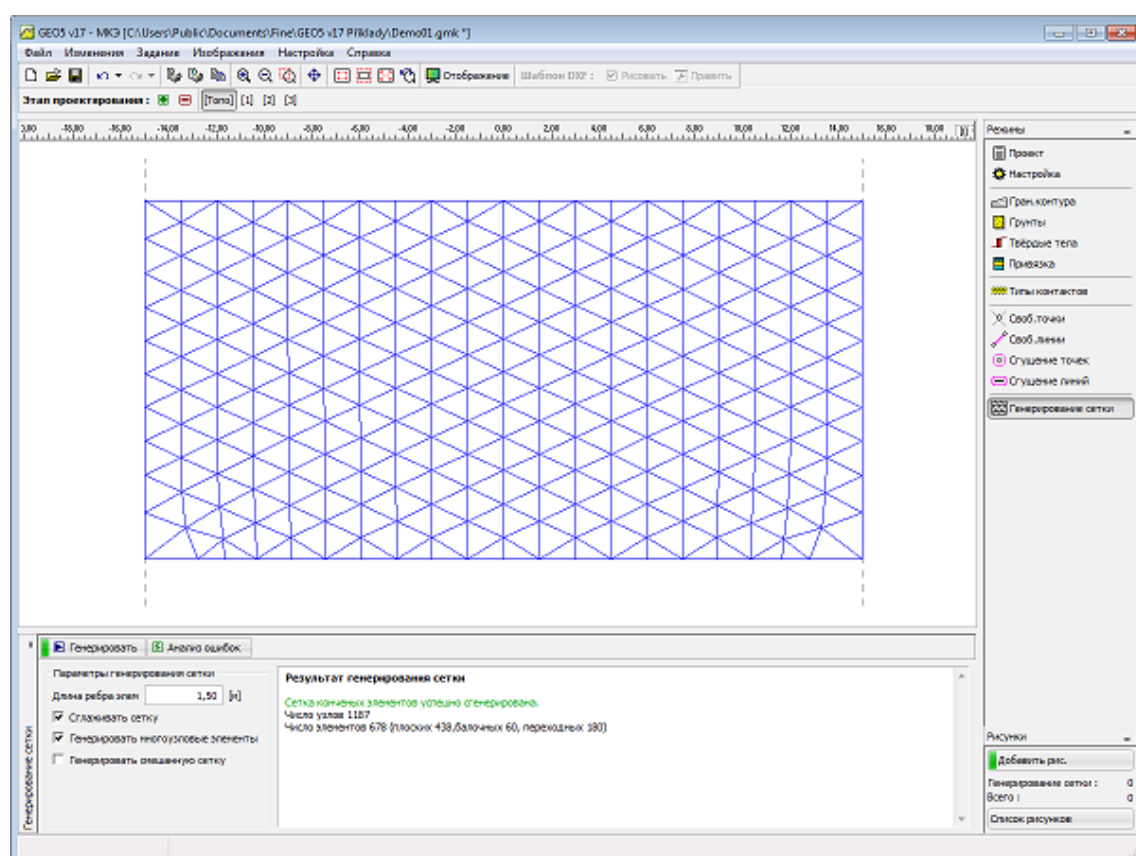
Программа позволяет задавать любое множество свободных узлов в любом месте конструкции или вне конструкции. Свободные точки выполняют несколько основных функций :

- **узлы для определения конструкции** (выработки, обделки, ограждения, балки)
- **вспомогательные точки** вокруг которых будет выполнено **сгущение сетки**
- точки, в которых будут **определены краевое условие**, силы и т.п.

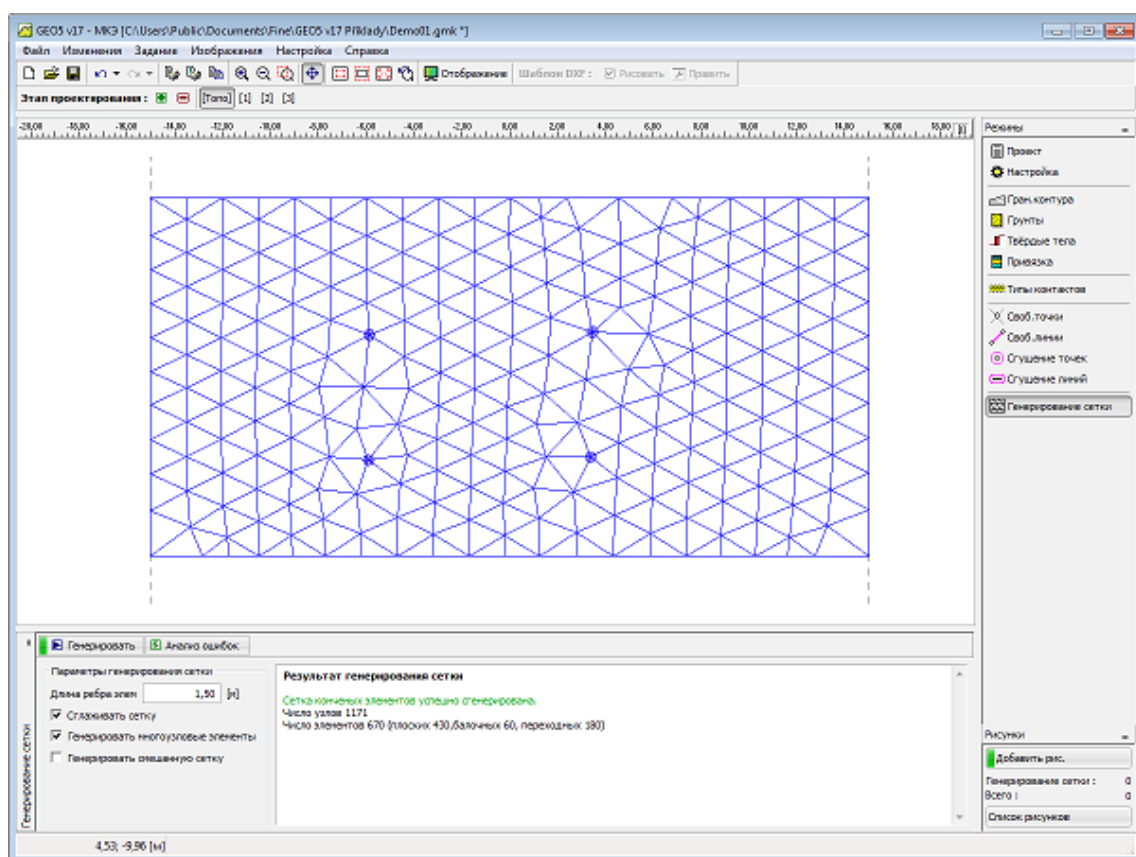
В свободный узел внутри или с края заданной конструкции, **генератор сетки автоматически помещает узел сетки**. Таким способом можно вручную редактировать сетку, или с помощью этого приёма создать модель своей пользовательской сетки.



Рамка «Свободные точки»



Сетка сгенерирована без свободных точек



Сетка со свободными точками

## Свободные линии

В рамке «Свободные линии» находится таблица со списком заданных свободных линий. Добавление свободных линий производится в диалоговом окне «Новые свободные линии».

Линии задают между отдельные точки (отрезки, дуги, окружности) или вокруг отдельных точек (окружности). Линии задают как между свободные точки, так между точки границ контуров или профиля.

Линии могут произвольно соприкасаться или пересекаться - точки пересечения заданных линий программа автоматически находит при корректировке заданной геометрии. На свободные линии можно задавать балочные элементы.

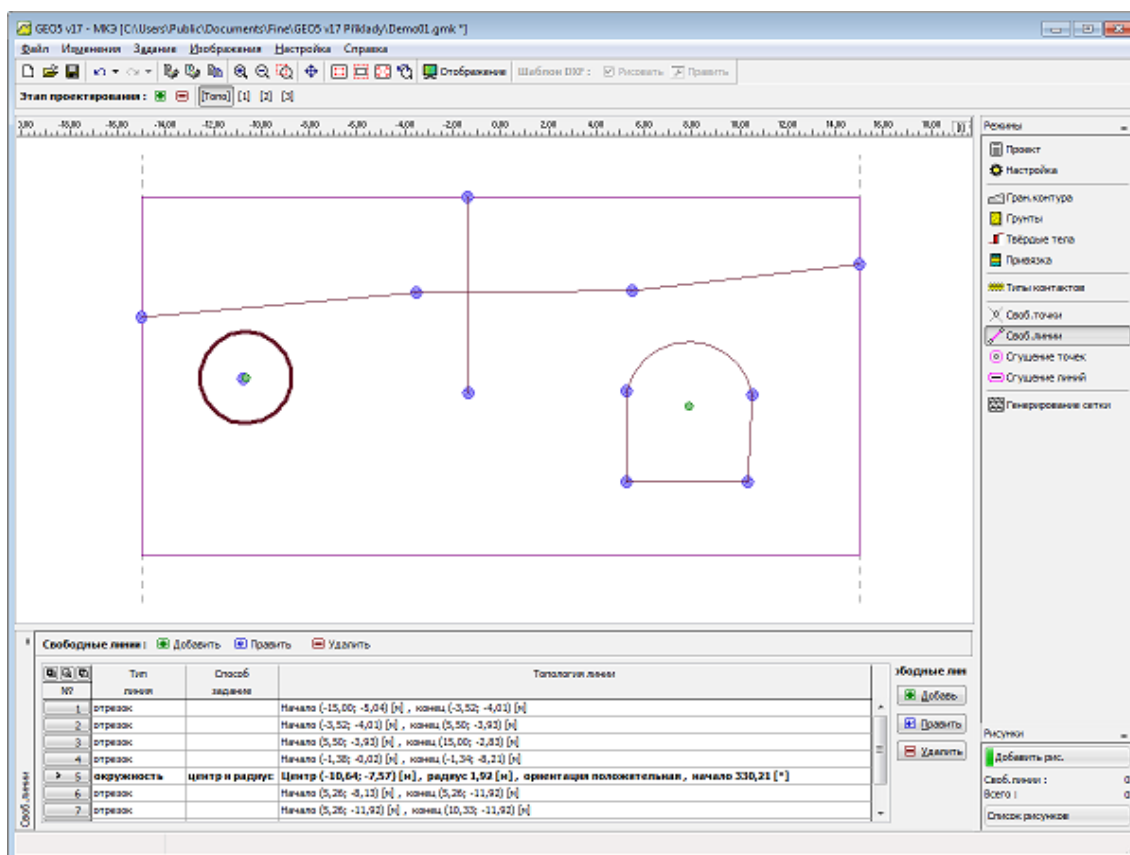
Задавая линии, необходимо определить тип линии. Программа предлагает следующие типы:

- **Тип линии** В выпадающем списке выбираем тип нужной линии (отрезок, дуга, окружность).
  - **отрезок** Кликом левой кнопки мыши на точки задаём расположение линии.
  - **дуга** В выпадающем списке выбираем способ задания дуги (третья точка, центр, радиус, высота, образ.угол) и кликом левой кнопки мыши на рабочий стол задаём точки, определяющие дугу. Если дугу задаём с помощью центра, радиуса, образования угла, то в выпадающем списке выбираем знак

направления (положительный, отрицательный).

- В выпадающем списке выбираем способ задания окружности (центр, радиус, три точки) и кликом левой кнопки мыши на рабочий стол задаём точки, определяющие окружность. В выпадающем списке выбираем знак направления (положительный, отрицательный).

Заданные свободные линии можно отредактировать также на рабочем столе с помощью **активных объектов**.



Рамка «Свободные линии» - разные типы свободных линий

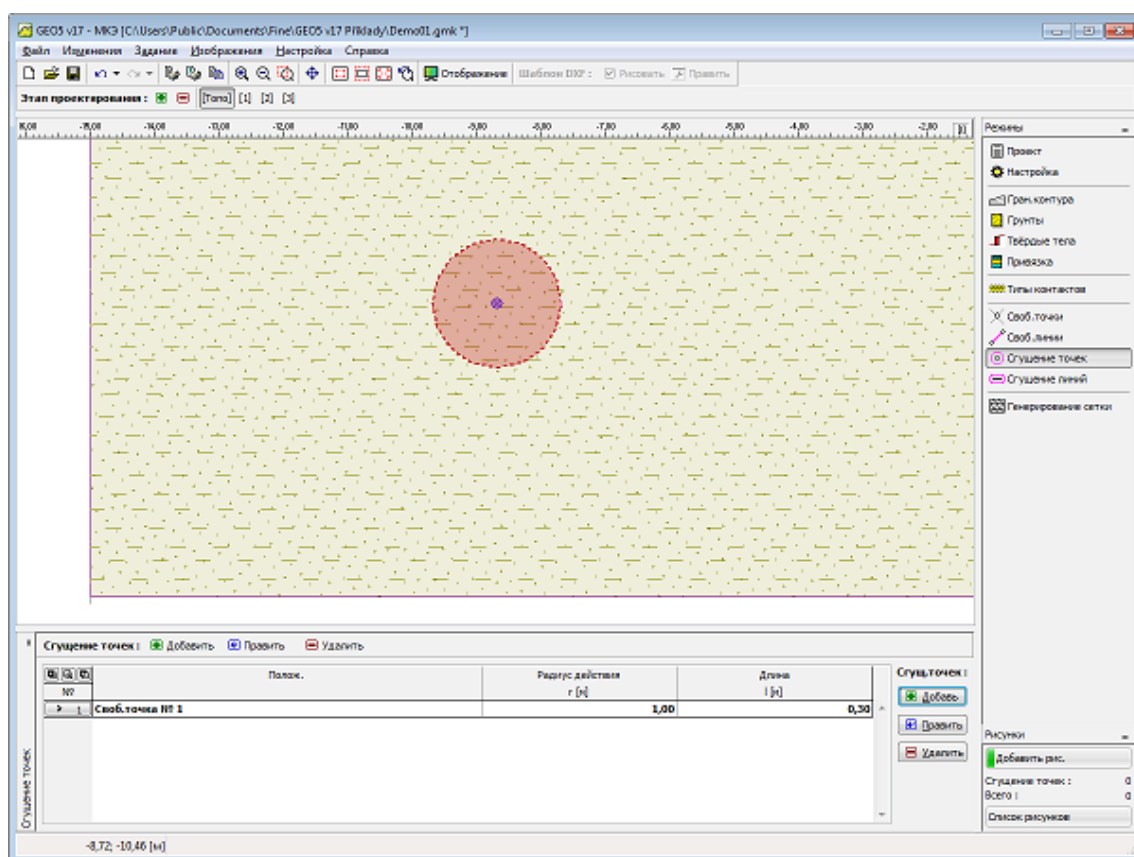
## Сгущение точек

В рамке **«Сгущение точек»** находится **таблица** со списком заданных сгущений точек. **Добавление** сгущения точек производится в **диалоговом окне «Создать сгущения точек»**.

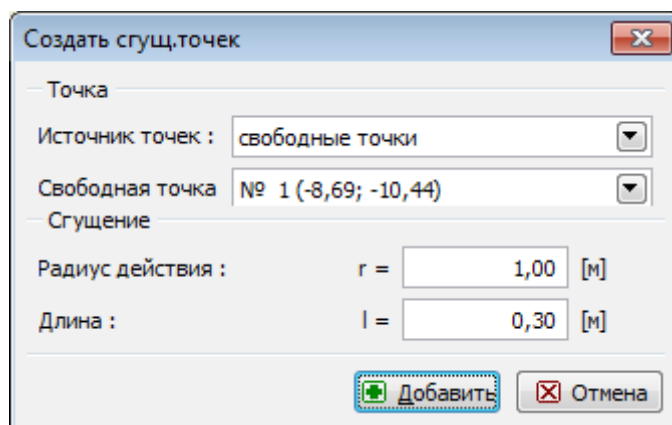
**Сгущение сетки конечных элементов вокруг точек** - важный вспомогательный инструмент для построения адекватной **сетки конечных элементов**. Сгущение можно выполнять вокруг свободных точек, а также точек границ контуров или территории (профиля).

Заданное сгущения точек можно редактировать на рабочем столе с помощью **активных объектов**.





Рамка «Сгущение точек»



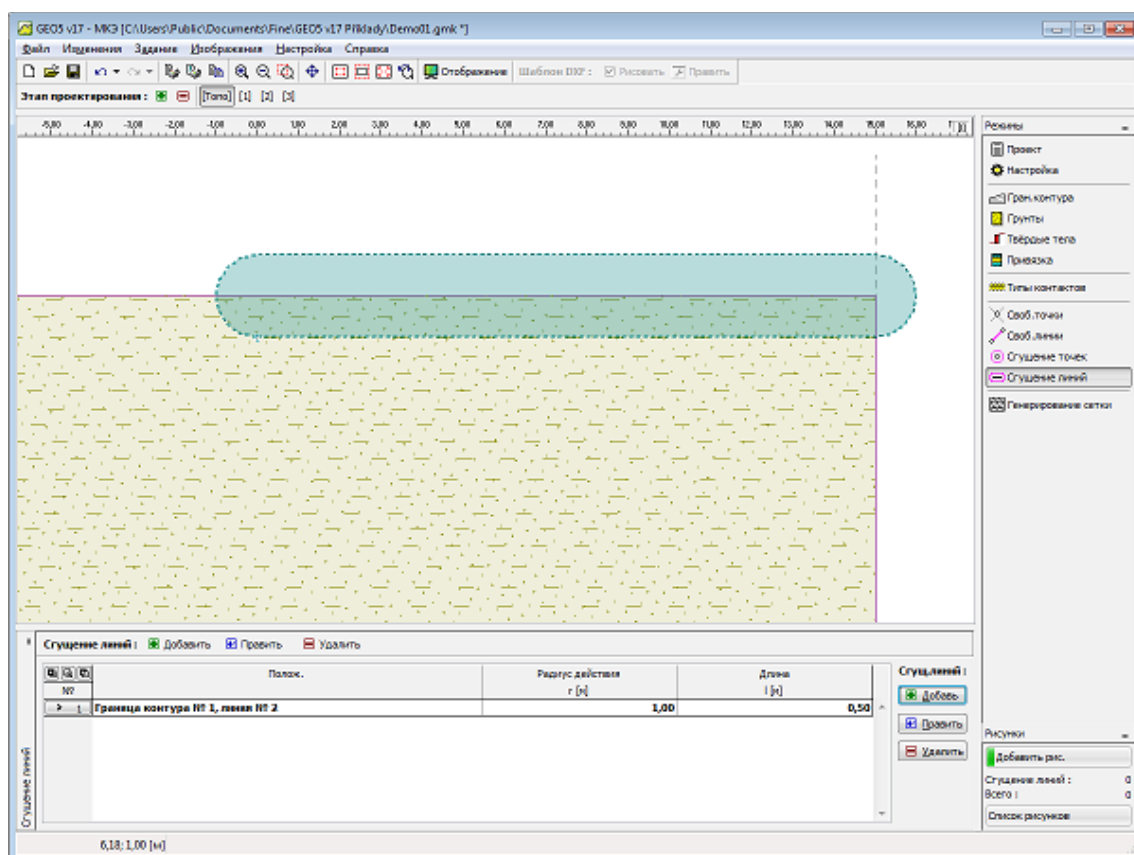
Диалоговое окно «Создать сгущения точек»

## Сгущение линий

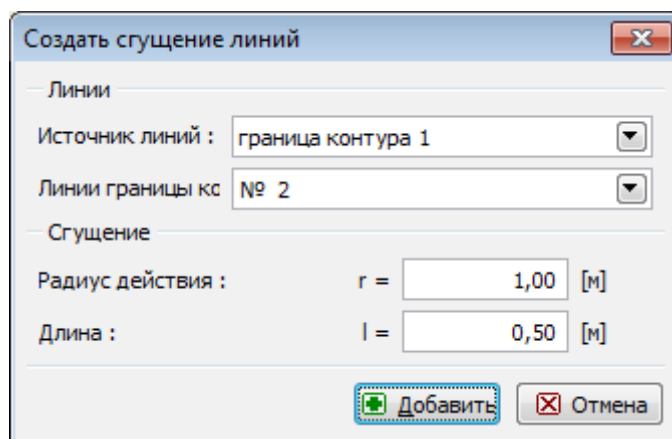
В рамке «Сгущение линий» находится таблица со списком заданных сгущений линий. Добавление сгущений линий производится в диалоговом окне «Создать сгущенные линии».

**Сгущение сетки КЭ вокруг линий** - важный вспомогательный инструмент для построения адекватной сетки конечных элементов. Сгущение можно проводить вокруг свободных линий а также линий границ контуров или территории (профиля).

Заданные сгущения линий можно редактировать на рабочем столе с помощью **активных объектов**.



Рамка «Сгущение линий»



Диалоговое окно «Создать сгущенные линии»

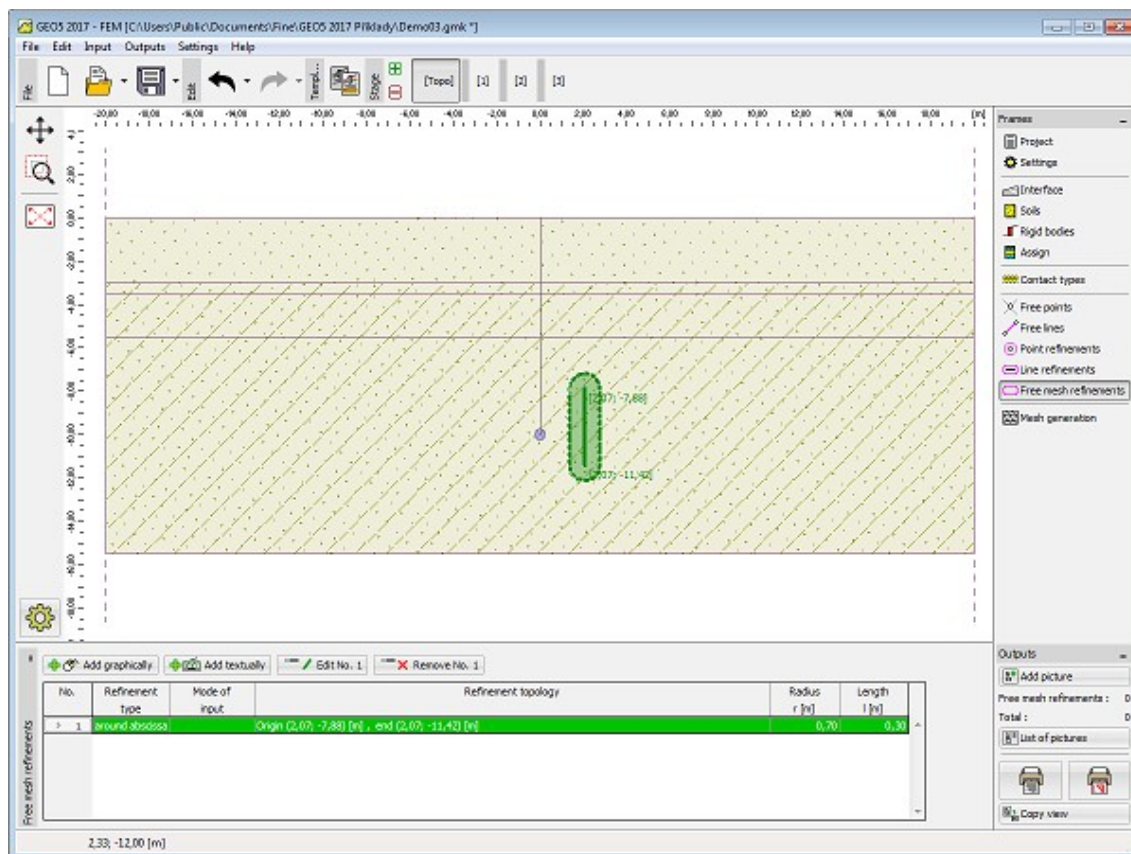
## Свободные сгущения

В **рамке «Свободные сгущения»** находится **таблица** со списком заданных свободных сгущений. **Добавление** свободных сгущений производится в **диалоговом окне «Новые свободные сгущения»**.

**Сгущение сетки конечных элементов** является важным пособием для создания

надлежащей **сетки конечных элементов**.

Заданные свободные сгущения можно редактировать на рабочем столе с помощью **активных объектов**.



Рамка «Свободные сгущения»

## Генерация сетки

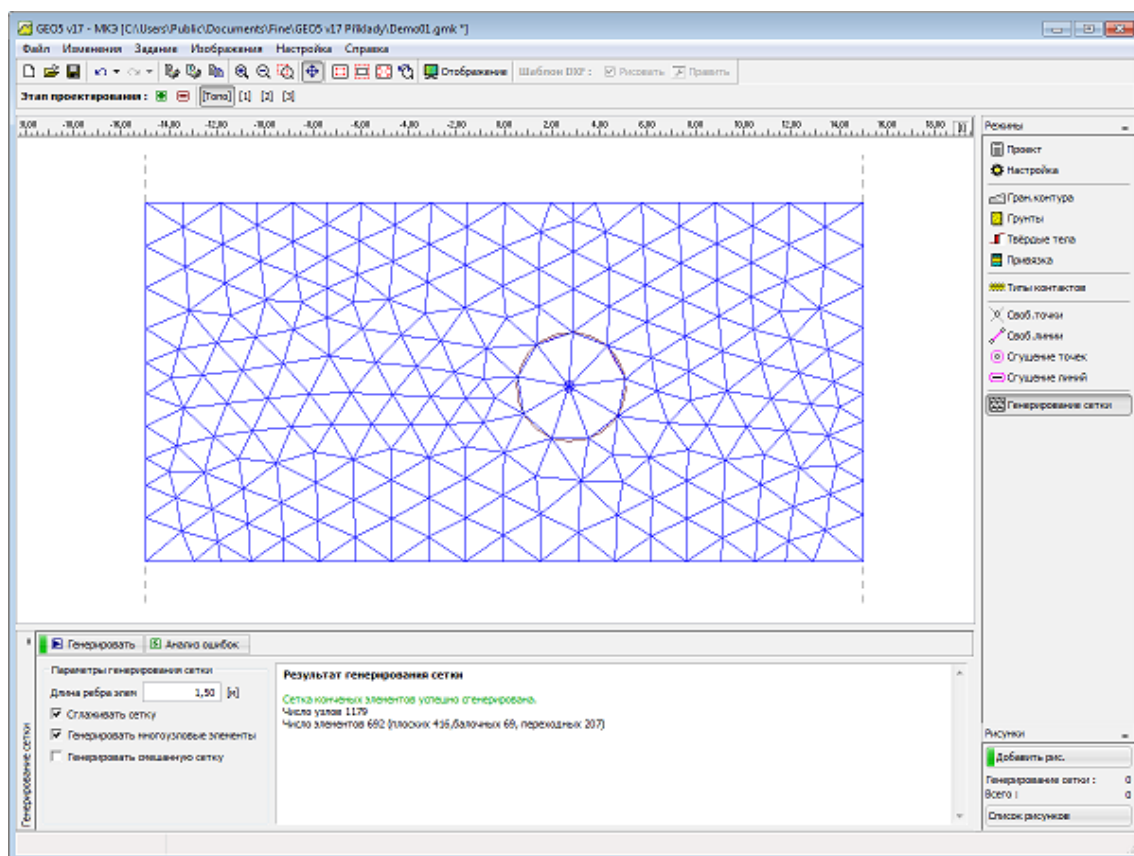
В **рамке «Генератор сетки»** в левой части находится исходная настройка для генерирования сетки, а в правой части - поле отображающее информацию о сгенерированной сетке.

**Успешной генерацией сетки** завершается работа над **топологией конструкции** - дальше идёт создание модели, расчёты **отдельных этапов проектирования**. Программа, генерируя сетку, сгенерирует **автоматически** и **стандартные краевые условия**. Информация о сгенерированной сетке будет отображена в правом нижнем окне вместе с **предостережением о проблемных местах**.

Правильно сгенерированная сетка конечных элементов - основная предпосылка получения корректных результатов. В программу GEO МКЭ встроен автоматический генератор сетки, который в значительной мере облегчает эту задачу. Однако необходимо **соблюдать определённые правила**:

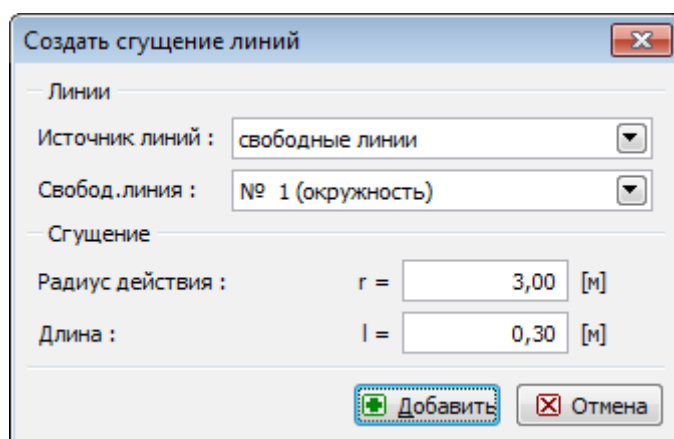
- Основную плотность сетки задают в окне **«Генератор сетки»**. Чем мельче элементы сетки, тем более точными будут получены результаты, но расчёты и вырисовка задачи значительно замедляются. Следовательно, нужно находить оптимальную плотность сетки, а это прежде всего требует, чтобы пользователь обладал большим опытом. В начале можно присматриваться к сеткам сгенерированным в ранее

решаемых задачах.

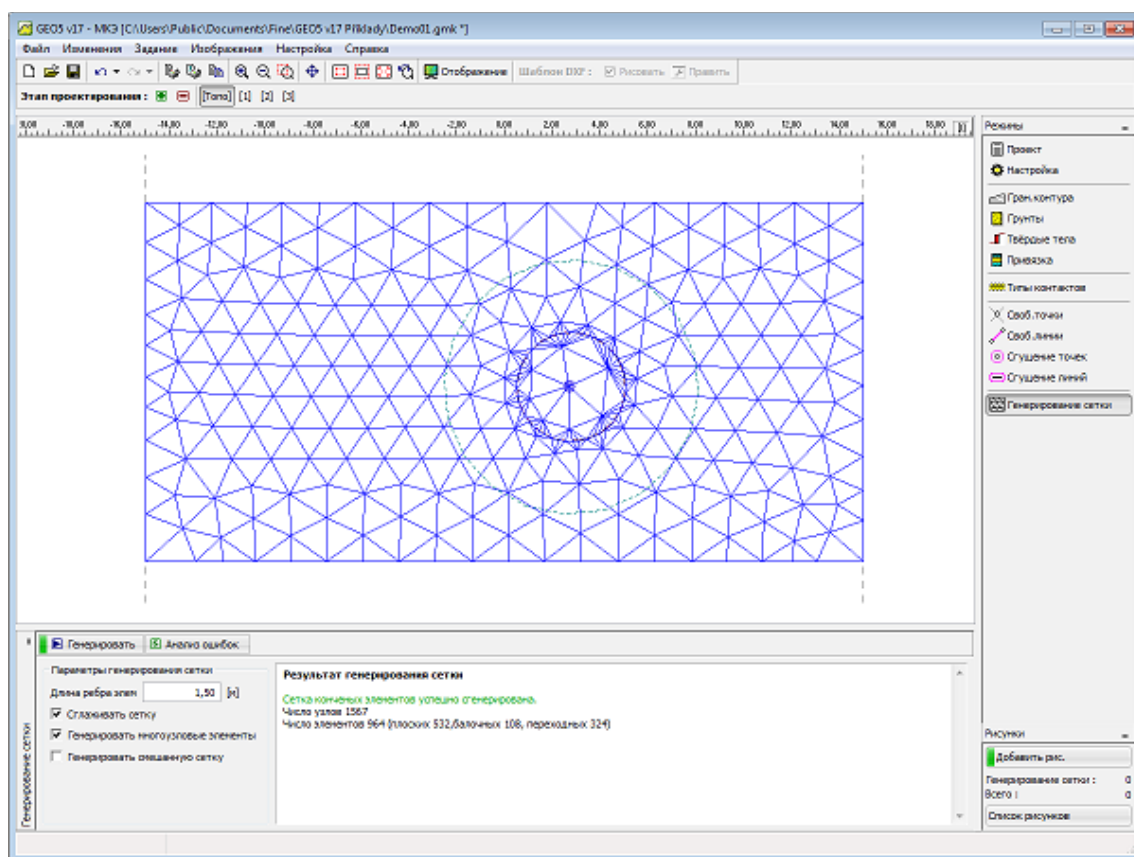


Рамка «Генерация сетки» - сетка без локального сгущения

- Сетка конечных элементов должна иметь адекватную плотность, прежде всего в тех местах рассматриваемой области, в которых можно предполагать большие градиенты напряжений (сосредоточенная опора, острые углы, выработки и т.п.). Сгущение сетки можно задать вокруг отдельных **точек** или **линий**. Необходимо, чтобы радиус сгущения составлял по крайней мере 3-5 кратную плотность в центре сгущения и чтобы оба значения в точках (плотность, радиус действия) были в разумном соотношении с плотностью сетки, заданной для соприкасающейся области. Этим можно гарантировать плавный переход между областями с разной плотностью. Аналогичным образом нужно обращаться с сингулярными линиями. У более сложных задач целесообразно предварительно рассчитать грубую сетку КЭ и на основании результатов анализа создать локальное сгущение сетки.



*Задание сгущения сетки вокруг круговой линии*



*Новая сетка после сгущения вокруг круговой линии*

Программа стандартно работает с **шестиузловыми треугольными элементами** с автоматическим сглаживанием сетки. Это гарантирует точность результатов, которая была бы получена у сетки плотностью примерно вдвое больше построенной из **классических трехузловых треугольников**. Для исследовательских целей и наладок программа оставляет возможность проводить расчёты с классическим трехузловым треугольником (кнопка «**Многоузловые элементы**»). Кнопка доступна только в режиме «**Расширенные возможности программы**». Расчёты на устойчивость можно выполнять только с шестиузловым треугольником. Для расчётов нелинейных задач следовало бы использовать исключительно эти элементы.



В режиме «**Расширенные возможности программы**» программа позволяет генерацию смешанной сетки (треугольники и четырехугольники).

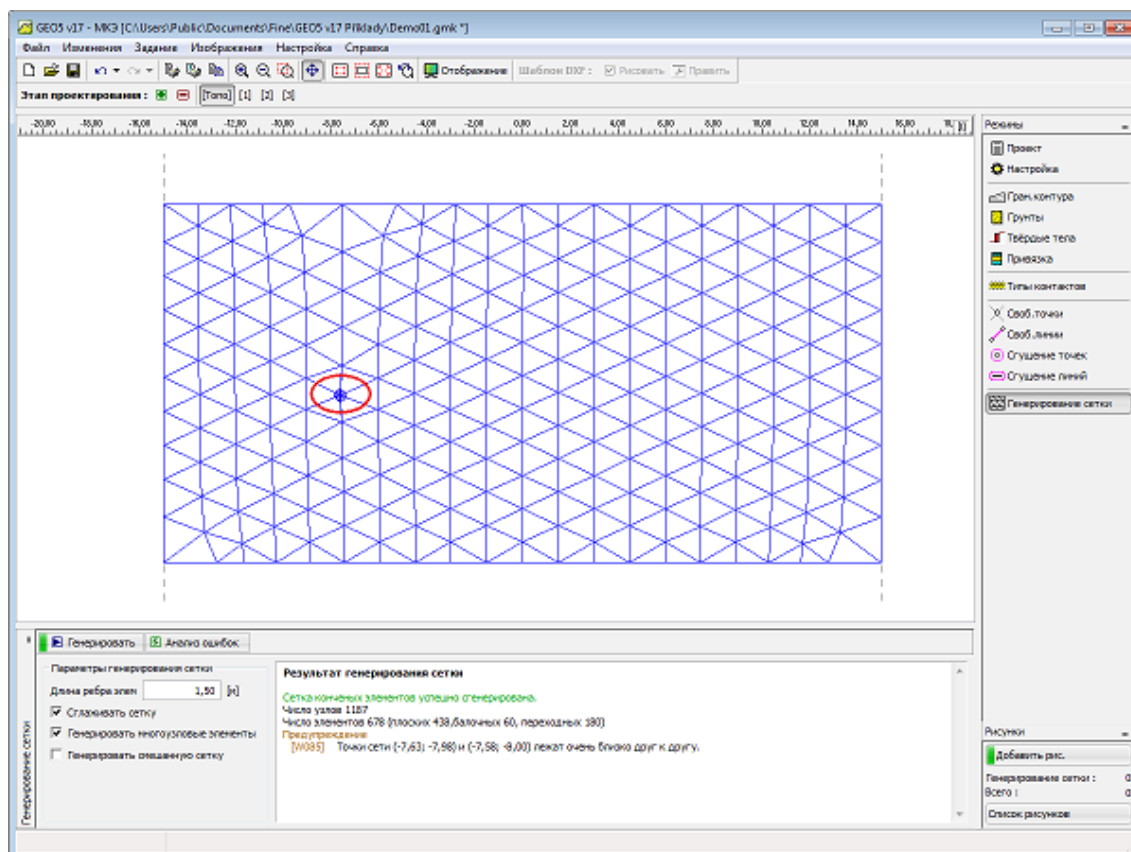
## Генератор сетки - предостережения

В окошке «**Предостережения-возможны проблемные места на конструкции**» пользователя предупреждают о критических местах для генератора сетки. После наводки курсора на предостережение соответствующее место на конструкции отобразится красным цветом. Производится контроль:

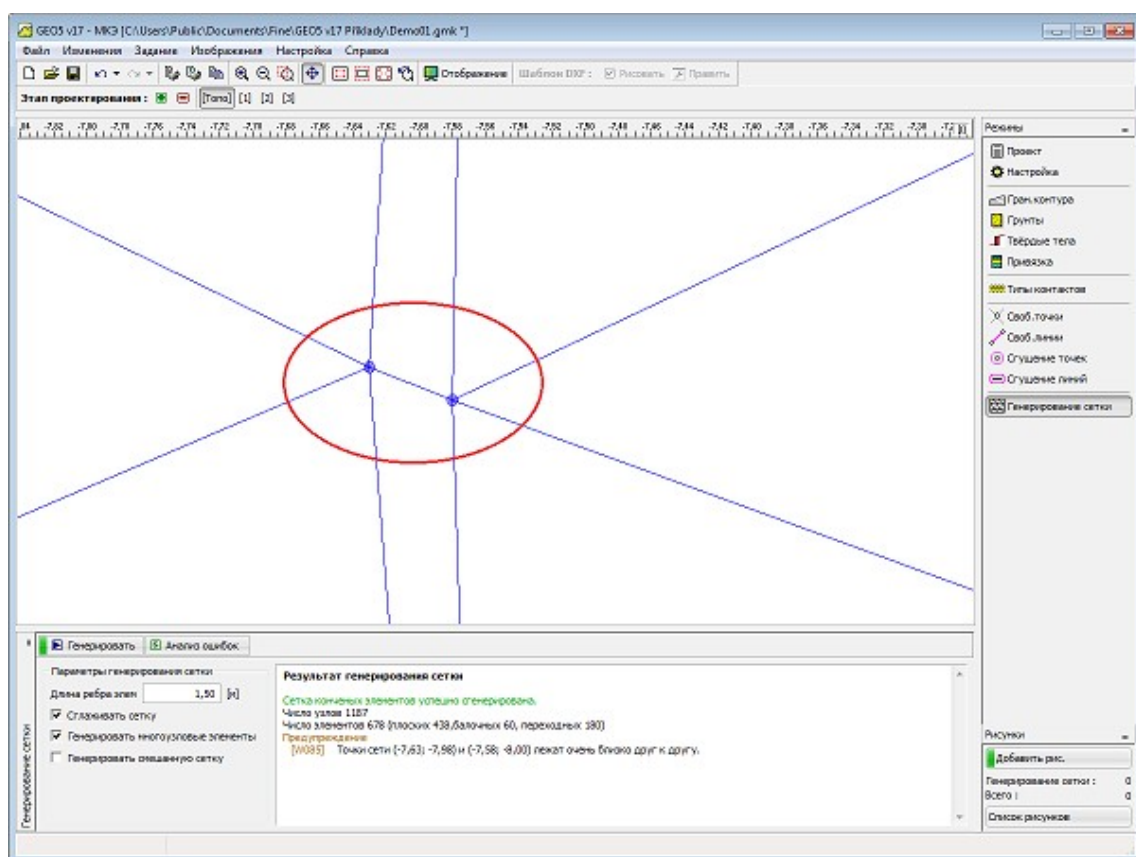
- расстояния двух узлов - оно должно быть больше чем одна десятая ( $1/10$ ) длины ребра сетки
- расстояния узла от линии - оно должно быть больше чем одна десятая ( $1/10$ ) длины ребра сетки
- величины поверхности области - должна быть больше квадрата длины сетки
- узлы, линии должны находиться внутри конструкции (грунта)

Предостережения предупреждают о местах, на которых могут быть сложности при генерации сетки. В таких случаях существуют два варианта:

- сетка не сгенерируется => и необходимо скорректировать задание
- сетка сгенерируется => и пользователю самому нужно решать насколько адекватна сгенерированная сетка - в любом случае на предостережение можно не обращать внимания и продолжать вычисления



*Предостережение о критических местах на сетке КЭ*



*Критическое место после увеличения - две точки очень близко друг к другу*

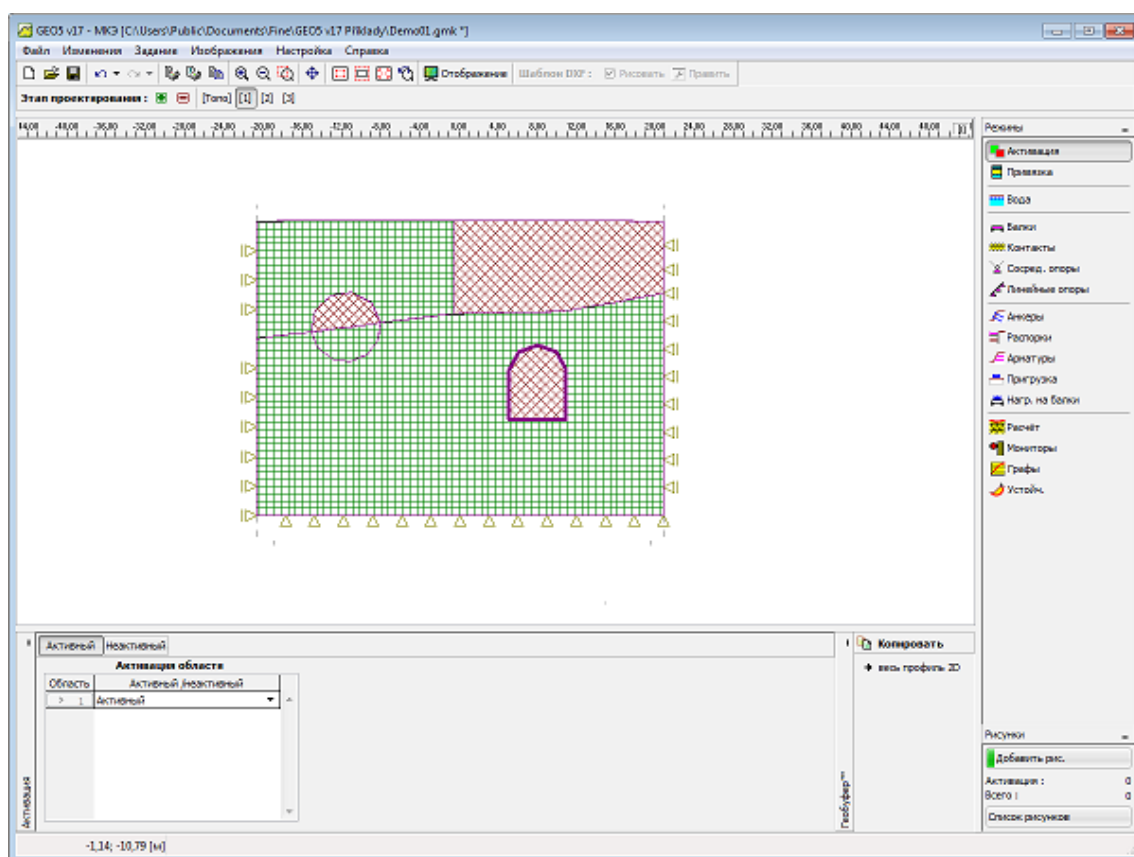
## Корректор заданной геометрии

В программу встроен **автоматический корректор заданной геометрии**, т.е. перед генерацией сетки КЭ программа находит пересечения линий, все замкнутые области и строит адекватную модель.

Вновь созданные области программа или удаляет из расчёта, или присваивает им новый грунт. Преимущества такой системы пользователь осознаёт прежде всего при расчётах туннелей и конструкций с креплением. Задавать даже очень сложную конструкцию не представляется сложным и не занимает много времени.

После автоматической корректировки некоторые точки сети могут оказаться на очень близком расстоянии друг от друга, т.е. могут образоваться достаточно малые области. В таком случае программа выдаёт **предостережения** в правом нижнем окне.





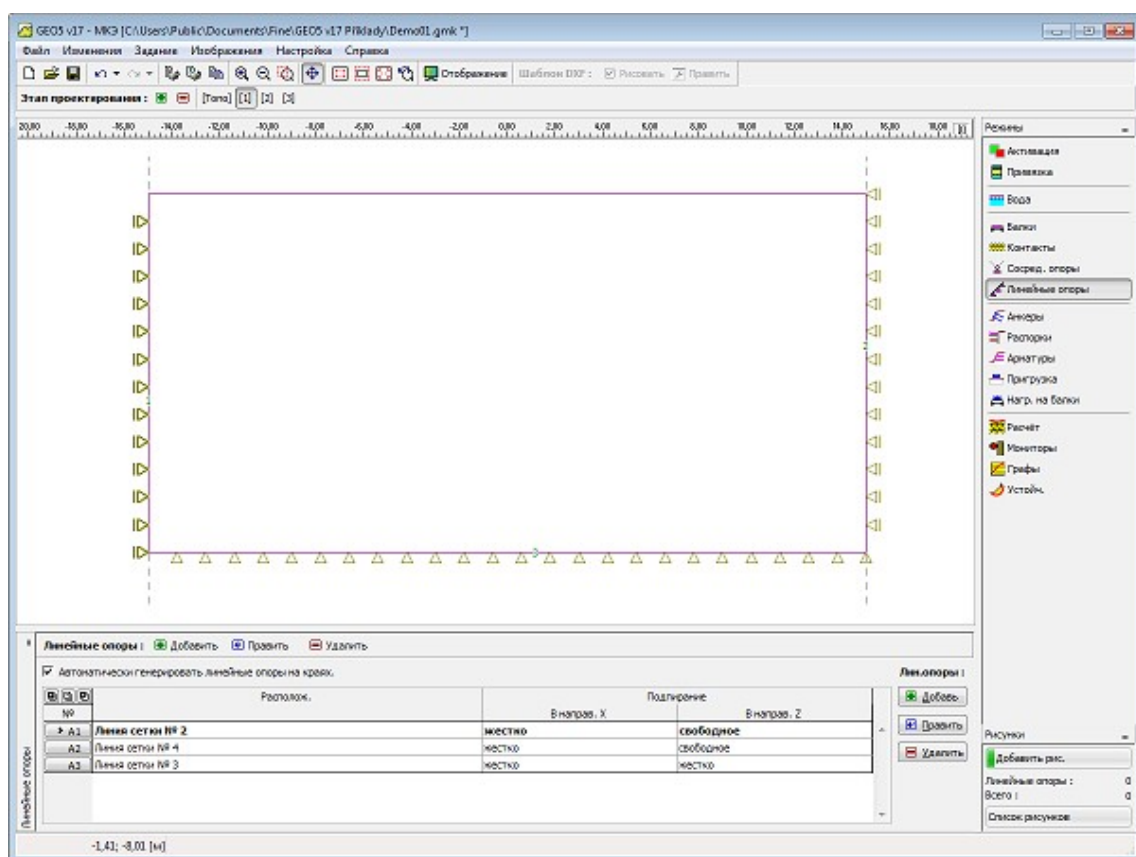
Области для выполнения автоматической корректировки

## Стандартные краевые условия

В программу встроен автоматический генератор краевых условий, **т.ч. в обычных задачах пользователю вообще не надо краевыми условиями заниматься.**

Стандартная настройка краевых условий:

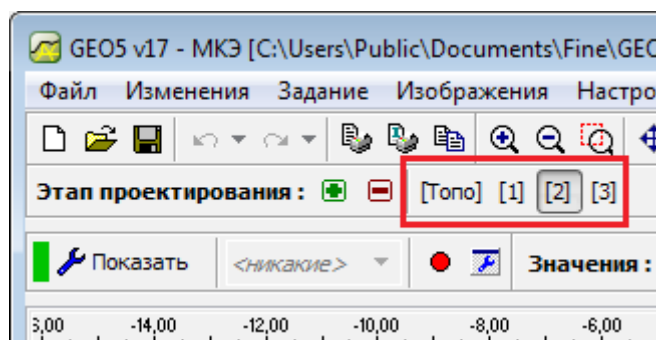
- несдвигающийся шарнир в узлах сетки на нижнем горизонтальном крае
- сдвигающийся шарнир в узлах сетки на вертикальном левом и правом краях



Стандартные краевые условия

## Этап проектирования

После задания **топологии конструкции** и **генерирования сетки конечных элементов** собственно вычисления выполняются на этапах проектирования. Для переключения между этапами и режимом «**Топология**» служит кнопка на горизонтальной строке управления.

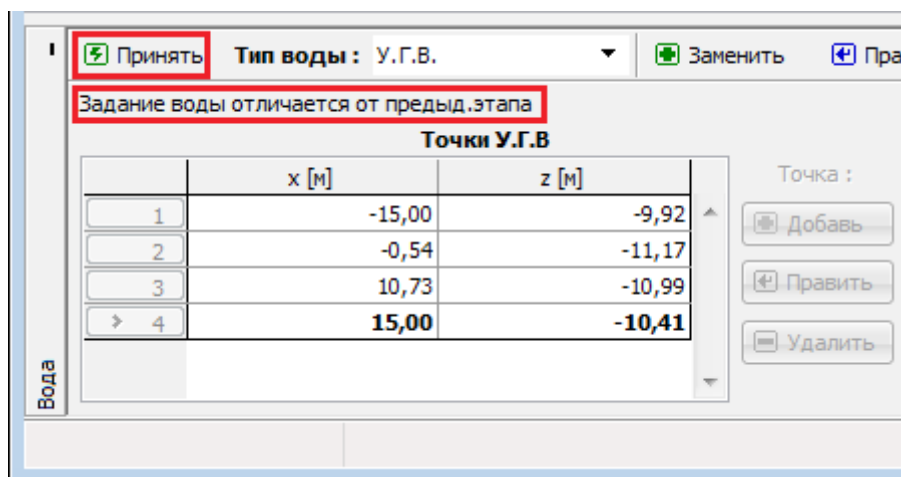


Строка «Этап проектирования» - переключение между режимом «Топология» и этапами проектирования

Этапы проектирования конструкции соответствуют последовательности возведения объекта, следовательно очень важно правильное задание и увязка этапов. Расчёт каждого этапа (кроме расчётов на устойчивость) исходит **из результатов предшествующего этапа**. Между отдельными этапами сохраняется информация об объектах и их свойствах -

при редактировании или задании этапа применяется правило **наследственности свойств**.

В некоторых рамках («Вода», «Активация», «Привязка») в правой части строки находится кнопка «Принять». Кнопка становится активной в момент когда заданные в рамку данные не соответствуют данным предшествующего этапа. После нажатия кнопки эти данные («Вода», «Активация») заимствуются от предшествующего этапа.



*При несоответствии заданных данных заимствуются данные от предшествующего этапа проектирования*

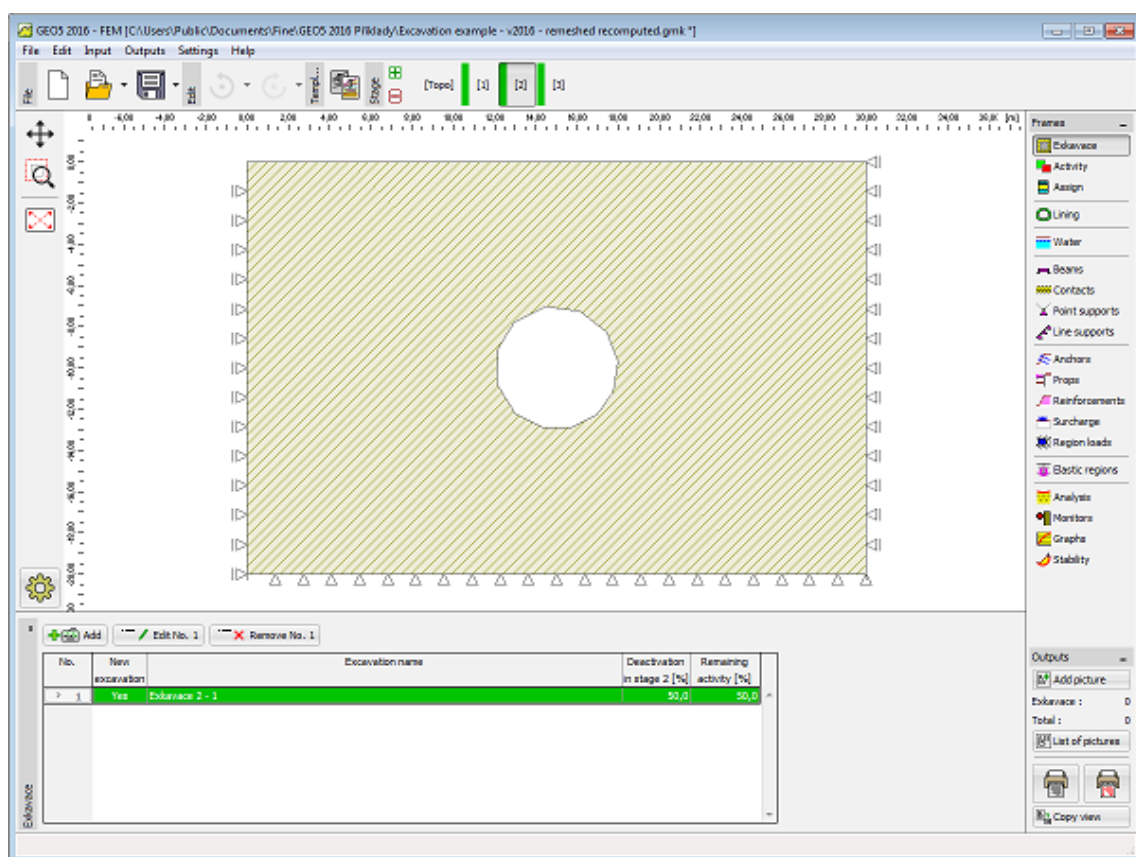
Первый этап проектирования (**расчёт геостатического напряжённого состояния**) представляет первоначальное состояние массива до начала строительных работ - т.е. результат расчёта показывает напряжение в массиве, а не деформацию.

Проблемой при расчётах по методу конечных элементов иногда становится неконвергенция некоторого этапа проектирования. Отсутствие результатов одного из этапов не позволяет продолжать расчёт последующего этапа. Для правильного моделирования рекомендуем соблюдать **рекомендуемую последовательность моделирования** объекта.

## Экскавация

В рамке «**Экскавация**» находится **таблица** со списком заданных экскаваций. **Добавление** экскаваций выполняется в **диалоговом окне «Создать экскавации»**. Экскавация может быть задана только на втором **этапе проектирования**.

Степень дезактивации [%] задают в диалоговом окне «**Создать экскавацию**».



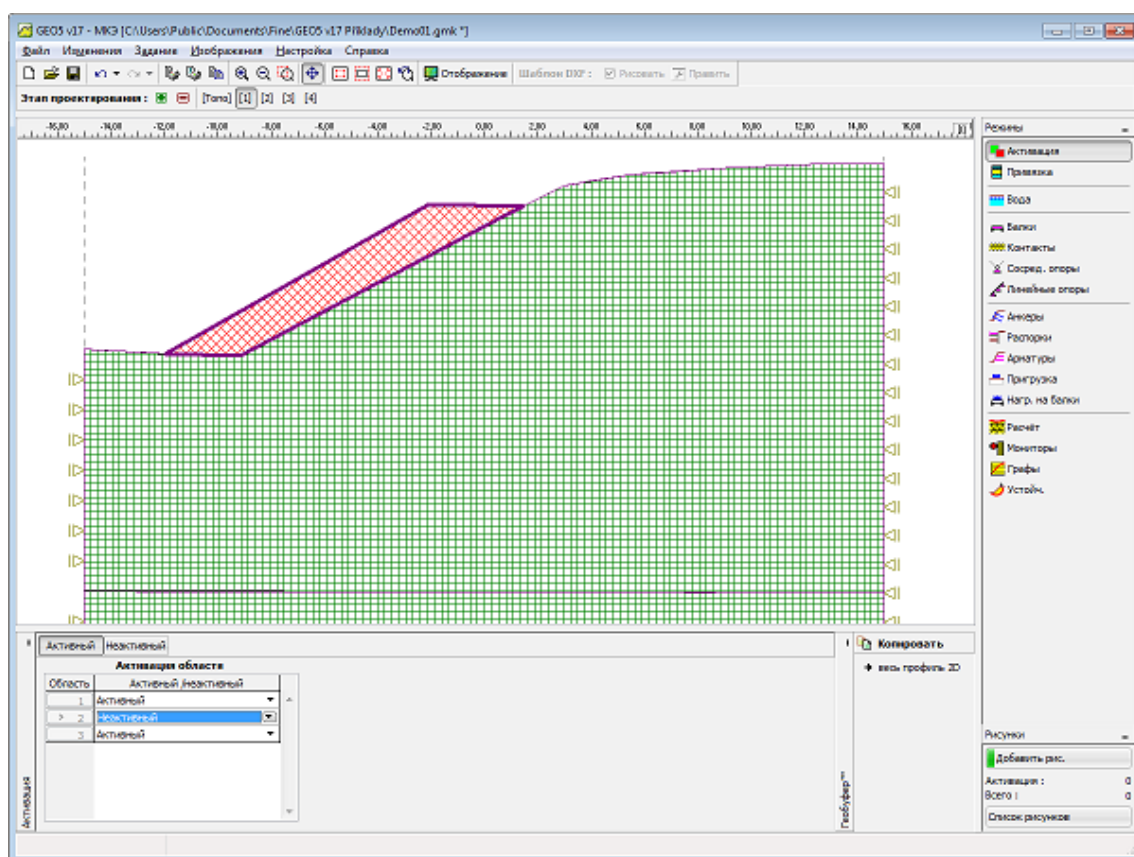
Рамка «Экскавация»

Функция экскавация служит для частичной дезактивации сил, которыми грунт внутри выработки действует на окружающий грунт. Данный метод позволяет моделировать последовательную проходку тоннеля и устройство обделки в рамках 2D (предполагается плоская деформация) расчёта. Стандартное использование заключается в частичной дезактивации вынутаго грунта на одном этапе и сооружение о обделки (первичной крепи) и дезактивация остаточного опорного напряжения на последующем этапе.

В литературе такой метод назван Методом опорных напряжений, или Методом редукции напряжения.

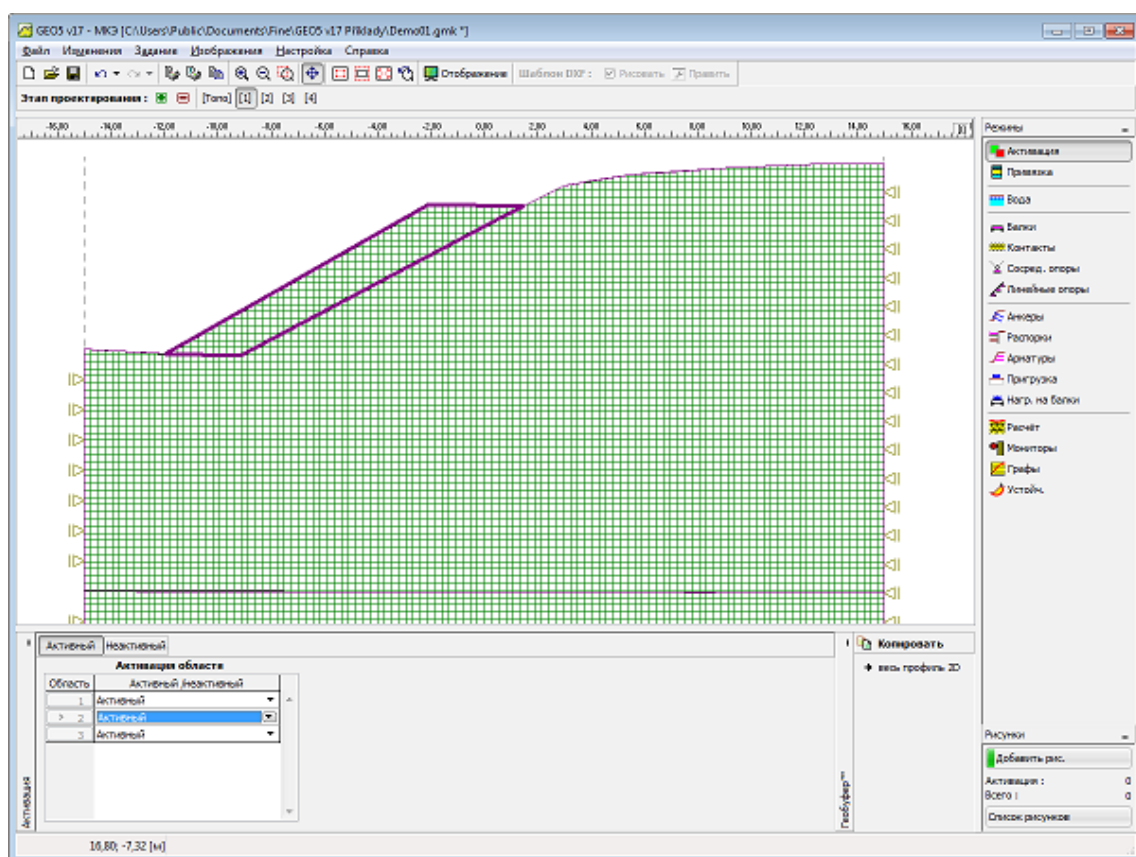
## Активация

Программа позволяет **убирать (деактивировать) грунт** в отдельных областях. Допустим, расчёт касается насыпи: задаём его топологию и для первого этапа отмечаем его неактивность. Подобным образом поступаем при разработке тоннеля или ограждающих конструкций. В случае, что неактивная область находится **ниже уровня грунтовой воды** нужно очень аккуратно задавать данную область или моделировать её края.



### Моделирование насыпи - 1-й этап проектирования

Насыпь будем активировать только на последующих этапах проектирования.



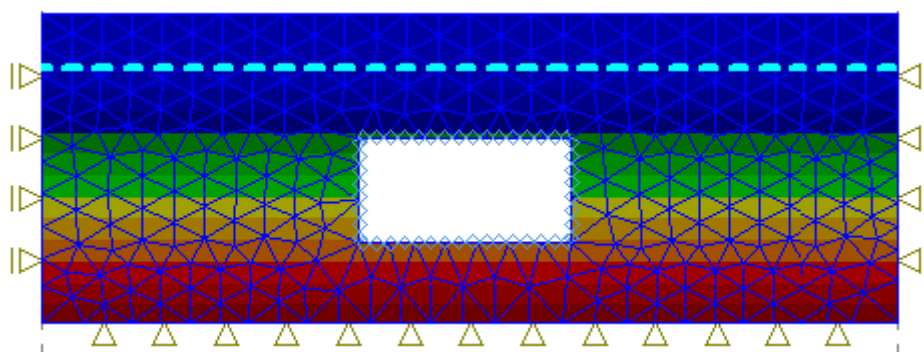
Моделирование - активация тела насыпи

Используя **Геобуфер**, копируем границы контура текущего профиля и переносим их в другую программу. Программа сама автоматически отредактирует скопированные границы так, чтобы они соответствовали требованиям 2D профиля, задаваемого сверху вниз.

## GWT Активность областей ниже У.Г.В.

В случае, что деактивированная область находится ниже У.Г.В., могут иметь место два случая.

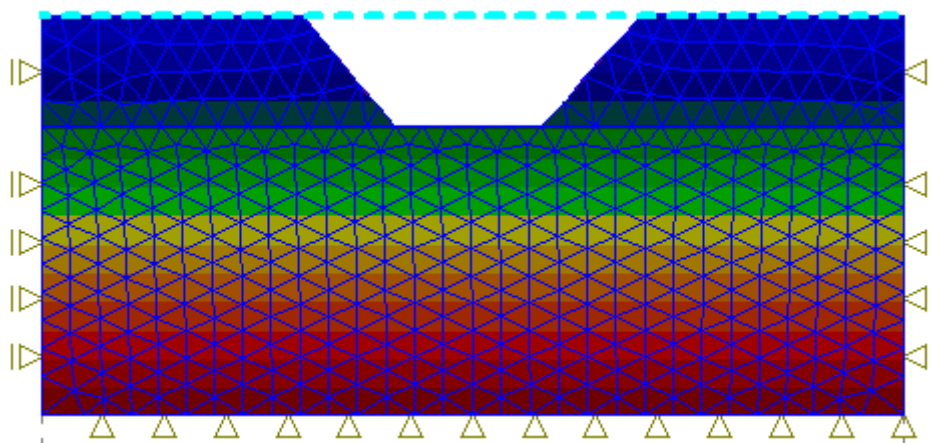
**1) Деактивированная область полностью замкнута балками.** В таком случае предполагаем водонепроницаемость балки и грунт удаляем вместе с водой (убираем полное напряжение - неактивная область не затоплена водой). Учитывая **водонепроницаемость балочных элементов**, распределение поровых давлений не меняется, см. рисунок.





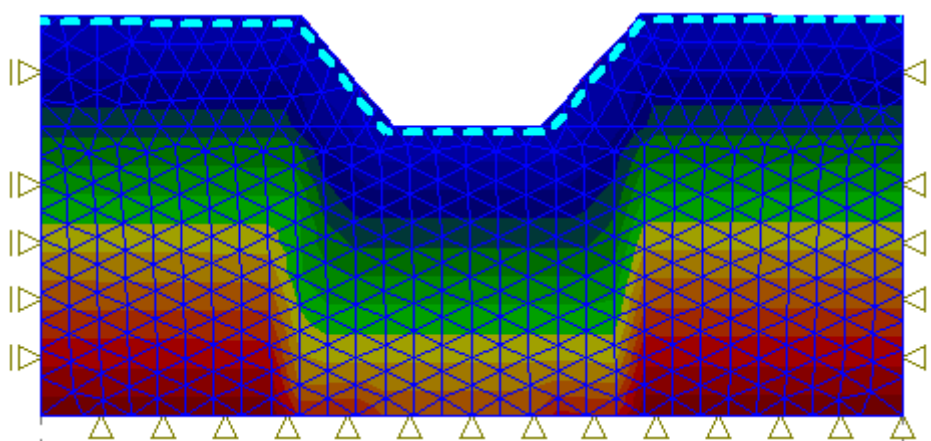
*Распределение поровых давлений после удаления грунта из области ограниченной активными балками*

**2) Удаляемая область не замкнута балками.** В таком случае предполагаем, что в данной области воздействие воды **продолжается** и после удаления грунта. Такое состояние очевидно по расположению поровых давлений на рисунке.



*Распределение поровых давлений после удаления грунта*

Воздействие воды аннулируем путём **изменения уровня грунтовой воды**.



*Распределение поровых давлений после изменения уровня грунтовой воды*

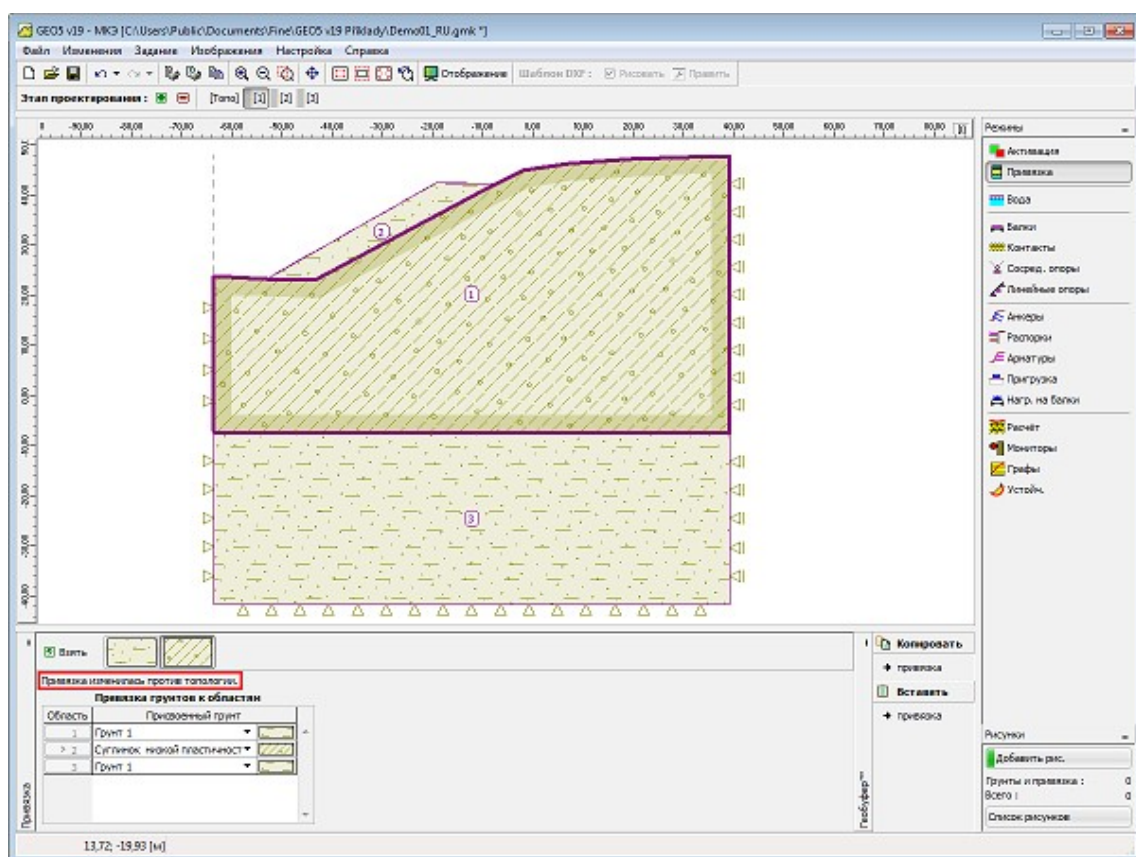
## Привязка

В **рамке «Привязка»** находится список слоёв профиля и присвоенных им грунтов. Его функция аналогична как в случае **присваивания грунтов** при вводе **топологии** конструкции.

На **этапах проектирования** грунты присваиваются уже не отдельным границам контура, а областям, которые автоматически появились после **коррекции геометрии** при генерации сетки конечных элементов.

Привязку грунтов можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью **«Геобуфера»**.



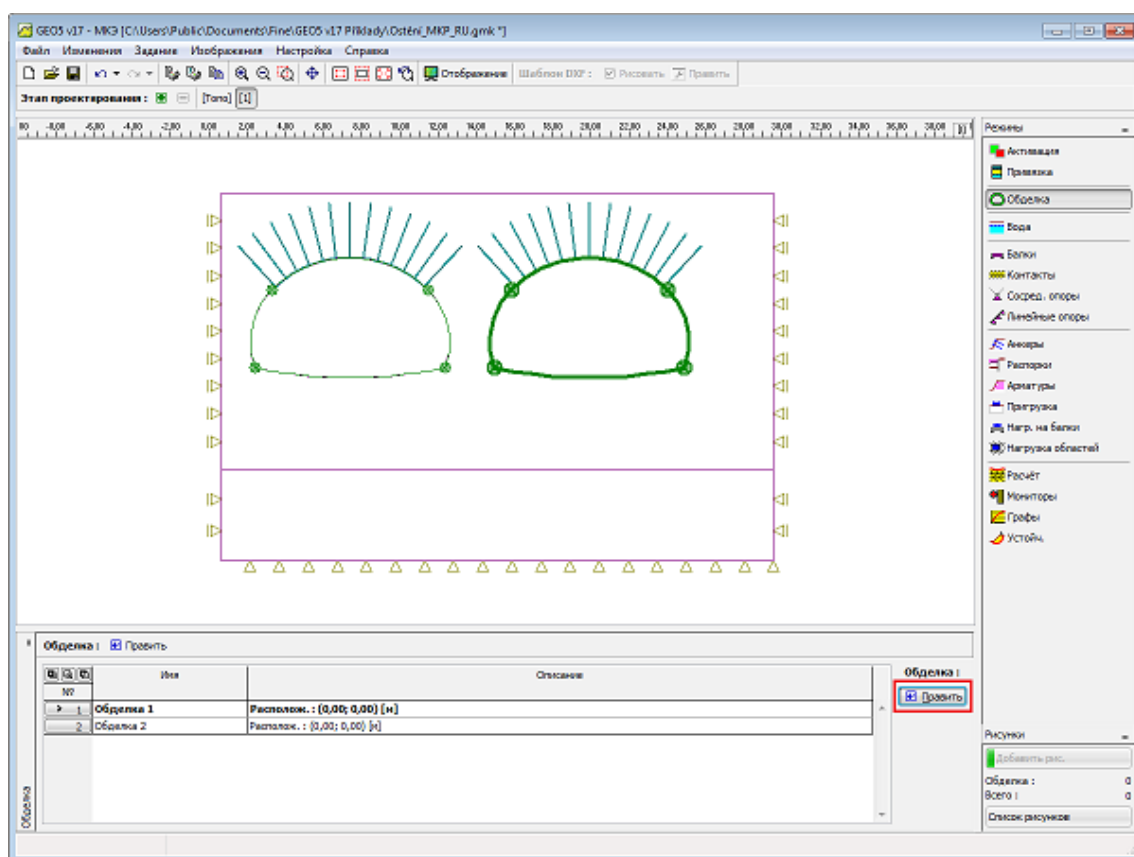


Рамка «Привязка»

## Обделка

В рамке **«Обделка»** находится таблица со списком заданных обделок. Доступ в рамку в программе открыт только при включенном режиме **«Тоннели»** в рамке **«Настройка»**. На этапах проектирования обделку можно только редактировать.

Для редактирования обделки запускается модуль **«Обделка - МКЭ»**, функции которого подробно описаны в режиме **«Топология»** в рамке **«Обделка»**. На этапах проектирования в модуле **«Обделка-МКЭ»** находятся рамки **«Балки»**, **«Анкеры»** и **«Нагрузка на балки»**.

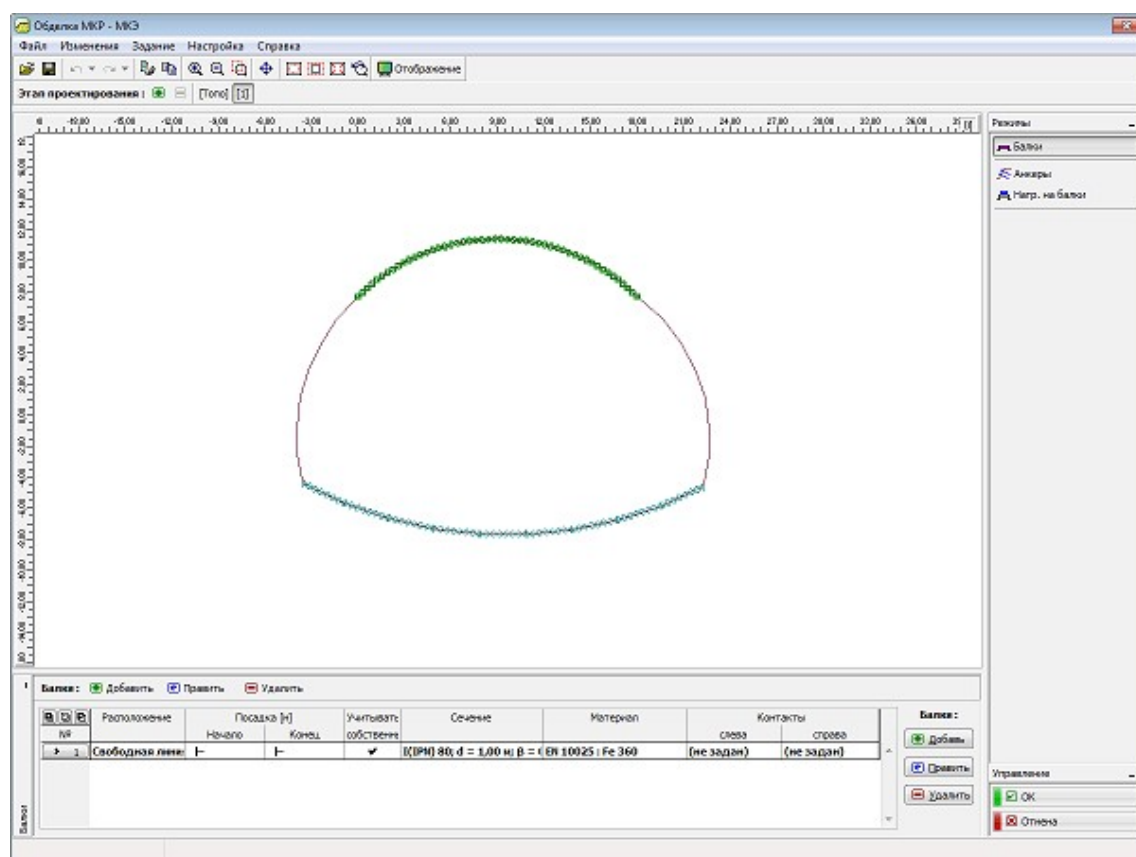


Рамка «Обделка»

## Балки

В рамке «Балки» находится таблица со списком заданных балок. Операции над балками соответствуют операциям на этапах проектирования в программе МКЭ в рамке «Балки».

Типы контактов для определения контактов на балках заимствуются в программе МКЭ.

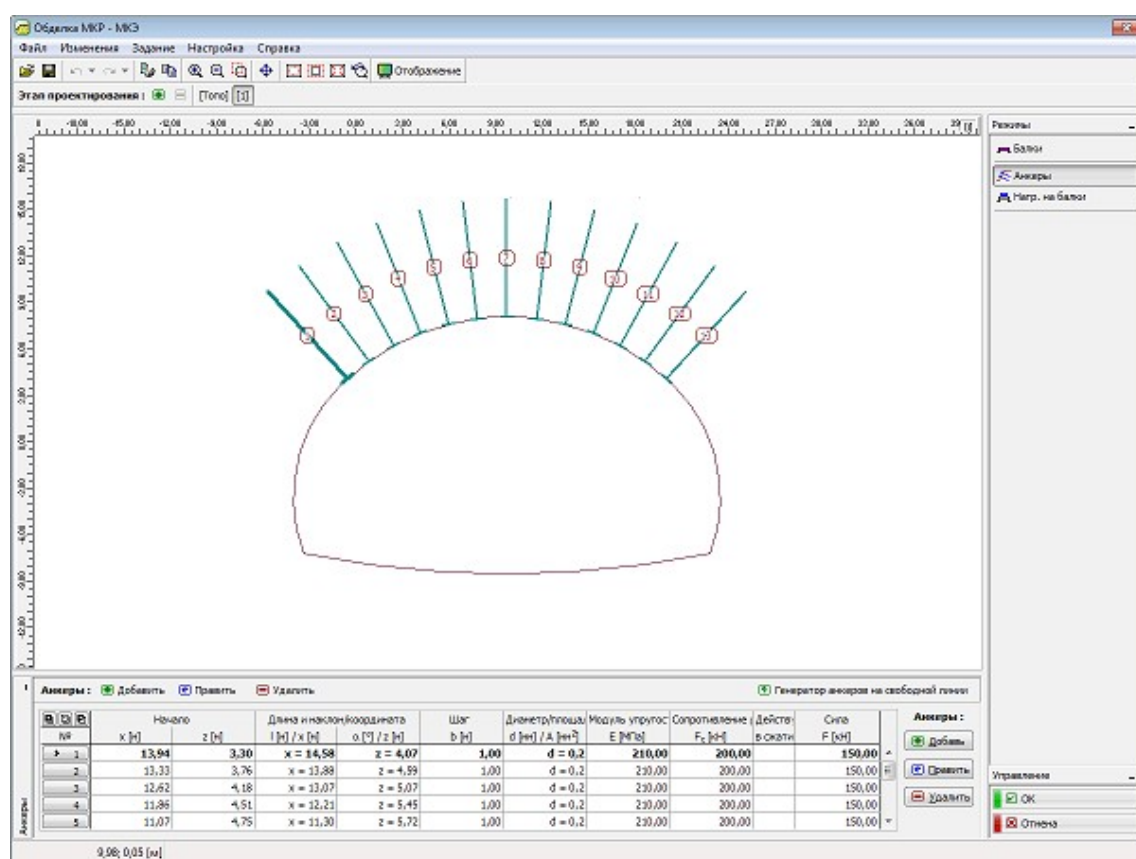


Рамка «Балки»

## Анкеры

В рамке «Анкеры» находится таблица со списком заданных анкеров. Операции над анкерами аналогичны операциям на этапах проектирования в программе МКЭ, в рамке «Анкеры».

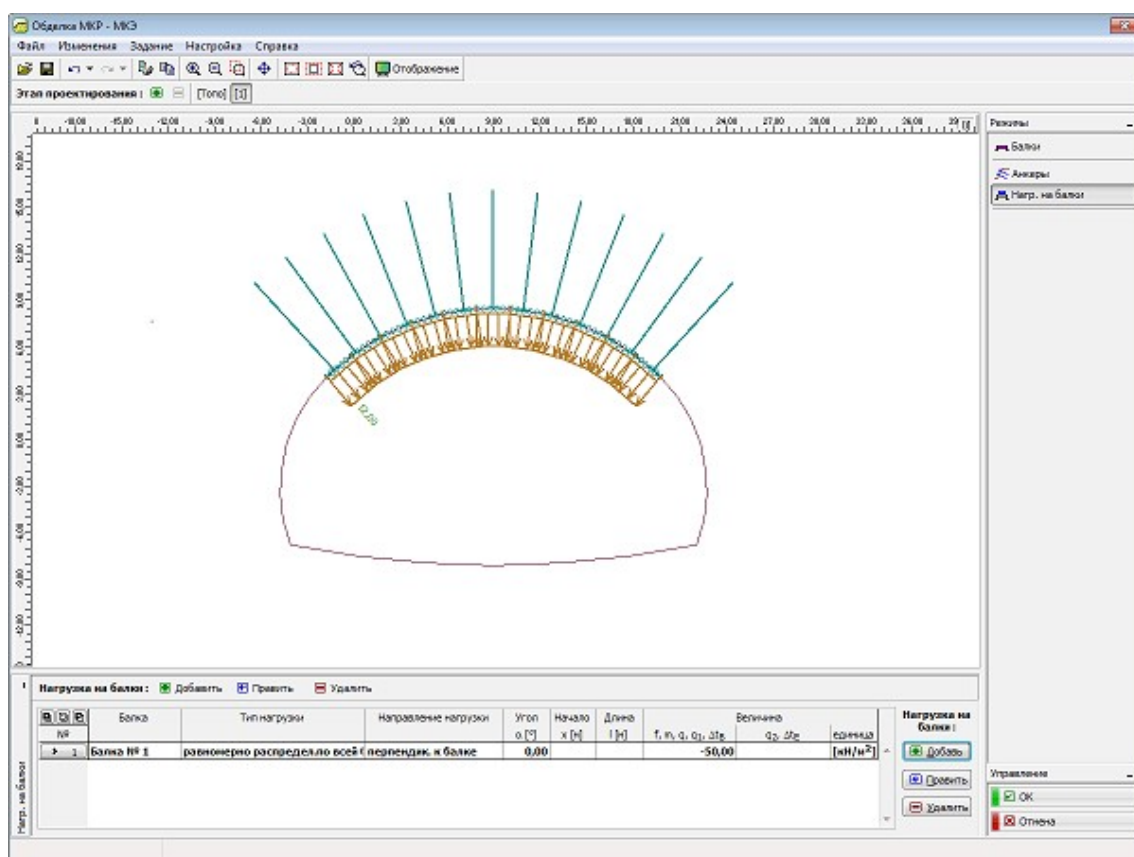
Отличается рамки функцией на горизонтальной строке - на ней находится кнопка «Генератор анкеров на свободной линии».



Рамка «Анкеры»

## Нагрузка на балки

В рамке «Балки» находится таблица со списком заданных нагрузок на балки. Операции над нагрузкой на балки аналогичны операциям на этапах проектирования в программе МКЭ, в рамке «Нагрузка на балки».



Рамка «Нагрузка на балки»

## Генератор анкеров на свободной линии

В соответствии с параметрами генераторы создают соответствующие элементы, работа над которыми дальше ведётся самостоятельно, без возможности изменять параметры. Если параметры генерации корректны, то в ходе их редактирования отображается текущий графический вид сгенерированных элементов.

Диалоговое окно **«Создать анкеры»** - это стандартное диалоговое окно с добавлением регулярного размещения нескольких одинаковых анкеров на линию. Интервал размещения анкеров генерируется таким же образом как у **генератора заанкеренных областей** (вдоль всей линии, углом или длиной определённого отрезка). Количество анкеров задают тремя способами: количеством в интервале, углом или расстоянием между отдельными анкерами.

Сгенерированные анкеры в программе МКЭ зацепляются за соответствующую свободную линию.

Диалоговое окно «Создать анкеры»

## Балки

Рамка «**Балки**» состоит из **таблицы** с перечнем балок. **Добавление** балок возможно в диалоговом окне «**Новые балки**».

The beam location is selected from the combo box (mesh line, terrain segment).

Построенная балка может так же быть отредактирована на рабочем столе с помощью **активных объектов**. Программа задействует при этом следующую **систему координат**.

**Элементы балок** служат для моделирования **балок, линий, стен котлованов** и т.д. **Распространение внутренних сил** таких как моменты нормальной и распределенной силы развивается вдоль оси балки может получать от балки и окончания силы.

Элементы балок задают на уже заданные линии (**свободные линии, участки территории**) - линия представляет **ось балки**. Программа предлагает несколько основных **типов формы сечения**, но пользователь может задавать тоже свои собственные характеристики сечения.

Важным шагом в процессе моделирования балок - это определение **контактных элементов** характеризующий интерфейс поведения между балкой и грунтом. **Контакт** (интерфейс) элементов может быть ассигнованно на **обе стороны балки**. Правильное определение контактов необходимо особенно при моделировании раскатывания стены.

Типы **конечных точек соединений** могут быть определены для каждой балки.

В последующих **этапах** балка может быть либо **усилена или разрушена**.

Программа автоматически включает **собственный вес балок** в анализ. Эта опция может, однако быть выключена в процессе определения балки.

Балки моделируются с использованием **элементов балок** с трех степенях свободы в каждом узле.

Элементы балки сформулированы на основе теории Миндлин. Теория предполагает, что плоскости сечения нормали к оси балки до деформации остается плоскостью после деформации, но не обязательно нормалью к деформированной оси балки. В настоящее время внутренние силы оцениваются в узлах элементов и от конечных сил балки.

Новые балки

Топология

Расположение : свободная линия

Свободная линия : Свободная линия № 1

Параметры

☒ Учесть собств. вес

Сечение и материал

Тип сечения : прямоугольная стена

Тип материала : бетон

Высота сечения : h = 0,50 [м]

Ширина сечения : b = 1,00 [м]

Имя : В 25

Каталог Пользоват.

$I_y = 1,04E-02 \text{ м}^4/\text{м}$ ;  $A = 5,00E-01 \text{ м}^2/\text{м}$ ;  $E = 30000,00 \text{ МПа}$ ;  $G = 12600,00 \text{ МПа}$

Контакты

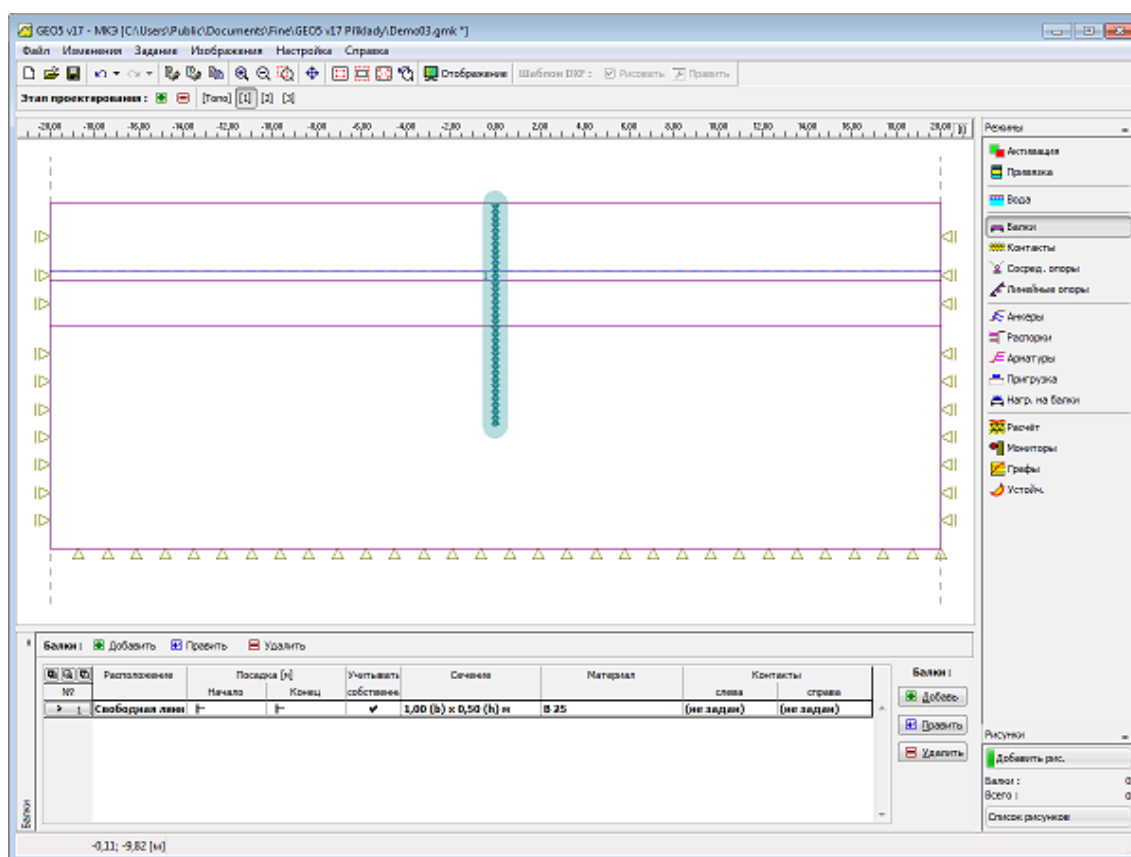
☐ Учесть контакт слева ☐ Учесть контакт справа

Тип контакта : Тип контакта :

Добавить Отмена

Диалоговое окно «Новые балки»





Рамка «Балки»

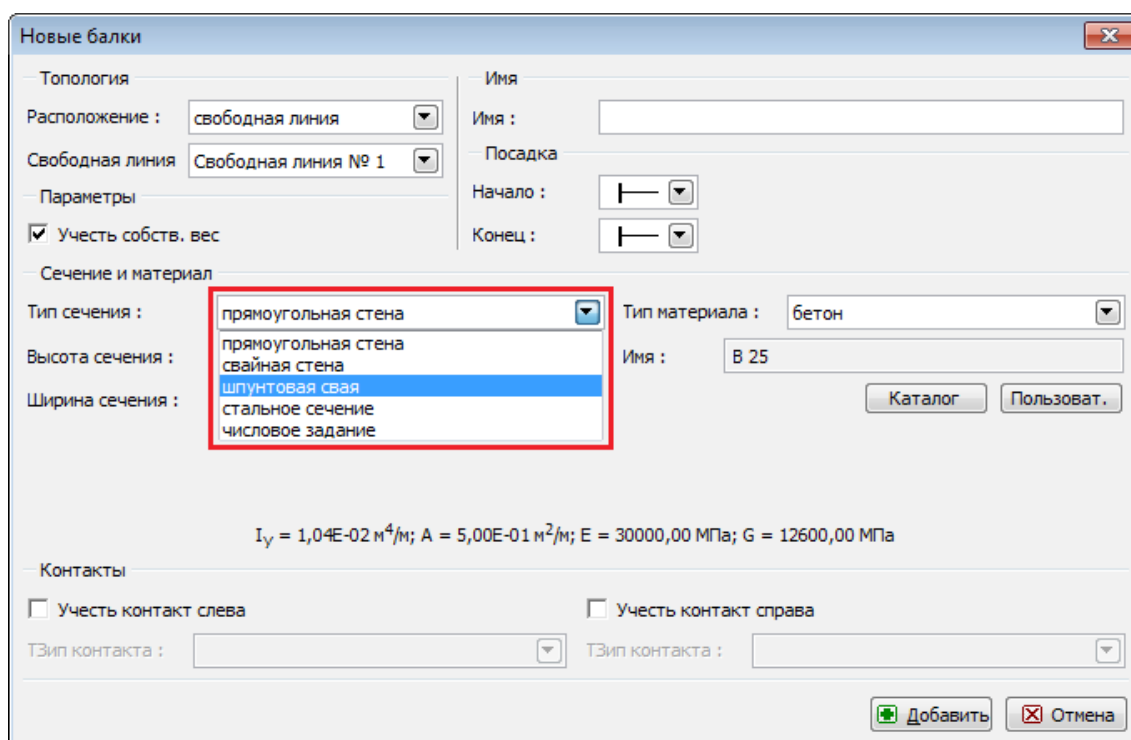
## Типы поперечных сечений

Программа позволяет пользователю либо осуществить **ввод параметров поперечного сечения** цифровой или выбрать один из predetermined типов поперечного сечения. Тип материала из поперечном сечении выбирают из **каталога материалов** или вводят в цифровом виде с помощью **редактора материалов**. В программе реализованы следующие виды сечений:

- **прямоугольная бетонная стена** - толщина стенки балки должна быть указана
- **свайная стена** - диаметр сваи и расстояние между ними должно быть указано
- **шпунтовая стена** - выбирается из встроенной базы данных
- **стальное сечение (сечение стальной двутавровой балки)** - тип сечения выбирается из встроенной базы данных, расстояние между ними должны быть указаны (тип сечения выбирается из «**Каталог сечений**», или определяется в «**Редактор сечений**», тип материала выбирают из «**Каталог материалов**» или материалы указаны в цифровом виде в «**Редакторе материалов**»)

Все введенные сечения **автоматически пересчитываются на 1 п.м. Результаты внутренних сил, действующих вдоль балок, также представлены на 1 п.м. структуры**. Таким образом, если необходимо, для свай или двутавровых балок они должны быть отрегулированы в зависимости от их расстояния пользователем.


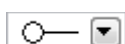
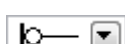
Если вы обратитесь с техподдержку мы вышлем для вас базу данных **шпунтовых свай**, которые еще не встроены в программу (hotline@fine.cz.).



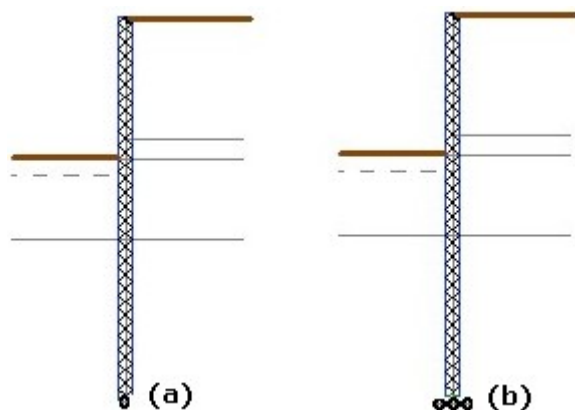
Диалоговое окно «Новые балки» - выбор типа поперечного сечения

## Балка с защемленным концом

Программа позволяет работать с тремя типами балок с защемленным концом:

-  **фиксированный** стандартный тип
-  **шарнир** применяется для введения внутреннего шарнира между балками - в местах с нулевым изгибающим моментом
-  **опирание**

**Основание представляет собой особый тип опоры** балки конечной точки в грунте. Он применим для **пучка конечной точки, расположенной в грунте**. При фиксированном типе соединения предполагается, что балка и элемент грунта связаны в одной точке (особая связь) часто вызывает развитие пластических деформаций в окружающем грунте и потери сходимости. **Основание дает возможность более реалистичного перераспределить контактных напряжений** и предотвращает балку от «проникновения» в грунт, следовательно, стабилизации процесса сходимости. **По умолчанию длина основания** предполагается равной ширине балки и его можно произвольно регулировать (например, чтобы увеличить основания сваи).



Соединение (a) без основания и (b) с основан

## Разрушение и усиление балок

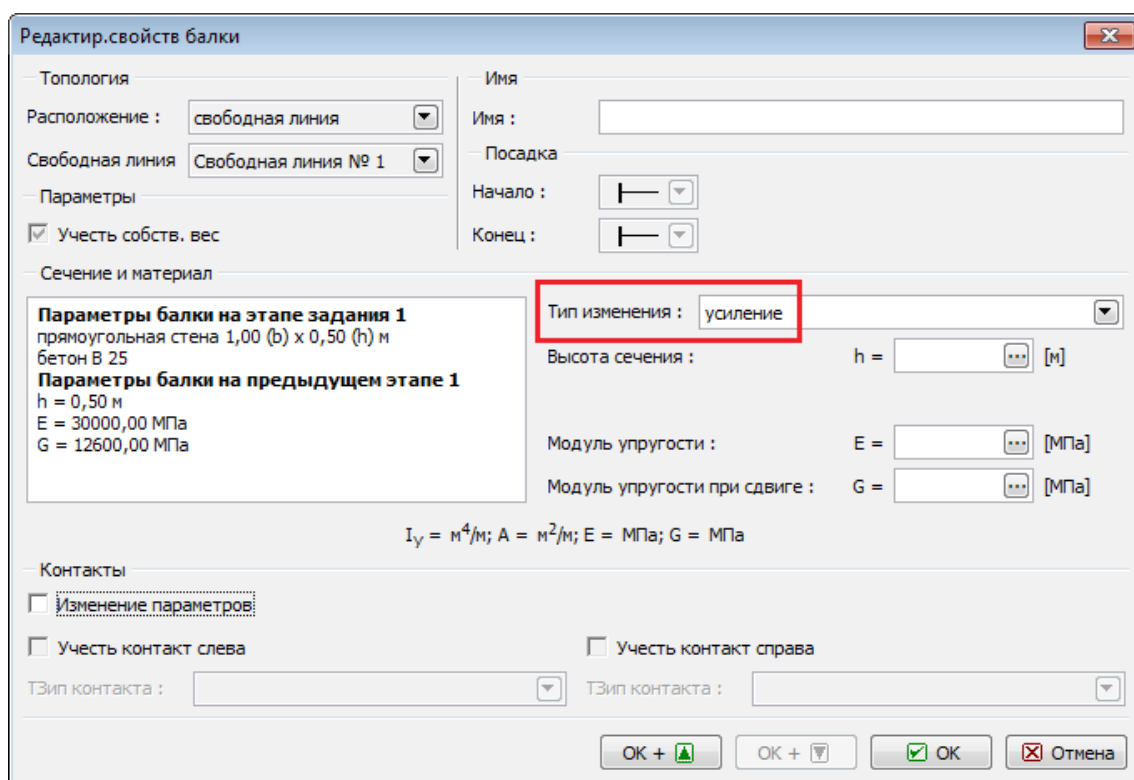
В последующих этапах введенные балки не могут быть отредактированы стандартным образом. Таким образом, один из следующих вариантов должен быть выбран, чтобы изменить их:

- удаление выбранной балки из анализа
- ухудшения выбранной балки (только в режиме расчета «Тоннели»)
- укрепление сечения выбранной балки
- модификации балок, связанные со свойствами

Тип модификации выбран из диалогового окна «**Установка свойств балки**».

Степень **уплотнения балки** задается в процентах, где сто процентов соответствует слою балки.

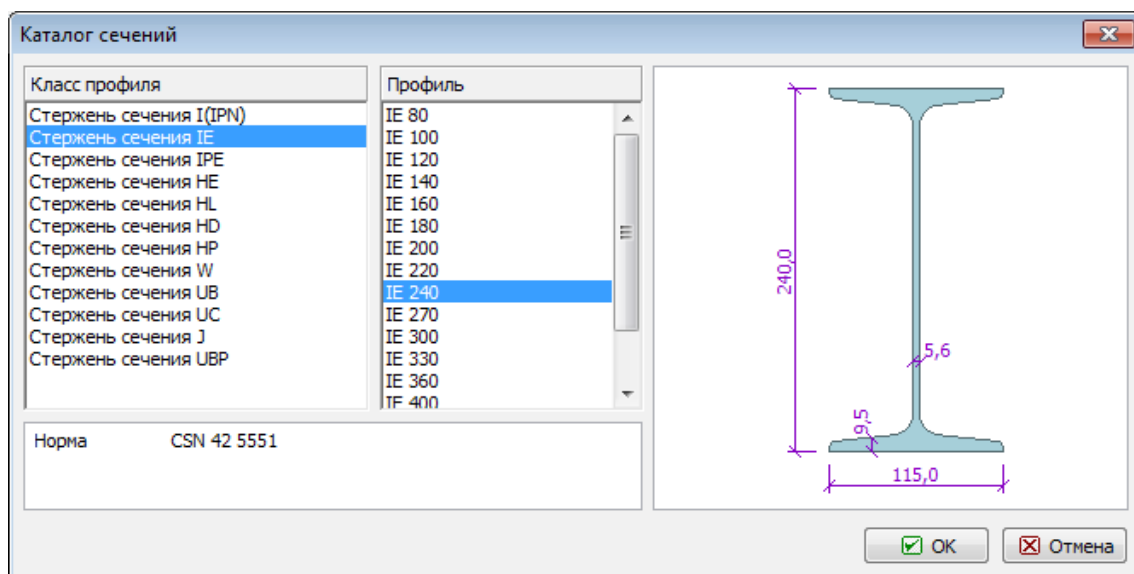
**Усиление элемента балки** с прямоугольным поперечным сечением может быть достигнуто путем увеличения его ширины (например, увеличение толщины торкрет). Другие сечения модифицируются непосредственно после ввода новых (увеличенных) значений параметров поперечного сечения.



Диалоговое окно «Установка свойств балки» - усиление балки

## Каталог сечений

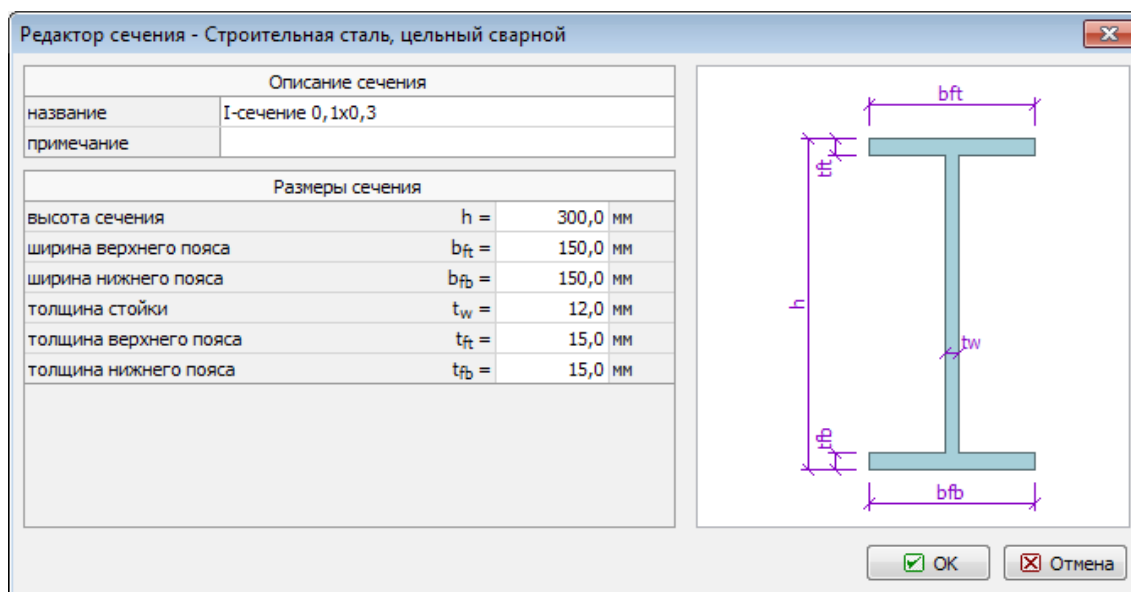
В случае стальных сечений программа позволяет выбрать конкретное сечение из каталога профилей. Только тип сечения должен быть указан в диалоговом окне. Тип материала в поперечном сечении выбран, как и в других поперечных сечений (прямоугольная стена, свайная стена, шпунтовая стена и пр.) из «[Каталога материалов](#)», или определены в «[Редакторе материалов](#)». Тип поперечного сечения (балки) выбран в диалоговом окне «[Новые балки](#)».



### Диалоговое окно «Каталог профилей»

## Редактор сечения

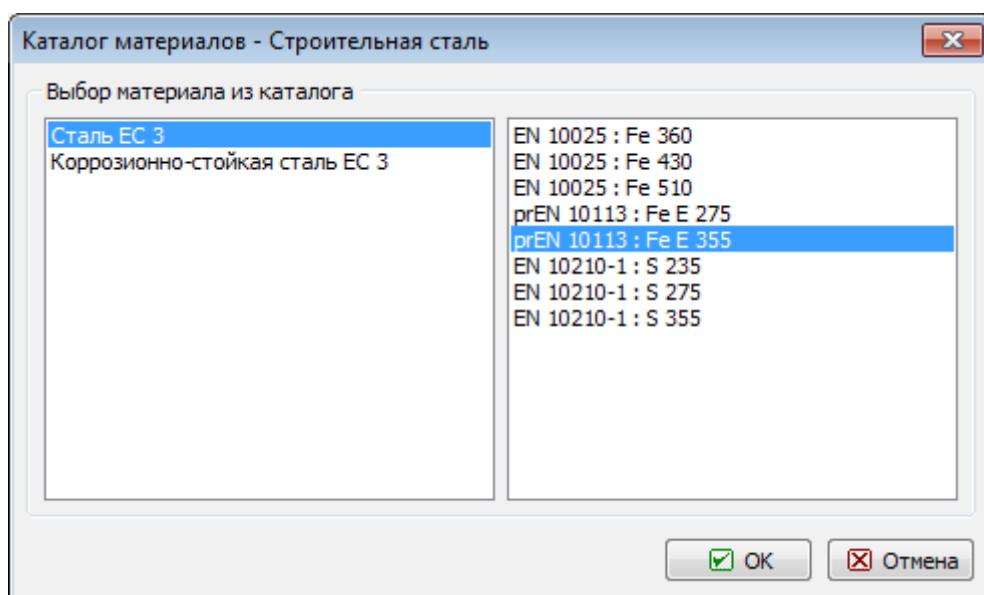
В случае стальных сечений программа позволяет выбрать конкретное сечение из каталога профилей. Только тип сечения должен быть указан в диалоговом окне. Тип материала в поперечном сечении выбран, как и в других поперечных сечений (прямоугольная стена, свайная стена, шпунтовая стена и пр.) из «[Каталога материалов](#)», или определены в «[Редакторе материалов](#)». Тип поперечного сечения (балки) выбран в диалоговом окне «[Новые балки](#)».



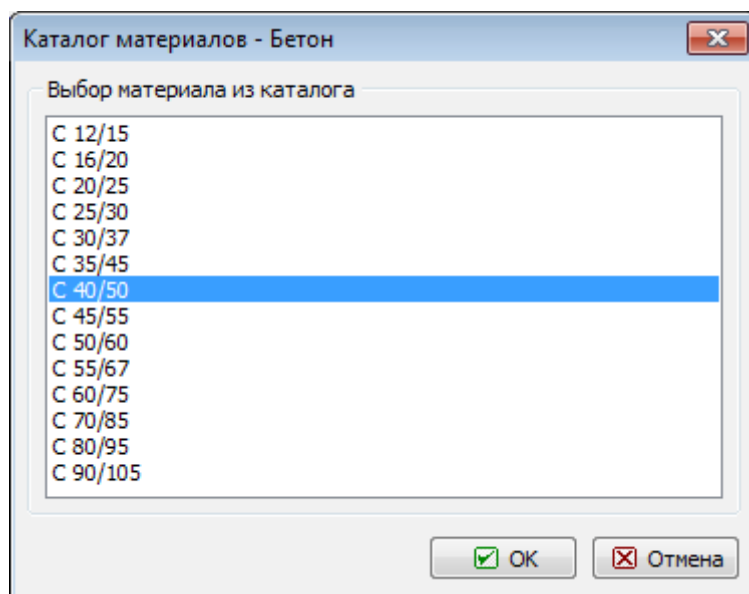
Диалоговое окно «Редактор сечения - твердые сварные»

## Каталог материалов

Программа содержит встроенный каталог материалов для бетона и стали. Только тип материала должен быть указан в диалоговом окне. Форма поперечного сечения выбирается из «[Каталог сечений](#)», или определены в «[Редакторе сечения](#)». Для других типов сечений (прямоугольный стены, свайные стены, шпунтовые сваи ...) тип сечения выбирается в диалоговом окне «[Новая балка](#)».



Диалоговое окно «Каталог материалов» - Сталь



Диалоговое окно «Каталог материалов» - Бетон

## Редактор материала

Помимо использования «Каталога материалов» программа позволяет пользователю вводить параметры для стали и бетона. Только тип материала (параметры материала) должен быть указан в диалоговом окне. Форма поперечного сечения выбирается из «Каталог сечений», или определены в «Редакторе сечений». Для других типов сечений (прямоугольный стены, свайные стены, шпунтовые сваи ...) тип сечения выбирается в диалоговом окне «Новая балка».

**Редактор материала - Строительная сталь**

Описание материала  
 Название: EN 10025 : Fe 430

Характеристики материала

Основные характеристики материала		
Модуль упругости	$E =$	210000,00 МПа
Модуль упругости при сдвиге	$G =$	81000,00 МПа
Коэффициент теплового растяжения	$\alpha_t =$	0,000012 1/K
Удельный вес	$\gamma =$	78,50 кН/м <sup>3</sup>

Специальные характеристики материала		
Предел текучести	$f_y =$	275,00 МПа
Предел текучести при растяжении	$f_u =$	430,00 МПа
Коррозионно-стойкая		<input type="checkbox"/>

☒ ОК ☐ Отмена

Диалоговое окно «Редактор материалов» - строительная сталь

**Редактор материала - Бетон**

Описание материала  
 Название: C 30/37

Характеристики материала

Основные характеристики материала		
Модуль упругости	$E_{cm} =$	32836,57 МПа
Модуль упругости при сдвиге	$G =$	13681,90 МПа
Коэффициент теплового растяжения	$\alpha_t =$	0,000010 1/K
Удельный вес	$\gamma =$	25,00 кН/м <sup>3</sup>

Специальные характеристики материала		
Прочность цилиндра на сжатие	$f_{ck} =$	30,00 МПа
Прочность на растяжение	$f_{ctm} =$	2,90 МПа

☐ Пересчитывать значения

☒ ОК ☐ Отмена

Диалоговое окно «Редактор материалов» - бетон

## Контакты

Рамка «**Контакты**» содержит таблицу со списком контактов. Добавление контактов выполняется в диалоговом окне «**Создать контакты**».

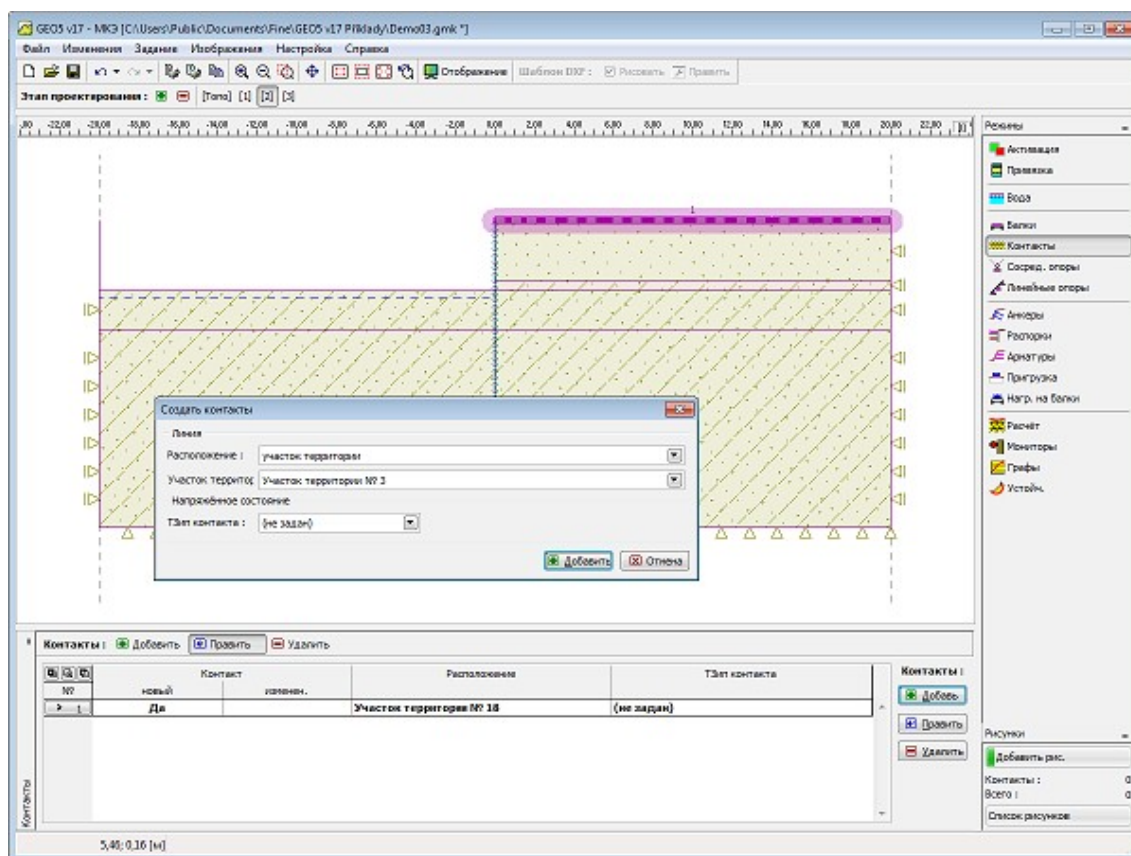
**Контактные элементы** используются в расчётах, в которых необходимо учесть взаимодействие конструкции и окружающей среды. Они являются также удобным средством для моделирования места раздела двух различных материалов. Контактные



элементы можно задавать на свободные линии или линии сетки (раздел слоёв). Контакт определяется **типом контакта**.

Задавая контакт, необходимо определить его местоположение (свободная линия, линия сетки, участок рельефа).

Заданные контакты можно отредактировать на рабочем столе с помощью **активных объектов**.



Рамка «Контакты»

## Контакты и балки (фильтрация воды)

Рамка «**Контакты**» («**Балки**») содержит (в режиме «**Фильтрация воды**») таблицу со списком контактов (балки). **Добавление** контактов (балок) выполняется в **диалоговом окне «Новых контактов»** («**Новые балки**»).

The contact location is selected from the combo box (mesh line, terrain segment).

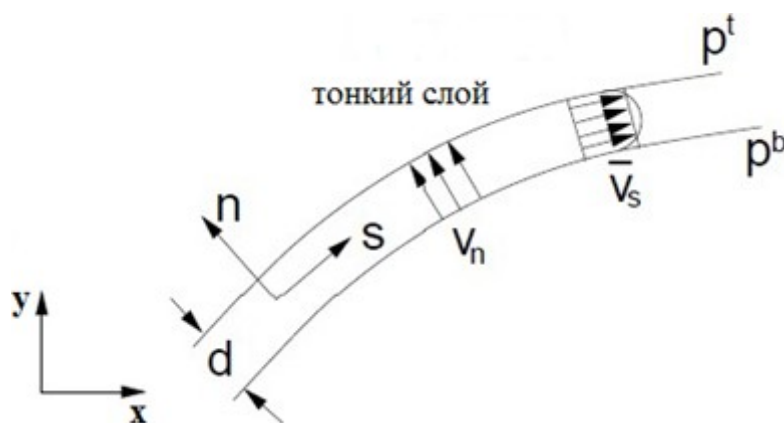
Введенные контакты также могут быть отредактированы на рабочем столе с помощью **активных объектов**.

Ширина или контактный элемент может быть определена как:

- **проницаемой**
- **непроницаемой**
- **частично проницаемой**

Контактные элементы позволяют моделировать определенную преграду для потока в теле грунта. Рассмотрим, например, простую стену представленную в расчет напряжений на

балочных элементов. Листовой материал стены закреплены внутри области можно рассматривать либо как полностью проницаемым, непроницаемым или полностью или частично проницаемым. Хотя первые два случая также можно лечить с помощью контактных элементов расположены вдоль соответствующей линии, они обрабатываются с помощью программы автоматически без необходимости эти элементы. Третий случай представляет собой задачу потока в тонком зоне, имеющей данную толщины  $d$ , (см. рисунок).



Частично проницаемый контакт

Соответствующих потоков в касательной направлении ( $s$ -направление)  $q_s$  и нормальном направлении ( $n$ -направление)  $q_n$  даются:

$$q_s = -k_s \frac{1}{2} \frac{\partial (h^t + h^b)}{\partial_s}$$

$$q_n = -k_n \frac{h^t + h^b}{d}$$

Определение контактных элементов, следовательно, требует ввода следующих параметров:

где:  $k_s$  - проницаемость в направлении касательной (проницаемость продольная), [м/день]  
 $k_n$  - проницаемость в нормальном направлении (проницаемость поперечной), [м/день]

## Сосредоточенные опоры

Рамка «Сосредоточенные опоры» содержит таблицу со списком сосредоточенных опор. Добавление опор выполняется в диалоговом окне «Создать сосредоточенные опоры».

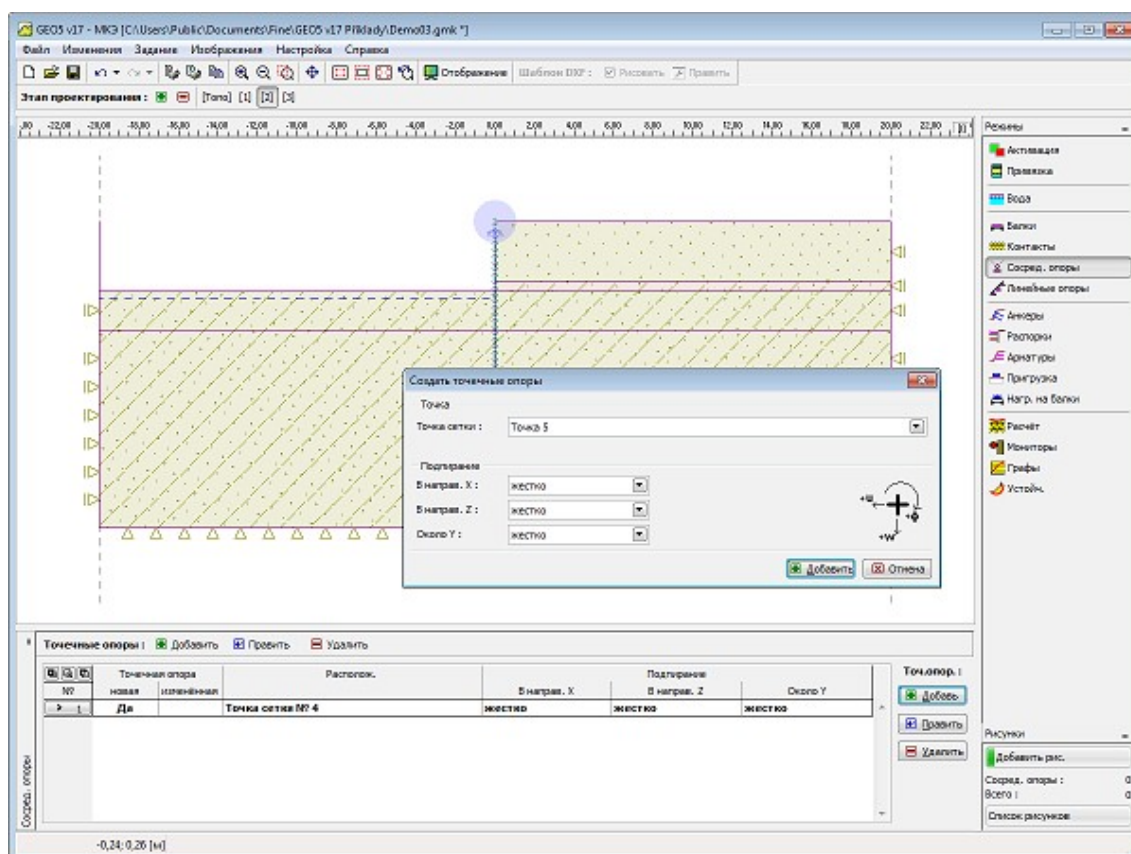
Заданные сосредоточенные опоры можно редактировать на рабочем столе с помощью активных объектов. Программа использует следующую систему координат.

Программа содержит встроенный автоматический генератор стандартных краевых условий. Таким образом, в большинстве задач не требуется задавать краевые условия.

**Краевое условие в точке** может быть:

- свободная
- фиксированная
- упругая
- вынужденная деформация

Краевые условия задают в **глобальной системе координат**.



Рамка «Сосредоточенные опоры»

## Точка потока

Рамка «Точка поток» содержит таблицу со списком точечных потоков. Добавление поток точки выполняется в «Новом точки потока» диалоговое окно.

Введенные точки потока также можно редактировать на рабочем столе с помощью активных объектов.

Могут быть указаны следующие граничные условия:

### а) Порового давления в точке

- Численно - значение порового давления в данной точке задается [ $\kappa\Pi a$ ,  $ksf$ ]
- Указав местоположение грунтовых вод (общий напор) - указываются координаты УГВ

### б) Точка притока/оттока

Указывается скорость откачки/впрыска [ $m^3/дeнь/m$ ,  $ft^3/day/ft$ ]

## Линейные опоры

Рамка «**Линейные опоры**» содержит **таблицу** со списком линий опор. **Добавление** линии выполняется в **диалоговом окне** «**Новые линии опор**».

The line support location is selected from the combo box (free line, terrain segment, mesh line).

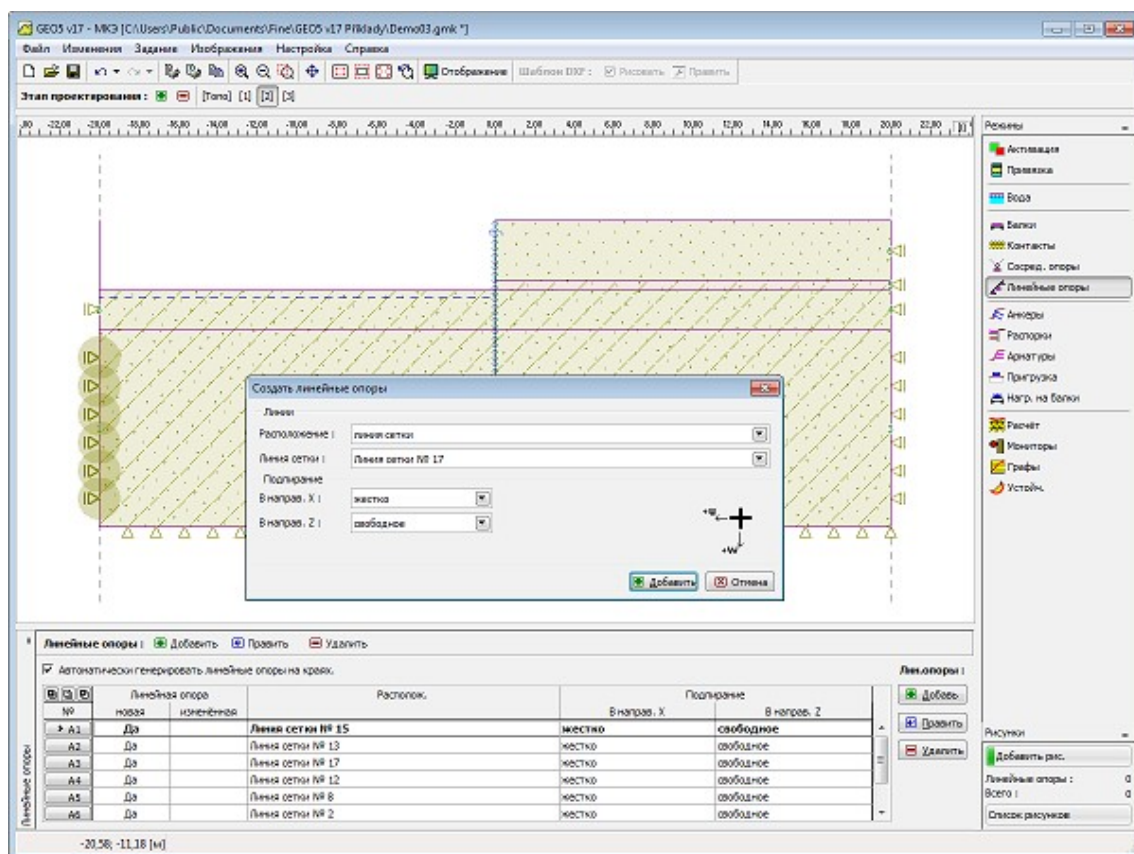
Введенные линии опоры также можно редактировать на рабочем столе с помощью **активных объектов**. В программе применяется следующие **системы координат**.

Программа содержит встроенный автоматический генератор **стандартных граничных условий**. Таким образом, в **большинстве задач не требуется указывать граничные условия**.

При назначении опоры к линии в первую очередь необходимо выбрать тип линии (**свободные, интерфейс, сетки линия**).

**Следующие типы линий опор** считаются:

- свободная
- фиксированная
- деформированная



Рамка «Линейные опоры»

## Линия потока

Рамка «**Линия потока**» содержит **таблицу** со списком линии потоков. **Редактирование**

выполняется в **диалоговом окне «Новая линия потока»**.

Введенные линии потока также можно редактировать на рабочем столе с помощью **активных объектов**.

**Граничные условия потока должны быть определены на всех граничных линиях.**

Могут быть указаны следующие граничные условия:

**а) Непроницаемый**

**б) Проницаемый**

Поровое давление на данной линии равно нулю

**в) Поровое давление**

- распределение порового давления  $p$  может быть задан численно
- распределение порового давления может быть задано путем ввода расположение грунтовых вод (предписывая общий напор  $h$ )

**г) Приток/отток на линии**  $q$  - указано в единицах скорости, например, [м/день, кsf/день] - указана скорость потока в/из области. Значение по умолчанию соответствует непроницаемой границей, для которой  $q = 0$ .

**д) Фильтрационные поверхности** - это граничное условие вводится обеспечивая границы, которые не однозначно разделены на части с заданным давлением пор и части с заданным приток / отток (точка выхода не известна). В таком случае анализ проводится в два этапа. На первом этапе программа находит точку выхода. Фактический анализ потока с заданными граничными условиями затем проводят на второй стадии. В некоторых случаях обе стадии необходимо повторить несколько раз. При расширенном вводе считается что программе требуется ввод фиктивной проницаемости  $k_v$  в единицах [м/день]. По сути, это срок штрафа, достаточно большого числа в целом, гарантируя, что наряду с непроницаемой границей значение общего  $h$  будет равна ( $q = 0$ ) у-координаты данной точки. Для части границы с отсутствующим потоком мы имеем  $k_v = 0$ . Переменные  $q$  и  $h$  после этого связаны:

$$\bar{q}_n = k_v (h - y) \quad \text{если } h > 0 \ (S = 1) \text{ в теле грунта}$$

$$\bar{q}_n = 0 \quad \text{если } h < 0 \ (S < 1) \text{ в теле грунта}$$

## Анкеры

Рамка «**Анкеры**» содержит **таблицу** со списком заданных анкеров. **Добавление** анкера выполняется в **диалоговом окне «Создать анкер»**.

Введенные анкеры также могут быть отредактированы на рабочем столе с помощью **активных объектов**. В программе применяется следующая **система координат**.

Задавая головку анкера, её можно **автоматически зацепить** на рельеф, любую границу контура или отверстие (тоннельная обделка). В таком случае головка анкера автоматически устанавливается в точку пересечения прямой, определяемой заданными точками анкера и выбранной линией. Анкер также можно задавать абсолютными координатами.

Анкеры моделируются с помощью **эластичного стержневого элемента** с постоянной нормальной жесткостью. Разрушение анкерного элемента определено заданием максимальной силы. Анкер зацеплен в грунт в двух точках - в начале и в конце. Взаимодействие между грунтом и анкером вдоль длины анкера не обсуждается.



Анкеровочные элементы определяются **началом и концом элемента и его жесткостью**. Зацепление концевых точек в сеть конечных элементов программа выполняет автоматически, следовательно, анкеры могут быть заданы в **любое место конструкции**.

Для простого ввода анкер можно «зацепить» на рельефе, отдельных границах контура, балках, или можно задавать координаты начала анкера численно.

**Жесткость анкера** определена модулем упругости и его площадью. Программа позволяет также задать диаметр анкера - площадь затем автоматически вычисляется. При **расчётах устойчивости откоса** жесткость анкера не рассматривается.

Следующими важными исходными данными для анкера являются **сила предварительного натяжения** и **сопротивление разрыву**. Для непреднапряжённых анкеров задают силу предварительного натяжения равную нулю. Если не обсуждается возможность разрыва армирующего элемента, то задают достаточно большую величину силы сопротивления разрыву.

В стандартных условиях анкер не работает на сжатие - при сжимающей нагрузке анкер временно исключается из расчёта. Если в ходе расчёта анкер переходит в работу на растяжение (изменилась нагрузка, геометрия и т.п.), то возобновляется активность анкера. Программа позволяет рассматривать анкер в сжатии, однако **элементы под сжимающей нагрузкой** мы рекомендуем задавать как **распорки**.

В ходе расчёта происходит деформация анкера. Деформация анкера и окружающего его массива может привести к **уменьшению заданной силы предварительного натяжения** в анкере. Для получения конкретной силы

преднатяжения необходимо на следующем этапе сделать либо дополнительное натяжение или сразу в начале задавать достаточно завышенную силу предварительного натяжения (результатирующая сила в анкере после выполнения расчёта отобразится возле головки анкера под заданной силой преднатяжения.)

На последующих **этапах проектирования** параметры анкера менять нельзя, программа позволяет только **дополнительное увеличение** силы предварительного натяжения, или **удаление** анкера из конструкции.

При расчёте предварительно напряжённых анкеров может произойти пластификация грунта вблизи головки или корня анкера. В таком случае необходимо **модифицировать модель** около анкера.

Создать анкер

— Располоение анкера

Начало : прицепить на линию №. 1

x =  [м]

z =  [м]

Конец : задать длину и наклон анкера

Длина : l =  [м]

Угол наклона : α =  [°]

Шаг анкеров : b =  [м]

— Жёсткость анкера

Способ задания : диаметр анкера

Диаметр : d =  [мм]

Модуль упругости : E =  [МПа]

Сопротивление разрыву :  $F_c$  =  [кН]

☐ Учесть действие в сжатии

— Усилие в анкере

Сила : F =  [кН]

Диалоговое окно «Создать анкер»

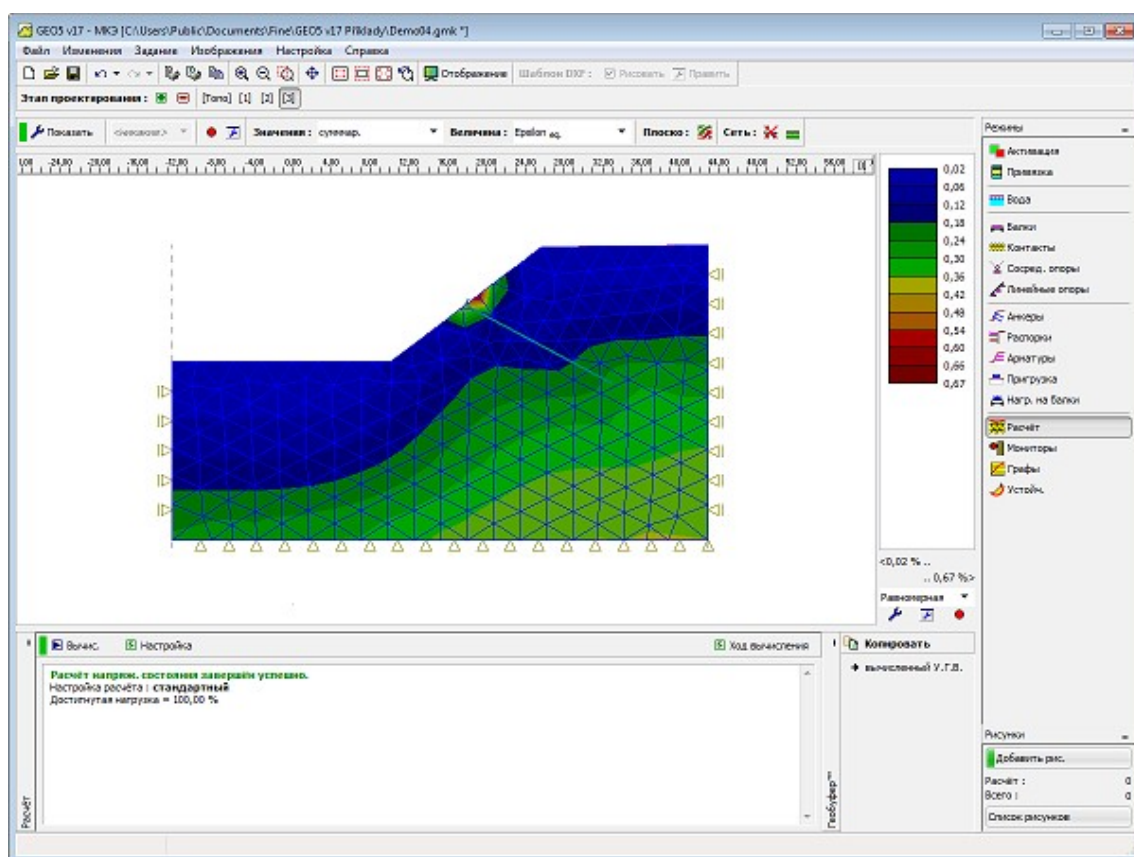
## Модификация среды вблизи якоря

При расчёте предварительно напряжённых анкеров может произойти **пластификация грунта** вблизи головки или корня анкера -рогда расчёт часто не приближает решение.

В таком случае мы рекомендуем следующие модификации исходного задания:

- под головкой анкера расположить **балочный элемент** (получим более благоприятное распределение нагрузки в грунт),
- корень анкера расположить в грунт **достаточно твёрдой консистенции** или данный слой грунта моделировать как эластичный или модифицировано-эластичный



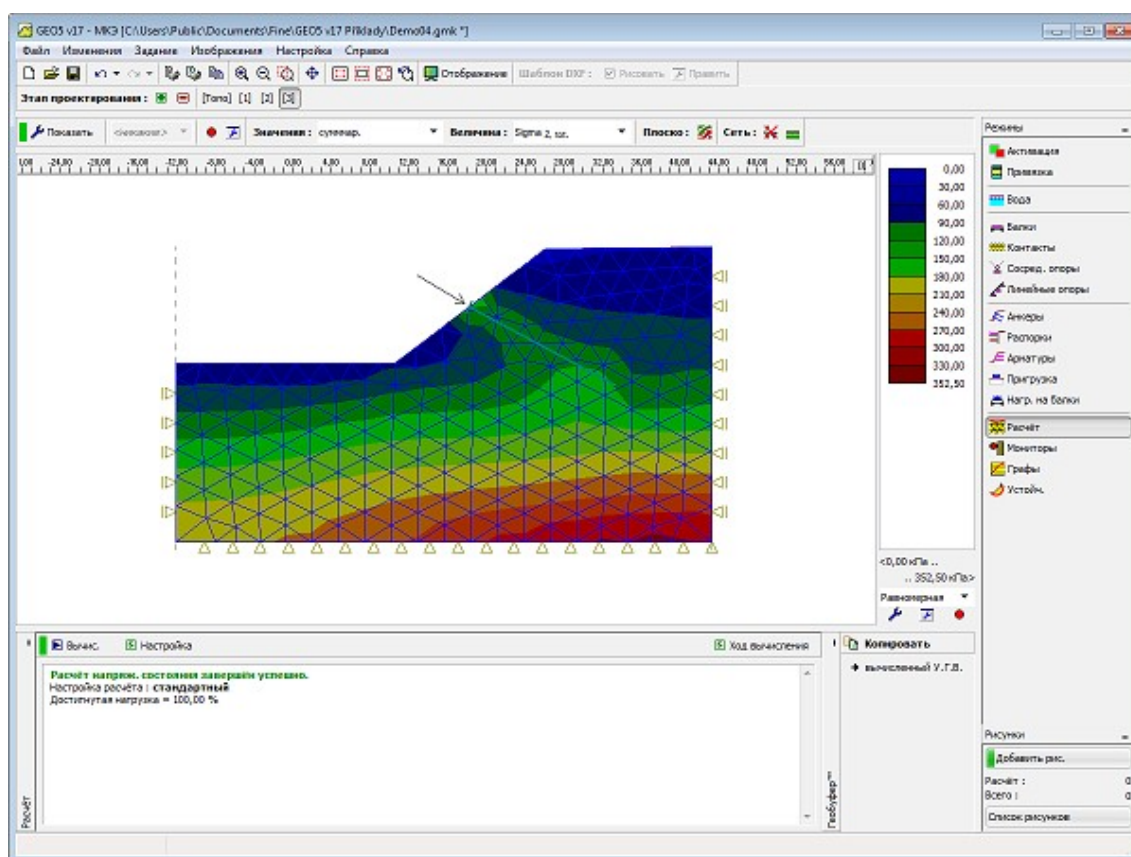


*Область пластичности в непосредственной близости от анкерной головы или корня*

## Анкеры в анализе устойчивости

При выполнении **анализа устойчивости** предварительно напряженных анкеров автоматически заменены соответствующими **сжимающие точкой силы**, действующие на головку анкера.

Грунт в точке приложенной силы, однако, может претерпевать пластическую деформацию. Поэтому следует тщательно оценить полученный распределение пластических деформаций. Следует отметить, что локализация эквивалентной пластической деформации идентифицирует местоположение потенциальной поверхности скольжения. Поэтому, если пластические деформации на головку анкера могут стать решающим, необходимо ввести некоторые **модификации исходного входа**.



Моделирование анкера в анализе устойчивости откоса

## Распорки

Рамка «**Распорки**» содержит таблицу со списком заданных распорок. Добавление распорок выполняется в диалоговом окне «**Создать распорку**». Для ввода можно использовать функцию **сетки**.

Заданную распорку можно редактировать тоже на рабочем столе с помощью **активных объектов**. В программе применяется последующая **система координат**.

При вводе можно концевые точки распорок **автоматически прицепить** на рельеф, любую границу контура или отверстие (тоннельную обделку). В таком случае концы распорки автоматически располагаются в пересечение прямой, соединяющей заданные точки распорки, и выбранной линии. Распорка может быть задана также с помощью абсолютных координат.

Распорки моделируются с помощью **упругого стержневого элемента** с постоянной нормальной жесткостью. Распорка работает лишь при нагрузке от сжатия - **на растяжение распорка не работает**. В случае растягивающей нагрузки распорка из расчёта удалена.

Распорка зацеплена на грунт в двух точках - в начале и конце. Если распорка находится в грунте, то вдоль её длины взаимодействие между грунтом и крепящим элементом не принимается во внимание.

Распорки определены началом и концом элемента и его жёсткостью. **Прицепление концевых точек** на сетку конечных элементов **программа выполняет автоматически**, т.е. задать распорку можно на любое место конструкции.

Для упрощения ввода распорку можно «**прицепить**» на рельеф, отдельные границы контура, балки, или можно ввести координаты начала распорки в численной форме.

**Жесткость распорки** определена модулем упругости и площадью распорки. Программа позволяет тоже задавать диаметр круглой распорки - в таком случае величина площади вычисляется автоматически.

На последующих **этапах расчёта** нельзя распорку редактировать - её можно или удалить или повторно задать.

Создать распорку

— Расположение распорки

Точка 1 : прицепить на линию №. 1

x =  [м]

z =  [м]

Точка 2 : прицепить на линию №. 3

x =  [м]

z =  [м]

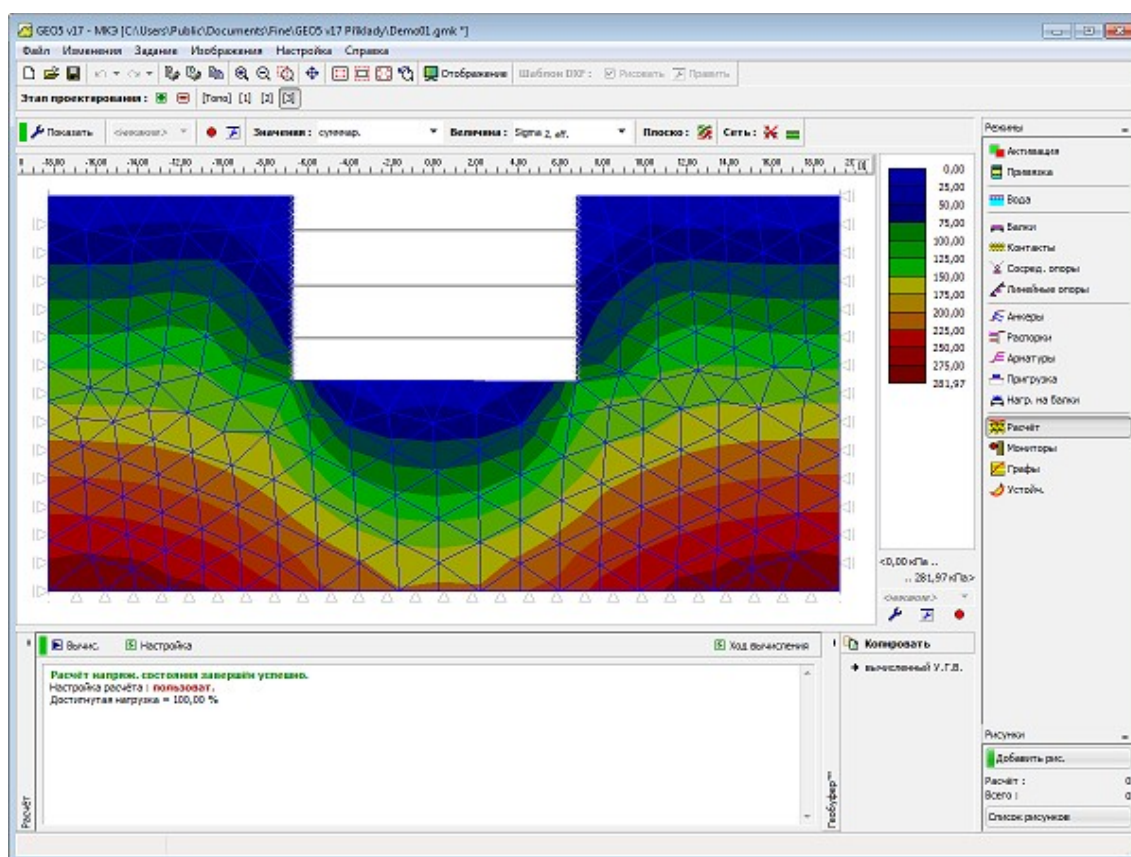
Шаг между раскосами : b =  [м]

— Жёсткость распорки

Поверх. : A =  [мм<sup>2</sup>]

Модуль упругости : E =  [МПа]

Создать распорку



Распорки - расчёт

## Геоарматура

Рамка «Армирование» содержит таблицу со списком заданных геоарматур. Добавление элементов армирования осуществляется в диалоговом окне «Создать элементы армировки». Для ввода можно использовать функцию **сетки**.

Заданные геоармировки можно редактировать также на рабочем столе с помощью **активных объектов**. В программе применяется последующая **система координат**.

При вводе можно концы элементов армировки **автоматически прицепить** на рельеф, любую границу контура или отверстие (тоннельную обделку). В таком случае концы армировок автоматически располагаются в пересечение прямой, соединяющей заданные точки армировки, и выбранной линии. Армирование может быть задано также с помощью абсолютных координат.

**Геоармирование - это элементы укрепления, работающие на растяжение** (геотекстиль, георешётки), которые заданы началом и концом элемента и его жесткостью.

В отличие от анкера или распорки, геоармировки **связаны** с сеткой конечных элементов **по всей своей длине** - не только по краям. Зацепление концевых точек на сетку КЭ программа выполняет автоматически. Поэтому геоармирование можно задавать в любое место на конструкции. Подобно анкеру или распорке геоармировка моделируется стержневым элементом, который способен **передавать только нормальные силы**. Учитывая её геометрические характеристики, необходимо - в отличие от анкеров, указать **жесткость поперечного сечения геоармировки отнесенную на 1 метр её ширины**. Эти сведения должен предоставить производитель.

На последующих **этапах расчёта** нельзя геоармировку редактировать - её можно только удалить.

Создать армировку

Расположение армировки

Точка слева : абс. позиция

x = -9,76 [м]

z = -2,97 [м]

Точка справа : абс. позиция

x = 9,44 [м]

z = -2,97 [м]

Длина : L = 19,20 [м]

Параметры армировки

Жёсткость :  $E_h = 50,00$  [кН/м]

Прочность арматуры : задать

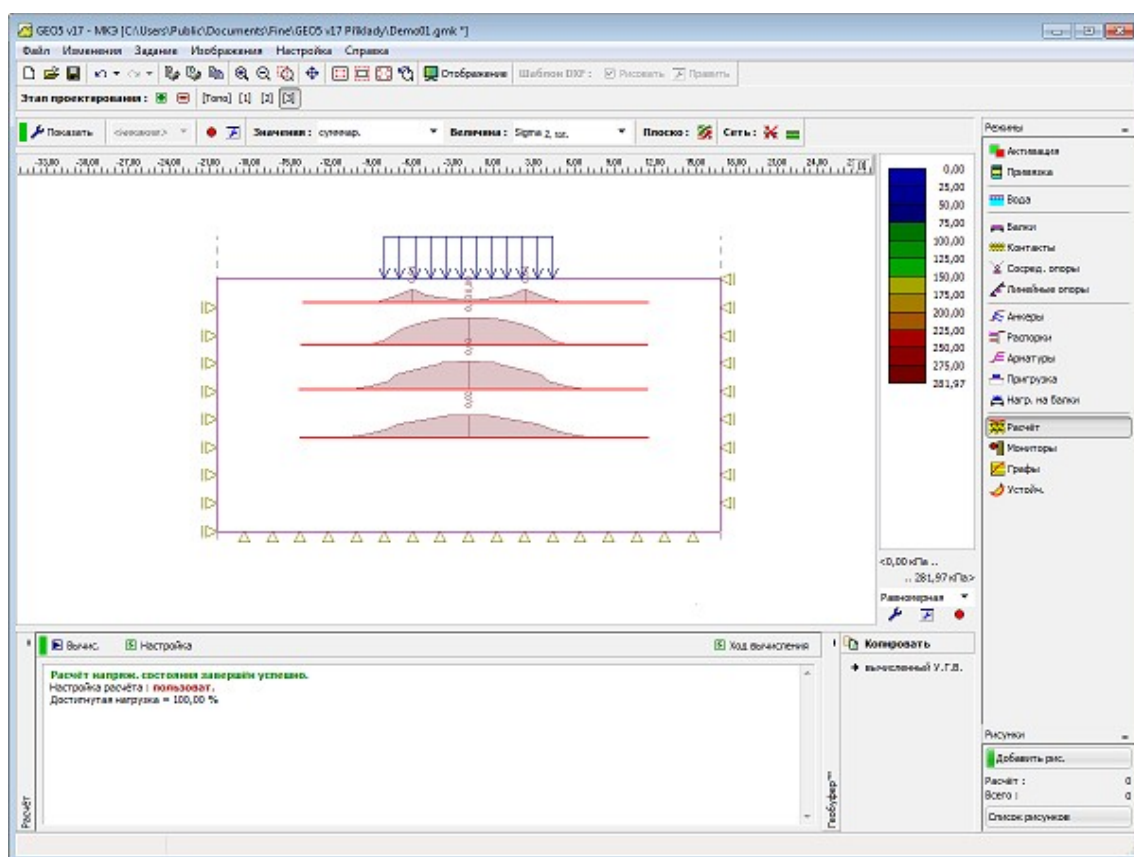
Прочность арматуры :  $R_t = 50,00$  [кН/м]

☐ Учесть возд.в сжатии

OK Отмена

#### Создать армировку

Программа позволяет рассматривать работу геоармировки также при сжатии - по умолчанию, однако, **сжатая часть армировки не принимается во внимание**. Это состояние показано на следующем изображении растягивающих нормальных сил в активной активной области отдельных геоармировок. Сжимаемая часть армировки **временно отключена** из расчёта. Однако таким же образом как анкеры, её можно автоматически активировать.



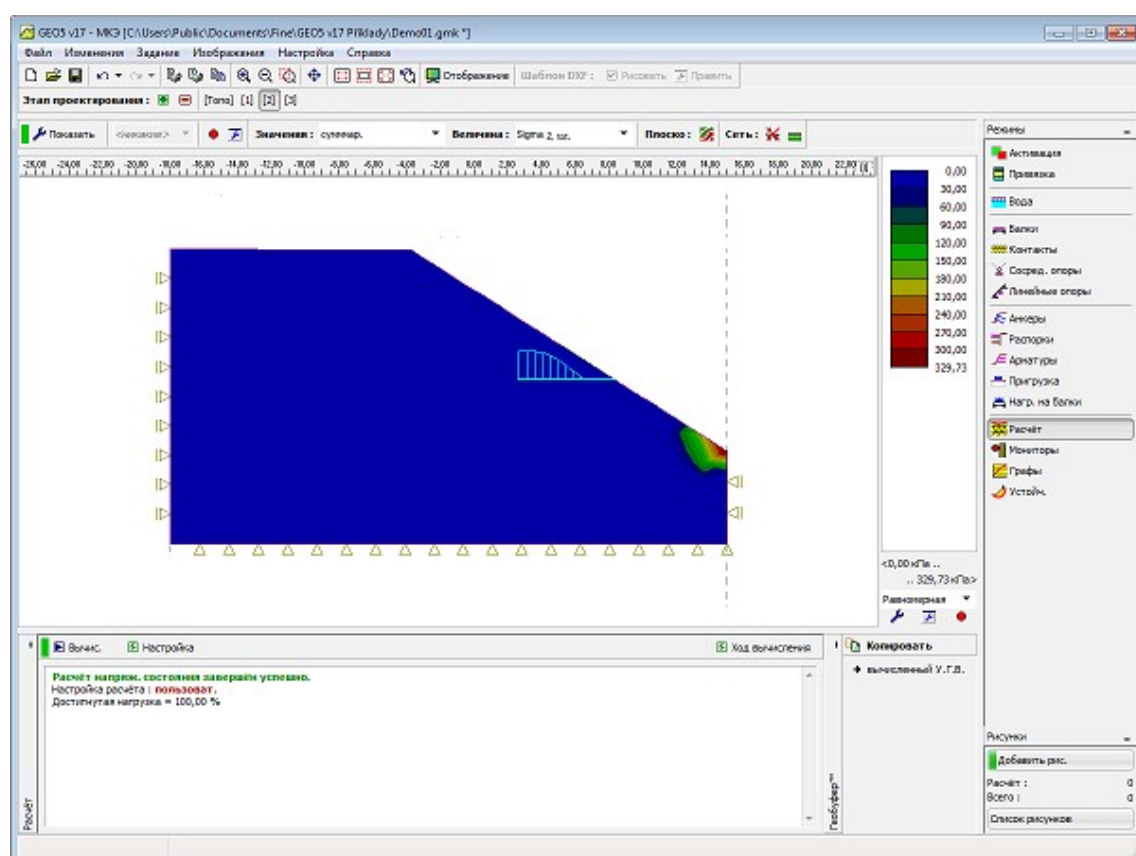
*Растягивающее напряжение в геоармировках.*

## Анкерное геоукрепление

При внедрении подкрепление в тело грунта надо иметь в виду, **достаточное закрепление арматуры**, так как программа **не проверяет подкрепление против разрушения при сдвиге**. Внезапное увеличение нормальной силы, как показано на рисунке показывает, особенность в контактных напряжениях и вероятного отказа сдвига арматуры. С этой точки зрения отображаемые результаты вводят в заблуждение и, по сути нереально.

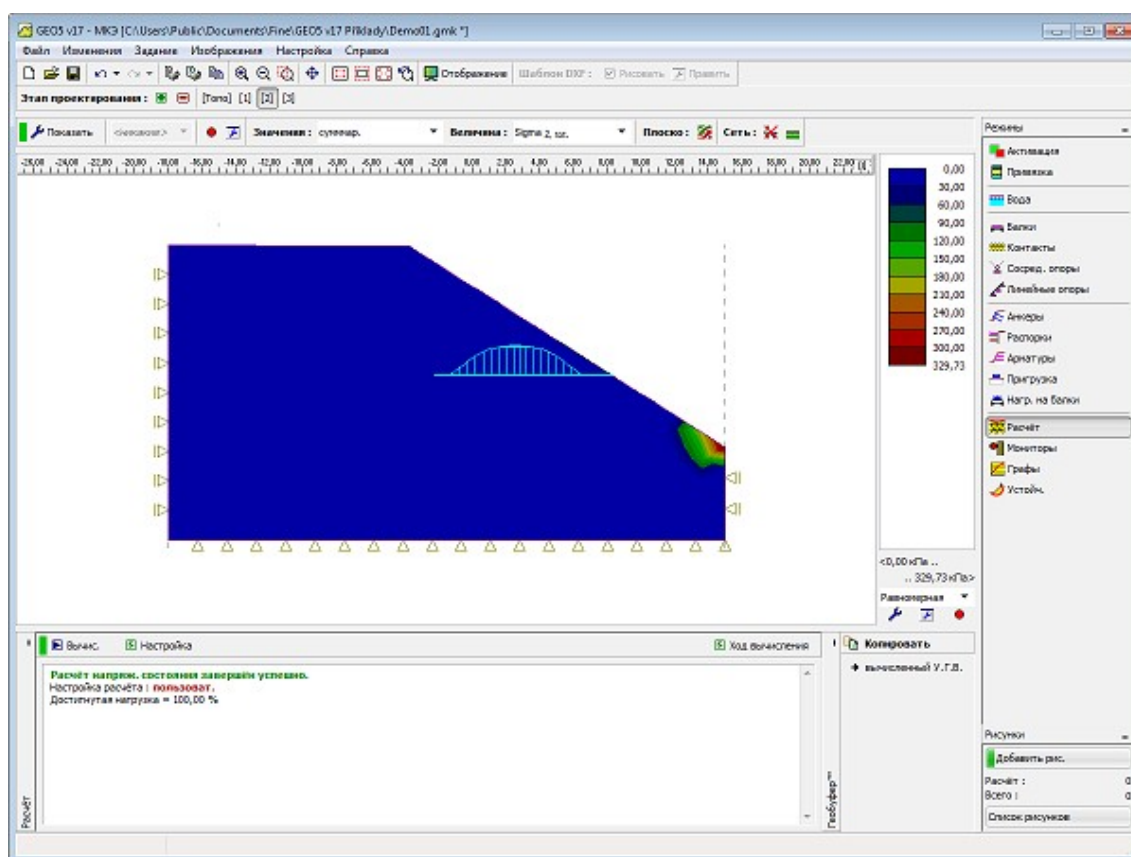
В таком случае, укрепление должны быть либо исключены из анализа или обеспечить ее **достаточную крепление**, как нанесены на рисунке.





*Недостаточность анкерного армирования*





*Достаточное анкерное армирование*

## Осевая жесткость геосинтетических материалов

Геосинтетические материалы являются растягивающие усилительные элементы (геотекстиль, геосетки), определенные по их начальной и конечной точке и осевой (нормальный) жесткости  $J_z$  [кН/м].

Для **нетканых материалов** осевой жесткости, как правило, не рассматривается, так как эти элементы обычно служат разделению слоев. **Тканый геотекстиль** имеет при малых деформациях очень низкую начальную жесткость - в малой области деформации (до 5 %) мы сталкиваемся с значительным увеличением деформаций под постоянной нагрузкой.

При проектировании с применением геотекстиля это его свойство должно быть принято во внимание. Таким образом, мы признаем, как **длительной прочности натяжения** в зависимости от частных коэффициентов сокращения (отражающий повреждения элементов, вызванных установкой, ползучести поведения геосинтетических материалов, биологических и химических воздействий) и начальное нормальное жесткость в небольшой области деформации в интервале 0,5 % до 2 %.

Чтобы определить **минимальную осевую жесткость** геоукрепления можно использовать следующее выражение, где для прочности, соответствующей выбранной деформации мы принимаем максимально 10 % отклонение от линейной части испытания на растяжение:

$$T_{z-x} \geq \frac{0,9 \cdot \epsilon \cdot T_{max}}{\epsilon_{max}}$$

где:	$T_z$	- tensile strength at strain Предел прочности при $x\%$ деформации [кН/м]
	$\varepsilon$	- $x\%$ деформация (относительное удлинение) в соответствии с EN ISO 10 319 [%]
	$T_{max}$	- максимальный предел прочности на разрыв в соответствии с EN ISO 10 319 [кН/м]
	$\varepsilon_{max}$	- максимальная деформация (относительное удлинение) в соответствии с EN ISO 10 319 [%]

Поставщики и производители геотекстиля обычно предоставляют значение прочности на растяжение при 2 % деформации. Выражение становится:

$$T_{z-2\%} \geq \frac{1,8 \cdot T_{max}}{\varepsilon_{max}}$$

**Минимальная** (начальная) **осевая жесткость** геотекстиля из краткосрочного эксперимента (скорость нагружения в соответствии с EN ISO 10 319) для  $x\%$ -деформации определяется по формуле:

$$J_{\varepsilon=x} \approx E \cdot A = \frac{T_{\varepsilon=x}}{\varepsilon}$$

где:	$\varepsilon$	- $x\%$ -деформация (относительное удлинение) в соответствии с EN ISO 10 319 [-]
------	---------------	--

**Максимальная** (теоретически достижимая) **осевая жесткость** геотекстиля для краткосрочного осевой силы определяется следующим образом:

$$J_{\varepsilon_{max}} \approx E \cdot A = \frac{T_{max}}{\varepsilon_{max}}$$

где:	$\varepsilon_{max}$	- максимальная деформация (относительное удлинение) в соответствии с EN ISO 10 319 [-]
------	---------------------	--

Интервалы рекомендованных значений осевых (нормальных) жесткостей геосинтетических  $J_z$  [кН/м], перечислены в следующей таблице:

Описание переменных	Начальная осевая жесткость геотекстиля для $\varepsilon = 2\%$	Теоретическая (максимальная) осевая жесткость геотекстиля
Обозначение (блок)	$J_{\varepsilon=x}$ [кН/м]	$J_{\varepsilon_{max}}$ [кН/м]
Категория гео усилители	---	---
Нетканый геотекстиль	---	---
Тканый геотекстиль	250 ÷ 500	1000
Одноосные геосетки	500 ÷ 1000	1500
Двухосные георешетки	250 ÷ 500 для $\varepsilon = 0.5\%$	2500
Трехосные георешетки	250 ÷ 500 для $\varepsilon = 0.5\%$	5000

Геоматы	100 ÷ 500	1000
Дренажные геокомпози́ты	---	---
Компози́ты	100 ÷ 500	1500
Геосетки	---	---
Геоячейки	---	---

#### Literature:

GEOMAT ltd. ([www.geomat.cz](http://www.geomat.cz)): *Types of geotextiles and their function in civil engineering structures*. Author: Martin Kašpar ([kaspar@geomat.cz](mailto:kaspar@geomat.cz)). In Czech.

HOLÝ, O., MIČA, L.: *Determination of axial stiffness of geosynthetics for numerical modeling - part 1*. TU Brno (paper in conference proceedings "Civil engineering structures in view of geomechanics"). In Czech.

EN ISO 10 319 (80 6125): *Geotextiles - Tensile test on a wide strip*. Czech standard institute, 2009. In Cz.

## Пригрузка

Рамка «**Пригрузка**» содержит **таблицу** со списком заданных пригрузок. **Добавление** пригрузки выполняется в **диалоговом окне «Новые пригрузки»**. Заданные пригрузки можно редактировать также на рабочем столе с помощью **активных объектов**. В программе применяется последующая **система координат**.

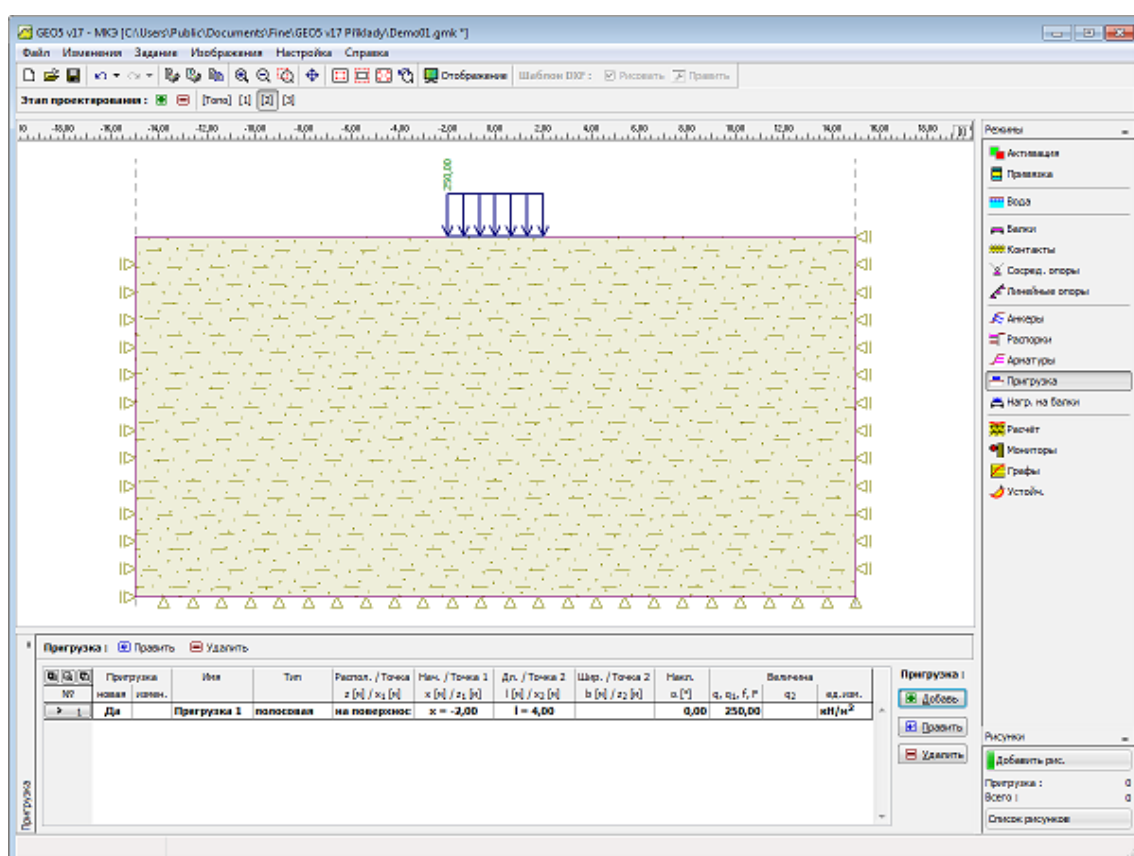
Все заданные параметры пригрузки можно менять на **этапе проектирования**, на котором был параметр задан. На последующих этапах проектирования можно менять только величину пригрузки (выбираем «**Изменение величины**»).

Пригрузка подразумевает пригрузку грунтового массива - нагрузку балок задаём в рамке **нагрузки балок**. Пригрузка стандартного типа - горизонтальная, но можно задавать пригрузку общего типа, направленную куда-либо в массив (типа пригрузки общего вида).

Программа позволяет на этапах проектирования задавать какое-либо количество пригрузок. Пригрузка может действовать или на **заданной границе контура** или в **любом месте массива**.

Заданную пригрузку на последующих **этапах проектирования** можно либо удалить, либо **изменить её величину**.

Если задавать пригрузку непосредственно на поверхности грунта, то на её углах может произойти **пластификация грунта** и сходимости может не быть. В таком случае необходимо или задать под пригрузку **балочный элемент**, или задать слой грунта под пригрузкой как **упругую** или модифицированную упругую модель.



Рамка «Пригрузка»

**Новые пригрузки**

Имя пригрузки

Имя :

Характеристики пригрузки

Тип :

Распол. :

Нач. :  $x =$   [м]

Дл. :  $l =$   [м]

Накл. :  $\alpha =$   [°]

Величина пригрузки

Величина :  $q =$   [кН/м<sup>2</sup>]

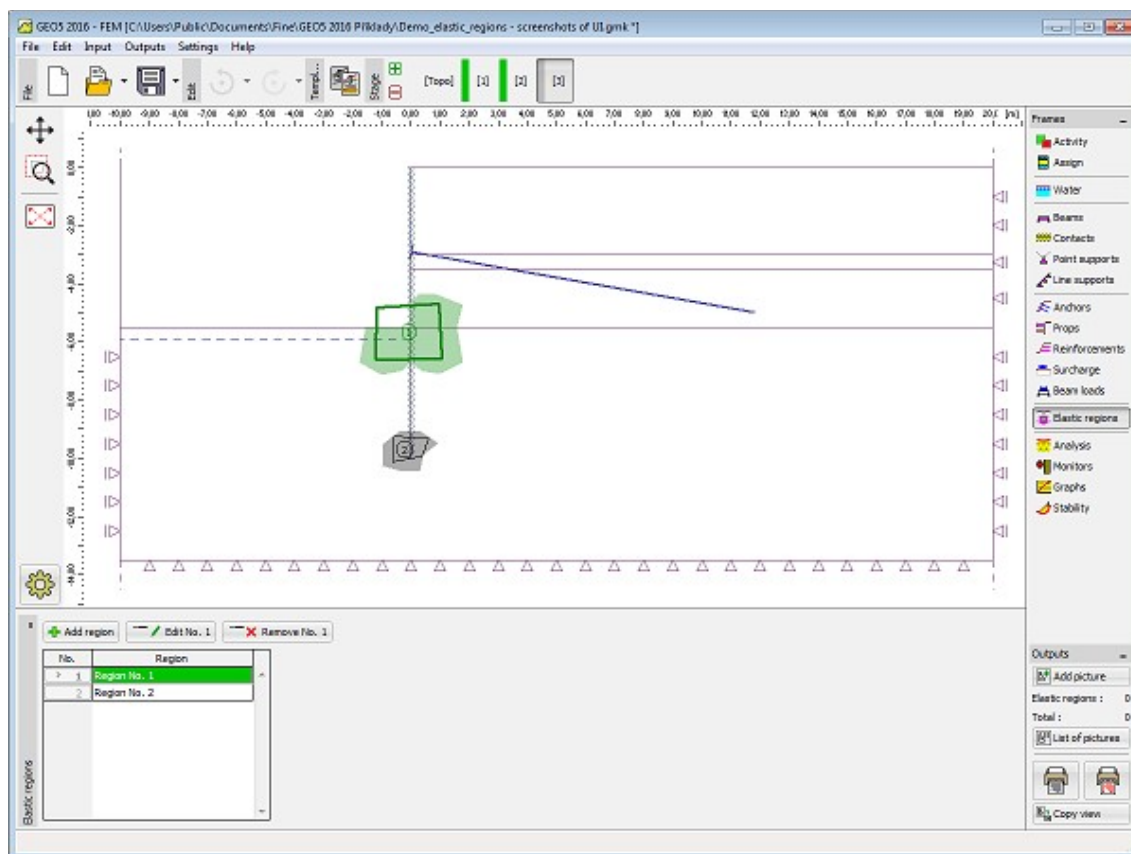
*Диалоговое окно «Новые загрузки»*

## Упругие области

В рамке «Упругие области» находится таблица со списком заданных упругих областей. Способ ввода упругих областей полностью соответствует способу стандартного ввода границ контура.

При нагружении грунта напряжением, значение которого доходит до предела пластичности, в грунте происходит деформация, которая остаётся и после снятия нагрузки. Эту постоянную деформацию называем пластической деформацией материала и её можно моделировать с помощью стандартных моделей типа Mohr-Coulomb или Drucker-Prager, или более продвинутых моделей типа Cam clay.

Если хотим при моделировании методом КЭ подавить развитие пластических деформаций на конкретном месте и на конкретном этапе проектирования, то воспользуемся функцией «Упругие области». Упругие области задают на данном этапе полигоном точек. Упругое поведение покажет каждый элемент, который хотя бы частично заходит в область.



Рамка «Упругие области»

Упругие области влияют на поведение моделей:

- Mohr-Coulomb
- Модифицированный Mohr-Coulomb
- Drucker-Prager

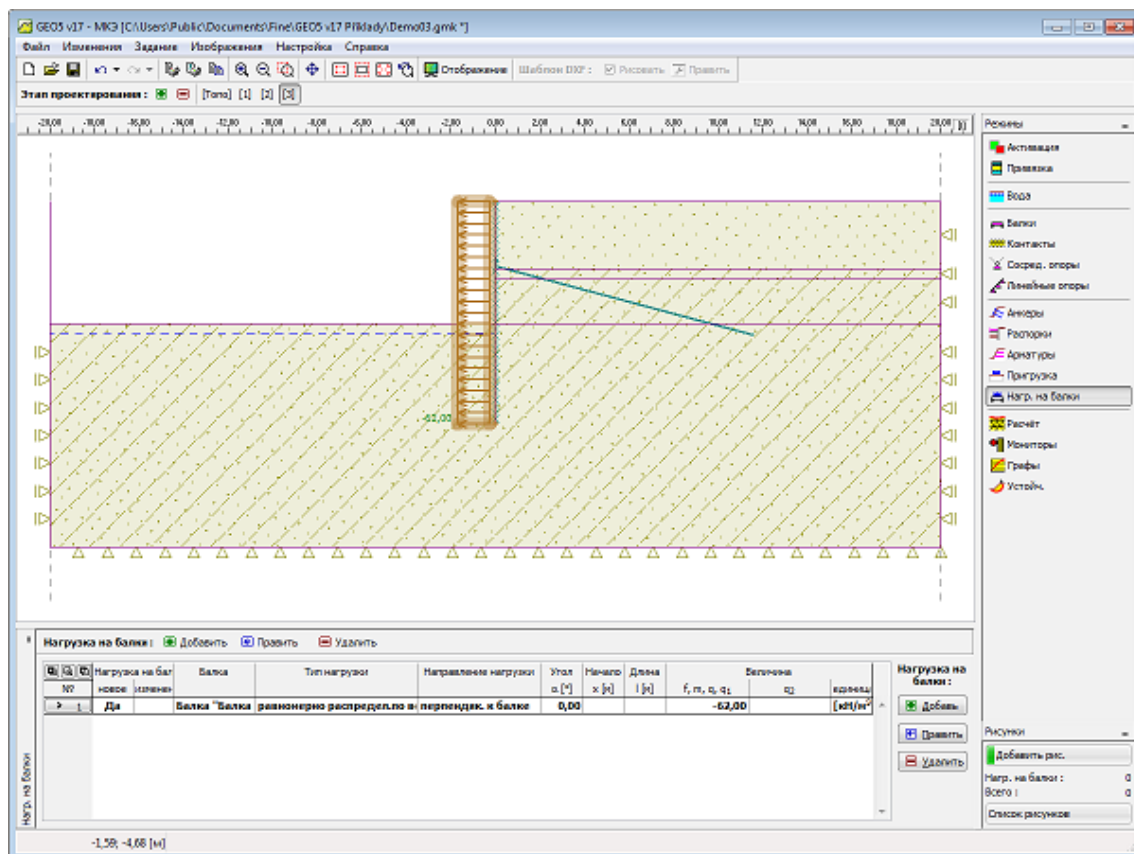
На поведение других моделей упругие области не оказывают влияния.

## Нагрузки балок

Рамка «**Нагрузки Балок**» содержит **таблицу** со списком нагрузок. **Добавление** нагрузки пучка выполняется в **диалоговом окне «Создай нагрузки на балки»**.

Введенные нагрузки также можно редактировать на рабочем столе с помощью **активных объектов**. В программе применяется следующее **системах координат**.

Все заданные параметры пригрузки можно менять на **этапе проектирования**, где параметр был задан. На последующих этапах проектирования можно менять только величину пригрузки (выбираем «**Изменение величины**»).



Рамка «Нагрузки балок»

**Создай нагрузки на балки**

Нагруженная балка  
Расположение : Балка "Балка 1"

Характеристики нагрузки  
Тип нагрузки : равномерно распредел. по всей балк  
Направление нагр: перпендик. к балке  
Угол :  $\alpha =$  0,00 [°]

Величина нагрузки  
Величина :  $q =$  -62,00 [кН/м²]

Добавить Отмена

Диалоговое окно «Создай нагрузки на балки»

## Вода

Есть три варианта в программе по внедрению в грунтовые воды:

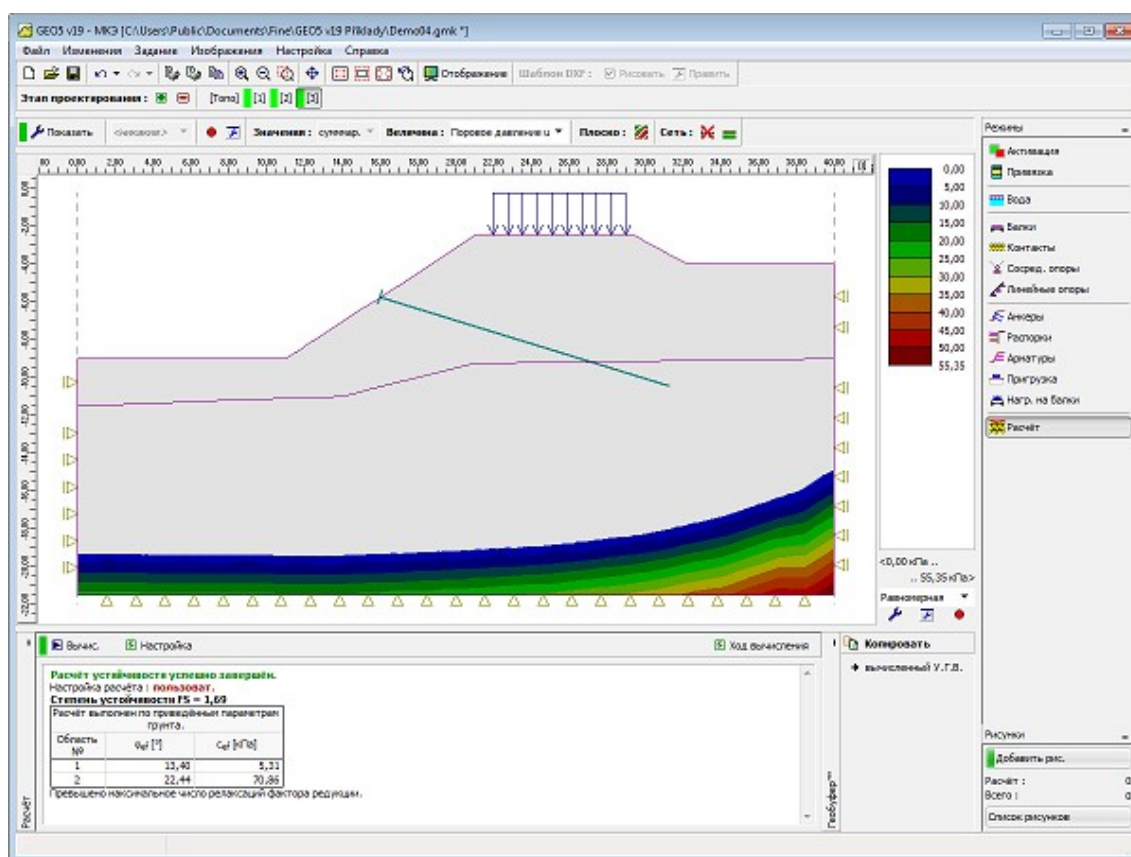
- **Уровень грунтовых вод** может быть указан в виде непрерывной границы раздела ниже и выше поверхности земли. В таком случае, программа автоматически регулирует собственнsq вес почвы **ниже уровня грунтовых вод**.
- **Значения давления пор** вводятся с помощью изолинии. Ввод такой же, как **ввод границы раздела**. Значения давления пор вводятся в таблицу «Список границ разделов» в левой нижней части экрана. Значения между изолиниями следуют из линейной интерполяции.
- **Коэффициент давления пор**  $r_u$  представляет собой соотношение между давлением пор и геостатического напряжения в почве. Значения коэффициента  $r_u$  указаны для отдельных изолиний. Первая изолиния всегда совпадает с поверхностью земли. Остальные изолинии вводятся таким же образом, как границы раздела между отдельными слоями грунта. Значения вводятся в таблицу «Список границ разделов» в левой нижней части экрана. Значения между изолиниями следуют из линейной интерполяции.

При вводе значения давлением пор или коэффициенты значения  $r_u$  **основная масса грунта предполагается во всем теле** равным объемной массе  $\gamma$  независимо от значений давления пор или коэффициентов  $r_u$ .

Самый простой способ проверить ввод воды является участок распределение **давлением пор** в окне вывода.

Заданные границы контура воды можно копировать в рамках всех 2D программ GEO5 с помощью «**Геобуфера**».





Визуализация давлений пор

## Расчёт

Расчёт проводится для отдельных **этапов расчета** в рамке «**Расчёт**» после нажатия кнопки «**Расчёт**».

**Во время анализа** программа пытается прийти к такому решению, которое удовлетворяет для данной нагрузки и граничных условий **глобального равновесия**. В большинстве случаев данный шаг приводит к итерационному процессу. **Процесс итерации** и сходимости решения отображается на экране.

Анализ может быть остановлен в любой момент, нажатием кнопки «**Прервать**». Результаты будут доступны для последней конвергентной ступени нагрузки.

Правильные результаты получаются, когда 100 % **из приложенной нагрузки достигается**. Из-за отказа **конвергенции программа** может остановиться **до достижения желаемого уровня нагрузки** - лишь часть общей приложенной нагрузки будет достигнута. В таком случае можно регулировать **стандартные параметры настройки анализа**. При моделировании более сложных инженерных задач мы рекомендуем пользователю придерживаться **рекомендованной процедурой моделирования**.

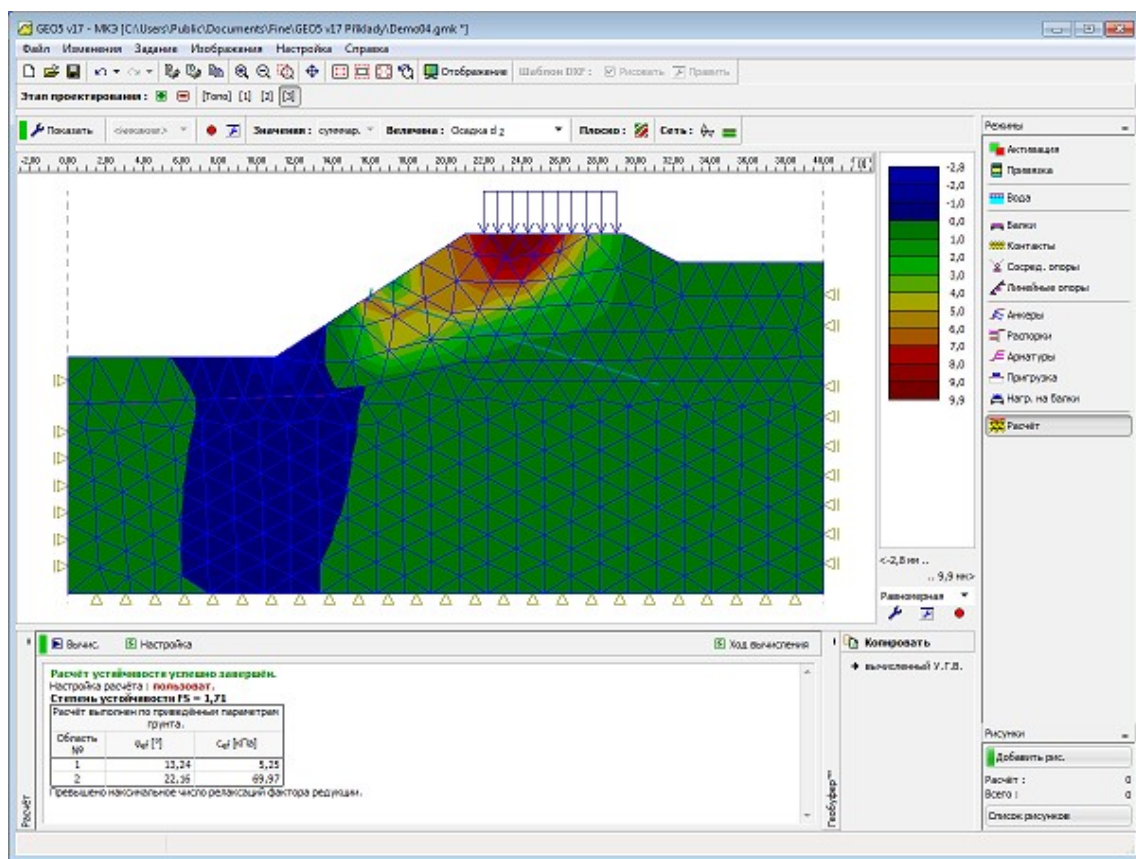
**Анализ кратковременного потока** может быть выбран в рамке «**Настройки**».

**Результаты** анализа вместе с информацией о ходе анализа появляются на экране сразу же после завершения анализа.

Подробная информация о фактическом методе моделирования представлена в разделе «**Настройка и анализа описания**». Способ вывода результатов на экране можно установить

в диалоговом окне «**Настройка стиля изображения**».

В случае рассмотрения воды при анализе, в большинстве случаев есть возможность скопировать анализ УГВ в **Геобуфер** и вставьте его в другую программу.



Экран после завершения анализа

## Анализ переходных процессов потока

Фактический анализ протекает в две и более ступеней («**Движение потока**»), где на первом этапе предлагается задать начальные условия, т.е. распределение начального давления пор, начальный напор, степень насыщения и относительной проницаемости в начале переходного процесса анализ потока. Существует несколько вариантов для установки начального давления в порах:

- С помощью грунтовых вод
- Непосредственно с помощью границы разделов давления пор
- Выполнение устойчивого анализа состояния потока

Первый вариант предполагает, гидростатическое (линейное) распределение давления пор по высоте. Ниже УГВ программа генерирует положительные давления пор, в то время как выше УГВ отрицательные давления пор (всасывание) генерируются. Второй вариант позволяет при рассмотрении сухой почвы, предписывая, например, отрицательное давление пор во всей области инфильтрации. Третий вариант требует **запуска устойчивого состояния анализа**. На основании назначенной **модели материала** программа тогда определяет начальную степень насыщения и относительной проницаемости в зависимости от исходного давления пор. На рисунке 1 показано распределение начального давления пор, представленного устойчивого состояния анализа для

предполагаемых гидравлических условий. Очевидно, что ниже УГВ только давление представлено. Начальное состояние в ненасыщенной или частично насыщенной области можно судить частично путем построения например распределение начальной степени насыщения, как показано на рисунке 2. При выборе опции «**Нет воды**» начальные значения давления пор устанавливаются равными нулю.

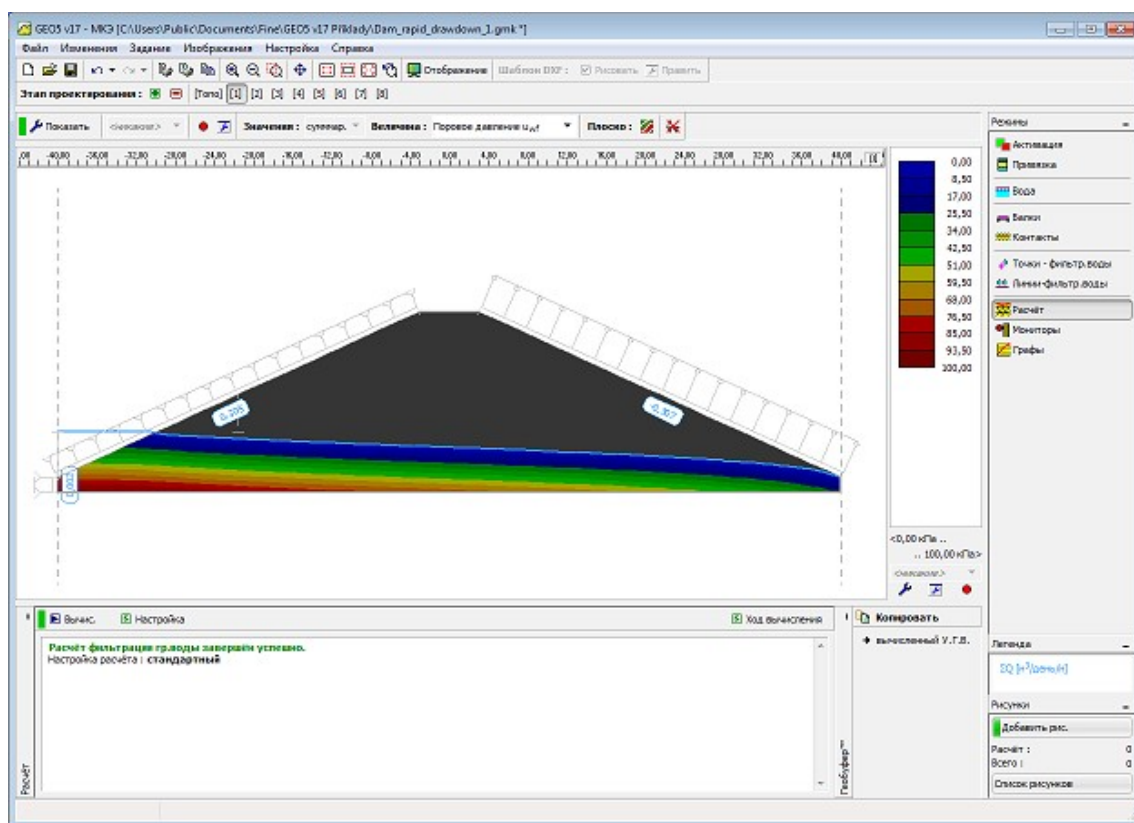


Рисунок 1 - Первый этап расчета: Распределение начального давления пор

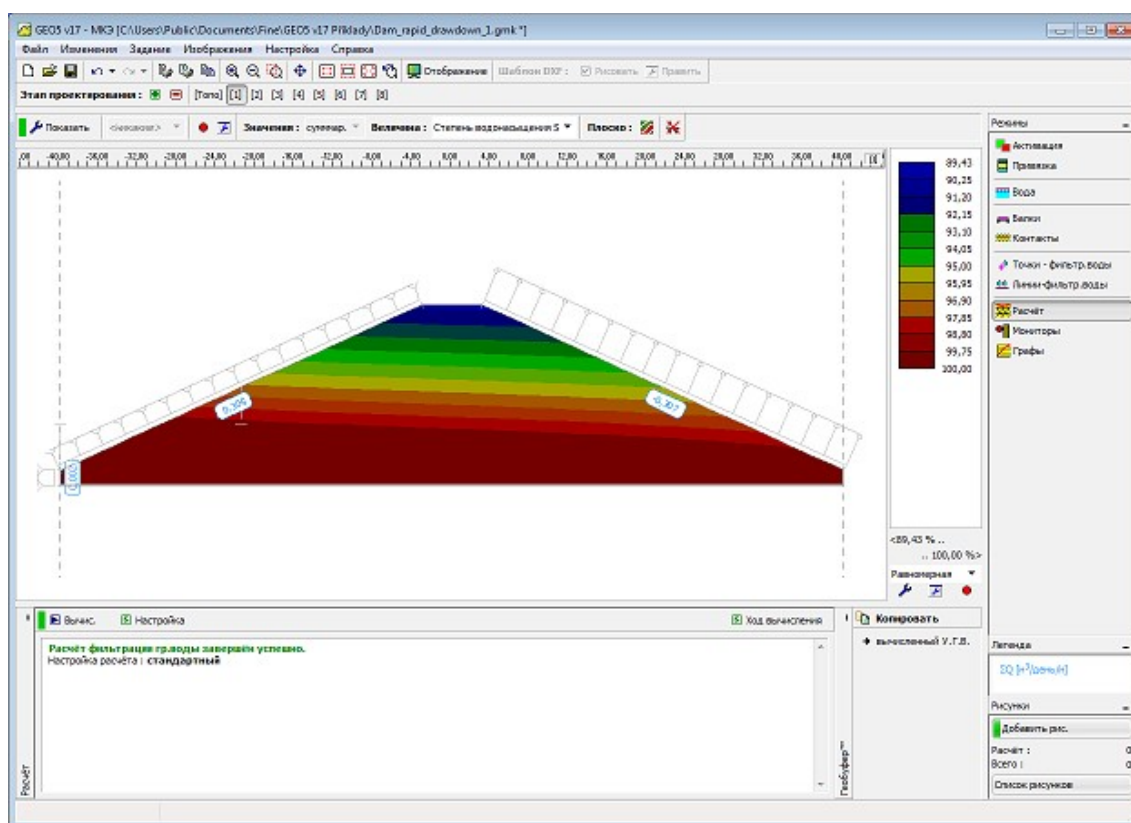


Рисунок 2 - Первый этап: Распределение начальной степени насыщения

Анализ кратковременного потока выполняется со второй стадии от того, где следующий этап следует за предыдущим. Каждый этап требует установки времени анализа, зависит от времени изменения границы (гидравлического) состояния и длину шага. Текущая версия программы позволяет либо ввести всю нагрузку сразу в начале стадии расчета или предположить, что она линейно возрастает со временем в ходе расчета стадии («Движение потока»). В первом случае начальный шаг времени установлен на 1/10 от назначенного временного шага. Далее, вычисление продолжается с назначенным временным шагом. Целесообразно, отрегулировать шаг времени в ходе анализа. Короткий временной шаг рекомендуется в начале анализа. При продолжительном времени, когда решение приближается к условиям устойчивого состояния, временной шаг может быть значительно увеличен (например, от 1/10 суток до нескольких дней). На рисунках 3 и 4 показано промежуточное состояние и стационарное решение, соответственно, что соответствует внезапному увеличению УГВ на втором этапе расчета. На рисунке 5 и 6 показаны аналогичные состояния, связанные с последующей быстрой просадкой моделируемой путем сброса первоначального уровня УГВ на седьмом этапе расчета.



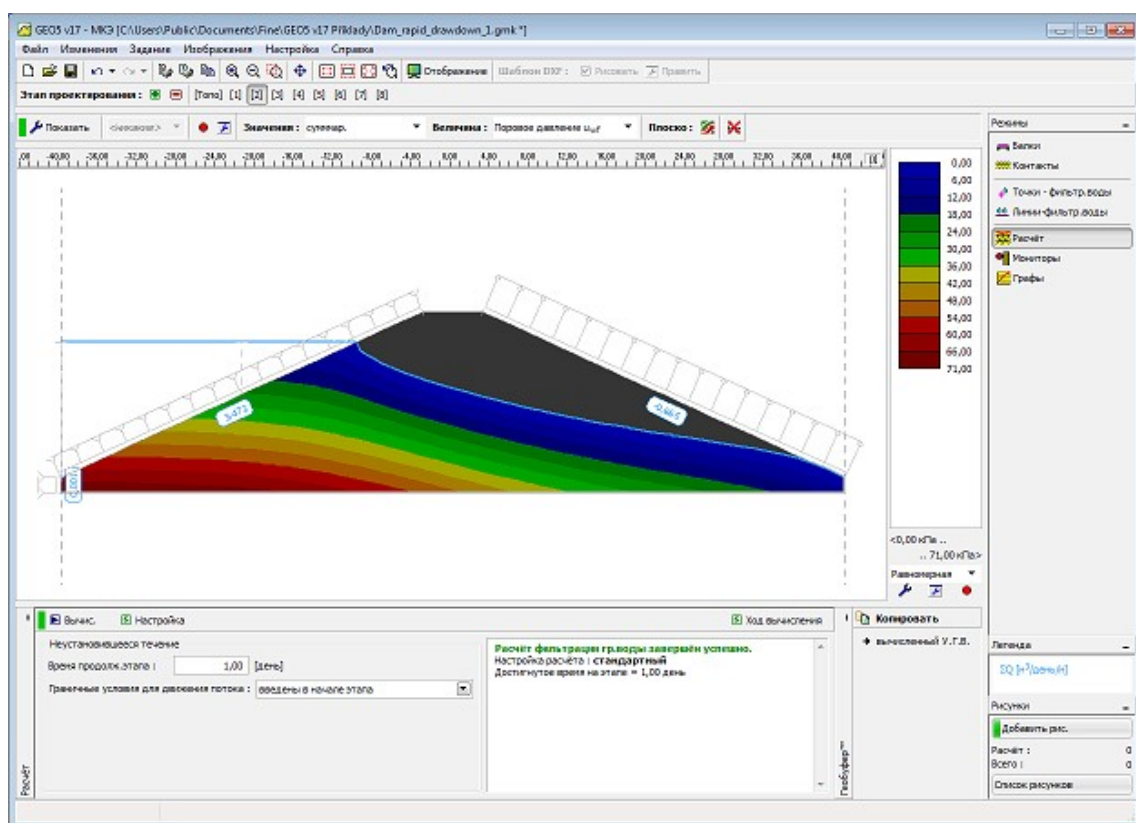


Рисунок 3 - Второй этап расчета: Распределение давления пор в заданное время анализа

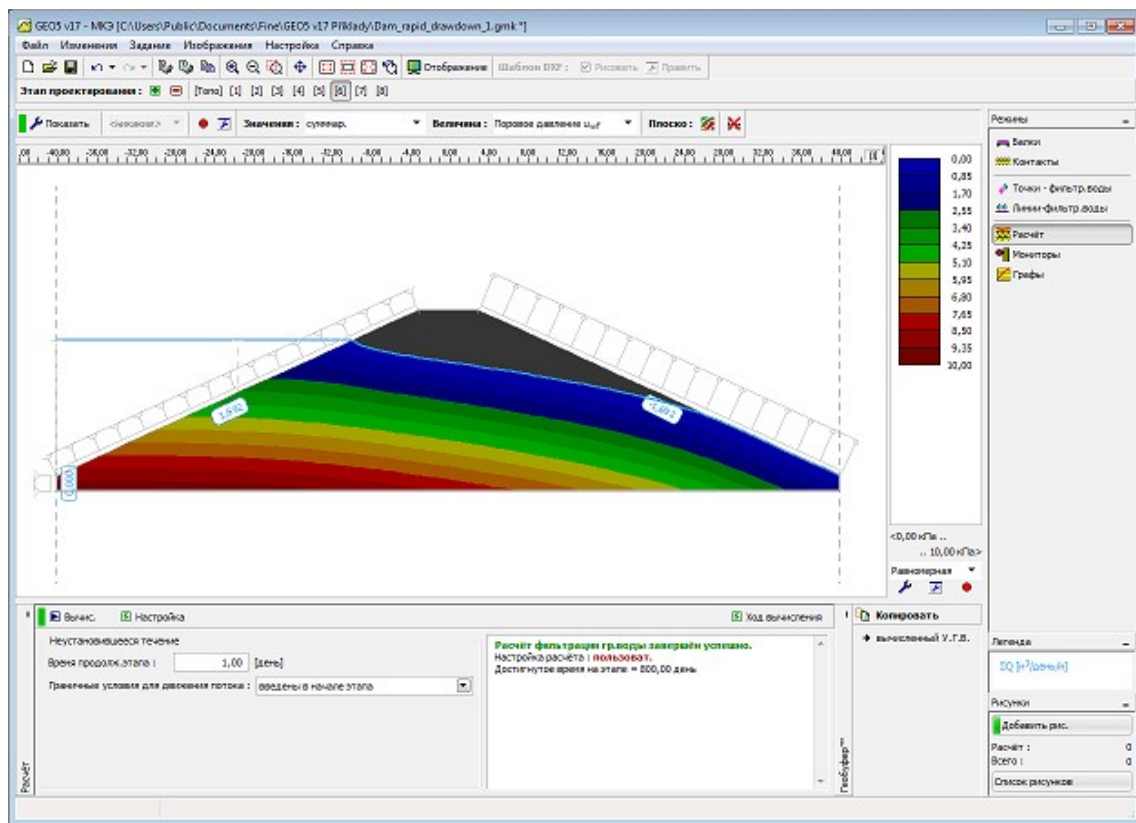


Рисунок 4 - Шестой этап расчета: Распределение устойчивого состояния давления пор

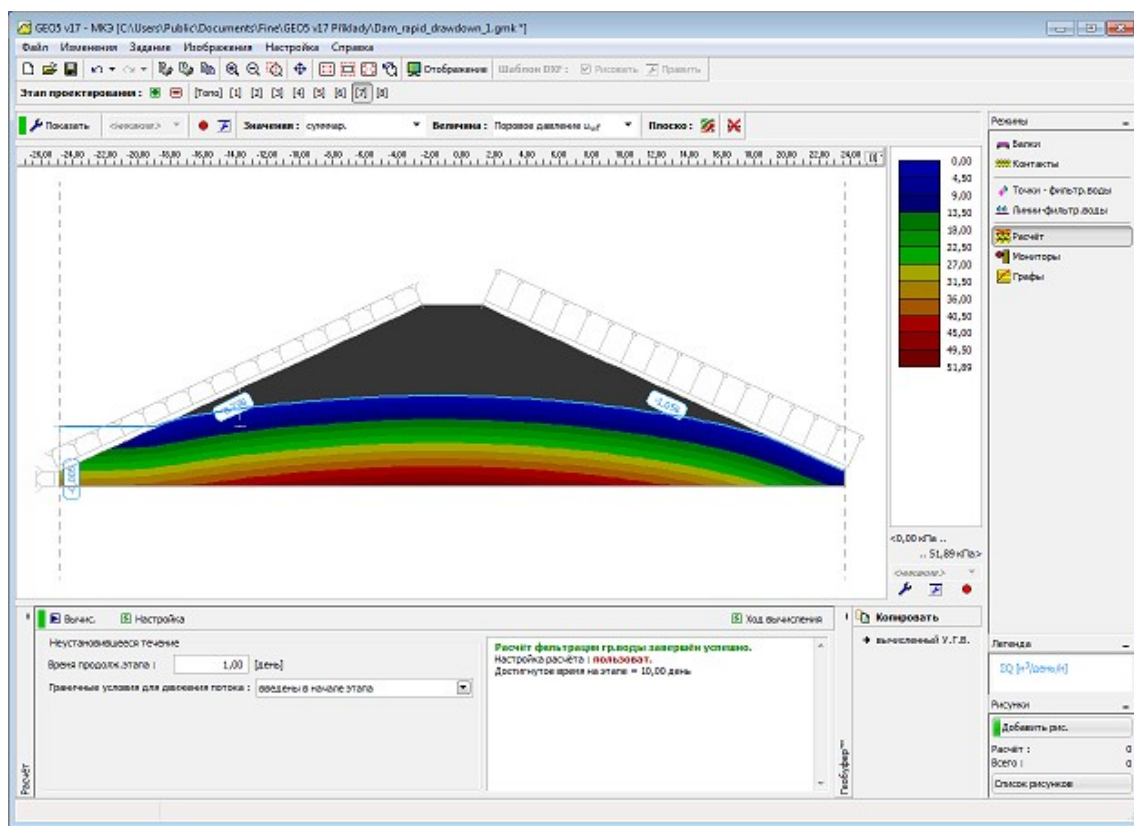


Рисунок 5 - Седьмой этап расчета: Распределение давления пор в заданное время анализа

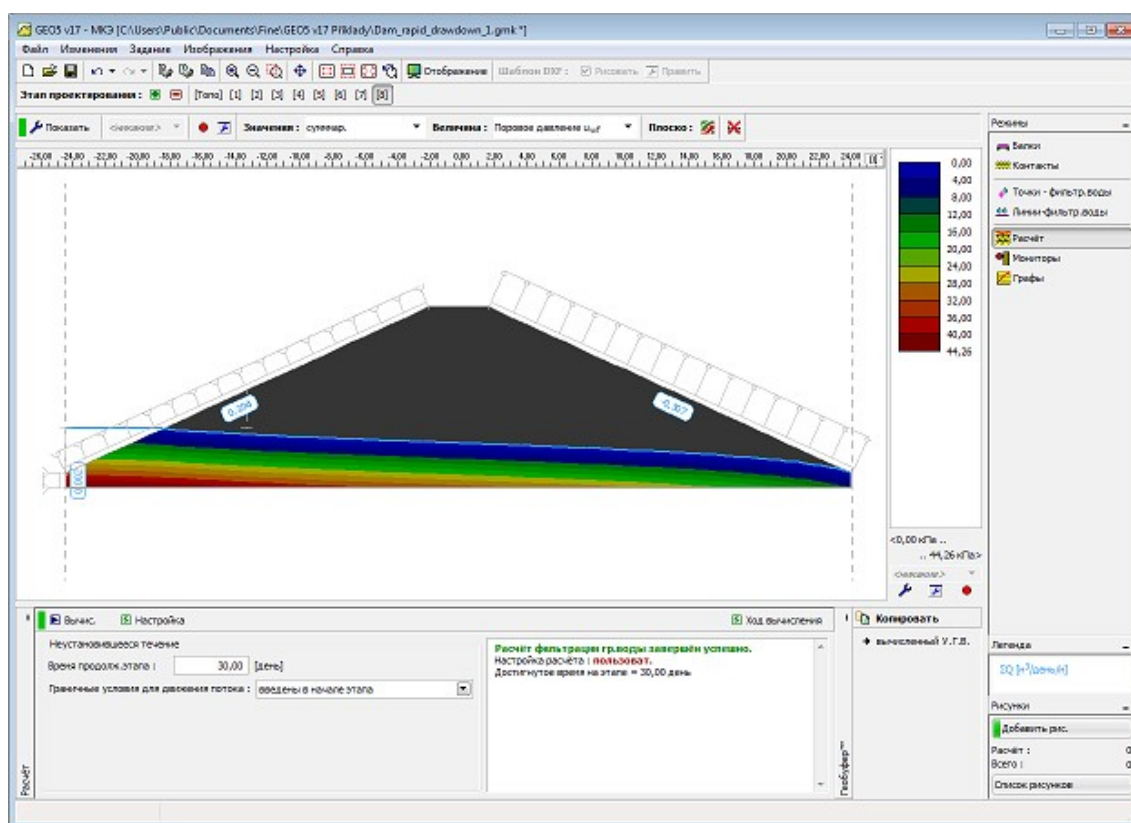


Рисунок 6 - Восьмой этап расчета: Распределение устойчивого состояния давления пор

## Рекомендуемый порядок моделирования

Решение геотехнических задач с использованием метода конечных элементов является относительно сложной задачей. Но все же, большинство пользователей пытаются проанализировать всю сложную структуру с самого начала - найти причину возможных потерь сходимости может тогда становиться весьма сложно. Поэтому мы рекомендуем следующий подход:

### 1) Определение всей топологии структуры

2) Предположим, упругий отклик почв и контактных элементов (использовать **линейные модели**)

3) Создать грубую сетку

4) Определите все **этапы расчетов**

5) Выполнить **анализ** всех этапов расчета (достаточно запустить анализ последней стадии строительства - анализ всех предыдущих стадии осуществляются автоматически).

### 6) Оценить ход анализа

Если анализ не удался, вычислительная модель неверно определена - например балки имеют слишком много внутренних петель в результате в кинематически неопределенной структуре, стойку не правильно подключили к структуре и т.д. Программа содержит ряд встроенных процедур проверки, чтобы предупредить пользователя о возможных недостатках в определении модели. Некоторые ошибки, однако, не могут быть раскрыты до запуска программы.

Если все этапы были успешно проанализированы, мы рекомендуем пользователю



проверить результирующие смещения и таким образом также объективность используемых параметров почвы и структуре жесткости. Заметим, что использование нелинейных моделей всегда приводит к более крупным смещениям по сравнению с чисто упругой реакцией - следует, упругие смещения могут быть чрезмерно большими, мы должны сначала отрегулировать вычислительную модель, прежде чем принять любую из доступных моделей пластичности.

Если анализ удался и смещения являются разумными, мы можем действовать следующим образом:

**7) Заменить линейные модели** соответствующими **пластическими моделями** (Мора-Кулона, Друкер-Прагер)

**8) Выполнить анализ и оценить результаты** в соответствии со стадией 6

**9) Добавить нелинейные контактные элементы**

**10) Выполнить анализ и оценить результаты** в соответствии со стадией 6

**11) Уточнить и отрегулировать конечно-элементную сетку** и выполнять **окончательный анализ**.

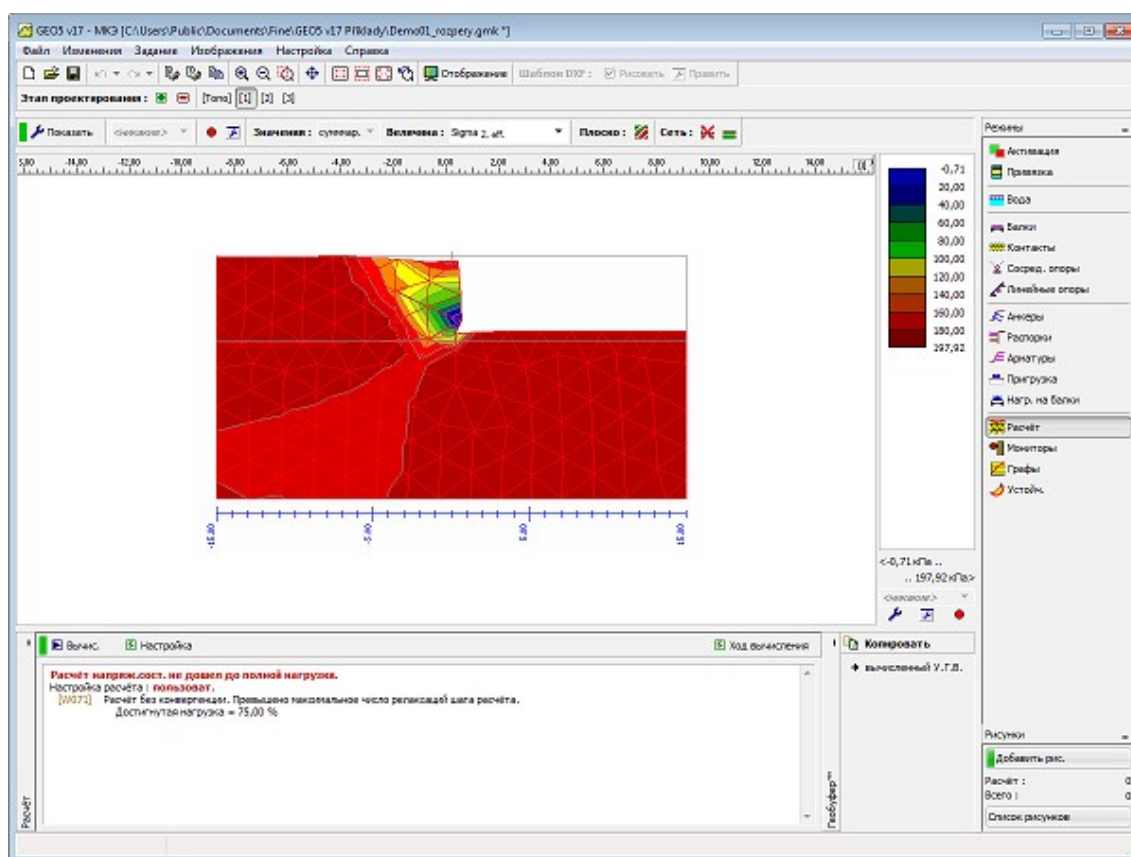
Хотя этот подход может показаться довольно громоздким и сложным, он может сэкономить значительное количество времени при поиске причины отказа (потери сходимости) анализа сложных проблем.

## Потеря сходимости нелинейного анализа

Потеря сходимости решения нелинейного анализа требует определенных **модификаций базовой модели вычислений** - следующие этапы могут быть приняты:

- Увеличение жесткости конструкции
- Уменьшить прилагаемые нагрузки
- Разделить выемку грунта в несколько этапов
- Улучшение материальных параметров уже существующих грунтов
- Изменить **материальную модель** почв в местах пластичности
- Добавить армирующие элементы (балки, якоря)
- Добавить опоры
- Изменить **значения параметров**, влияющие на итерационный процесс (увеличить число итераций).

**Распределение пластических деформаций** может обеспечить какое-то объяснение тому, почему анализ не сходится. Следует отметить, что распределение эквивалентной пластической деформации определяет местонахождение области вероятного развития критических поверхностей обрушения.



*Анализ не сходится - участок эквивалентной пластической деформации*

## Настройка и описание анализа

**Значения параметров по умолчанию, которые оптимизируют результат** анализа, обеспечивают достаточно точный и эффективный анализ. Тем не менее, опытный пользователь может изменить настройки по умолчанию и изучить влияние параметров на точность и ход анализа. Настройки параметров можно регулировать в диалоговом окне **«Настройка расчёта»**.

Тем не менее, изменение стандартной настройке заслуживает **слов предостережения**. До внесения изменений, пользователь должен быть хорошо осведомлен о возможных последствиях. В частности, ненадлежащая установка может существенно замедлить процесс вычислений, может вызвать расхождение и в конечном итоге привести к **неверным результатам**.

- Метод решения
- Изменения в матрице жесткости
- Начальный этап решения
- Максимальное число итераций
- Критерий сходимости
- Настройки метода Ньютона-Рафсона
- Метод настройки длины дуги
- Метод поиска линии

- Пластичность

Настройка по умолчанию может быть всегда восстановлен нажатием кнопки «Стандартный».

## Метод решения

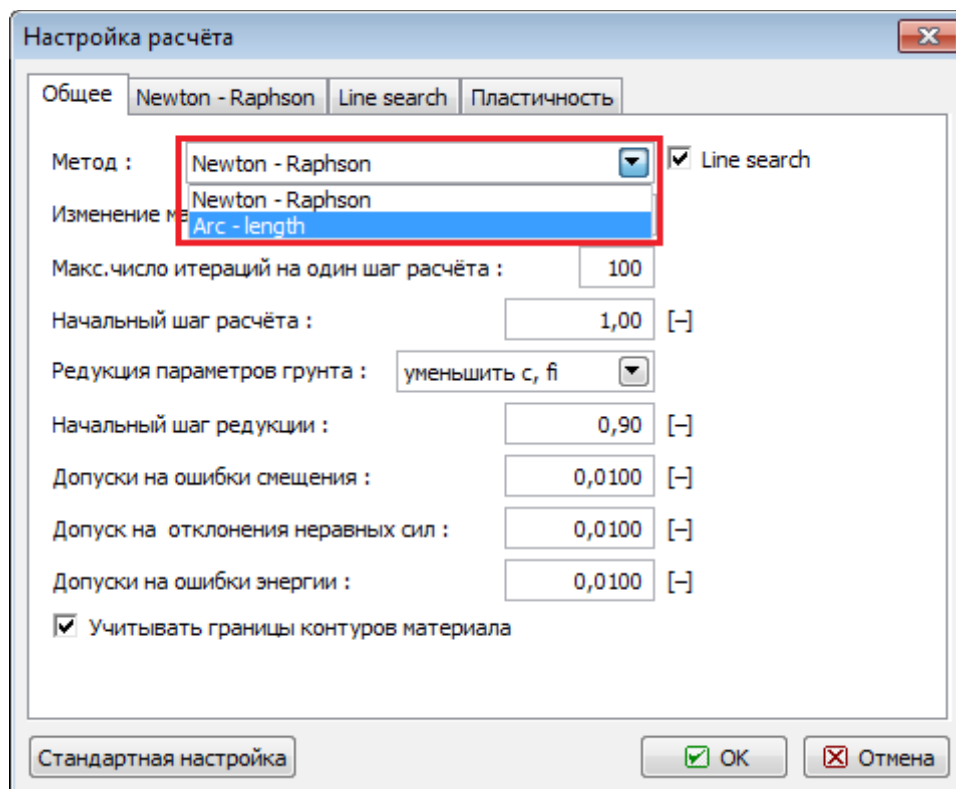
Программа МКЭ служит для анализа геотехнических проблем, характеризующихся нелинейным откликом грунта или тела скальной породы. Успешный анализ большинство из таких задач требует итерационного решения данной краевой задачи. Применение метода конечных элементов (МКЭ) приводит к некоторым условиям равновесия, записанных как:

$$K_T \cdot \Delta u = \Delta f$$

где:  $K_T$  - мгновенная матрица жесткости  
 $\Delta u$  - вектор приращений узловых смещения  
 $\Delta f$  - вектор приращений из собственного баланса сил

Это уравнение можно решить лишь приближенно с помощью подходящего численного метода. Цель этого метода состоит в том, чтобы прибывать, в процессе итерации, в таком состоянии стресса и напряжения, удовлетворяющее условию  $\Delta f = 0$ , для этого **программа предлагает** два основных метода:

1. Метод Ньютона-Рафсона - NRM
2. Метод длины дуги - ALM



Настройки анализа - Настройки методов решений

## Изменение матрицы жесткости

Полный **метод Ньютона-Рафсона** предполагает, что мгновенная касательная матрица жесткости образована в начале каждой новой итерации.

Формирование новой касательной матрицы жесткости только в начале новой ступени нагрузки приводит к так называемому модифицированному методу Ньютона-Рафсона.

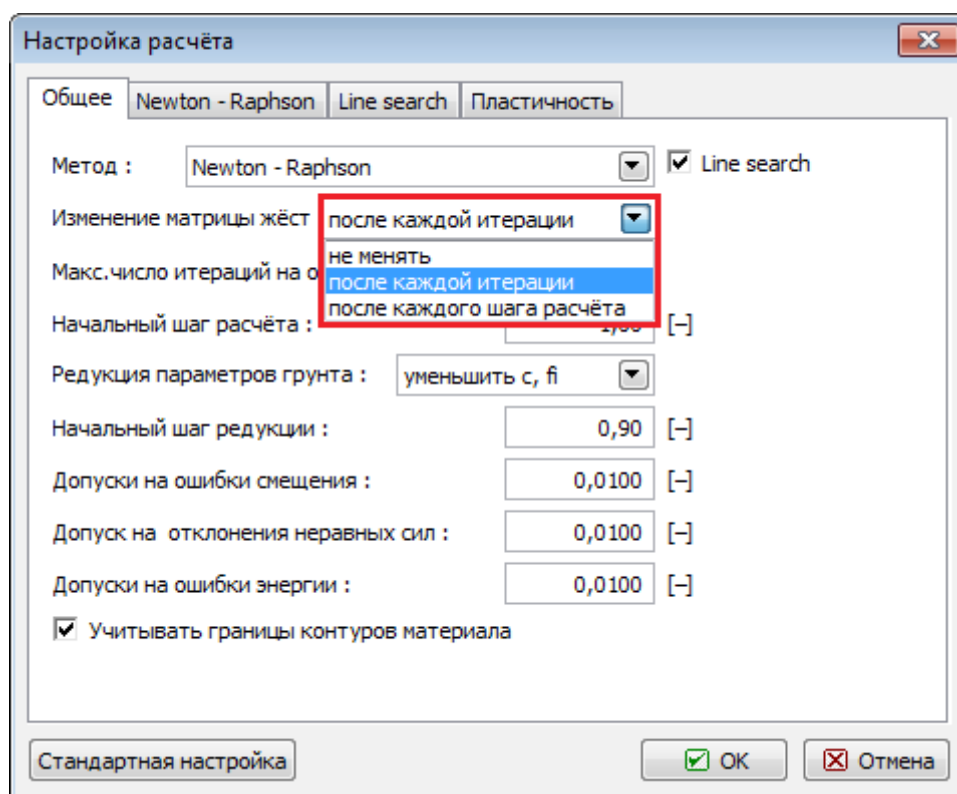
Если матрица жесткости формируется только один раз в начале анализа решения получаем так называемый метод первоначального напряжения.

Отдельные методы могут быть выбраны из «**Параметры анализа**» раздела диалогового окна «обновление жесткости». Соответствующие настройки:

1. **Сохранить упругость** - первоначальный метод напряжения
2. **Каждая итерация** - полный метод Ньютона-Рафсона
3. **Каждый шаг нагрузки** - модифицированный метод Ньютона-Рафсона

Значение по умолчанию предполагает полный алгоритм Ньютона-Рафсона (*обновление жесткости после каждой итерации*). Обратите внимание, что формулировка матрицы жесткости соответствует алгоритму обновления напряжения. Такой состав обеспечивает то квадратичную сходимость полного Ньютона-Рафсона (NRM) в отличие от модифицированной NRM или начальный метод напряжения, что, по сравнению с полной NRM, требует значительно больших взаимодействий для достижения равновесия.

С другой стороны, было бы справедливо отметить, что вычислительные затраты на итерацию определяется главным образом расчетом и факторизацией касательной матрицы жесткости. Предполагая, упругую характеристику структуры становится очевидно бессмысленно создать структурную матрицу жесткости более чем один раз (обновление жесткости - поддерживать упругость). Напротив, увеличивая степень нелинейности предполагает более частые жесткости переформулировок (обновления жесткости - каждой итерации).



Метод Ньютона-Рафсона - матрица жесткости параметры обновления

## Начальный шаг решения

Фактический анализ проводится постепенно в несколько этапов нагрузки, пока общая нормативная нагрузка не будет достигнута.

Программа требует установки только **начального шага нагрузки**.

Этот параметр представляет **собой соотношение между нагрузкой, приложенной в заданной нагрузке шага к общей предписанной нагрузке**. В зависимости от хода итерации этот параметр адаптивно регулируется.

Значение по умолчанию предполагает 25 % от общей предписанной нагрузки. Подобно тому, как мы уже упомянули, что это справедливо, что повышает сложность решения из нелинейного точки отклика зрения требует сокращения этого параметра. Тем не менее, в случае упругого отклика этот параметр может быть равным 1, что соответствует решению данной проблемы в один шаг нагрузки.

## Максимальное количество итераций

Этот параметр представляет **собой максимальное число итераций**, допустимых для одного шага нагрузки для достижения состояния равновесия.

Превышение этого значения, предлагаемого программой, автоматически **уменьшает текущее значение предполагаемого шага** нагрузки и перезапускает решение от последнего уровня нагрузки, которая соответствует состоянию равновесия. Аналогичные меры принимаются тогда, когда колебание или дивергенция программы является неизбежным.

## Критерий сходимости

Для дополнительных стратегий решения на основе одного из итерационных методов чтобы быть эффективным, необходимо выбрать подходящие критерии (заранее заданных допусков для достижения равновесия) для **прекращения итерационного процесса**.

Обратите внимание, что свободные критерии конвергенции могут привести к ошибочным результатам в то время как слишком жесткие допуски конвергенции могут привести к неоправданному увеличению вычислительной стоимости чтобы прийти к результатам избыточной точности.

В программе сходимость сверяется с изменением приращений узловых перемещений, смены вне сбалансированных сил, а также изменения внутренней энергии. Последний критерий дает определенное представление о том, как оба перемещения и силы подходят к своим равновесным значениям. Соответствующие настройки:

1. **Допуск ошибки смещения** - допуск для изменения приращения смещения нормы.
2. **Допуск вне сбалансированных сил** - допуск для изменения вышедшего из баланса сил нормы.
3. **Допуск ошибки энергии** - допуск изменения внутренней энергии.

По умолчанию установлено значение 0,01 для **всех конвергенции допусков**.

## Настройка метода Ньютона-Рафсона

С помощью метода Ньютона-Рафсона ход итерации можно управлять, задав следующие параметры:

**1) Фактор релаксации** - это представляет собой значение сокращения текущего шага нагрузки для перезагрузки, обеспечивающей решение не сходится. Новое значение предполагаемого шага нагрузки определяется из выражения:

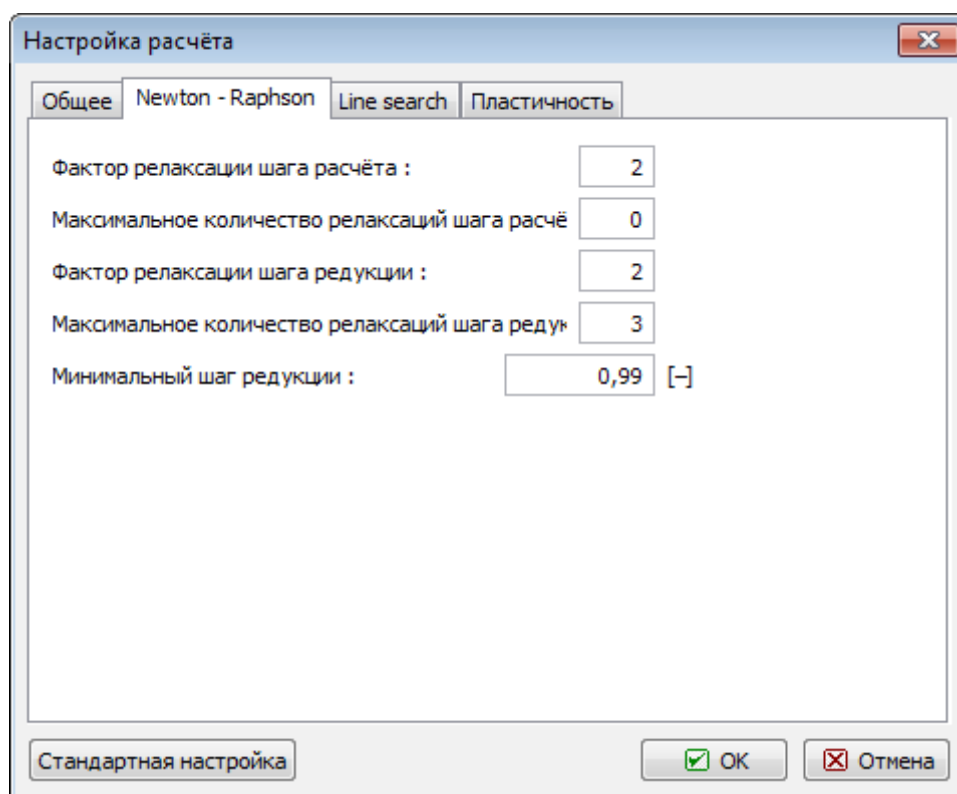
**Новый шаг нагрузки = шаг старой нагрузки / коэффициент релаксации**

**2) Максимальное количество релаксаций для одного шага нагрузки** - этот параметр определяет, сколько раз можно ссылаться на вышеупомянутые действия в течение всего анализа. Превышение этого значения подсказывает программе прекратить анализ. Результаты будут доступны для последнего успешно конвергентного уровня нагрузки.

**3) Минимальное количество итераций для одного шага нагрузки** - этот параметр позволяет возможности ускорения анализа. В частности, обеспечение числа итераций, сходятся в последнем шаге нагрузки меньше, чем минимум одного набора, шаг нагрузки для нового прироста нагрузка увеличивается следующим образом:

**Новый шаг нагрузки = шаг старой нагрузки \* коэффициент релаксации**

Значение по умолчанию из перечисленных выше параметров соответствуют значениям отображаемых на рисунке:



Параметры ввода итерационного процесса

## Настройка метода длины дуги

Метод длины дуги (ALM) относительно надежный метод особенно подходит для решения задач, которые требуют поиска коллапса нагрузки структуры. Анализ устойчивости земляных сооружений (откосы, склоны) является лишь одним конкретным примером такой задачи. В отличие от NRM, где решение приводится исключительно, предписывая приращения нагрузки, ALM вводит дополнительный параметр, представляющие определенное ограничение на стоимость приращения нагрузки в данной нагрузке шагом. Значение шага нагрузки таким образом, зависит от хода итерации и имеет непосредственное отношение к выбранной длины дуги.

Основное предположение метода является то, что предписано нагрузке пропорционально изменяться при расчете. Это означает, что конкретный уровень приложенной нагрузки может быть выражен как:

$$\bar{F} = \lambda \cdot F$$

где:

- $F$  - текущая доля от общей приложенной нагрузки
- $\lambda$  - коэффициент пропорциональности
- $F$  - общая предписанная нагрузка

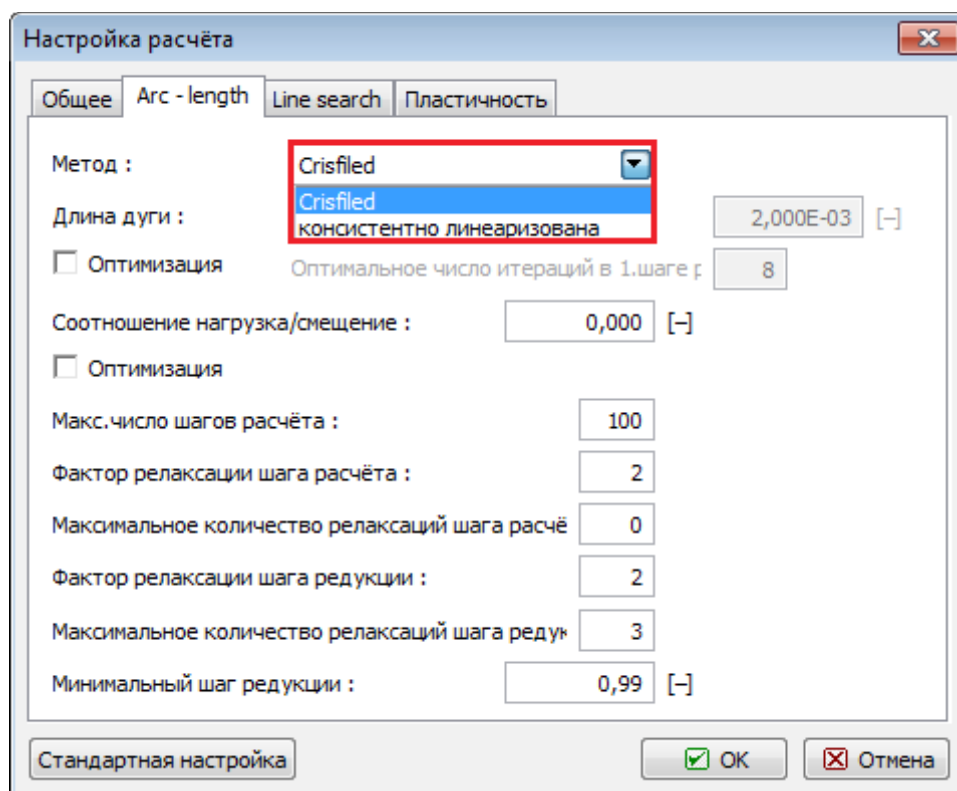
Обратите внимание, что с ALM вектор загрузки  $\mathbf{F}$  представляет только определенный опорный груз, который поддерживается постоянным в течение всего расчета отклика. Фактическое значение нагрузки в конце расчета равна  $\lambda$  кратного  $\mathbf{F}$ ;  $\lambda < 1$  представляет состояние, когда фактическая несущая способность конструкции меньше предписанной контрольной нагрузки; если  $\lambda$  в конце расчета отклика превышает 1, программа



автоматически регулирует длину дуги для того, для решения сходится к значению  $\lambda = 1$  в пределах выбранного допуск, равным 0,01 (1 % максимальная загрузки применяется). Это значение не может быть изменено.

В литературе предлагает ряд ALM формулировок. Программа поддерживает метод, предложенный Крисфилд и последовательно линейаризованным методом, предложенным Рамм. Последний значительно прост, по крайней мере, от разработки точки зрения, чем метод Крисфилд. С другой стороны, как сообщается, менее надежными. Настройка по умолчанию является метод Крисфилд.

Другие важные параметры метода «**Настройка длины дуги**» и «**Автоматическое управление длиной дуги**».



*Длина дуги - настройки типа метода длины дуги*

## Установка длины дуги

Длина дуги является основным параметром, влияющим на расчет отклика. Индикатором для выбора длины дуги может быть ход итерации в предыдущем этапе решения. Независимо от того, что программа позволяет следующий параметр:

1. **Определить из стадии нагрузки** - длина дуги определяется автоматически с начального шага нагрузки.
2. **Принять из предыдущего этапа** - значение длины дуги в конце предыдущей стадии расчета используется в качестве исходного значения для нового этапа. Эта опция становится активной на втором этапе строительства.
3. **Ввод** - значение длины дуги может быть непосредственно предписано.

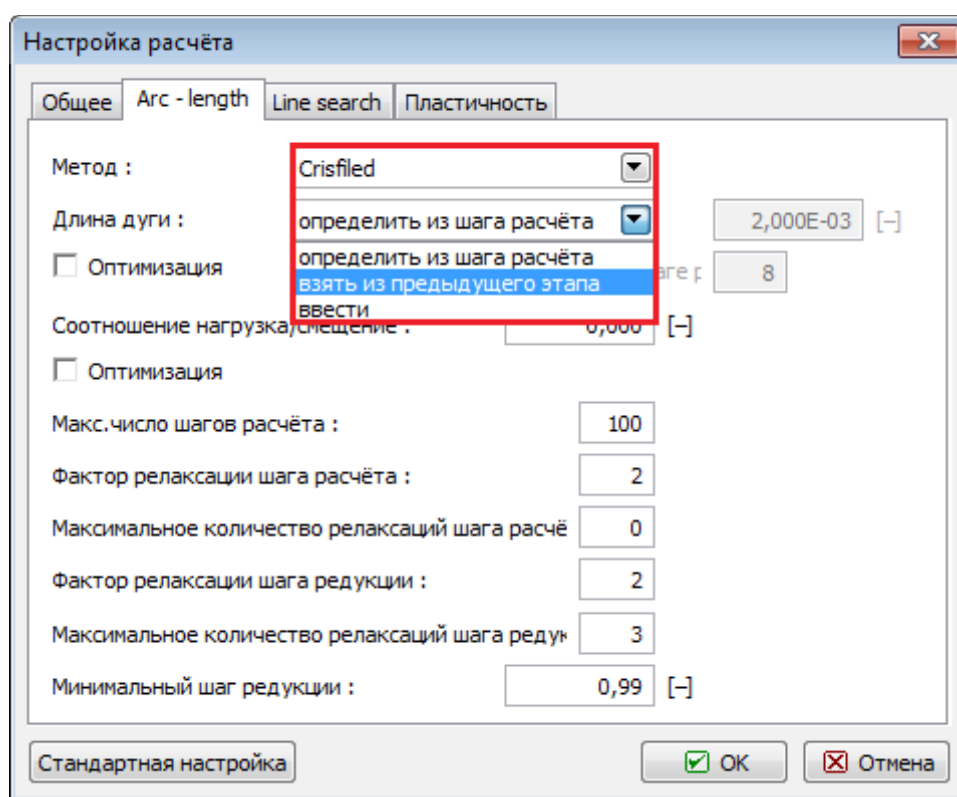
Обеспечение реакции структуры не может быть определена предварительного мы рекомендуем использовать первый вариант. В зависимости от курса расчета можно

отрегулировать значение длины дуги и повторить расчет. В любом случае, однако, это возможно для обеспечения сходимости для произвольного значения выбранной длины дуги. Аналогично NRM, если возникают проблемы конвергенции программа позволяет уменьшить текущие длины дуги и перезапускает расчет.

Следующий параметр запуска итерационного процесса является *максимальное число уровней нагрузки*. Программа всегда проводит в предписанном количестве уровней нагрузки, обеспечивающих:

- параметр  $\lambda$  превышает 1
- максимальное число релаксаций длины дуги превышен.

Проведение анализа прекращается из-за превышения максимального количества предписанных уровней нагрузки и параметр  $\lambda$  меньше 1, необходимо увеличить количество шагов и перезапустить анализ.



Длина дуги - установка длины дуги

## Автоматического управления длиной дуги

Автоматическая стратегия управления длины дуги составляет очень важную часть реализации любого численного метода. Программа позволяет адаптивно регулировать текущую длину дуги для нового шага нагрузки в зависимости от курса итерации в предыдущем шаге по активации опции **Оптимизировать**. Программа будет пытаться выбрать значение длины дуги, которая держит нужное количество итераций на каждом этапе нагрузки, необходимой для конвергенции - опция **Оптимальное количество итерации в одну стадию нагрузки**.

Следующий параметр запуска процесса итерации является **Коэффициент нагрузки/смещения**. Этот параметр представляет собой скалярный множитель, который регулирует масштабы нагрузки параметром  $\lambda$  и вектор перемещений  $u$ . предоставляя этот

параметр достаточно большим анализом в основном за счет увеличения нагрузок. При установке этого параметра равным 0 (по умолчанию), получим так называемую цилиндрическую ALM и анализ будет зависеть от прироста смещения. Этот подход является более стабильным и рекомендован авторами. Тем не менее, программа позволяет оптимизировать этот параметр путем активации опции «**Оптимизировать**». В таком случае текущее значение данного параметра устанавливается равным текущему параметру жесткости Берган, что обеспечивает скалярную меру степени нелинейности. С увеличением степени нелинейности этот параметр уменьшается. В непосредственной близости от коллапса значение этого параметра равно нулю и решение обусловлено приращением смещения. Эта стратегия, которая поддерживает использование цилиндрического метода, **имеющего параметр нагрузки/смещения**, равно нулю.

*Длина дуги - автоматическое управление длиной дуги*

## Метод поиска линии

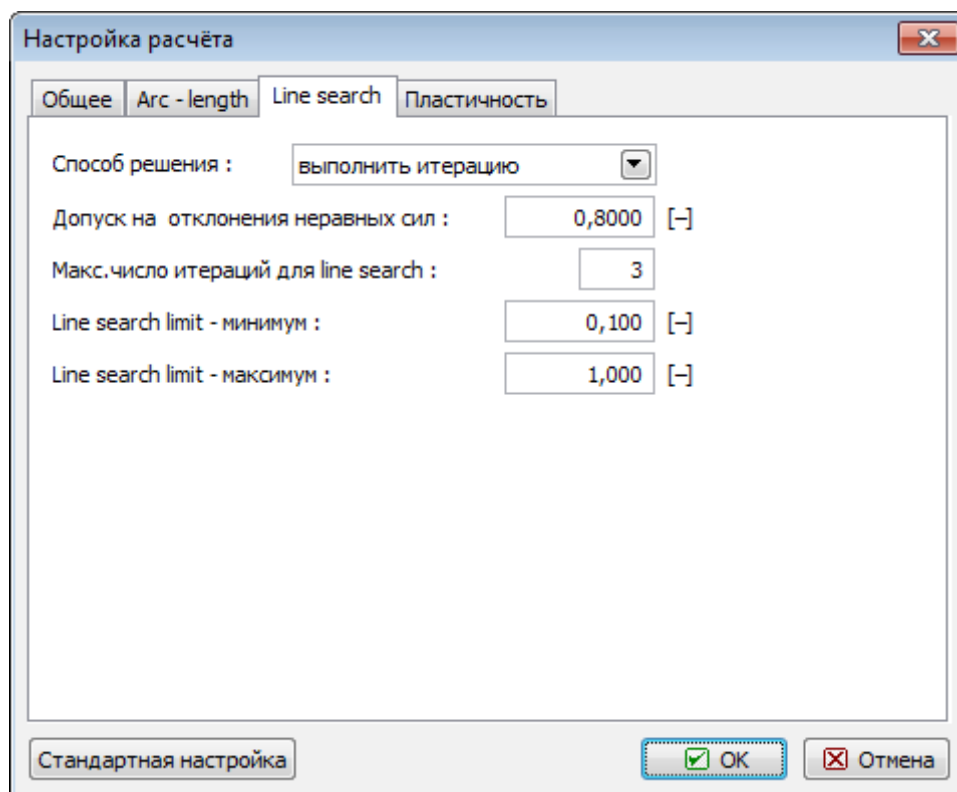
Основная цель метода поиска линии является определение скалярного множителя  $\eta$ , который используется для масштабирования текущего прироста смещения так, что равновесие удовлетворяется в заданном направлении. Фактический вектор смещения в конце  $i$ -той итерации таким образом, становится:

$$u_i = u_{i-1} + \eta \Delta u$$

Следовательно, процесс расчета либо ускоряется,  $\eta > 1$ , или затухают,  $\eta < 1$ . Очевидно, что при поиске линии осуществляется каждая итерация, расход итераций увеличивается. С другой стороны, этот недостаток компенсируется меньшим числом итераций, необходимых для сближения и по возможности избежать расхождение или колебание процесса итерации. По умолчанию использование линейного поиска включено.

Неопытному пользователю рекомендуется использовать настройку по умолчанию, видно

из рисунка.



*Настройки метода поиска линии*

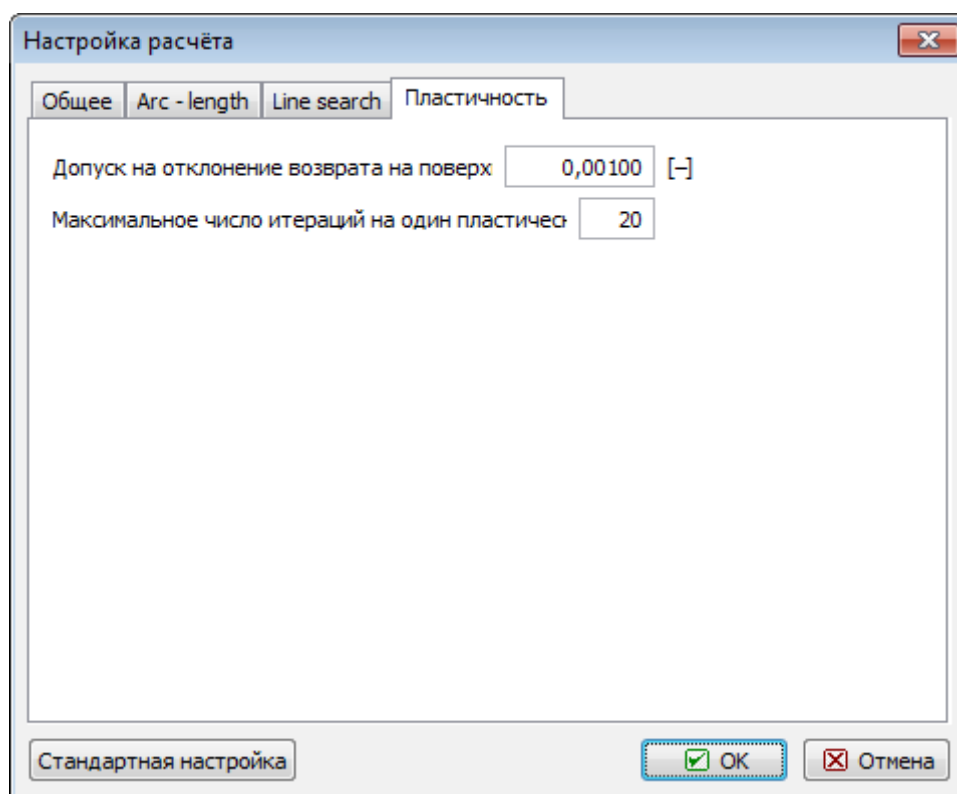
## Пластичность

Диалоговое окно **Пластичность** служит, чтобы установить параметры, управляющие процедурой обновления напряжения.

Параметр **«Вернуться дают допуск поверхности»** указывает на допуск для удовлетворения выбранного условия текучести. Предполагая, нелинейное упрочнения / смягчение, как и в случае модифицированной модели Cam глины отображение возвращения напряжения требует итерационный процесс.

Максимальное число допустимых итераций тогда задается **«Макс. Кол-во итераций для одного пластического шага»** параметра. При использовании жесткопластического варианта Мора-Кулона, Друкер-Прагер или модифицированной модели Мора-Кулона, эти параметры не будут применяться.

Значение по умолчанию, показанные на рисунке, рекомендуется.



Параметры запуска сопоставления возвращаемого напряжения

## Ход анализа

Ход анализа можно просматривать в нижней части экрана.

**Эластичный** анализ будет завершен в **одном расчетном шаге**. Нелинейный анализ выполняется в несколько этапов - внешняя нагрузка постепенно увеличивается в несколько **загружающих (расчетных) шагов**. Анализ завершается успешно, если нет потери общей конвергенции, так что 100 % от требуемой нагрузки будет достигнута.

Значение параметров по умолчанию, которые управляют анализом решения, оптимизированы, чтобы гарантировать достаточную точность и эффективность анализа. Тем не менее опытный пользователь может потребовать, чтобы изменить настройки по умолчанию или исследовать влияние параметров на точности и курсе анализа. Настройка параметров можно регулировать в диалоговом окне «**Настройка расчёта**»:

- **Процент параметра приложенной нагрузки** дает процент полной нагрузки (исключенное значение) в конце текущего шага загрузки, принимающего успешную сходимость для текущего шага загрузки.
- Параметр **размера Шага** обеспечивает текущий масштабный коэффициент для определения инкремента загрузки на текущем шаге загрузки.
- Параметр **Запаса прочности** соответствует математическому ожиданию запаса прочности, принимающего успешную сходимость для данных параметров  $c$ ,  $\varphi$ .

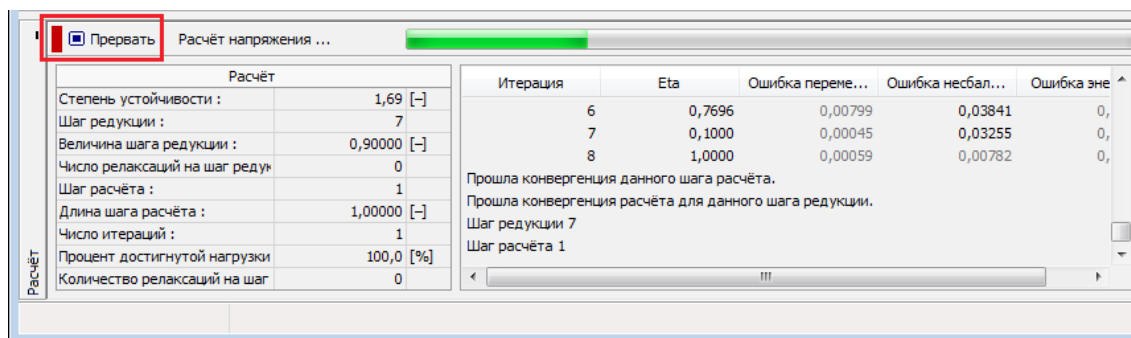
Ход итерации в пределах заданной нагрузки шага характеризуется изменением параметров конвергенции:

- $\eta$  - Параметр метода поиска линии
- изменение приращения смещения нормы

- изменение вышедшего из баланса силы нормы
- изменение внутренней энергии

Если все три ошибки меньше, чем предусмотренные **допуски ошибок** (можно редактировать в диалоговом окне «**Настройки**»), анализ на этапе расчета прекращается.

Кнопка «**Прервать**» служит для завершения процесса вычисления. Результаты будут доступны для последнего уровня нагрузки, которая соответствует состоянию равновесия.



*Ход анализа*

## Результаты

Визуализация (построение) результатов является одной из наиболее важных особенностей программы. Программа позволяет выбрать из нескольких основных стилей графических выходов, которые определяются в диалоговом окне «**Настройка рисования : Расчёт**».

- рисовать **деформированную сетку**
- поверхность участка переменных развитых **внутри тела почвы / скальной породы** (суммарные значения или их приращения в отношении другой стадии расчета могут отображаться)
- **внутренние силы** распределены вдоль балки, контактов
- **силы анкеров и силы реакции**
- **кривая депрессии**
- **наклонные участки** переменных
- **векторы и направления** переменных

Для отображения результатов программы работают следующие **системы координат**.

Панель инструментов «**Результаты**» в верхней части экрана служит для выбранных переменных, которые будут отображаться и то, как они должны появиться на экране. Цветовая схема показана в правой части рабочего стола. Ее особая настройка может регулироваться с помощью «**Настройка палитры**» панель инструментов.

Потому что правильная настройка выходов может часто занимать много времени, программа располагает удобной системой **хранения и управления различными параметров**.

Все выходы и отдельные результаты могут быть дополнительно распечатаны из **протокола анализа**.

## Панель инструментов - Результаты

Панель инструментов содержит следующие элементы управления:

Значения : суммар. ▾ Величина : Осадка  $d_x$  ▾ Плоско : изоповерхности ▾ Сеть : (не показывать) ▾ недеформированная ▾

*Панель инструментов «Настройка визуализации графических выходов»*

Отдельные элементы работают следующим образом:

Значения : суммар. ▾	<b>Значения в этапах анализа</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>отображает вычисленные значения (можно увидеть либо всего или дополнительных значений по отношению к выбранной <b>стадии строительства</b>)</li> </ul>
Величина : Осадка $d_x$ ▾	<b>Тип переменной</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>отображает выбранную <b>переменную</b></li> </ul>
Плоско : изоповерхности ▾	<b>Площадь участка</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>включает/выключает построение изолиний, изоповерхностей</li> </ul>
Сеть : (не показывать) ▾	<b>Сети</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>включает/выключает стиль построение FE сети (только края, или в соответствии с настройкой в диалоговом окне - «<b>МКЭ - установка изображения результата</b>»)</li> </ul>
недеформированная ▾	<b>Перемещения участка</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>выбирает стиль построения деформированной сетки - недеформированная / деформируется (деформируется по величине, деформированного на коэффициент)</li> </ul>

Панель инструментов содержит наиболее часто используемые элементы управления, необходимые для просмотра результатов на рабочем столе. Детальная настройка для стиля графики результатов доступен в диалоговом окне «**МКЭ - установка изображения результата**».

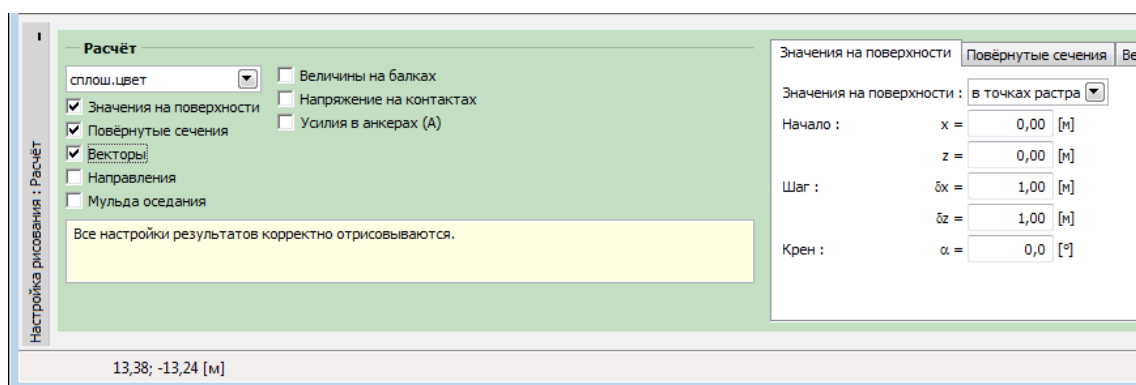
Подобно другим нашим программам результаты можно сохранить и распечатать. Стиль построения можно регулировать в диалоговом окне «**Настройка рисования**».

## Настройка рисования : Расчёт

В рамке «**Настройка рисования : Расчёт**» устанавливают значения и способ их вырисовывания. Впоследствии заданные настройки можно **сохранить** при помощи панели управления «**Сохранённые виды**».

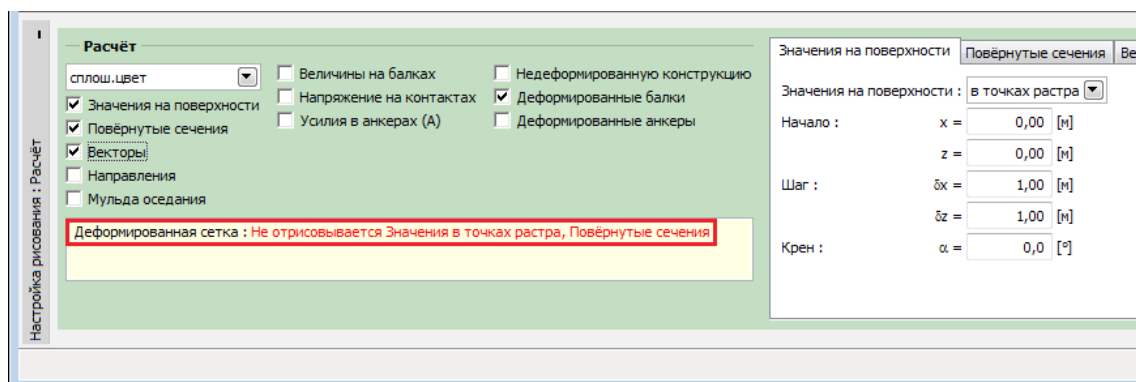
В закладке «**Значения на плоскости**» устанавливаем исходные параметры отображения величины плоскости и сетки - в других закладках задаём другие типы вывода результатов.





Рамка «Настройка рисования : Расчёт» закладка «Значения на плоскости»

Есть такие результаты, которые **нельзя вырисовывать одновременно** из соображений ясности и наглядности. Напр., нельзя вырисовывать деформированную конструкцию и одновременно распределение внутренних сил на балке - нужно выбрать только один вариант. В случае, что заданы недопустимые комбинации выводимой информации программа выдаёт сообщение в нижней части диалогового окна. Следующий пример показывает задание недопустимой комбинации деформированной сетки/значений в точках растра. Для того, чтобы изобразить значения в точках растра, необходимо отключить рисунок деформированной сетки на панели управления «**Результаты**».



Предупреждение о конфликте в построении результатов

## Список величин

В программе можно отображать следующие величины (значения в массиве грунта):

**Список величин отображаемых программой - основные величины:**

Обозначения	Описание	Величина	Ед.изм.
Осадка $d_z$	Деформация в направлении $Z$	$d_z$	[мм]
Осадка $d_x$	Деформация в направлении $X$	$d_x$	[мм]
Sigma $Z, tot.$	Общее нормальное напряжение в направлении $Z$	$\sigma_{z,tot}$	[кПа]
Sigma $Z, eff.$	Эффективное нормальное напряжение в направлении $Z$	$\sigma_{z,eff}$	[кПа]

Поровое давление $u$	Поровое давление	$u$	[ $\kappa\Pi a$ ]
Sigma $X, tot.$	Общее нормальное напряжение в направлении $X$	$\sigma_{x,tot}$	[ $\kappa\Pi a$ ]
Sigma $X, eff.$	Эффективное нормальное напряжение в направлении $X$	$\sigma_{x,eff}$	[ $\kappa\Pi a$ ]
Tau $X, Y$	Напряжение сдвига	$\tau_{xz}$	[ $\kappa\Pi a$ ]
Epsilon $eq.$	Эквивалентная относительная деформация	$\varepsilon_{eq}$	[-]
Epsilon $eq., pl.$	Эквивалентная относительная пластическая деформация	$\varepsilon_{eq,pl}$	[-]

**Список величин, отображаемых программой - величины доступные в режиме «Расширенные возможности программы»:**

Обозначения	Описание	Величина	Ед.изм.
Epsilon $vol.$	Объемная относительная деформация	$\varepsilon_{vol.}$	[-]
Sigma $m, tot.$	Среднее общее нормальное напряжение	$\sigma_{m,tot}$	[ $\kappa\Pi a$ ]
Sigma $m, eff.$	Среднее эффективное нормальное напряжение	$\sigma_{m,eff}$	[ $\kappa\Pi a$ ]
Sigma $eq.$	Эквивалентный девиатор напряжения	$J$	[ $\kappa\Pi a$ ]
Epsilon $vol., pl.$	Объемная относительная пластическая деформация	$\varepsilon_{vol,pl}$	[-]
Epsilon $X$	Нормальная относительная деформация в направлении $X$	$\varepsilon_x$	[-]
Epsilon $Z$	Относительная деформация в направлении $Z$	$\varepsilon_z$	[-]
Gama $XZ$	Относительная деформации сдвига в $XZ$ плоскости	$\gamma_{xz}$	
Epsilon $1, princ.$	Максимальная главная относительная деформация	$\varepsilon_{1,princ}$	[-]
Epsilon $2, princ.$	Средняя главная относительная деформация	$\varepsilon_{2,princ}$	[-]
Epsilon $3, princ.$	Минимальная главная относительная деформация	$\varepsilon_{3,princ}$	[-]
Sigma $1, princ.$	Максимальная главная нормальная	$\sigma_{1,princ}$	[ $\kappa\Pi a$ ]
Sigma $2,$	Средняя главная нормальная	$\sigma_{2,princ}$	[ $\kappa\Pi a$ ]

<i>princ.</i>			
Sigma $\sigma_3$ , <i>princ.</i>	Минимальная главная нормальная	$\sigma_{3,princ}$	[кПа]
Epsilon $\epsilon_{X,pl}$	Нормальная пластическая относительная деформация в направлении $X$	$\epsilon_{x,pl}$	[-]
Epsilon $\epsilon_{Z,pl}$	Нормальная пластическая относительная деформация в направлении $Z$	$\epsilon_{z,pl}$	[-]
Gama $\gamma_{XZ,pl}$	Относительная пластическая деформация сдвига на $XZ$ плоскости	$\gamma_{xz,pl}$	

## Мониторы

Рамка «**Мониторы**» содержит таблицу со списком введенных диспетчеров. Добавление (редактирование) диспетчеров выполняется в диалоговом окне «**Создать мониторы**». Либо точка или линия-диспетчер могут быть введены. Окно диалога затем служит для указания координат диспетчера и деятельности.

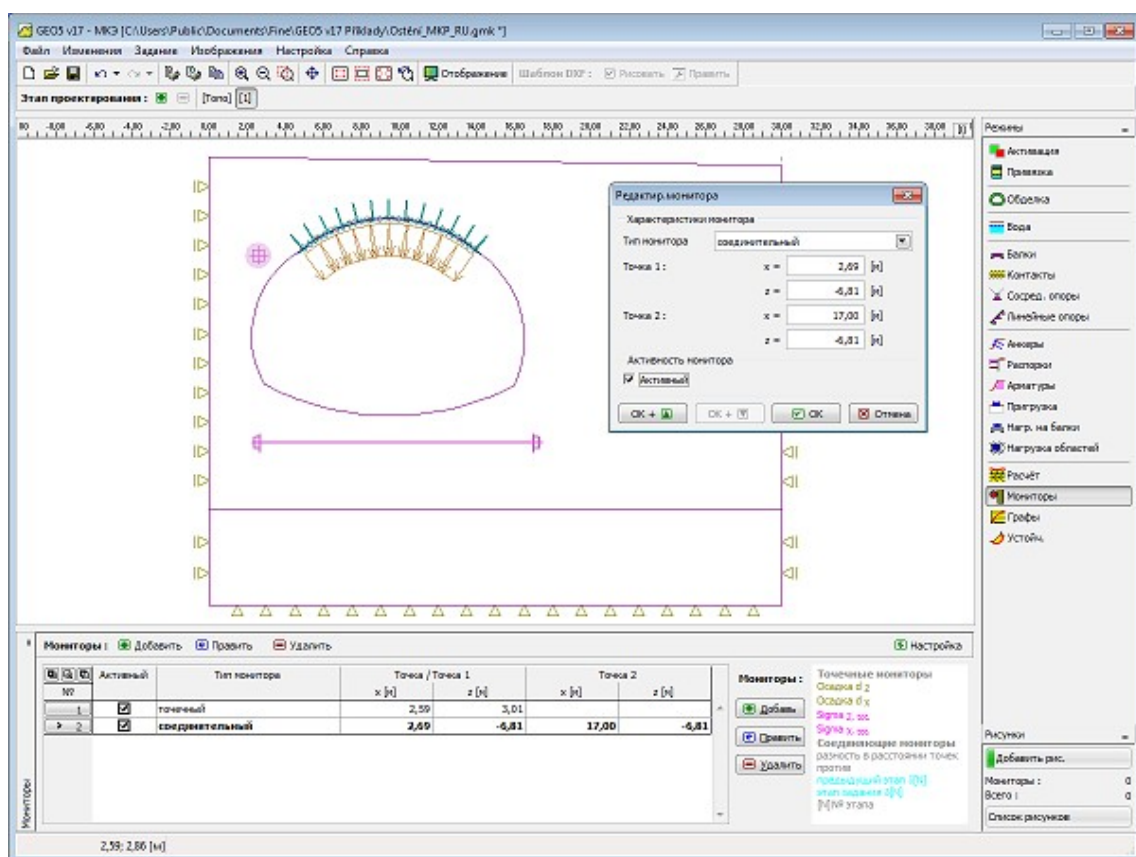
Диспетчеры также можно редактировать на рабочем столе с помощью **активных объектов**.

Программа позволяет вводить произвольное количество точек и линий-мониторов в любом месте в структуре, а также вне его. Диспетчеры имеют несколько функций:

- отображения значений **переменных** в данной точке (точка-диспетчер),
- отображения значений разности расстояний двух точек по сравнению с **предыдущим этапом**  $d[N]$  или по сравнению с входным каскадом, где  $N$  является номером этапа (линия-диспетчер).

Точки диспетчеры хранят также значения переменных, зарегистрированных во время анализа на отдельных этапах. Они могут быть записаны в протокол вывода или использовать для **создания графика**.

Список переменных, построенных для отдельных диспетчеров устанавливается в диалоговом окне «**Настройка монитора**». Чтобы открыть окно с помощью кнопки «**Настройки**» в горизонтальной панели инструментов «**Мониторы**».



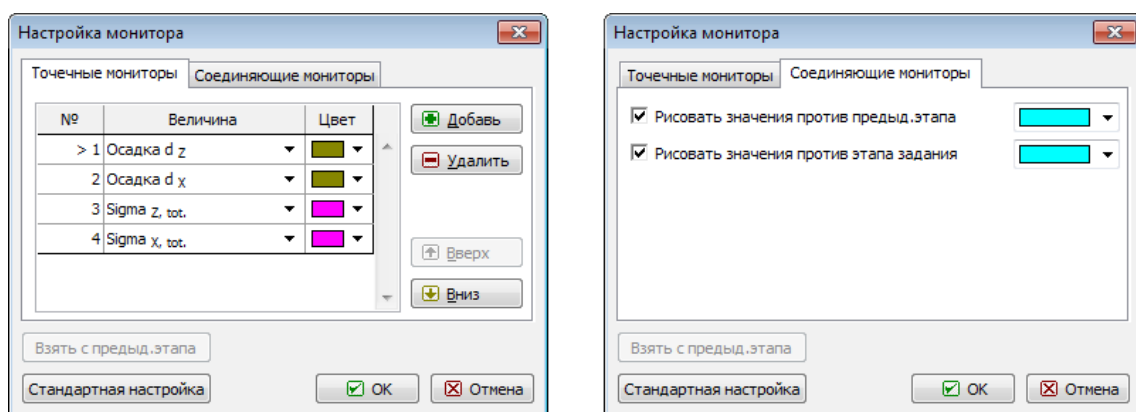
Рамка «Мониторы»

## Настройки диспетчеров

Диалоговое окно **«Настройка монитора»** служит для установки **переменных**, значения которых будут построены для данного диспетчера (точка-диспетчеров). Настройки для данного списка переменных может быть принят от предыдущего этапа строительства с помощью кнопки **«Принять из предыдущего этапа»**. Четыре переменные отображаются по умолчанию. Дополнительные переменные могут быть добавлены в список с помощью кнопки **«Добавить»**. Переменная может быть удалена из списка с помощью кнопки **«Удалить»**.

Для линии-диспетчеров диалоговое окно служит для активации участка значений по сравнению с предыдущим этапом или стадии ввода, соответственно.

Для точечных и линейных-диспетчеров можно указать цветовой диапазон построенных значений.



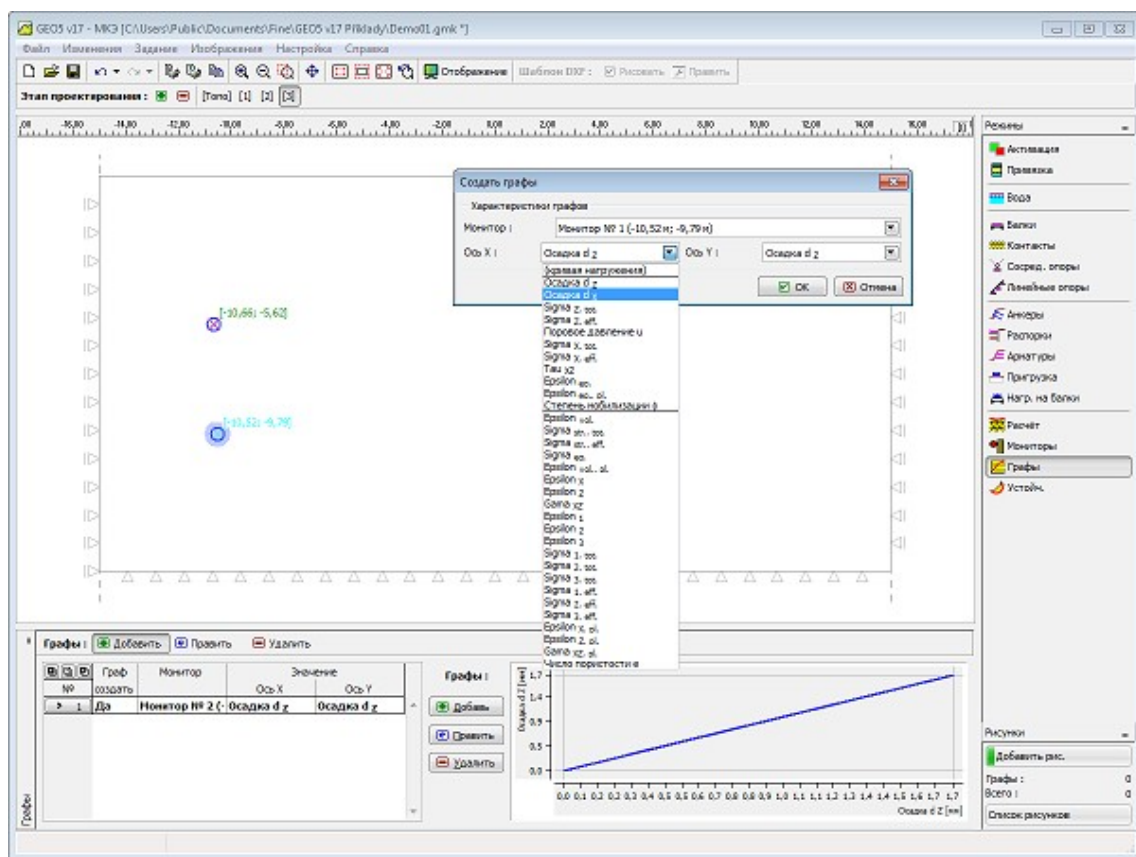
Диалоговое окно «Настройка монитора»

# Графы

Рамка «**Графики**» содержит таблицу со списком введенных графиков. Добавление диспетчеров выполняется в диалоговом окне «**Новые графики**». Окно диалога служит для ввода номера диспетчера, для которых график будет создан и переменные, принятые для  $X$  и  $Y$ -оси соответственно.

Графики также можно редактировать на рабочем столе с помощью **активных объектов**.

Программа допускает ввод произвольного числа графиков в точках введенных диспетчеров. Графики допускают графическое изображение взаимной зависимости отдельных переменных, сохраненных в диспетчерах в течение анализа.



*Рамка «Графики»*

## Устойчивость

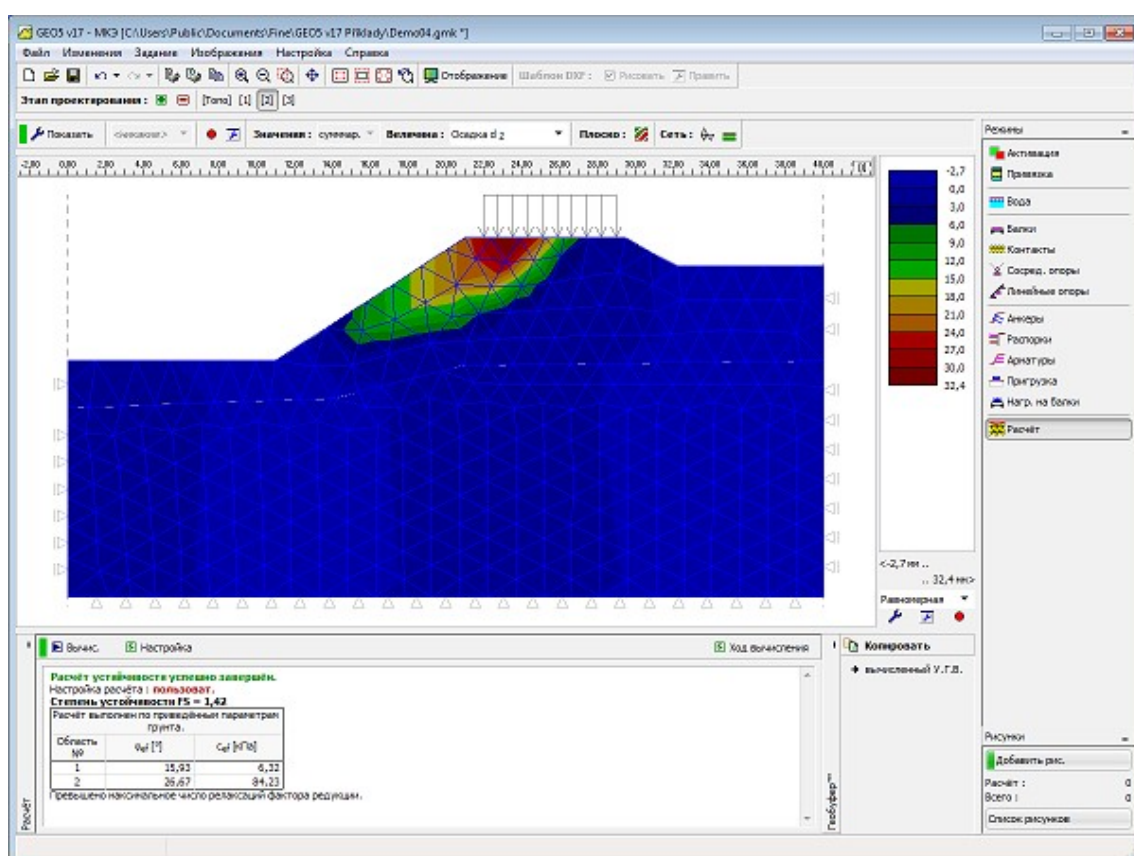
Программа расчёта устойчивости **уменьшает заданные значения угла внутреннего трения и удельного сцепления грунта** и прослеживает тот момент, когда произойдёт пластификация конструкции и потеря её устойчивости. В результате расчёта получаем **коэффициент устойчивости**, который соответствует классическим методам расчётов на устойчивость.

Для **расчёта устойчивости** необходимо располагать материальной моделью всех грунтов Мора-Кулона, Друкер-Прагера или модифицированным Мора-Кулона и шестиузловыми элементами. Стандартные **параметры расчёта коэффициента устойчивости** можно менять в диалоговом окне «**Настройка расчёта**».

Программа в режиме устойчивость позволяет получать на выходе **только деформацию** ( в  $Z$  и  $X$ -направлениях) и **относительную деформацию** (общую или пластическую). Деформация конструкции соответствует состоянию расчёта приведённых (уменьшенных) параметров грунтов и не имеет ничего общего с истинной деформацией - она только даёт картину поведения откоса (склона) или конструкции в момент разрушения.

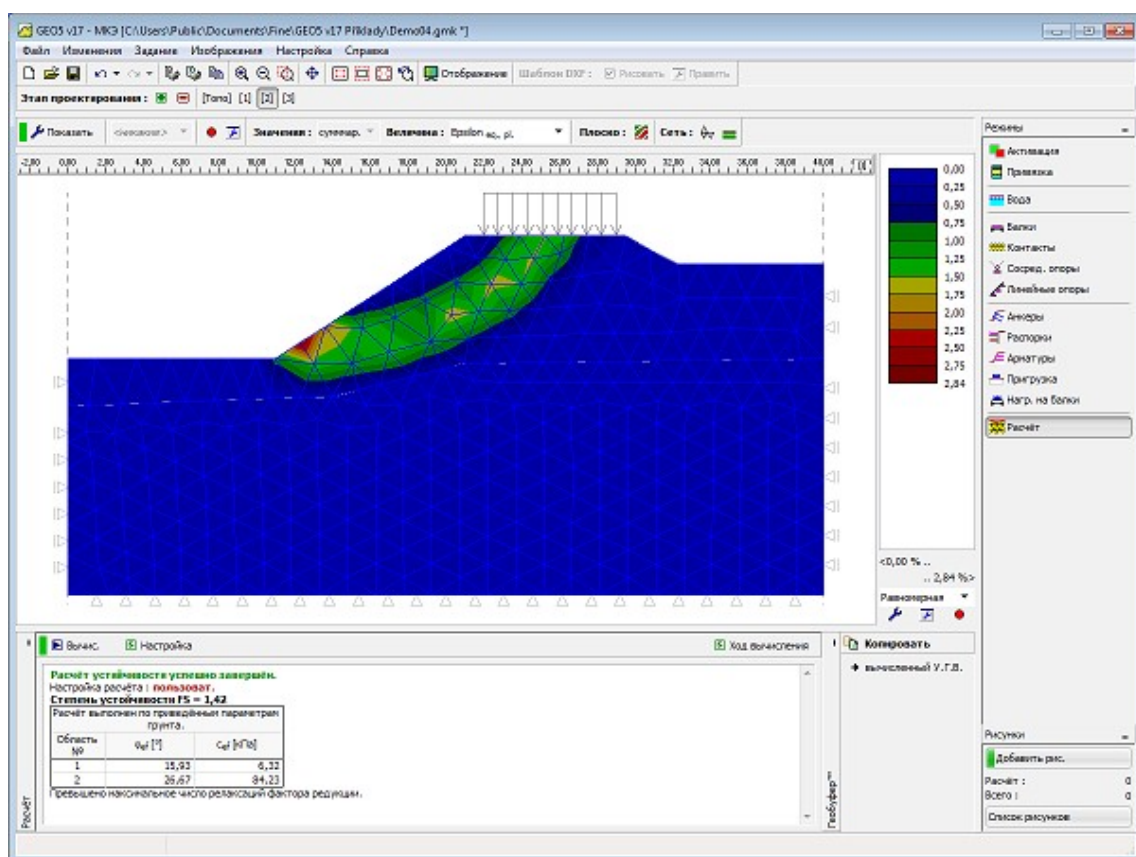
Весьма подходящий способ представления результатов анализа устойчивости являются **векторы смещений и эквивалентные пластические деформации**. Пластические деформации показывают форму и величину пластических деформаций (в данном случае **поверхности скольжения**).

Далее, программа позволяет проверку откоса (склона) в соответствии с теорией предельных состояний, или EN1997-1 . проектный подход 3. В окно задаём **коэффициенты редукии угла внутреннего трения грунта  $\gamma_{M,\phi}$  и редукии эффективного удельного сцепления грунта  $\gamma_{M,c}$** , которые уменьшают всех входные параметры грунтов. В случае, что редукию выполняем в соответствии с EN1997 ( $\gamma_{M,\phi} = 1,25$ ,  $\gamma_{M,c} = 1,25$ ), откос будет удовлетворять для  $FS = 1.0$ .



Рамка «Устойчивость»





Эквивалентная пластическая относительная деформация - поверхность скольжения

## Настройки основных параметров анализа устойчивости склонов

Анализ коэффициента безопасности основан на предположении, что общая нагрузка, приложенная к телу грунта/горной породы вводится в одну стадию нагрузки. Фактический коэффициент запаса оценивается с использованием **метода снижения прочностных параметров**  $c$ ,  $\phi$ . По этому поводу коэффициент безопасности определяется как скалярный множитель, что снижает первоначальные параметры  $c$ ,  $\phi$  чтобы прибыть в положение отказа.

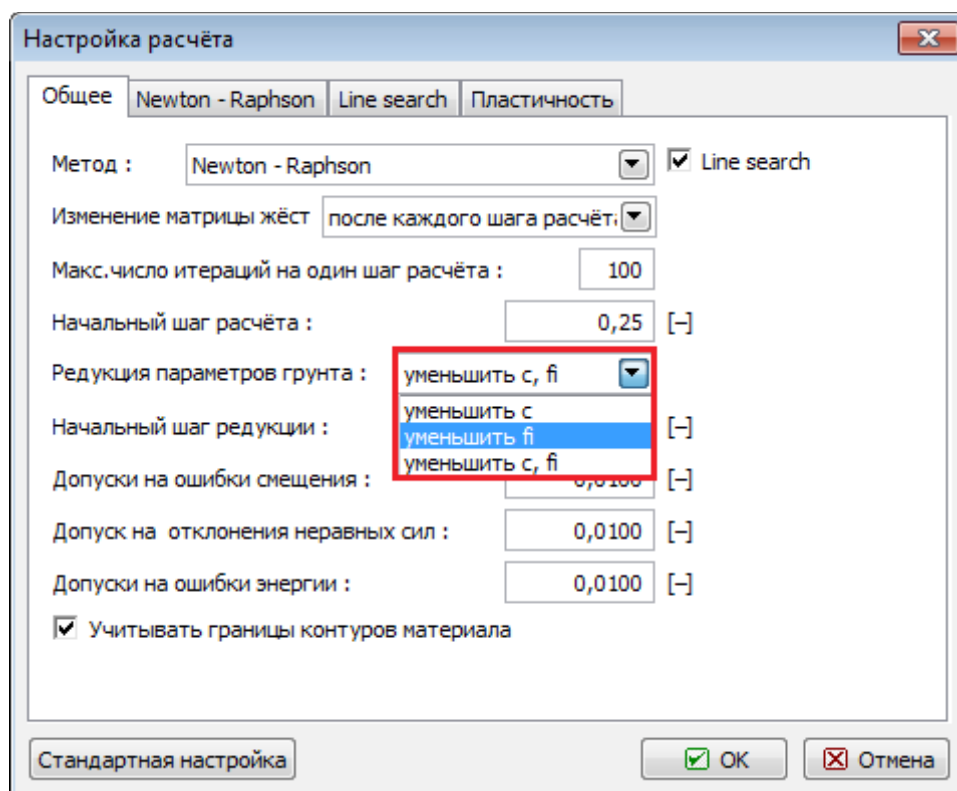
Математически коэффициент безопасности выражается как:

$$F = \frac{\tan \phi^{orig}}{\tan \phi^{failure}}$$

где:  $\phi^{original}$  — исходное значение угла внутреннего трения  
 $\phi^{failure}$  — величина угла внутреннего трения при отказе

Поиск критического значения коэффициента запаса требует системного изменения (уменьшение) прочностных параметров  $c$ ,  $\phi$  приводит к неудаче. В рамках NRM состояние отказа определяется как состояние, при котором решение не сходится. Процесс поиска для критической  $c$ ,  $\phi$  приводится по следующим параметрам.

1. **Снижение** - понижающий коэффициент (скалярный множитель), чтобы уменьшить параметры  $c$ ,  $\varphi$ . В ходе анализа этот параметр **постепенно обновляется**.
2. **Минимальный понижающий коэффициент** - предельное значение, ниже которого значение коэффициента уменьшения не должна опускаться в процессе поиска. Этот параметр гарантирует, что вычисление не будет продолжаться в течение ненужных низких значениях коэффициента уменьшения. Это один из параметров, чтобы прервать процесс поиска.
3. **Снижение параметров грунта** - этот параметр позволяет определить, какой из параметров  $c$ ,  $\varphi$  должен быть уменьшен. Значение по умолчанию предполагает, что оба параметра уменьшаются одновременно.



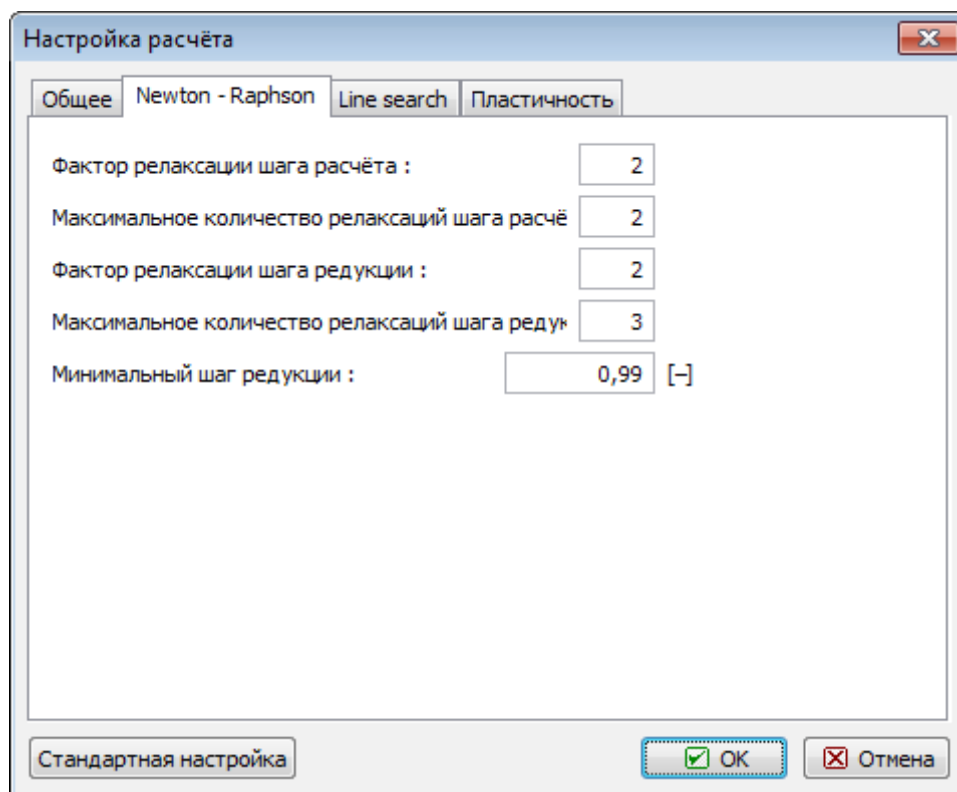
Основные параметры анализа устойчивости склонов

## Настройка запуска параметров релаксации понижающего коэффициента

Подобно стандартному анализу программа адаптивно регулирует величину понижающего коэффициента. Предоставленное решение не сходится для данного набора параметров  $c$ ,  $\varphi$ , понижающий коэффициент смягчается, и анализ будет перезапущен. Такой подход обусловлен параметрами, установленных в разделе «**Настройки анализа**» - вкладка **Ньютон Рафсон**.

«**Фактор расслабления**» служит для уменьшения текущего значения коэффициента уменьшения показателей  $c$ ,  $\varphi$ . Анализ прекращается, как только величина коэффициента уменьшения падает ниже минимальной единицы или максимального числа допустимых вычетов превышении. При выборе NRM программа позволяет определить параметры  $c$ ,  $\varphi$  которые приводят тело грунта в стабильное состояние в случаях, когда решение с оригинальными параметрами  $c$ ,  $\varphi$  не было найдено. Программа тогда предшествует

противоположным способом так, чтобы параметры  $c$ ,  $\varphi$  были **систематически увеличены, пока стабильное решение не найдено**.



Параметры запуска процесса сокращения прочностных параметров  $c$ ,  $\varphi$

## Области без редукции

В рамке «**Области без редукции**» находится таблица со списком заданных областей.

Задание областей без редукции прочностных параметров полностью соответствует стандартному заданию границ контура

Данная функция позволяет при расчёте устойчивости определять области, в которых не происходит редукция прочностных параметров  $\varphi$  и  $c$ . Области без редукции задают на данном этапе полигоном точек. Редукция прочностных параметров  $\varphi$  и  $c$  запрещена для каждого элемента, который хотя бы частично заходит в область.

С помощью областей без редукции прочностных параметров можно найти решение в случае, когда расчёт на устойчивость не приводит к образованию глобальной поверхности скольжения и механизм разрушения и связанное с этим значение коэффициента устойчивости поэтому не являются достоверными.

Функция может быть использована для материальных моделей допустимых при анализе устойчивости, т.е.:

- Mohr-Coulomb
- Модифицированный Mohr-Coulomb
- Drucker-Prage

Другие материальные модели не допустимы в анализе устойчивости.

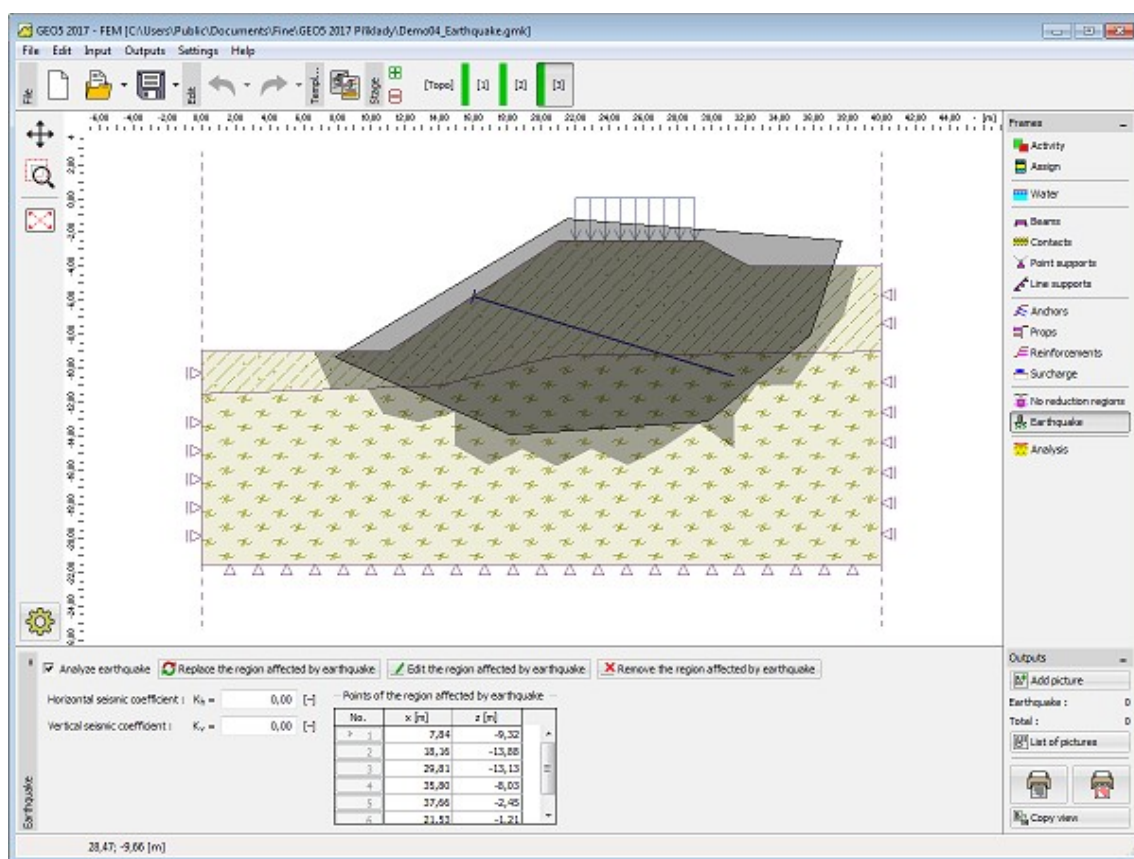
## Землетрясение

В рамку «Землетрясение» задаём параметры землетрясения. Направления заданных воздействия отображены на рабочем столе.

Для успешной конвергенции необходимо определить область, в которой **предполагается наличие поверхности скольжения** и на все конечные элементы действует горизонтальное и вертикальное ускорение - **см. изображение**. На конечные элементы за пределами этой области заданное землетрясение не оказывает воздействия. Эта область не должна соприкасаться края задачи, в противном случае анализ может не прийти к решению.

В данном случае в рамке находится таблица со списком заданных точек. Способ ввода точек аналогичен стандартному способу **ввода границ контура**.

Если коэффициенты  $k_h$  и  $k_v$  не получены путём измерений, их можно посчитать в соответствии с **EN 1998-5**.



Рамка «Землетрясение»

## Выходы

В главе дано описание опций вывода выходной информации программ GEO5 (рисунков, шаблонов документов, копий данных в буфере обмена) с применением панели инструментов «Выходы».

Программы GEO позволяют формировать **шаблоны документов**, которые могут

содержать любые рисунки (виды) в любом режиме ввода данных и расчёта. Рисунки можно печатать также самостоятельно.

- Печать и экспорт документа
- Печать и экспорт вида

**Работа с рисунками** описана в следующих главах:

- Добавление рисунка
- Список рисунков

В печатном редакторе можно настроить требуемые **параметры страниц** документа:

- Настройка верхнего и нижнего колонтитулов
- Внешний вид страницы
- Нумерация страниц

В отдельное диалоговое окно задают **информацию о пользователе** программы. Эти сведения могут войти в состав документов на выходе:

- Данные о фирме

## Добавление рисунка

В любом режиме работы программы можно сохранить текущий рисунок. На **вертикальной панели управления** нажимаем кнопку «**Добавить рисунок**». Кнопка открывает диалоговое окно «**Создать рисунок**» и программа вставляет в окно текущий вид из рабочего стола.

Рисунок всегда относится к одному из режимов ввода данных или расчёта. (Текущий режим показан рядом с именем рисунка.) При **печати документа** рисунок автоматически вводится в древообразную структуру соответствующего режима.

Программа позволяет вводить рисунок, или на конкретном этапе проектирования, (или при текущем расчёте), но возможна настройка ввода рисунка в документ на всех этапах проектирования (или для всех расчётов). Для этого выбираем опцию «**все**» в выпадающем списке «**Этап**» (или в списке «**Расчёт**»).

Переключатель «**На всю страницу**» позволяет задать величину рисунка точно в соответствии с величиной страницы документа.

**Внимание: Все заданные рисунки автоматически обновляются при изменении данных.**

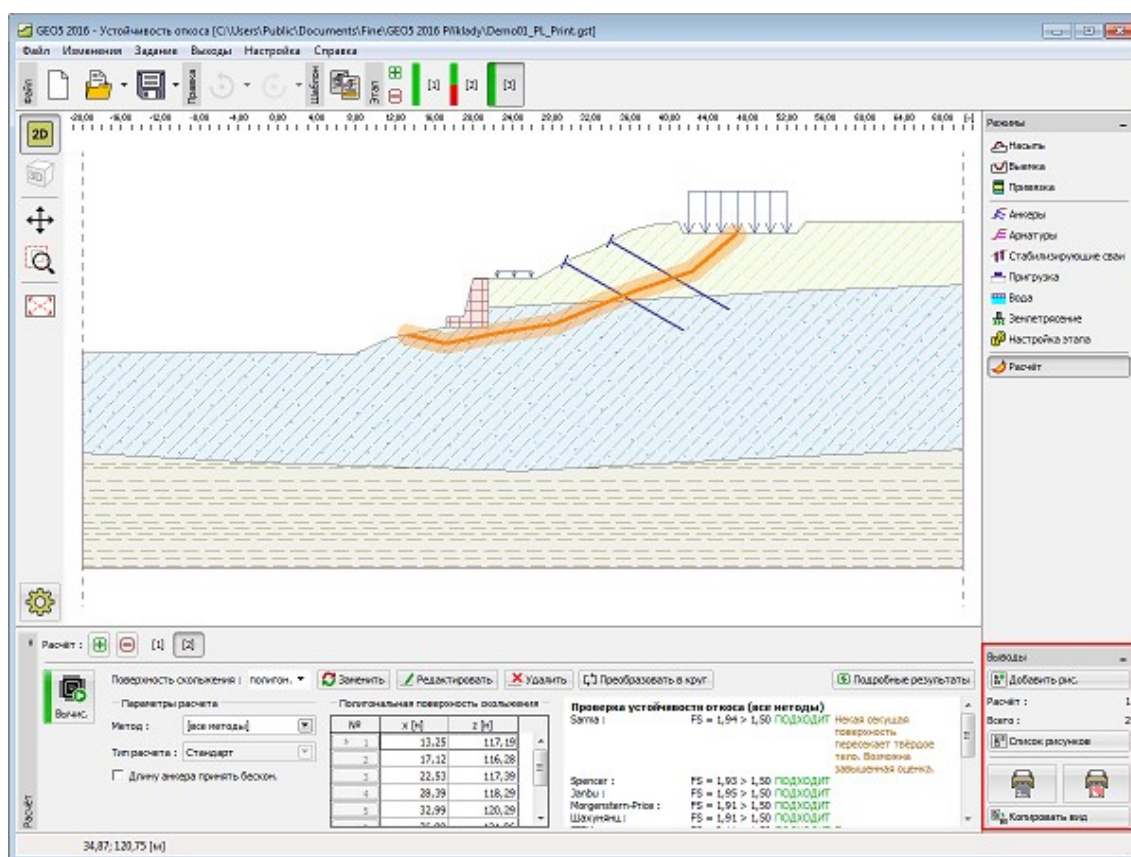
С помощью рамки «**Настройка рисунка**» в нижней части диалогового окна можно редактировать цвет и стиль рисования линий (объектов). Настройку в этой части рамки программа принимает от **настройки рисования** на рабочем столе. Использование рамки аналогично настройке рисунка на рабочем столе и подробно описано в «**Настройке рисования**».

Нажатием кнопки «**ОК**» рисунок сохраняется в «**Список рисунков**» и может быть повторно открыт и отредактирован в любое время.

Рисунок из этого окна можно распечатать: - нажав кнопку «**Печать**», открываем







Панель управления «Выводы»

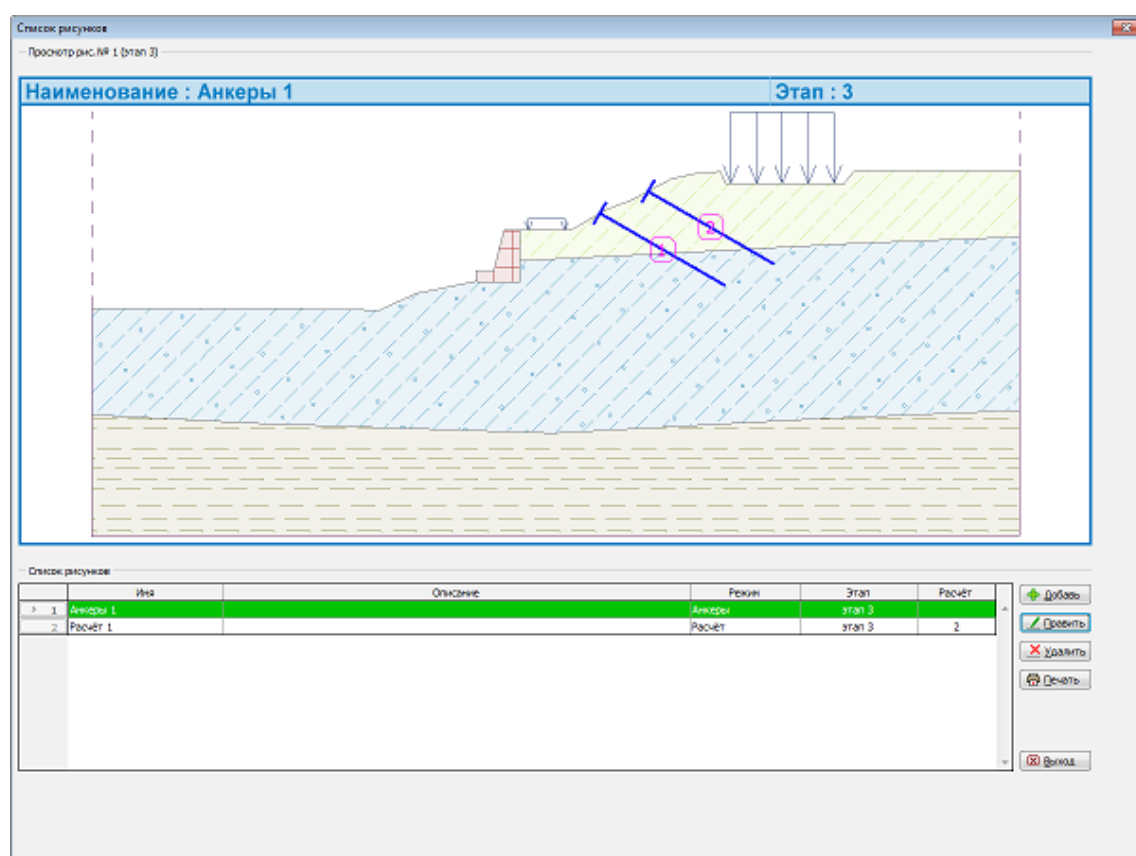
## Список рисунков

Рисунки, которые были сохранены с помощью диалогового окна «Создать рисунок» выстраиваются в таблицу в «Списке рисунков». Диалоговое окно «Список рисунков» открываем кнопкой на панели управления. Таблица списка рисунков содержит имя и описание рисунка, режим его загрузки, номер этапа проектирования или номер расчёта.

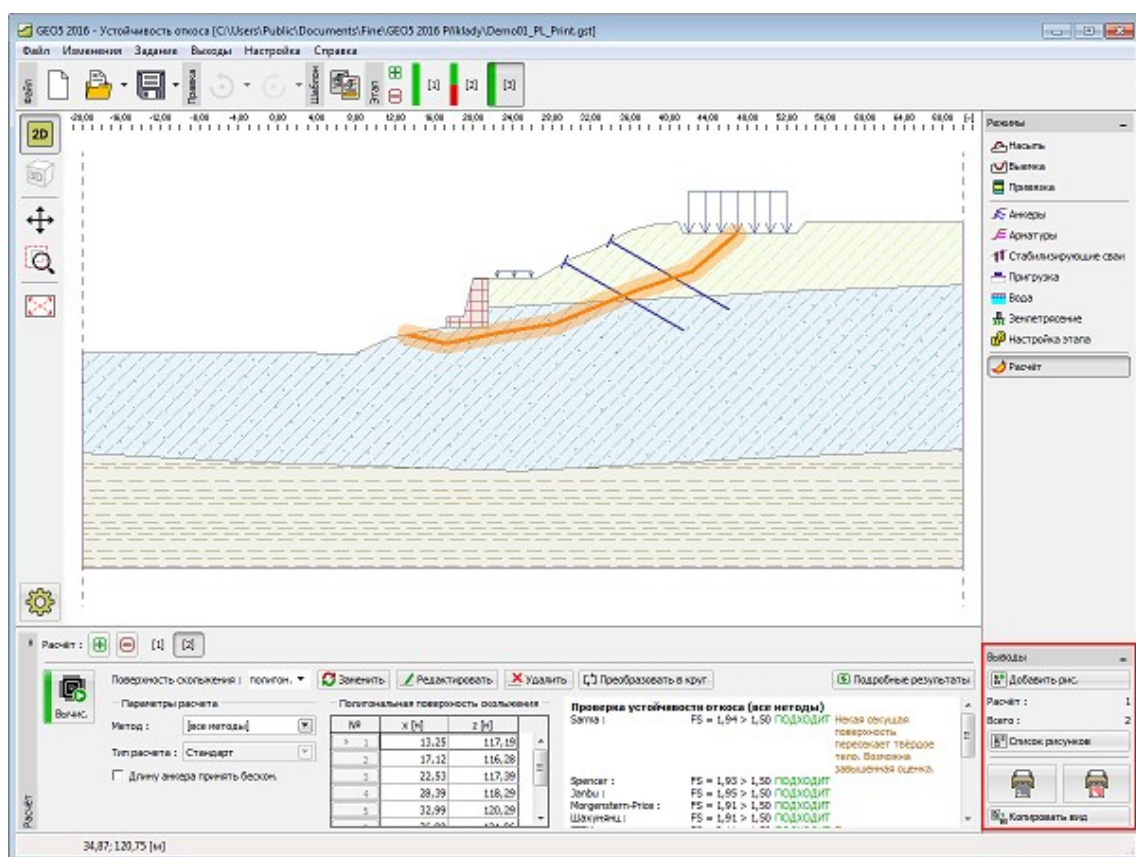
Рисунки можно отредактировать; с помощью кнопки «Править», вызываем диалоговое окно «Правка рисунка» (по внешнему виду и функции окно идентично диалоговому окну «Создать рисунок»).

Рисунки из этого окна можно распечатать: - нажав кнопку «Печать» открываем диалоговое окно для печати и экспорта вида. При наличии в рисунке активного выбора сквозь все этапы (расчёты), будут распечатаны все возможные комбинации рисунка одновременно. В случае выделения нескольких рисунков, распечатываются все выделенные рисунки.





Диалоговое окно «Список рисунков»



Панель управления «Выводы»

## Печать и экспорт документа

Диалоговое окно «**Печать и экспорт документа**» открываем либо из **управляющего меню** (пункты «**Файл**», «**Печать документа**»), либо кнопкой на панели инструментов «**Выводы**». В окне отобразится контрольный вид страницы со сгенерированным документом.

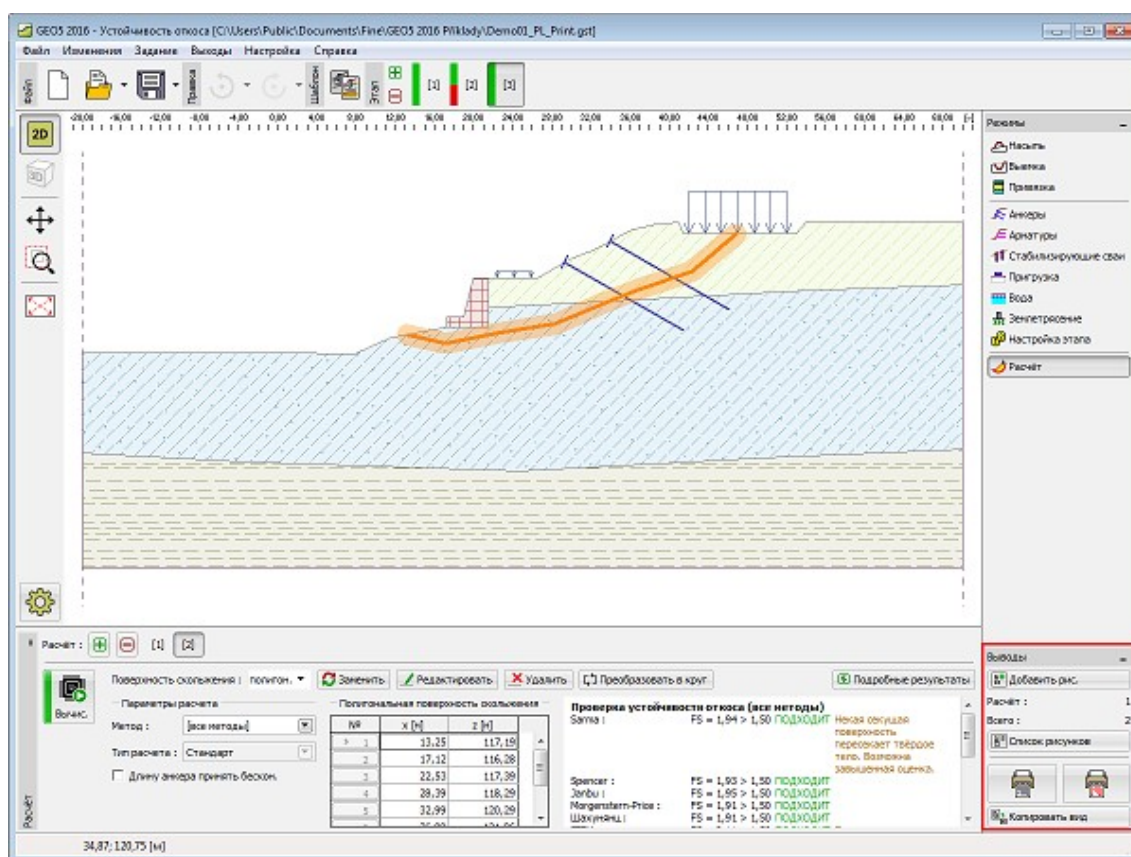
В окне формируется выходной документ с рисунками сохранёнными в «**Списке рисунков**». Созданный протокол можно из окна распечатать или экспортировать на дальнейшую обработку. **Документ всегда в текущем состоянии** - открытие окна его всегда обновляет (включ. обновление рисунков) по заданным данным.

Для управления диалоговым окном служит **панель инструментов - печать и экспорт** с элементами управления для окончательного оформления **вида страниц** (настройки **верхнего и нижнего колонтитула**, **величины и полей страницы**, **нумерации страниц**) и **собственно печати** или **экспорта документа**.

В левой части диалогового окна можно отметкой/снятием отметки в «**дереве**» выделить нужные части документа, включая рисунки. При выделении или отмене любого пункта документ сразу обновляется. При просмотре документа можно пользоваться колёсиком на мыши или полосой прокрутки (scroll bar).

В нижней части диалогового окна отображается текущая информация (настройка размера страницы, текущая страница документа и количество всех страниц в документе).





Панель управления «Выводы»

## Печать и экспорт вида

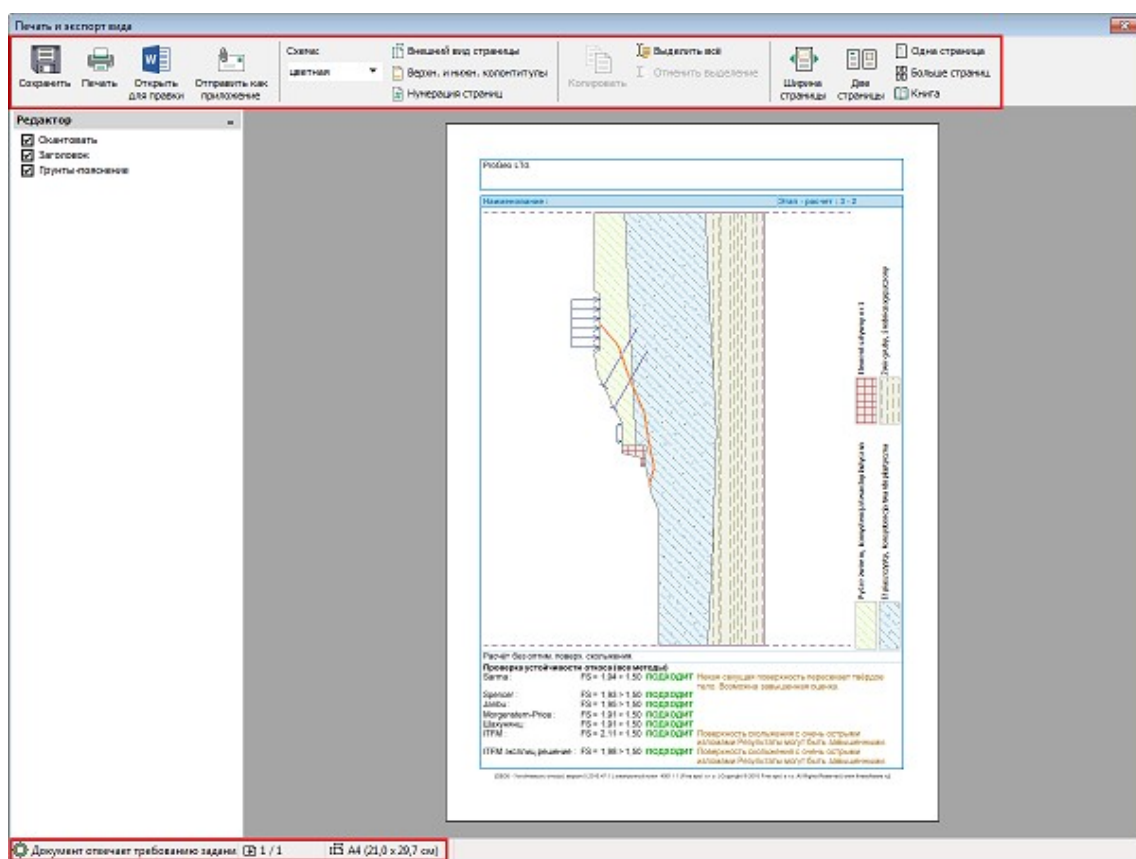
Диалоговое окно назначено для печати или экспорта одного или нескольких рисунков. Окно можно открыть тремя способами:

- для печати данных на рабочем столе из **управляющего меню** (пункты «Файл», «Печать вида»), или кнопкой на горизонтальной панели инструмента «Выводы»
- из диалогового окна «Создать рисунок», нажав кнопку «Печать»
- из диалогового окна «Список рисунков», нажав кнопку «Печать»

Окно может содержать одновременно несколько рисунков (при распечатке для нескольких этапов или расчётов), или распечатке больше рисунков из списка. Каждый рисунок напечатан на отдельной странице. Просмотр рисунков можно менять с помощью кнопок на панели инструментов или колёсиком мыши.

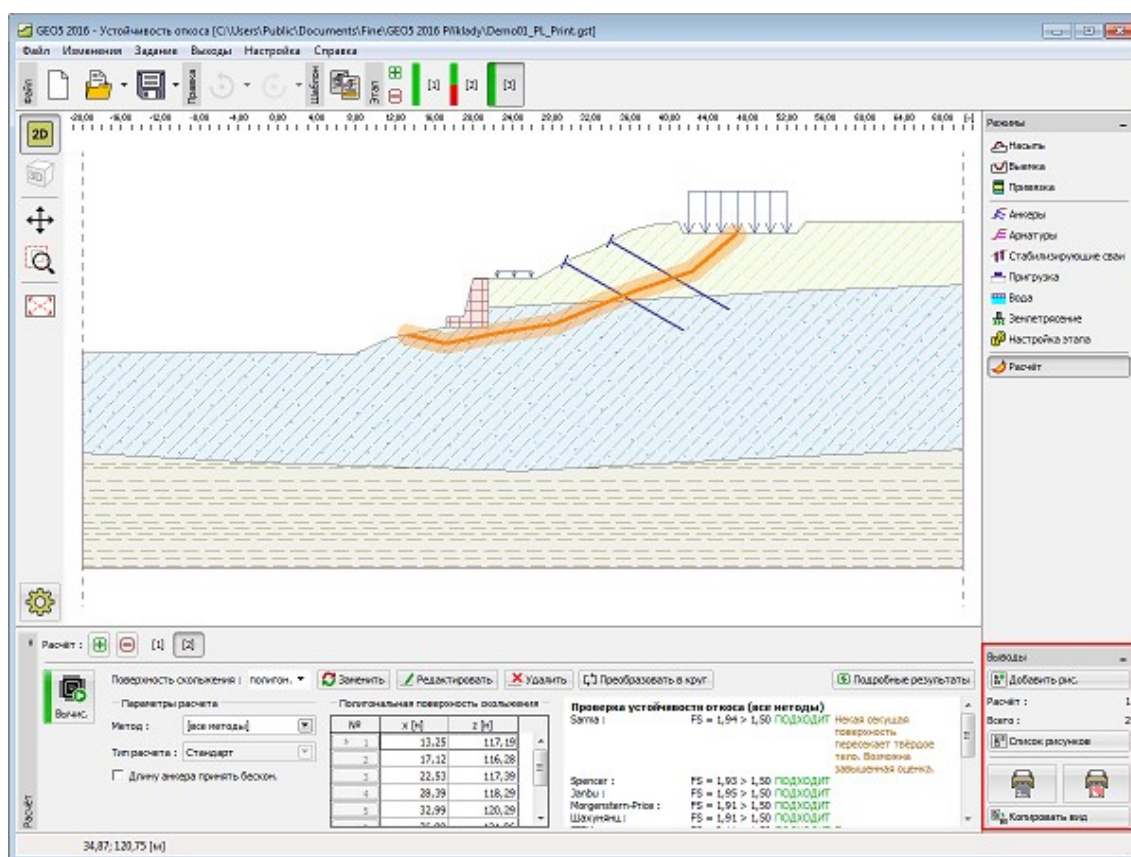
Для управления диалоговым окном служит **панель инструментов - печать и экспорт** с элементами управления для окончательного оформления **вида страниц** (настройки **верхнего и нижнего колонтитула, величины и полей страницы, нумерации страниц**) и **собственно печати** или **экспорта документа**.

В нижней части диалогового окна отображается текущая информация (установленный размер страницы, текущая страница документа, общее количество страниц в документе).



Диалоговое окно «Печать и экспорт вида»

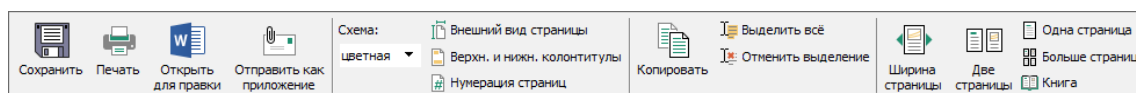




Панель управления «Выводы»

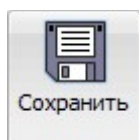
## Панель инструментов - печать и экспорт

Панель инструментов диалоговых окон «Печать и экспорт документа» и «Печать и экспорт видов» содержит следующие кнопки:



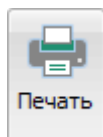
Панель инструментов

Кнопки имеют следующие функции:



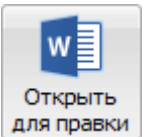
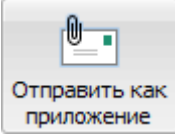
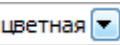
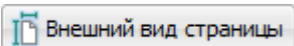
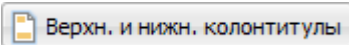
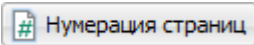
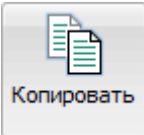
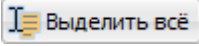

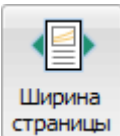
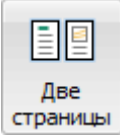
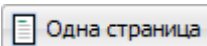
### Сохранить

Открывает диалоговое окно «**Сохранить как**», в которое можно рисунок сохранить как файл в формате \*.PDF, \*.RTF или \*.TXT.





### Печать

Открывает системное окно «**Печать**».

	<b>Открыть для правки</b>	Открывает текстовый редактор (ассоциированный в системе Windows с расширением <b>*.RTF</b> ), в котором можно вручную отредактировать страницу.
	<b>Отправить как приложение</b>	Открывает диалоговое окно почтового клиента и присоединит рисунок в качестве приложения в формате <b>*.PDF</b> .
Схема: 	<b>Цветная схема</b>	Определяет стиль изображения рисунка (цветной, серые оттенки, чёрно-белый).
	<b>Внешний вид страницы</b>	Открывает диалоговое окно « <b>Внешний вид страницы</b> », в котором можно установить параметры внешнего вида страницы (размер, края, ориентация).
	<b>Верхний и нижний колонтитулы</b>	Открывает диалоговое окно « <b>Верхний и нижний колонтитулы</b> », в котором можно настроить заголовок и нижний колонтитул документа.
	<b>Нумерация страниц</b>	Открывает диалоговое окно « <b>Нумерация страниц</b> », в котором можно настроить параметры нумерации страниц.  <b>Примеч.:</b> Документ просматриваем с помощью колёсика мыши или полосы прокрутки в правой части окна.
	<b>Копировать</b>	Скопирует выделенный рисунок (текст) в буфер - настройка параметров выполняется в диалоговом окне « <b>Опции</b> », закладка « <b>Копия в буфер</b> ».
	<b>Выделить всё</b>	Выделит содержимое всего документа (текст и рисунки)
	<b>Отменить выделение</b>	Отменит выделение в целом (рисунок, текст)  <b>Примеч.:</b> В документа можно выделить любой фрагмент текста: выделяем перетаскиванием при одновременном нажатии левой кнопки мыши.
	<b>Ширина страницы</b>	Модифицирует размер страницы до максимальной ширины в диалоговом окне документа.
	<b>Две страницы</b>	Модифицирует размеры страниц, чтобы изображения обеих поместились в диалоговое окно.
	<b>Одна</b>	Модифицирует размер страницы для её полного



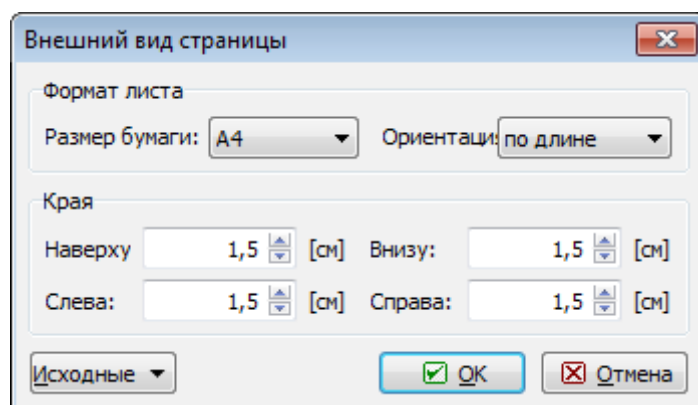
 Больше страниц	<b>страница</b>	изображения в диалоговом окне.
	<b>Больше страниц</b>	Модифицирует размеры страниц, чтобы изображения больше страниц поместились в диалоговое окно.
 Книга	<b>Книга</b>	Изобразит документ в формате книги.
<b>Примеч.: Увеличение/Уменьшение</b> любой страницы документа выполняется колёсиком мыши при одновременном нажатии кнопки <b>CTRL</b> .		

## Внешний вид страницы

Диалоговое окно позволяет настройку параметров внешнего вида страницы (формат листа бумаги, ориентировка печати, края).

Кнопка «**Исходные**», меню «**Сохранить настройки как исходные**» устанавливает заданные параметры страницы в качестве исходных для создаваемых новых данных.

**Исходная настройка является общей для всех программ GEO.** У разных пользователей компьютером настройки могут быть разными. Меню «**Взять исходную настройку**» позволит принимать исходную настройку программ GEO для любой загруженной задачи с первоначально другой настройкой.



Диалоговое окно «Внешний вид страницы»

## Настройки верхнего и нижнего колонтитулов

В диалоговом окне определяем настройку внешнего вида верхнего и нижнего колонтитулов документа. Флажок в окошке «**печать колонтитула верхнего (нижнего)**» определяет, произойдёт ли печать одного или другого.

Строки верхнего и нижнего колонтитулов документа могут содержать любой текст и вставленные объекты, определённые программой по умолчанию. Эти объекты принимают информацию от программы, а именно:

- Из диалогового окна «**Данные о фирме**» (название фирмы, логотип, адрес).
- Из рамки «**Проект**» (название и описание задачи, автор).
- Из системы данных документа (дата, время, № страницы).

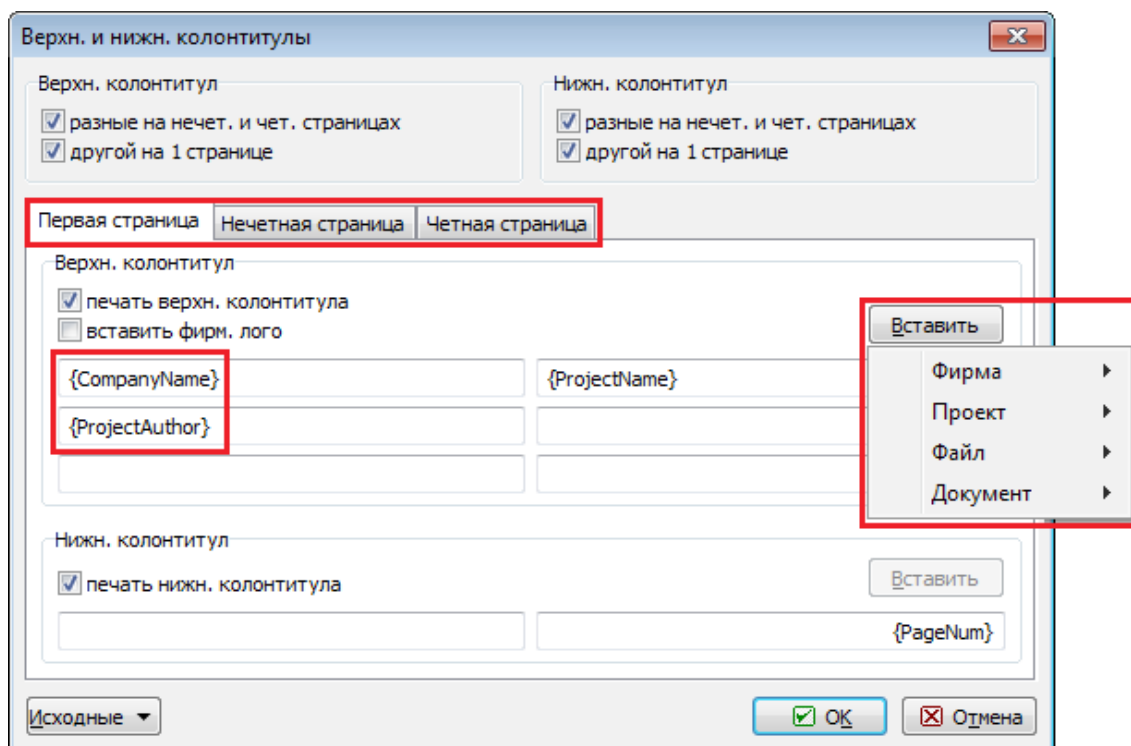
Объекты можно задать кнопкой «**Вставить**» (кнопка откроет список объектов). Кнопка активируется только в случае, что курсор находится на строке, куда можно вставить текст

(объект). Вставленные объекты записаны во внутреннем формате и отделены от остального текста сложными скобками. Возможна любая комбинация объектов.

Программа позволяет задавать разные шапки, заголовки для первой страницы, для нечётных, чётных страниц. В таком случае заголовки задают в отдельные закладки.

Кнопка «**Исходные**», меню «**Сохранить настройку как исходную**» устанавливает заданный вид верхнего и нижнего колонтитулов как исходный при создании новых данных. **Исходная настройка является общей для всех программ GEO.** У разных пользователей компьютером настройки могут отличаться. Меню «**Взять исходную настройку**» позволит принимать исходную настройку программ GEO для любой задачи с первоначально другой настройкой.

Формат записи и результирующее отображение показано на следующих изображениях.



Диалоговое окно «Верхний и нижний колонтитулы»

ProGeo Ltd.  
James Baker

Terraces Hanspaulka  
South-facing slope IV.

## Earth pressure on structure analysis

### Input data

#### Basic setting

Task : Terraces Hanspaulka  
Part : South-facing slope IV.  
Descript. : Support walls 2-6m, part IV.  
Author : James Baker  
Date : 22.9.2004

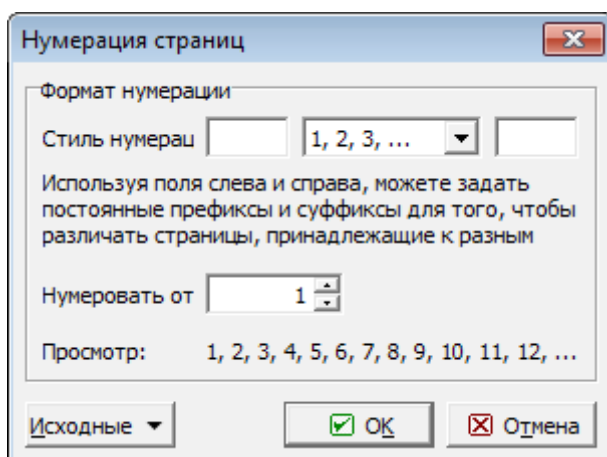


*Изображение верхнего и нижнего колонтитулов документа (вида)*

## Нумерация страниц

В диалоговом окне можно настроить параметры нумерации страниц. В выпадающем списке определяем стиль нумерации (арабскими, римскими цифрами, буквами алфавита). Перед и за № страницы можно задать постоянный текст, который будет виден на каждой странице перед (или за) номером страницы. Меню «**Нумерация от**» позволяет начинать нумерацию страниц с любой цифры.

Кнопка «**Исходные**», меню «**Сохранить настройку как исходную**» устанавливает заданные параметры нумерации страниц в качестве исходных при создании новых данных. Исходные настройки являются общими для всех программ GEO. У разных пользователей настройки могут быть разными. Меню «**Взять исходную настройку**» позволит принимать исходную настройку программ GEO для любой задачи с первоначально другой настройкой.



*Диалоговое окно «Нумерация страниц»*

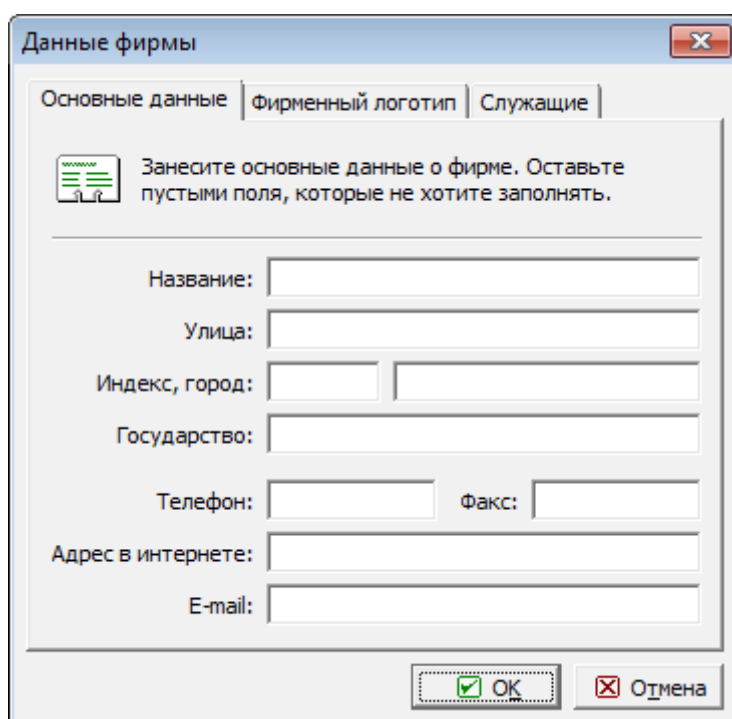
## Данные о фирме

Диалоговое окно открывается из **управляющего меню** (пункты «**Настройка**», «**Фирма**»).

В закладку «**Основные данные**» вводят главные данные о фирме. Эти данные программа использует при печати и экспорте документов (рисунков), в **заголовке и нижнем колонтитуле документов**.

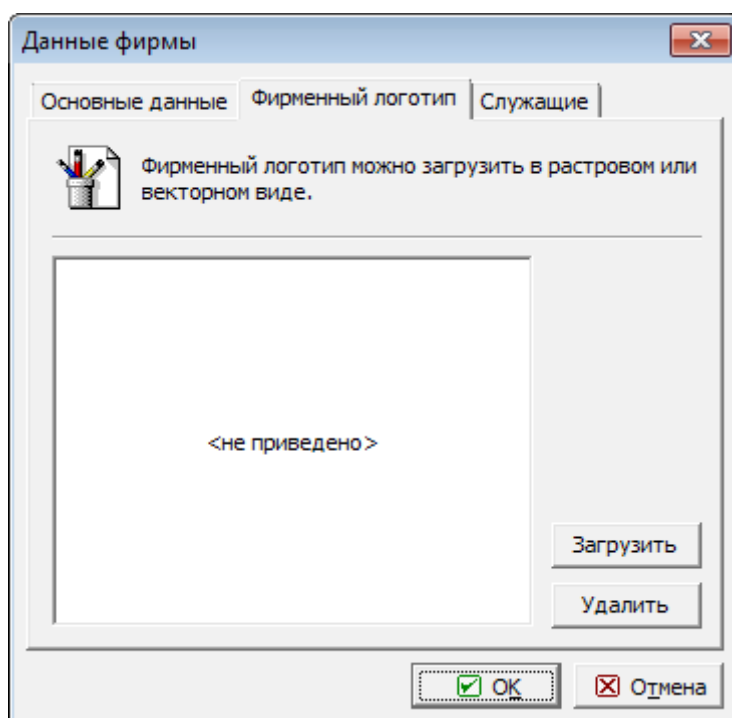
В закладке «**Фирменный логотип**» можно из файла загрузить рисунок фирменного логотипа. Кнопка «**Загрузить**» откроет диалоговое окно, в котором можно открыть рисунок в разных форматах (\*.JPG, \*.JPEG, \*.JPE, \*.BMP, \*.ICO, \*.EMF, \*.WMF).

В закладке «**Сотрудники**» можно задать список сотрудников-пользователей программы. При наличии фамилий в списке отпадает необходимость вручную набивать фамилию автора в рамке «**Проект**».

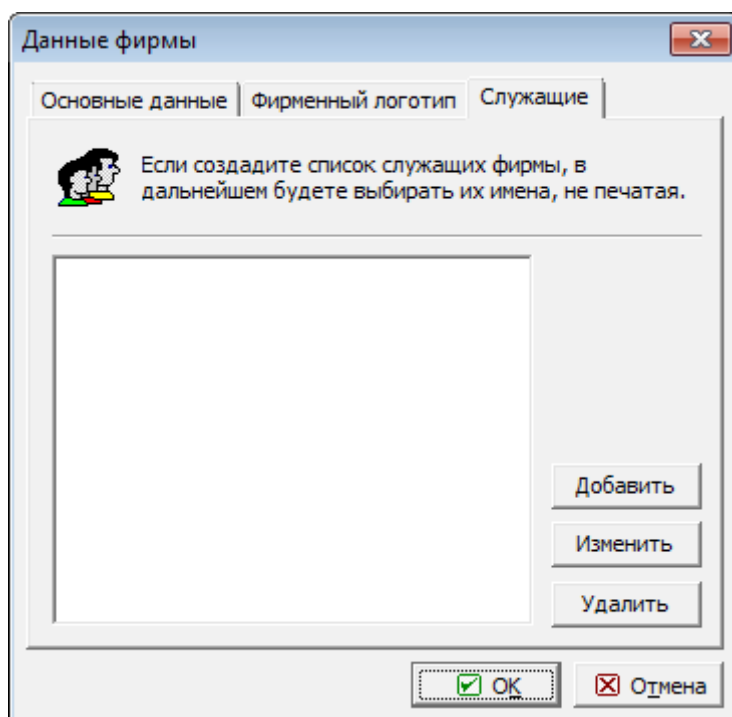


The screenshot shows a Windows-style dialog box titled "Данные фирмы" (Company Data). It has three tabs: "Основные данные" (Basic Data), "Фирменный логотип" (Company Logo), and "Служащие" (Employees). The "Основные данные" tab is selected. Inside the dialog, there is a text box with a list icon and the instruction: "Занесите основные данные о фирме. Оставьте пустыми поля, которые не хотите заполнять." (Enter the basic company data. Leave empty the fields you do not want to fill). Below this are several input fields: "Название:" (Name), "Улица:" (Street), "Индекс, город:" (Index, City) with a split box, "Государство:" (Country), "Телефон:" (Phone) and "Факс:" (Fax) with split boxes, "Адрес в интернете:" (Internet address), and "E-mail:". At the bottom right are "OK" and "Отмена" (Cancel) buttons.

*Диалоговое окно «Данные фирмы» - закладка «Основные данные»*



Диалоговое окно «Данные фирмы» - закладка «Фирменный логотип»



Диалоговое окно «Данные фирмы» - закладка «Сотрудники»

## Теория

Теоретическая часть справки охватывает все теоретические отправные точки, на которых построены расчёты в программах GEO5.

## Напряжение в массиве грунта

Расчет напряжения в грунте в программах GEO5 описан в следующих разделах:

- Геостатическое напряжение в массиве грунта, расчёт подъёмной силы
- Эффективное/ полное напряжение
- Прирост напряжения от пригрузки
- Прирост напряжения под фундаментом

## Геостатическое напряжение, расчёт подъёмной силы

Анализ напряжения основан на существовании слоев грунта, определенных пользователем на этапе ввода данных. Затем программа включает воображаемые слои там, где изменяются напряжение и сопутствующее давление (уровень грунтовых вод, точки конструкции и т.д.). Рабочее напряжение в  $i$ -ом слое рассчитывается по формуле:

$$\sigma_i = \sum h_i \cdot \gamma_i$$

где:  $h_i$  - толщина  $i$ -ого слоя  
 $\gamma_i$  - вес единицы грунта

Если слой находится ниже **уровня грунтовых вод**, вес единицы грунта ниже уровня грунтовых вод определяется с помощью введенных параметров грунта следующим образом:

- для опции «**Стандартный**» из выражения:

$$\gamma_{su} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

где:  $\gamma_{sat}$  - удельный вес насыщенного грунта  
 $\gamma_w$  - удельный вес воды

- для опции «**Рассчитать из порозности**» из выражения:

$$\gamma_{su} = (1 - n)(\gamma_s - \gamma_w)$$

где:  $n$  - порозность  
 $\gamma_s$  - удельная масса грунта  
 $\gamma_w$  - вес единицы воды

$$\gamma_s = \frac{G_d}{V - V_p}$$

где:  $V$  - объем грунта  
 $V_p$  - объем пустот  
 $G_d$  - вес сухого грунта

Удельный вес воды принимается в программе равным  $10 \text{ кН/м}^3$  или  $0,00625 \text{ 1000 фунтов/кв. дюйм.}$

Если поверхность за конструкцией имеет уклон ( $\beta \neq 0$ ), а слойный подгрунт имеет угол  $\beta$ , при расчете коэффициент давления грунта  $K$  уменьшается в  $i$ -ом слое по следующей формуле:

$$\operatorname{tg} \beta_i = \frac{\gamma}{\gamma_i} \operatorname{tg} \beta$$

где:

- $\gamma$  - удельный вес грунта в первом слое от поверхности
- $\gamma_i$  - удельный вес грунта  $i$ -ом слое от поверхности
- $\beta$  - наклон уклона за конструкцией

## Действительное / общее напряжение

Вертикальное рабочее напряжение  $\sigma_z$  определяется следующим образом:

$$\sigma_z = \gamma_{ef} \cdot z + \gamma_w \cdot z$$

где:

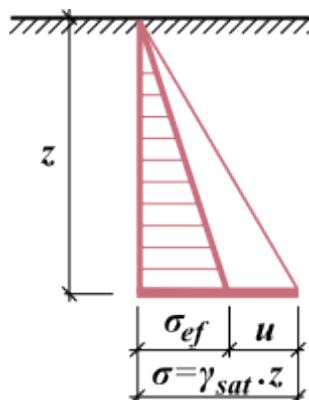
- $\sigma_z$  - вертикальное рабочее общее напряжение
- $\gamma_{ef}$  - вес погруженной единицы грунта
- $z$  - глубина под поверхностью земли
- $\gamma_w$  - удельный вес воды

Данное выражение в общей форме описывает т.н. концепцию действительного напряжения:

$$\sigma_z = \sigma_{ef} + u$$

где:

- $\sigma$  - общее напряжение
- $\sigma_{ef}$  - действительное напряжение (активное)
- $u$  - нейтральное напряжение (давление поровой воды)



*Общее, действительное и нейтральное напряжение в грунте*

Концепция действительного напряжения действительно только для рабочего напряжения  $\sigma$ , поскольку сдвиговое напряжение  $\tau$  не передается водой, а, значит, не действует. Общее напряжение определяется с помощью основных понятий теоретической механики, действительное напряжение определяется как разница между общим напряжением и нейтральным (пластовым) давлением (всегда рассчитывается, его нельзя измерить). Пластовое давление определяется лабораторными или эксплуатационными испытаниями,



либо расчетным способом. Выбрать, какое напряжение - общее или действительное - использовать, довольно сложно. Следующая таблица может служить своего рода общими рекомендациями для большинства случаев. Необходимо помнить, что общее напряжение зависит от того, как на грунт действует собственный вес и внешние факторы. Что касается пластового давления, то считается, что для текущей поровой воды поровое давление равно гидродинамическому давлению, а при отсутствии движения - гидростатическому. Для частично насыщенных грунтов с более высоким пластовым давлением необходимо учитывать тот факт, что оно присутствует и в воде и в воздухе.

Принимаемые условия	Дренарованный слой	Недренированный слой
Долгосрочные	Действительное напряжение	Общее напряжение
Краткосрочные	Действительное напряжение	Действительное напряжение

В слоевом подгрунте с разным удельным весом грунтов в отдельных горизонтальных слоях вертикальное общее напряжение определяется как сумма всех слоев над рассматриваемым пунктом и пластового давления:

$$\sigma_z = \int_0^z \gamma \cdot dz + \gamma_w (z - d)$$

где:  $\sigma_z$  - вертикальное рабочее общее напряжение

$\gamma$  - удельный вес грунта

- удельный вес грунта в естественном для грунта состоянии над уровнем грунтовых вод и сухими слоями

- удельный вес грунта под водой в иных случаях

$d$  - глубина уровня грунтовых вод ниже поверхности земли

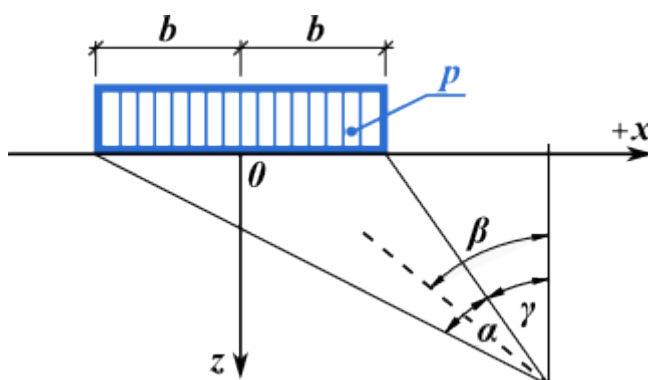
$z$  - глубина от поверхности земли

$\gamma_w$  - вес единицы воды

## Увеличение напряжения вследствие нагрузки

Увеличение давления в массиве грунта или горной породе вследствие нагрузки рассчитывается по теории распределения напряжений в упругом пространстве - теории Бусинеска (Boussinesq).

Каждое увеличение давления в точке в массиве грунта или горной породы вследствие **бесконечной ленточной нагрузки** выводится из следующей схемы:



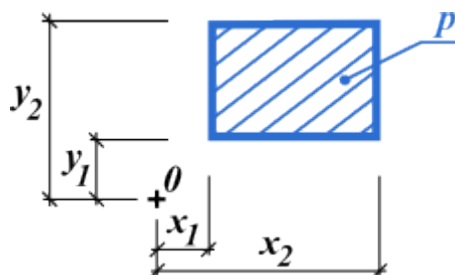
Расчет давления грунта вследствие бесконечной ленточной нагрузки

$$\sigma_z = \frac{p}{\pi} (\alpha + \sin \alpha \cdot \cos 2\beta)$$

$$\beta = \gamma + \frac{\alpha}{2}$$

**Трапецевидное напряжение** автоматически подразделяется в программе на 10 сегментов. Отдельные сегменты рассматриваются как ленточные нагрузки. Получаемое давление грунта является суммой нагрузок отдельных сегментов.

Увеличение напряжения вследствие **сосредоточенной нагрузки** рассчитывается следующим образом:



Нагрузка на точку «О»

$$\Delta\sigma_z = \frac{p}{2\pi} \left( \frac{x_2 \cdot z \cdot S_2}{y_2 \cdot S_{2x}^2} + \frac{x_2 \cdot z^3}{y_2 \cdot S_{2y}^2 \cdot S_2} - \frac{x_2 \cdot z \cdot S_3}{y_1 \cdot S_{2x}^2} + \frac{x_2 \cdot z^3}{y_1 \cdot S_{1y}^2 \cdot S_3} - \frac{x_1 \cdot z \cdot S_4}{y_2 \cdot S_{1x}^2} + \frac{x_2 \cdot z^3}{y_2 \cdot S_{2y}^2 \cdot S_4} + \frac{x_1 \cdot z \cdot S_2}{y_1 \cdot S_{1x}^2} - \frac{x_1 \cdot z^3}{y_1 \cdot S_{2y}^2 \cdot S_1} + \arctg \frac{x_2 \cdot y_2}{z \cdot S_2} - \arctg \frac{x_2 \cdot y_1}{z \cdot S_3} - \arctg \frac{x_1 \cdot y_2}{z \cdot S_4} + \arctg \frac{x_1 \cdot y_1}{z \cdot S_1} \right)$$

где:

$$S_{2x} = \sqrt{x_2^2 + z^2}$$

$$S_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z^2}$$

$$S_3 = \sqrt{x_2^2 + y_1^2 + z^2}$$

$$S_{2y} = \sqrt{y_2^2 + z^2}$$

$$S_2 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + z^2}$$

$$S_4 = \sqrt{x_1^2 + y_2^2 + z^2}$$

## Увеличение нагрузки грунта под основанием

В программе «**Отдельный фундамент**» распределение нагрузки под основанием определяется комбинированием базовых диаграмм нагрузки:

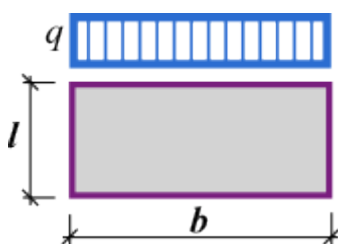


Схема нагрузки на основание

$$\sigma_z = \frac{f}{2\pi} \left[ \operatorname{arctg} \frac{l \cdot b}{z \sqrt{l^2 + b^2 + z^2}} + \frac{l \cdot b \cdot z}{z \sqrt{l^2 + b^2 + z^2}} \left( \frac{1}{l^2 + z^2} + \frac{1}{b^2 + z^2} \right) \right]$$

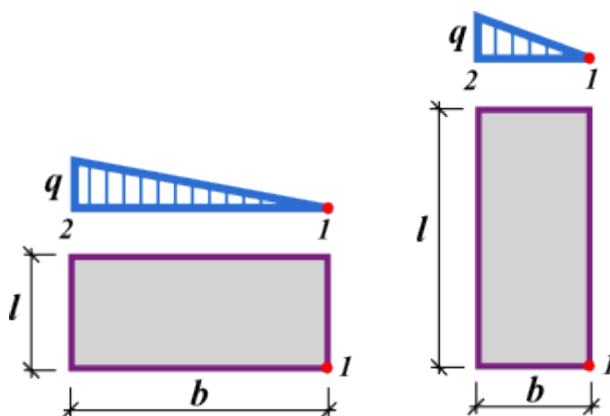


Схема нагрузки на основание

$$\sigma_{z,1} = \frac{q}{2\pi} \left( \frac{l \cdot b \cdot z}{R(z^2 + b^2)} + \frac{l \cdot z}{b \cdot R} \frac{R - \sqrt{l^2 + z^2}}{\sqrt{l^2 + z^2}} \right)$$

$$R = \sqrt{l^2 + b^2 + z^2}$$

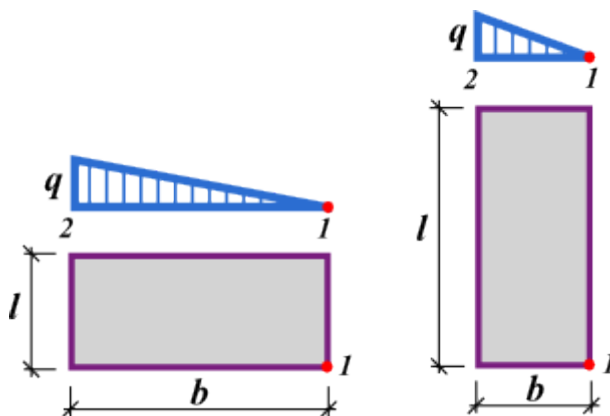


Схема нагрузки на основание

## Давление грунта

Программная система GEO5 учитывает следующие категории давления грунта:

- активное давление грунта

- пассивное давление грунта
- статическое давление грунта

При расчете давлений грунта программа GEO5 различает **эффективное и полное напряженное состояние** и позволяет ввести несколько способов **расчета подъёмной силы**. Кроме того, можно учесть следующие воздействия, влияющие на величину давления грунта:

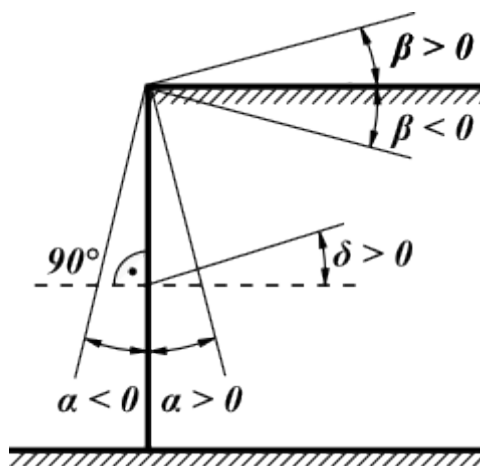
- воздействие пригрузки
- воздействие воды
- воздействие пересеченной местности
- трение между грунтом и поверхностью конструкции
- связность грунта
- воздействие клина грунта на консольные уступы
- воздействие землетрясения

В программе, тексте и формулах используется следующее **правило знаков**.

При анализе скальных пород необходимо **вводить сцепление породы  $c$  или угол внутреннего трения породы  $\varphi$** . Эти значения можно получить у геологической службы или взять из таблицы рекомендуемых значений.

## Правило знаков

В тексте и формулах используется следующее правило знаков:



*Правило знаков при расчете давления грунта*

- уклон рельефа за конструкцией  $\beta$  считается положительным, если рельеф в направлении от конструкции поднимается
- уклон тыльной стороны конструкции  $\alpha$  считается положительным, если подошва конструкции (на тыльной стороне конструкции) находится относительно вертикали, проведённой с верхней точки конструкции, в направлении в грунтовой массив
- трение между грунтом и тыльной стороной конструкции  $\delta$  считается положительным, если равнодействующая давления грунта (следовательно и давление грунта) и перпендикуляр к тыльной поверхности конструкции образуют угол в направлении хода часовой стрелки.

## Активное давление грунта

Активное давление грунта - это наименьшее предельное боковое давление, возникающее в моменте разрушения грунта от сдвига (отступления) сооружения в направлении действующего давления грунта. (Минимальный поворот сооружения, необходимый для создания активного давления грунта, составляет порядка  $2 \text{ mrad}$ , т.е.  $2 \text{ мм/м}$  высоты сооружения).

Для расчета активного давления грунта для случая **состояния эффективного напряжения** используются следующие теории:

- Теория Мазиндран - (Рэнкин)
- Теория Кулона (ЧСН 73 0037)
- Теория Мюллер-Бреслау
- Теория Каку
- Теория Абси

Для связного грунта принимается условие исключения растяжения, т.е. если под влиянием когезии получаем отрицательное значение активного давления грунта, или, по более жёстким требованиям, меньше, чем «Минимальное измеряемое давление», то оно заменяется значением, равным 0 или «Минимальному измеряемому давлению».

Программа позволяет расчёт также для **случая состояния полного напряжения**.

## Теория Мазиндран (Рэнкин)

Активное давление грунта определяется по следующей формуле:

$$\sigma_a = \sigma_z \cdot K'_a = \gamma \cdot z \cdot K'_a \cdot \cos \beta$$

где:

- $\sigma_z$  - вертикальное геостатическое напряжение
- $K_a$  - коэффициент активного давления грунта по Рэнкину
- $\beta$  - уклон поверхности рельефа
- $\gamma$  - вес грунта
- $z$  - принятая глубина
- $K'_a$  - коэффициент активного давления грунта по Мазиндрану

$$K'_a = \frac{1}{\cos^2 \varphi} \left[ \frac{2 \cdot \cos^2 \beta + 2 \cdot \left( \frac{c}{\gamma \cdot z} \right) \cdot \cos \varphi \cdot \sin \varphi - \sqrt{4 \cdot \cos^2 \beta \cdot (\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi) + 4 \cdot \left( \frac{c}{\gamma \cdot z} \right)^2 \cdot \cos^2 \varphi + 8 \cdot \left( \frac{c}{\gamma \cdot z} \right) \cdot \cos^2 \beta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi}}{2} \right] - 1$$

где:

- $\beta$  - уклон
- $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта
- $c$  - когезия грунта

При несвязном грунте ( $c = 0$ ) и горизонтальной поверхности за сооружением ( $\beta = 0$ ) получаем решение Рэнкина, по которому активное давление грунта выражается отношением:

$$\sigma_a = \sigma_z \cdot K_a$$

а коэффициент активного давления грунта имеет вид:

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

где:  $\varphi$  - угол внутреннего давления грунта

Горизонтальные и вертикальные компоненты активного давления грунта вычисляют по формулам:

$$\sigma_{ax} = \sigma_a \cdot \cos(\alpha + \delta)$$

$$\sigma_{az} = \sigma_a \cdot \sin(\alpha + \delta)$$

где:  $\sigma_a$  - активное давление грунта

$\delta$  - угол трения между грунтом и сооружением

$\alpha$  - отклонение задней поверхности сооружения от вертикали

Литература:

Mazindrani, Z.H., and Ganjali, M.H. 1997. Lateral earth pressure problem of cohesive backfill with inclined surface. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, **123**(2): 110-112.

## Теория Кулона

Активное давление грунта определяется по следующей формуле:

$$\sigma_a = \sigma_z \cdot K_a - 2c_{ef} \cdot K_{ac}$$

где:  $\sigma_z$  - вертикальное геостатическое напряжение

$c_{ef}$  - эффективная когезия грунта

$K_a$  - коэффициент активного давления грунта

$K_{ac}$  - коэффициент активного давления грунта выражающий влияние когезии

Коэффициент активного давления грунта  $K_a$  выражается следующим образом:

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\alpha + \delta) \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right)^2}$$

Коэффициент активного давления грунта  $K_{ac}$  определён выражением:

для:  $\alpha < \pi/4$

$$K_{ac} = \frac{K_{ahc}}{\cos(\delta + \alpha)}$$

$$K_{ahc} = \frac{\cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos(\delta - \alpha) \cdot (1 + \operatorname{tg}(-\alpha) \operatorname{tg} \beta)}{1 + \sin(\varphi + \delta - \alpha - \beta)}$$

для:  $\alpha \geq \pi/4$

$$K_{\alpha} = \sqrt{K_a}$$

где:

- $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта
- $\delta$  - угол трения между грунтом и сооружением
- $\beta$  - уклон
- $\alpha$  - отклонение задней поверхности сооружения от вертикали

Горизонтальные и вертикальные компоненты активного давления грунта вычисляются по следующим формулам:

$$\sigma_{ax} = \sigma_a \cdot \cos(\alpha + \delta)$$

$$\sigma_{az} = \sigma_a \cdot \sin(\alpha + \delta)$$

где:

- $\sigma_a$  - активное давление грунта
- $\delta$  - угол трения между грунтом и сооружением
- $\alpha$  - отклонение задней поверхности сооружения от вертикали

Литература:

Arnold Verruijt: *Soil mechanics, Delft University of Technology, 2001, 2006*,  
«<http://geo.verruijt.net/>».

## Теория Мюллер-Бреслау

Активное давление грунта определяется по следующей формуле:

$$\sigma_a = \sigma_z K_a - 2c_{ef} K_{ac}$$

где:

- $\sigma_z$  - вертикальное геостатическое напряжение
- $c_{ef}$  - эффективная когезия грунта
- $K_a$  - коэффициент активного давления грунта
- $K_{ac}$  - коэффициент активного давления грунта выражающий влияние когезии

Коэффициент активного давления грунта  $K_a$  выражен следующим отношением:

$$K_a = \left( \frac{\frac{\sin(\alpha + \pi/4 - \varphi)}{\sin(\alpha + \pi/4)}}{\sqrt{\sin(\alpha + \pi/4 + \delta)} + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\alpha + \pi/4 - \beta)}}} \right)^2$$

где:

- $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта
- $\delta$  - угол трения грунт - сооружение
- $\beta$  - уклон



$\alpha$  - отклонение задней поверхности сооружения от вертикали

Коэффициент активного давления грунта  $K_{ac}$  выражается:

для:  $\alpha < \pi/4$

$$K_{ac} = \frac{K_{ak}}{\cos(\delta + \alpha)}$$

$$K_{ak} = \frac{\cos \varphi \cos \beta \cos(\delta - \alpha)(1 + \operatorname{tg}(-\alpha)\operatorname{tg} \beta)}{1 + \sin(\varphi + \delta - \alpha - \beta)}$$

для:  $\alpha \geq \pi/4$

$$K_{ac} = \sqrt{K_a}$$

где:

- $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта
- $\delta$  - **угол трения грунт-сооружение**
- $\beta$  - уклон
- $\alpha$  - отклонение задней поверхности сооружения от вертикали

Горизонтальные и вертикальные компоненты активного давления грунта принимают следующий вид:

$$\sigma_{ax} = \sigma_a \cdot \cos(\alpha + \delta)$$

$$\sigma_{az} = \sigma_a \cdot \sin(\alpha + \delta)$$

где:

- $\sigma_a$  - активное давление грунта
- $\delta$  - **угол трения грунт-сооружение**
- $\alpha$  - отклонение задней поверхности сооружения от вертикали

*Литература:*

*Müller-Breslau's Erddruck auf Stützmauern, Stuttgart: Alfred Kroner-Verlag, 1906 (German).*

## Теория Каку

Активное давление грунта определяется по следующей формуле:

$$\sigma_a = \sigma_z K_a - 2c_{ef} K_{ac}$$

где:

- $\sigma_z$  - вертикальное геостатическое напряжение
- $c_{ef}$  - эффективная когезия грунта
- $K_a$  - коэффициент активного давления грунта
- $K_{ac}$  - коэффициент активного давления грунта выражающий влияние когезии

В программе GEO5 коэффициент активного давления грунта  $K_a$  получен следующим аналитическим решением (Буссинеск, Каку):

$$K_a = \rho K_a^{Coulomb}$$

где:  $K_a$  - коэффициент активного давления грунта по Каку  
 $K_a^{Coulomb}$  - коэффициент активного давления грунта по Кулону  
 $\rho$  - коэффициент конверсии - см. далее

$$\rho = \left( [1 - 0.9\lambda^2 - 0.1\lambda^4] [1 - 0.3\lambda^3] \right)^{-n}$$

$$\lambda = \frac{\Delta + \beta - \Gamma}{4\varphi - 2\pi(\Delta + \beta - \Gamma)}$$

$$\Delta = 2 \tan^{-1} \left( \frac{|\cot \delta| - \sqrt{\cot^2 \delta - \cot^2 \varphi}}{1 + \operatorname{cosec} \varphi} \right)$$

$$\Gamma = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \beta}{\sin \varphi} \right)$$

где:  $\beta$  - уклон за сооружением  
 $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта  
 $\delta$  - **угол трения сооружение - грунт**

Коэффициент активного давления грунта  $K_{ac}$  выражается:

для:  $\alpha < \pi/4$

$$K_{ac} = \frac{K_{akc}}{\cos(\delta + \alpha)}$$

$$K_{akc} = \frac{\cos \varphi \cos \beta \cos(\delta - \alpha)(1 + \operatorname{tg}(-\alpha)\operatorname{tg} \beta)}{1 + \sin(\varphi + \delta - \alpha - \beta)}$$

для:  $\alpha \geq \pi/4$

$$K_{ac} = \sqrt{K_a}$$

где:  $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта  
 $\delta$  - **угол трения грунт-сооружение**  
 $\beta$  - уклон поверхности земли  
 $\alpha$  - отклонение задней поверхности сооружения от вертикали

Горизонтальные и вертикальные компоненты активного давления грунта принимают следующий вид:

$$\sigma_{ax} = \sigma_a \cdot \cos(\alpha + \delta)$$

$$\sigma_{az} = \sigma_a \cdot \sin(\alpha + \delta)$$

где:  $\sigma_a$  - активное давление грунта  
 $\delta$  - **угол трения грунт-сооружение**  
 $\alpha$  - отклонение задней поверхности сооружения от вертикали

## Теория Абси

Активное давление грунта определяется по следующей формуле:

$$\sigma_a = \sigma_z K_a - 2c_{ef} K_{ac}$$

где:  $\sigma_z$  - вертикальное геостатическое напряжение  
 $c_{ef}$  - эффективная когезия грунта  
 $K_a$  - коэффициент активного давления грунта  
 $K_{ac}$  - коэффициент активного давления грунта выражающий влияние когезии

Программа использует значения коэффициента активного давления грунта  $K_a$  из базы данных, построенной на основании значений, приводимых в книге: Kérisel, Absi: Active and passive earth Pressure Tables, 3rd Ed. A.A. Balkema, 1990 ISBN 90 6191886 3.

Коэффициент активного давления грунта  $K_{ac}$  выражается:

для:  $\alpha < \pi/4$

$$K_{ac} = \frac{K_{akc}}{\cos(\delta + \alpha)}$$

$$K_{akc} = \frac{\cos \varphi \cdot \cos \beta \cos(\delta - \alpha)(1 + \operatorname{tg}(-\alpha) \operatorname{tg} \beta)}{1 + \sin(\varphi + \delta - \alpha - \beta)}$$

для:  $\alpha \geq \pi/4$

$$K_{ac} = \sqrt{K_a}$$

где:  $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта  
 $\delta$  - **угол трения сооружение - грунт**  
 $\beta$  - уклон  
 $\alpha$  - отклонение задней поверхности сооружения от вертикали

Горизонтальные и вертикальные компоненты активного давления грунта принимают следующий вид:

$$\sigma_{ax} = \sigma_a \cdot \cos(\alpha + \delta)$$

$$\sigma_{az} = \sigma_a \cdot \sin(\alpha + \delta)$$

где:  $\sigma_a$  - активное давление грунта  
 $\delta$  - **угол трения сооружение - грунт**

$\alpha$  - отклонение задней поверхности сооружения от вертикали

#### Литература:

*Kérisel, Absi: Active and Passive Earth Pressure Tables, 3rd ed., Balkema, 1990 ISBN 90 6191886 3.*

## Активное давление грунта - состояние полного напряжения

При определении активного давления грунта в связных, полностью водонасыщенных грунтах, когда нельзя предположить, что за время нагрузки от конструкции произойдет процесс консолидации, т.е. в недренированных условиях, горизонтальное нормальное полное напряжение  $\sigma_x$  получаем из формулы:

$$\sigma_x = \sigma_z - K_{uc} c_u$$

где:

$\sigma_x$	-	горизонтальное нормальное полное напряжение
$\sigma_z$	-	вертикальное нормальное полное напряжение
$K_{uc}$	-	коэффициент давления грунта
$c_u$	-	полная когезия грунта

Коэффициент давления грунта  $K_{uc}$  рассчитывается по формуле:

$$K_{uc} = 2 \sqrt{1 + \frac{a_u}{c_u}}$$

где:

$K_{uc}$	-	коэффициент давления грунта
$c_u$	-	полная когезия грунта
$a_u$	-	полное сцепление грунта со стеной конструкции

## Пассивное давление грунта

Пассивное давление грунта является наивысшим предельным сопутствующим давлением, развившимся в начале разрушения при сдвиге при движении (проникновении) стены в направлении, противоположном направлению действия активного давления грунта (минимально необходимая для появления пассивного давления грунта ротация стены составляет  $10 \text{ mrad}$ , т.е.  $10 \text{ мм/м}$  высоты стены). В большинстве формул, используемых для расчета пассивного давления грунта, принимается следующее правило знаков: обычные значения  $\delta$ , соответствующие вертикальному направлению равнодействующего трения, являются отрицательными. Программа, однако, считает данные значения положительными. Редкий случай трения, действующего по направлению вверх, программой не учитывается.

Для расчета пассивного давления грунта **при условии состояния действительного напряжения** используются следующие теории и методы:

- Теория Рэнкина-Мазиндран
- Теория Кулона

- Теория Каку-Керизеля
- Теория Мюллер-Бреслау
- Теория Абси
- Теория Соколовского

Программа также позволяет анализировать **общие напряжения**.

## Пассивное давление грунта - Теория Рэнкина-Мазиндрани

Пассивное давление грунта рассчитывается по следующей формуле:

$$\sigma_p = \sigma_z K_p = \gamma z K'_p \cos \beta$$

где:

- $\sigma_z$  - вертикальное геостатическое напряжение
- $K_p$  - коэффициент пассивного давления грунта по Рэнкину
- $\beta$  - наклон уклона
- $\gamma$  - вес грунта
- $z$  - принятая глубина
- $K'_p$  - коэффициент пассивного давления по Мазиндрани

Коэффициент пассивного давления грунта  $K_p$  рассчитывается следующим образом:

$$K'_p = \frac{1}{\cos^2 \varphi} \left\{ \frac{2 \cos^2 \beta + 2 \left( \frac{c}{\gamma z} \right) \cos \varphi \sin \varphi + \sqrt{4 \cos^2 \beta (\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi) + 4 \left( \frac{c}{\gamma z} \right)^2 \cos^2 \varphi + 8 \left( \frac{c}{\gamma z} \right) \cos^2 \beta \sin \varphi \cos \varphi}}{2 \cos^2 \beta + 2 \left( \frac{c}{\gamma z} \right) \cos \varphi \sin \varphi} \right\} - 1$$

где:

- $\beta$  - наклон уклона
- $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта
- $c$  - когезия грунта

При отсутствии трения ( $\delta = 0$ ) между конструкцией и несвязным грунтом ( $c = 0$ ), поверхность земли принимается горизонтальной ( $\beta = 0$ ), а получаемая поверхность скольжения также принимается равной с уровнем уклона:

$$\vartheta_p = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}$$

теория Мазиндрани в этом случае сокращает теорию Рэнкина. Коэффициент пассивного давления грунта в этом случае рассчитывается так:

$$K_a = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = \tan^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

где:

- $\varphi$  - анугол внутреннего трения грунта

Пассивное давление грунта  $\sigma_p$  по Рэнкину для несвязного грунта равно:

$$\sigma_p = \gamma z K_p$$

где:

- $\gamma$  - вес единицы грунта
- $z$  - принятая глубина
- $K_p$  - коэффициент пассивного давления грунта по Рэнкину

*Литература:*

Arnold Verruijt: *Soil mechanics, Delft University of Technology, 2001, 2006,*  
<http://geo.verruijt.net/>.

Mazindrani, Z.H., and Ganjali, M.H. 1997. *Lateral earth pressure problem of cohesive backfill with inclined surface. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 123(2): 110-112.*

## Пассивное давление грунта - Теория Кулона

Пассивное давление грунта рассчитывается по следующей формуле:

$$\sigma_p = \sigma_z K_p + 2c\sqrt{K_p}$$

где:

- $\sigma_z$  - вертикальное геостатическое напряжение
- $K_p$  - коэффициент пассивного давления грунта по Рэнкину
- $c$  - когезия грунта

Коэффициент пассивного давления грунта  $K_p$  рассчитывается следующим образом:

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi + \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta - \alpha) \left( 1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\delta - \alpha) \cdot \cos(\beta - \alpha)}} \right)^2}$$

где:

- $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта
- $\delta$  - **угол трения конструкция - грунт**
- $\beta$  - наклон уклона
- $\alpha$  - наклон задней поверхности конструкции

Вертикальный  $\sigma_{pv}$  и горизонтальный  $\sigma_{ph}$  компоненты пассивного давления грунта рассчитываются следующим образом:

$$\sigma_{px} = \sigma_p \cdot \cos(\alpha + \delta)$$

$$\sigma_{pz} = \sigma_p \cdot \sin(\alpha + \delta)$$

где:

- $\delta$  - **угол трения конструкция - грунт**
- $\alpha$  - наклон задней поверхности конструкции

*Литература:*

Arnold Verruijt: *Soil mechanics, Delft University of Technology, 2001, 2006,*  
<http://geo.verruijt.net/>.

## Пассивное давление грунта - Теория Каку - Керизеля

Пассивное давление грунта рассчитывается по следующей формуле:

$$\sigma_p = \sigma_z K_p \Psi + 2c \sqrt{K_p \Psi}$$

где:  $K_p$  - коэффициент пассивного давления грунта для  $\delta = -\varphi$ , см. [таблицу](#)  
 $\Psi$  - поправочный коэффициент  $\Psi$  для  $|\delta| < \varphi$ , см. [таблицу](#)  
 $c$  - когезия грунта  
 $\sigma_z$  - вертикальное геостатическое напряжение

Вертикальный  $\sigma_{pz}$  и горизонтальный  $\sigma_{ph}$  компоненты пассивного давления грунта рассчитываются следующим образом:

$$\sigma_{pz} = \sigma_p \cdot \cos(\alpha + \delta)$$

$$\sigma_{ph} = \sigma_p \cdot \sin(\alpha + \delta)$$

где:  $\delta$  - [угол трения конструкция - грунт](#)  
 $\alpha$  - [внаклон задней поверхности конструкции](#)

## Коэффициент пассивного давления грунта $K_p$

<b>Коэффициент пассивного давления грунта <math>K_p</math> для <math>\delta = -\varphi</math></b>											
$\alpha$ [°]	$\varphi$ [°]	$K_p$ для $\beta^\circ$									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	10	1,17	1,41	1,53							
	15	1,39	1,70	1,92	2,06						
	20	1,71	2,06	2,42	2,71	2,92					
	25	2,14	2,61	2,96	3,66	4,22	4,43				
-30	30	2,78	3,42	4,16	5,01	5,96	6,94	7,40			



	35	3,7 5	4,7 3	5,8 7	7,2 1	8,76	10, 60	12, 50	13,60		
	40	5,3 1	6,8 7	8,7 7	11, 00	13,70	17, 20	24, 60	25,40	28,40	
	45	8,0 5	10, 70	14, 20	18, 40	23,80	30, 50	38, 90	49,10	60,70	69, 10
	10	1,3 6	1,5 8	1,7 0							
	15	1,6 8	1,9 7	2,2 0	2,3 8						
	20	2,1 3	2,5 2	2,9 2	3,2 2	3,51					
	25	2,7 8	3,3 4	3,9 9	4,6 0	5,29	5,5 7				
-20	30	3,7 8	4,6 1	5,5 6	6,6 1	7,84	9,1 2	9,7 7			
	35	5,3 6	6,6 9	8,2 6	10, 10	12,20	14, 80	17, 40	19,00		
	40	8,0 7	10, 40	12, 00	16, 50	20,00	25, 50	36, 50	37,80	42,20	
	45	13, 20	17, 50	22, 90	29, 80	38,30	48, 90	62, 30	78,80	97,30	11 1,0 0
	10	1,5 2	1,7 2	1,8 3							
	15	1,9 5	2,2 3	2,5 7	2,6 6						
	20	2,5 7	2,9 8	3,4 2	3,7 5	4,09					
	25	3,5 0	4,1 4	4,9 0	5,6 2	6,45	6,8 1				
-10	30	4,9 8	6,0 1	7,1 9	8,5 1	10,10	11, 70	12, 60			
	35	7,4 7	9,2 4	11, 30	13, 80	16,70	20, 10	23, 70	26,00		
	40	12, 00	15, 40	19, 40	24, 10	29,80	37, 10	53, 20	55,10	61,60	

	45	21, 20	27, 90	36, 50	47, 20	60,60	77, 30	98, 20	124,00	153,00	17 6,0 0
	10	1,6 4	1,8 1	1,9 3							
	15	2,1 9	2,4 6	2,7 3	2,9 1						
	20	3,0 1	3,4 4	3,9 1	4,4 2	4,66					
	25	4,2 9	5,0 2	5,8 1	6,7 2	7,71	8,1 6				
0	30	6,4 2	7,6 9	9,1 3	10, 80	12,70	14, 80	15, 90			
	35	10, 20	12, 60	15, 30	18, 60	22,30	26, 90	31, 70	34,90		
	40	17, 50	22, 30	28, 00	34, 80	42,90	53, 30	76, 40	79,10	88,70	
	45	33, 50	44, 10	57, 40	74, 10	94,70	12 0,0 0	153 ,00	174,00	240,00	27 5,0 0
	10	1,7 3	1,8 7	1,9 8							
	15	2,4 0	2,6 5	2,9 3	3,1 2						
	20	3,4 5	3,9 0	4,4 0	4,9 6	5,23					
10	25	5,1 7	5,9 9	6,9 0	7,9 5	9,11	9,6 7				
	30	8,1 7	9,6 9	11, 40	13, 50	15,90	18, 50	19, 90			
	35	13, 80	16, 90	20, 50	24, 80	29,80	35, 80	42, 30	46,6 0		
	40	25, 50	32, 20	40, 40	49, 90	61,70	76, 40	110 ,00	113, 00	127,00	
	45	52, 90	69, 40	90, 00	116 ,00	148,00	18 8,0 0	239 ,00	303, 00	375,00	431,00

	10	1,7 8	1,8 9	2,0 1							
	15	2,5 8	2,8 2	3,1 1	3,3 0						
	20	3,9 0	4,3 8	4,9 2	5,5 3	5,83					
20	25	6,1 8	7,1 2	8,1 7	9,3 9	10,70	11, 40				
	30	10, 40	12, 30	14, 40	16, 90	20,00	23, 20	25, 00			
	35	18, 70	22, 80	27, 60	33, 30	40,00	48, 00	56, 80	62,5 0		
	40	37, 20	46, 90	58, 60	72, 50	89,30	11 1,0 0	158 ,00	164, 00	185,00	
	45	84, 00	110 ,00	143 ,00	184 ,00	234,00	29 7,0 0	378 ,00	478, 00	592,00	680,00
	10	1,7 8	1,8 9	2,0 0							
	15	2,7 2	2,9 6	3,2 6	3,4 5						
	20	4,3 5	4,8 8	5,4 6	6,1 4	6,47					
30	25	7,3 3	8,4 3	9,6 5	11, 10	12,70	13, 50				
	30	13, 10	15, 50	18, 20	21, 40	25,20	29, 30	31, 60			
	35	25, 50	31, 00	37, 50	45, 20	54,20	65, 20	77, 00	84,8 0		
	40	54, 60	68, 80	86, 00	107 ,00	131,00	16 2,0 0	232 ,00	241, 00	271,00	
	45	135 ,00	176 ,00	228 ,00	293 ,00	374,00	47 5,0 0	604 ,00	763, 00	945,00	1090,0 0

## Поправочный коэффициент пассивного давления грунта

Поправочный коэффициент  $\psi$  для  $|\delta| < \varphi$

$\varphi [^\circ]$	$\psi$ для $ \delta  < \varphi$					
5	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,0
10	1,00	0,989	0,962	0,929	0,898	0,864
15	1,00	0,979	0,934	0,881	0,830	0,775
20	1,00	0,968	0,901	0,824	0,752	0,678
25	1,00	0,954	0,860	0,759	0,666	0,574
30	1,00	0,937	0,811	0,686	0,574	0,467
35	1,00	0,916	0,752	0,603	0,475	0,362
40	1,00	0,886	0,682	0,512	0,375	0,262
45	1,00	0,848	0,600	0,414	0,276	0,174

## Пассивное давление грунта - Теория Мюллер-Бреслау

Пассивное давление грунта рассчитывается по следующей формуле:

$$\sigma_p = \sigma_z K_p + 2c\sqrt{K_p}$$

где:  $K$  - коэффициент пассивного давления грунта

$p$

$c$  - когезия грунта

$\sigma_z$  - вертикальное рабочее геостатическое напряжение

Коэффициент пассивного давления грунта  $K_p$  рассчитывается следующим образом:

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta - \alpha) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi - \delta) \cdot \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\alpha - \delta) \cdot \cos(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

где:  $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта

$\delta$  - угол трения конструкция - грунт

$\beta$  - наклон уклона

$\alpha$  - наклон задней поверхности конструкции

Вертикальный  $\sigma_{pv}$  и горизонтальный  $\sigma_{ph}$  компоненты пассивного давления грунта рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma_{px} &= \sigma_p \cdot \cos(\alpha + \delta) \\ \sigma_{pz} &= \sigma_p \cdot \sin(\alpha + \delta)\end{aligned}$$

где:  $\delta$  - угол трения конструкция - грунт  
 $\alpha$  - наклон задней поверхности конструкции

*Литература:*

*Müller-Breslau's Erddruck auf Stützmauern, Stuttgart: Alfred Kroner-Verlag, 1906 (German)*

## Пассивное давление грунта - Теория Абси

Пассивное давление грунта рассчитывается по следующей формуле:

$$\sigma_p = \sigma_z K_p + 2c\sqrt{K_p}$$

где:  $K_p$  - коэффициент пассивного давления грунта  
 $c$  - когезия грунта  
 $\sigma_z$  - вертикальное рабочее геостатическое напряжение

Программа принимает значения коэффициента  $K_p$  из базы данных, построенной по значению, опубликованным в книге : Kérisel, Absi: Active and passive earth Pressure Tables, 3rd Ed. A.A. Balkema, 1990 ISBN 90 6191886 3.

Вертикальный  $\sigma_{pv}$  и горизонтальный  $\sigma_{ph}$  компоненты пассивного давления грунта рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma_{px} &= \sigma_p \cdot \cos(\alpha + \delta) \\ \sigma_{pz} &= \sigma_p \cdot \sin(\alpha + \delta)\end{aligned}$$

где:  $\delta$  - угол трения конструкция - грунт  
 $\alpha$  - наклон задней поверхности конструкции

*Литература:*

*Kérisel, Absi: Active and Passive Earth Pressure Tables, 3rd ed., Balkema, 1990 ISBN 90 6191886 3.*

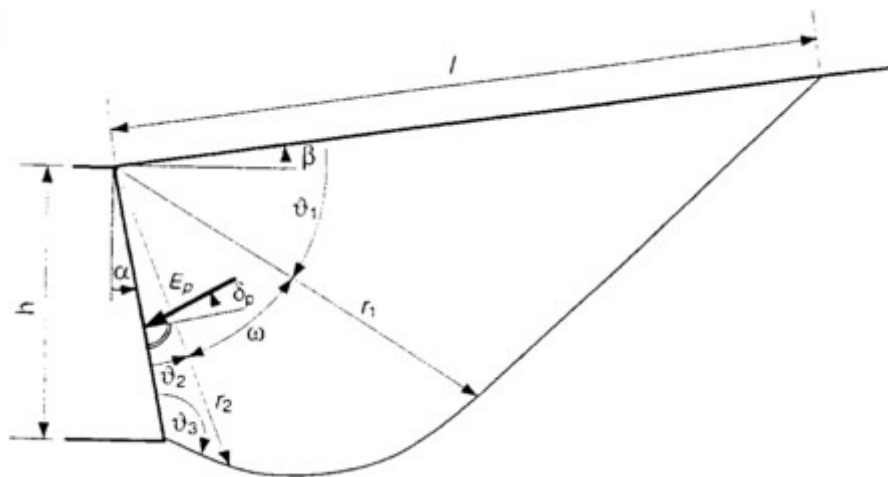
## Пассивное давление грунта - Теория Соколовского

Пассивное давление грунта рассчитывается по следующей формуле:

$$\sigma_p = \sigma_z K_{pg} + c K_{pc} + p_v K_{pp}$$

где:  $K_{pg}$  - коэффициент пассивного давления грунта для несвязного грунта  
 $K_{pc}$  - коэффициент пассивного давления грунта в результате когезии  
 $K_{pp}$  - коэффициент пассивного давления грунта в результате нагрузки  
 $\sigma_z$  - вертикальное рабочее геостатическое напряжение

Отдельные формулы для определения значения пассивного давления грунта и поверхности скольжения представлены ниже; значение отдельных величин можно получить из следующего Рис.:



*Пассивное давление грунта поверхности скольжения по Соколовскому*

Углы, описывающие поверхность скольжения:

$$\vartheta_1 = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} - \frac{\varepsilon_1 - \beta}{2}$$

$$\vartheta_2 = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} - \frac{\varepsilon_2 - \delta_p}{2}$$

$$\vartheta_3 = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} + \frac{\varepsilon_2 - \delta_p}{2}$$

$$\omega = \frac{\pi}{2} - \alpha + \beta - \vartheta_1 - \vartheta_2$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\sin \beta}{\sin \varphi}$$

$$\varepsilon_2 = -\frac{\sin \delta_p}{\sin \varphi}$$

где:  $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта  
 $\delta_p$  - **угол трения конструкция - грунт**  
 $\beta$  - наклон уклона

Вектор радиуса поверхности скольжения:

$$r_2 = \frac{h}{\cos \alpha} \cdot \frac{\sin \vartheta_3}{\sin (\vartheta_2 + \vartheta_3)}$$

$$r_1 = r_2 \cdot e^{\omega \tan \varphi}$$

$$I = r_1 \cdot \frac{\cos \varphi}{\cos(\varphi + \varphi_1)}$$

При условии  $\omega < 0$ , оба прямых края зоны  $r_1$  и  $r_2$  численно перекрывают друг друга, и в результате образуется плоская поверхность скольжения в области перекрытия. Коэффициенты пассивного давления грунта  $K_{pg}$ ,  $K_{pp}$ ,  $K_{pc}$  рассчитываются следующим образом:

$$K_{pg} = K_{pg,0} \cdot i_{pg} \cdot g_{pg} \cdot t_{pg}$$

$$K_{pp} = K_{pp,0} \cdot i_{pp} \cdot g_{pp} \cdot t_{pp}$$

$$K_{pc} = \cot \varphi \left( K_{pp,0} \cdot i_{pc} \cdot g_{pc} \cdot t_{pc} - \frac{1}{\cos \alpha \cdot \cos \delta} \right)$$

где:  $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта  
 $\delta_p$  - **угол трения конструкция - грунт**  
 $\alpha$  - наклон задней поверхности конструкции

$$K_{pg,0} = K_{pp,0} = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

Вспомогательные величины:  $i_{pg}$ ,  $i_{pp}$ ,  $i_{pc}$ ,  $g_{pg}$ ,  $g_{pp}$ ,  $g_{pc}$ ,  $t_{pg}$ ,  $t_{pp}$ ,  $t_{pc}$

Д  
л  
я  
:  
$$i_{pg} = (1 - 0,53\delta_p)^{0,26+5,96\varphi}, \quad i_{pp} = (1 - 1,33\delta_p)^{0,08+2,37\varphi}, \quad i_{pc} = i_{pp}$$

$\beta \leq 0$ : 
$$g_{pg} = (1 + 0,73\beta)^{2,89}, \quad g_{pp} = (1 + 1,16\beta_p)^{1,57}, \quad g_{pc} = (1 + 0,001\beta \tan \varphi)^{205,4+2232\varphi}$$

$\beta > 0$ : 
$$g_{pg} = (1 + 0,35\beta)^{0,42+8,15\varphi}, \quad g_{pp} = (1 + 3,84\beta_p)^{0,98\varphi}, \quad g_{pc} = e^{2\beta \tan \varphi}$$

$\alpha \leq 0$ : 
$$t_{pg} = (1 + 0,72\alpha \tan \varphi)^{3,51+1,03\varphi}$$

$\alpha > 0$ : 
$$t_{pg} = (1 - 0,0012\alpha \tan \varphi)^{2910-1958\varphi}$$

$$t_{pp} = \frac{e^{-2\alpha \tan \varphi}}{\cos \alpha}$$

где:  $t_{pc} = t_{pp}$

Для грунта с углом внутреннего трения равным 0, для определения коэффициентов пассивного давления грунта используются следующие формулы:

$$K_{pg} = \cos \beta, \quad K_{pc} = K_{pc,0} \cdot i_{pc} \cdot g_{pc} \cdot t_{pc}$$

где:



$$K_{px\beta} = 2, \quad i_{px} = 1, \quad g_{px} = 1 + \beta, \quad t_{px} = \frac{1 - \alpha}{\cos \alpha} \Rightarrow K_{px} = \frac{2(1 + \beta)(1 - \alpha)}{\cos \alpha}$$

Литература:

Sokolovski, V.V., 1960. *Statics of Soil Media*, Butterworth, London.

## Пассивное давление грунта - общее напряжение

При определении активного давления грунта в связных полностью насыщенных почвах, когда плотность грунта обычно устраняется (недренированные условия), горизонтальное рабочее общее напряжение  $\sigma_x$  получается из формулы:

$$\sigma_x = \sigma_z - K_{uc} c_u$$

где:

$\sigma_x$	-	горизонтальное общее напряжение (рабочее)
$\sigma_z$	-	вертикальное рабочее общее напряжение
$K_{uc}$	-	коэффициент давления грунта
$c_u$	-	общая когезия грунта

Коэффициент давления грунта  $K_{uc}$  определяется следующим образом:

$$K_{uc} = -2 \sqrt{1 + \frac{a_u}{c_u}}$$

где:

$K_{uc}$	-	коэффициент давления грунта
$c_u$	-	общая когезия грунта
$a_u$	-	общая <b>связность грунта</b> с конструкцией

## Статическое давление грунта

Статическое давление грунта - это горизонтальное давление, действующее на неподдающую конструкцию. Обычно принимается в тех случаях, когда необходимо ограничить боковую и вертикальную деформацию грунта при сооружении ограждающих или подпорных конструкций (напр., в случае поддержки бока строительной конструкции при сооружении котлованов до глубины ниже существующих фундаментов, или в общих случаях при укреплении грунтов конструкциями чувствительными к неравномерному оседанию), а также в случае чрезмерной жёсткости конструкции, к которой приложено давление грунта, которая не позволяет деформацию в направлении нагружения, что необходимо для мобилизации активного давления грунта.

Для расчёта статического давления использована формула:

$$\sigma_r = \sigma_z \cdot K_r$$

Для **связного грунта** для расчета  $K_r$  в программе используется формула Терзаги:

$$K_r = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

где:

$\nu$	-	коэффициент Пуассона
-------	---	----------------------

Для **несвязного грунта** используется формула Джэки:

$$K_r = 1 - \sin \varphi$$

где:  $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта

При расчете статического давления для связного грунта  $\sigma_r$  с использованием формулы Джэки для определения коэффициента статического давления грунта  $K_r$ , рекомендуется использовать противоположный угол внутреннего трения  $\varphi_n$ .

На способ расчета статического давления грунта может оказать влияние выбор типа грунта (связный, несвязный) при вводе параметров грунта. Даже типичный несвязный грунт (песок, щебень) необходимо вводить как связный, если хотим рассчитать статическое давление при помощи коэффициента Пуассона и наоборот.

При **переуплотненном грунте** для расчета коэффициента статического давления грунта  $K_r$  используется формула Шмертманна:

$$K_r = 0,5 (OCR)^{0,5}$$

где:  $K_r$  - коэффициент статического давления грунта

$OCR$  - коэффициент переуплотнения

Значение коэффициента статического давления грунта **можно ввести вручную**.

Программа может рассчитать статическое давление **на наклонном рельефе и задней части конструкции**, а также воздействие **пригрузки**.

## Статическое давление грунта для наклоненной поверхности задней части конструкции

Для наклоненной поверхности задней части конструкции ( $0^\circ < \beta \leq \varphi$ ) статическое давление грунта принимает следующую форму:

$$\sigma_r = \frac{\sigma_z \cdot K_r \cdot \sin \varphi \cdot \cos \beta}{\sin \varphi - \sin^2 \beta}$$

где:  $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта

$\beta$  - наклон уклона

$\sigma_z$  - вертикальное геостатическое напряжение

$K_r$  - коэффициент давления грунта в состоянии покоя

Для наклоненной задней поверхности стен значения статического давления грунта выводятся из формулы:

$$\sigma_r = \sigma_z \sqrt{\sin^2 \alpha + K_r^2 \cos^2 \alpha}$$

где:  $\alpha$  - наклон задней поверхности конструкции

$\sigma_z$  - вертикальное геостатическое напряжение

$K_r$  - коэффициент статического давления грунта

Нормальная и касательная составляющие имеют следующий вид:

$$\sigma = \sigma_z \cdot (\sin^2 \alpha + K_r \cdot \cos^2 \alpha),$$

$$\tau = \sigma_z \cdot (1 - K_r) \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha.$$

где:  $\alpha$  - наклон задней поверхности конструкции  
 $\sigma_z$  - вертикальное геостатическое напряжение  
 $K_r$  - коэффициент статического давления грунта

Угол отклонения от нормальной линии к стене  $\delta$  составляет:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{(1 - K_r) \cdot \operatorname{tg} \alpha}{K_r + \operatorname{tg}^2 \alpha}$$

где:  $\alpha$  - наклон задней поверхности конструкции  
 $K_r$  - коэффициент статического давления грунта

## Повышенное активное давление

Расчёт **повышенного активного давления** выполняется с помощью коэффициента  $k$ .

Величина давления в точке рассчитывается по формуле:

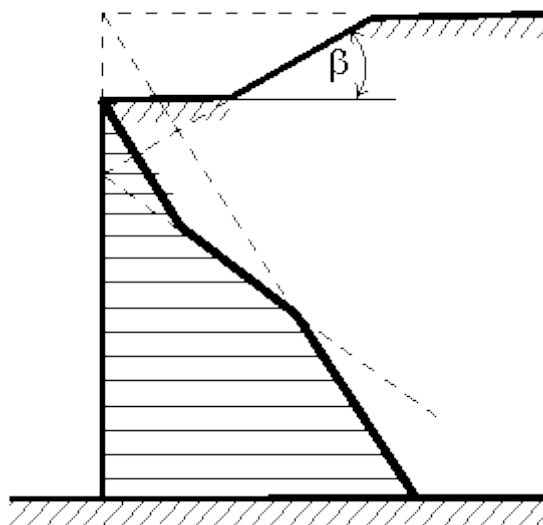
$$\sigma = k \sigma_r + (1 - k) \sigma_a$$

где:  $\sigma_r$  - статическое давление  
 $\sigma_a$  - активное давление грунта  
 $k$  - коэффициент повышенного активного давления

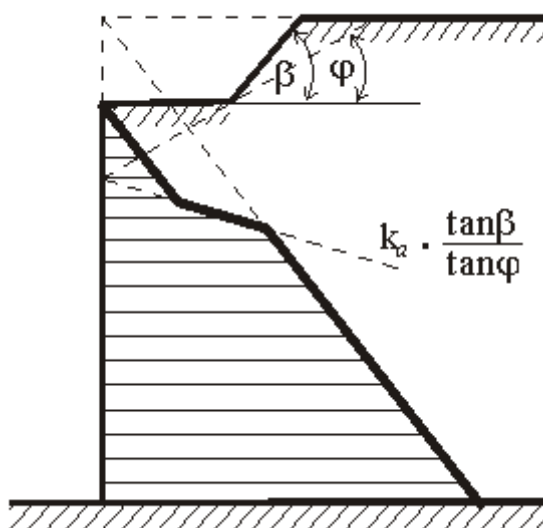
Если значение коэффициента  $k = 1$ , то получаем давление равное статическому давлению, если значение коэффициента равно  $k = 0$ , то окончательное давление равно активному давлению.

## Распределение давления грунта при пересеченной местности

На рисунках представлена процедура анализа давления грунта при наклонной местности. Получаемый в результате вид распределения давления грунта, действующего на конструкцию, получается из суммы треугольных распределений, развиваемых отдельными воздействиями, направленными на конструкцию.



Принцип расчета давления грунта при пересеченной местности



Принцип расчета давления грунта при пересеченной местности для  $\beta > \varphi$

## Воздействие воды

Воздействие грунтовых вод можно отразить при помощи одного из следующих вариантов:

Без грунтовых вод, вода не учитывается



Гидростатическое давление, грунтовая вода находится позади конструкции



Гидростатическое давление, грунтовая вода находится позади и перед конструкцией



Гидродинамическое давление



Особое распределение давления воды



## Без грунтовых вод, вода не учитывается



### Без грунтовых вод, вода не учитывается

В этой опции воздействие грунтовых вод не учитывается.

Дополнительная информация:

Если ниже уровня грунтовых вод имеется мелкозернистый грунт, необходимо оценить воздействие полного насыщения в области капиллярного притяжения. Капиллярное притяжение отражается в анализе только при повышенном уровне насыщенности, а значение  $\gamma_{sat}$  включается в параметры грунта.

Для разделения участков с разной степенью насыщенности пользователь может включить несколько слоев одного и того же грунта с разным удельным весом. Отрицательное давление в порах не учитывается. Однако, для слоев с разной степенью насыщенности можно использовать разные значения прочности на сдвиг, на которое оказывает воздействие поглощение (разница в пластовом давлении воды и газа  $u_a - u_w$ ).

## Гидростатическое давление, грунтовая вода находится позади конструкции

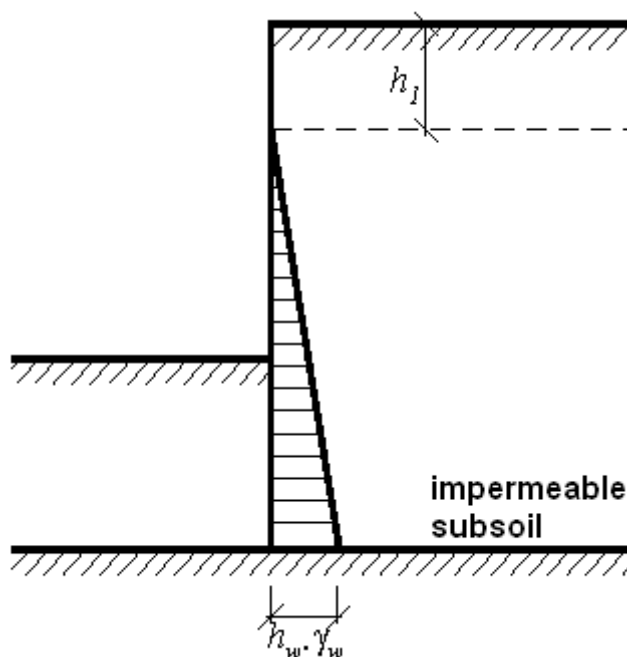


### Гидростатическое давление, грунтовая вода находится позади конструкции

Основание конструкции утоплено в водонепроницаемый подгрунт, следовательно, поток воды не попадает под конструкцию. Вода находится только позади конструкции. На переднюю поверхность вода не действует. Это возможно в том случае, когда вода перед конструкцией протекает свободно из-за гравитации или если используется глубокий дренаж. Задняя поверхность конструкции испытывает нагрузку гидростатическим давлением:

$$u = \gamma_w \cdot h_w$$

где:  $\gamma_w$  - вес единицы воды  
 $h_w$  - разница уровня вод



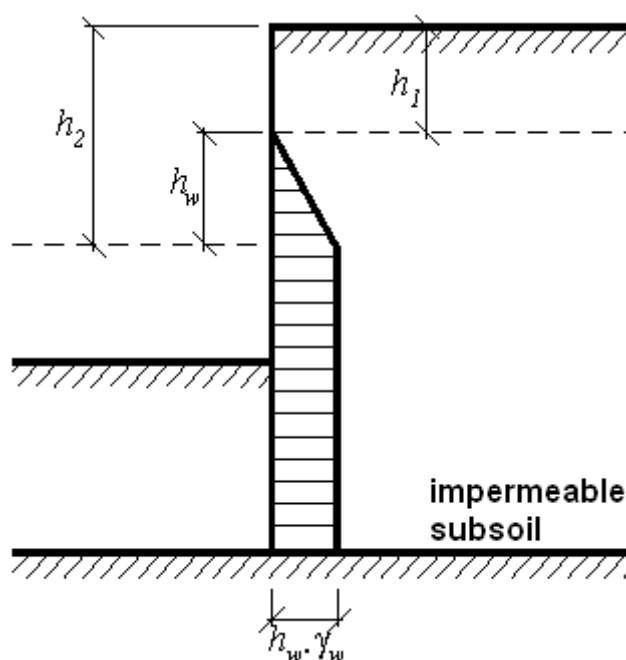
*Действие гидростатического давления*

## Гидростатическое давление, грунтовая вода находится позади и перед конструкцией



### Гидростатическое давление, грунтовая вода находится позади и перед конструкцией

Основание конструкции утоплено в водонепроницаемый подгрунт, следовательно, поток воды не попадает под конструкцию. Нагрузка от воды принимается действующей и перед и позади конструкции. Вода перед конструкцией нейтрализуется либо благодаря действию гравитации, либо понижается посредством откачки. Передняя и задняя поверхности конструкции нагружены гидростатическим напряжением из-за разницы в уровнях вод ( $h_1$  и  $h_2$ ). Величина  $h_w$  представляет собой разницу уровней воды позади и перед конструкцией (см. Рис.):



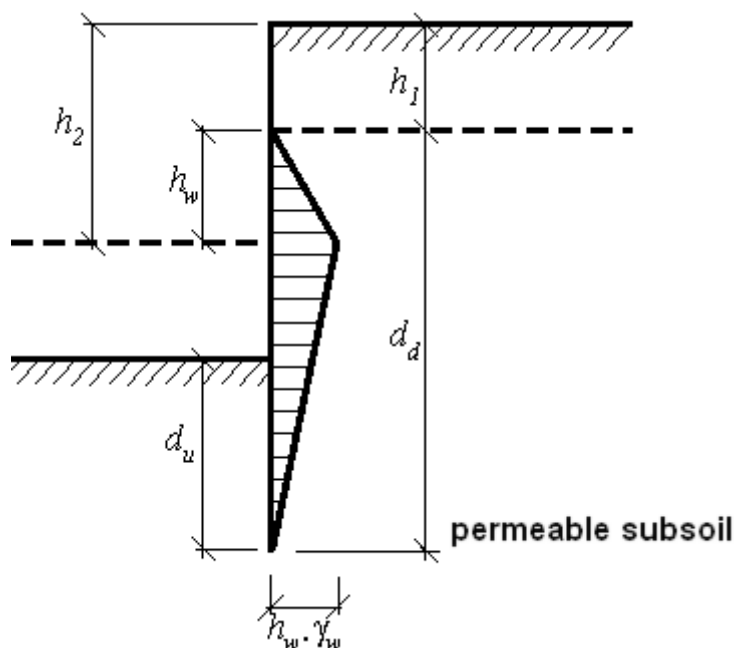
### Действие гидростатического давления

## Гидродинамическое давление



## Гидродинамическое давление

Основание конструкции утоплено в водопроницаемый подгрунт, следовательно, поток воды свободно попадает под конструкцию (см. Рис.). Вес единицы грунта, приподнятого гидростатическим противодействием  $\gamma_{su}$  преобразуется для расчета давления потока. Эти преобразования зависят от направления потока воды.





### Действие гидродинамического давления

При расчете давления грунта в области нисходящего потока программа включает следующее значение удельного веса грунта:

$$\gamma = \gamma_{su} + \Delta\gamma = \gamma_{su} + i \cdot \gamma_w$$

а в области восходящего потока - следующее значение:

$$\gamma = \gamma_{su} - \Delta\gamma = \gamma_{su} - i \cdot \gamma_w$$

где:

- $\gamma_{su}$  - вес единицы водонасыщенного грунта
- $\Delta\gamma$  - изменение веса единицы грунта
- $i$  - средний градиент напора фильтрации
- $\gamma_w$  - вес единицы воды

Средний гидравлически уклон рассчитывается по формуле:

$$i = \frac{h_w}{d_d + d_u}$$

где:

- $i$  - средний градиент напора фильтрации
- $h_w$  - разница уровней воды
- $d_d$  - восходящий контур фильтрации
- $d_u$  - нисходящий контур фильтрации

Если изменение удельного веса грунта  $\Delta\gamma$ , рассчитываемое по формуле:

$$\Delta\gamma = i \cdot \gamma_w$$

где:

- $i$  - средний градиент напора фильтрации
- $\gamma_w$  - вес единицы воды

больше удельного веса насыщенного грунта  $\gamma_{su}$ , перед конструкций появляется вымывка, от потока воды грунт ведет себя как не имеющий веса и потому не может передавать нагрузки. В этом случае программа выдает предупреждение и принимает значение  $\gamma = 0$ . Результат, таким образом, более не соответствует исходному вводу, но является более безопасным.

## Особое распределение давления воды

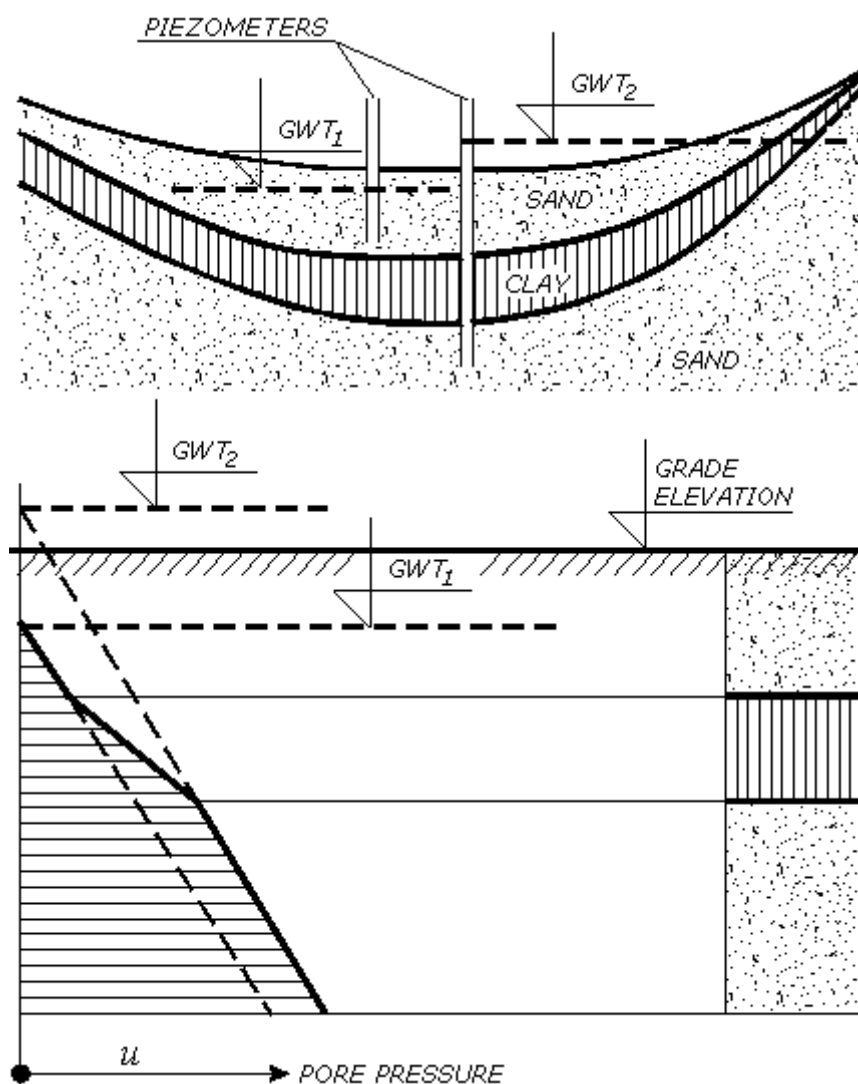


### Особое распределение давления воды

Эта опция позволяет ввести вручную распределение нагрузки от воды перед и позади конструкции, используя ординаты пластового давления на различной глубине. Варьирование давления между отдельными значениями линейно. В то же время необходимо вводить уровни полного насыщения грунта позади  $h_1$  и перед  $h_2$  конструкций, в т.ч. возможное снижение удельного веса  $\delta\gamma$  перед конструкцией, обусловленное потоком воды.

**Пример:** две отдельные линии горизонта грунтовых вод.

Имеется два водопроницаемых слоя (песок или гравий) и один водонепроницаемый слой глины между ними, что ведет к разделению двух гидравлических линий горизонта (см. Рис.):



Пример распределения пластового давления

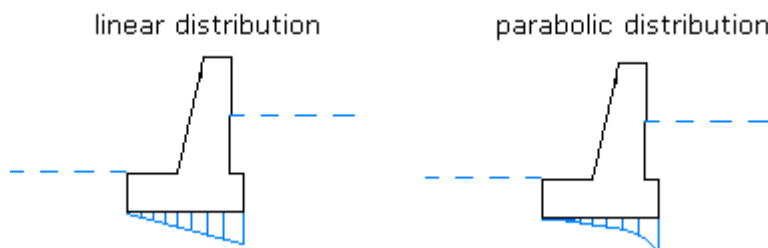
Изменение пластового давления над слоем глины обусловлено уровнем свободных грунтовых вод  $GWT_1$ . Распределение пластового давления под слоем глины определяется коэффициентом в уровне расположенных ниже грунтовых вод  $GWT_2$ , где грунтовая вода подвержена действию напряжения. Распределение пластового давления в глине примерно линейно.

Капиллярное притяжение отражается в анализе только при повышенном уровне насыщенности, а значение  $\gamma_{sat}$  включается в параметры грунта.

Для разделения участков с разной степенью насыщенности пользователь может включить несколько слоев одного и того же грунта с разным удельным весом. Отрицательное давление в порах не учитывается. Однако, для слоев с разной степенью насыщенности можно использовать разные значения прочности на сдвиг, на которое оказывает воздействие поглощение.

## Гидростатическое противодействие в основании фундамента

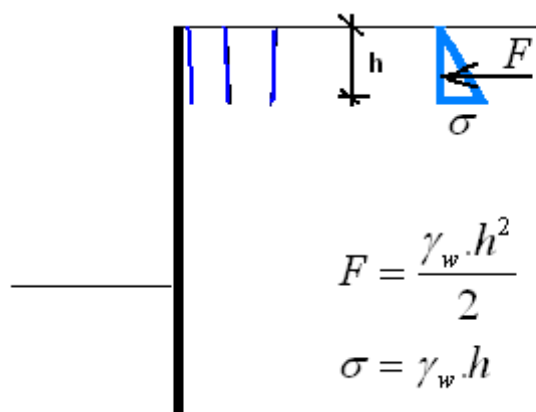
Изменение гидростатического противодействия в основании фундамента вследствие разницы уровней грунтовых вод принимается линейным, параболическим или не принимается в расчет в зависимости от ожидаемого действия.



*Гидростатическое противодействие в основании фундамента*

## Воздействие трещин разрыва

Программа позволяет рассчитать воздействие трещин разрыва поверхности, наполненных водой. Процедура анализа представлена на рисунке. Единственным вводимым параметром является глубина трещин.



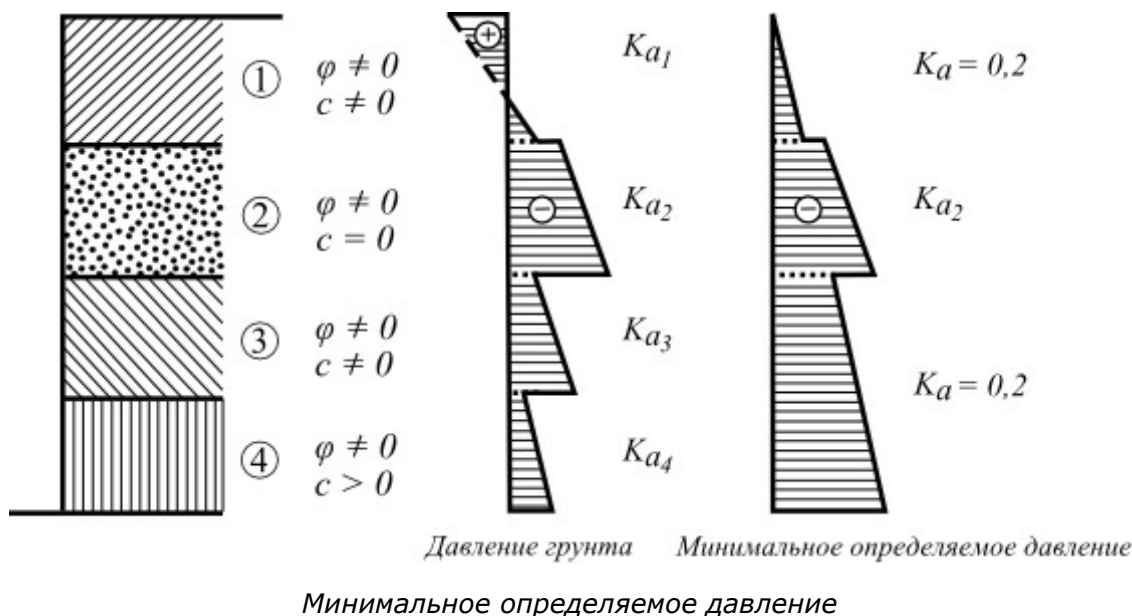
*Воздействие трещин разрыва*

## Минимальное определяемое давление

При определении значения и распределения давления грунта очень сложно определить пропорции отдельных действий. Данная ситуация ведет к неопределенности в определении диаграммы нагрузки давления грунта. В действительности при расчете необходимо использовать наиболее неблагоприятное распределение для обеспечения безопасности конструкции. Например, при каркасных конструкциях в связном грунте при использовании приемлемых значений силовых параметров грунта для всей конструкции, мы можем столкнуться с растягивающими напряжениями в верхней части конструкции (см. Рис.). Для безопасного расчета обшивочной конструкции в частности в нижних участках, где растягивающие напряжения развиваются при расчете активного давления грунта, в программе в анализе можно вызвать опцию «**Минимальное определяемое давление**».

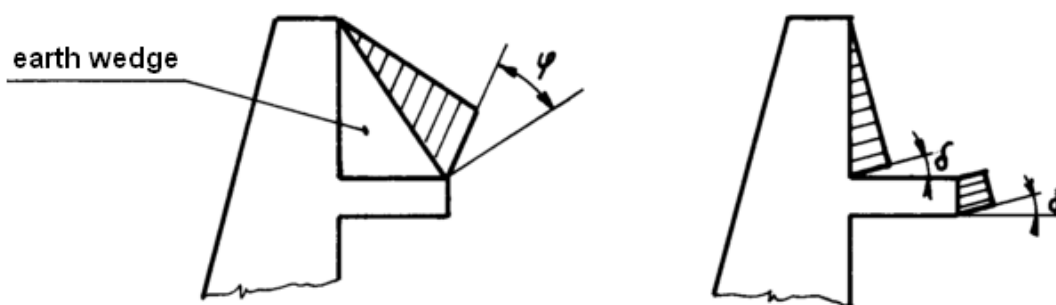
Для определения минимального определяемого давления программа использует для слоев связного грунта в качестве минимального значения коэффициента активного давления

грунта переменный коэффициент  $K_a = 0,2$ . Таким образом, гарантируется, что значение рассчитанного активного грунтового давления не будет ниже 20% вертикального давления ( $K_a \geq 0,2$ ) - см. Рис. Применение минимального определяемого давления предполагает, например, возможность увеличения сопутствующего давления вследствие наполнения стыка позади обшивочной конструкции дождевой водой. Если опция минимального определяемого давления не выбрана, программа принимает усечение в области растяжения ( $K_a \geq 0,0$ ).

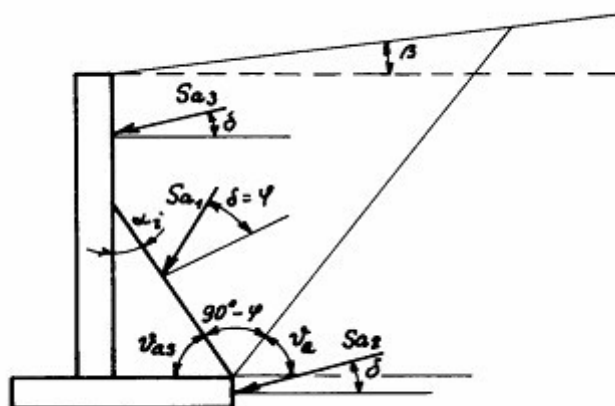


## Клин давления грунта

Если при расчете давления грунта рассматривается конструкция с консолью (фундаментная плита консольной стены, изменение для снижения давления грунта), можно рассчитать давление грунта, действующего, либо на действительную заднюю поверхность конструкции с введенным углом трения  $\delta \leq 2/3\varphi$ , либо на вариантную заднюю поверхность конструкции. Вариантная задняя поверхность обшивочной конструкции заменяет действительную сломанную трещиной, проходящей от верхней точки задней поверхности стены до внешней верхней точки уступа, и, тем самым, формирует клин грунта (см. Рис.). Полностью подвижный угол трения  $\delta = \varphi$  принимается вдоль этой плоскости. Вес полученного клина грунта под вариантной задней поверхностью в дальнейшем используется для нагрузки, приложенной к конструкции. Для введения вариантной задней поверхности конструкции в анализ необходимо выбрать в программе GEO5 «Давления грунта опцию» «Учитывать развитие клина давления грунта». В других программах клин грунта включен автоматически.



Расчет с и без клина давления грунта



### Определение клина давления грунта при активном давлении грунта

Плоскость сдвига клина давления грунта наклоняется от горизонтальной линии под углом  $\nu_d$ , рассчитываемым по формуле:

$$v_n = \varphi + \varepsilon$$

$$\tan \varepsilon = \frac{\cos(\varphi - \alpha) \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \cos(\alpha + \delta) + B \cdot \cos(\varphi - \beta - \alpha - \delta)}{\sin(\varphi - \alpha) \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \cos(\alpha + \delta) + B \cdot \sin(\varphi - \beta - \alpha - \delta) + M}$$

$$M = \sqrt{(\sin(\varphi - \beta) \cdot \cos(\beta - \alpha) + B) \cdot (\sin(\varphi + \delta) \cdot \cos(\alpha + \delta) + B)}$$

$$B = \frac{2.c.\cos\alpha.\cos(\beta-\alpha).\cos\varphi}{\gamma.h.\cos(\beta-\alpha) + \frac{2.\sigma_z.\cos\alpha.\cos\beta}{\gamma.h}}$$

где:

- $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта
- $\beta$  - наклон уклона
- $\delta$  - **угол трения конструкция - грунт**
- $\gamma$  - вес единицы грунта
- $\alpha$  - наклон задней поверхности конструкции
- $h$  - высота клина грунта

Форма клина грунта в слоистом подгрунте определяется таким образом, что для отдельных слоев грунта программа рассчитывает угол  $v_a$ , который затем используется для определения угла  $v_{as}$ . Затем программа определяет пересечение линии, проведенной под углом  $v_{as}$  из верхней правой точки блока основания со следующим слоем. Затем проводится следующая линия, начинающаяся из определенного пересечения под углом  $v_{as}$ . Процесс анализа заканчивается, когда линия пересекается с поверхностью земли или стены соответственно. Формы клина затем принимаются в виде треугольника (пересечение со стеной) или прямоугольника (пересечение с поверхностью земли).

## Пригрузка

В программе GEO5 в расчётах давлений грунта учтены следующие типы пригрузок:

### Активное давление грунта

- Сплошная пригрузка
- Ленточная пригрузка
- Трапециевидная пригрузка
- Сосредоточенная пригрузка
- Линейная пригрузка
- Горизонтальная пригрузка

### Статическое давление грунта

- Сплошная пригрузка
- Ленточная пригрузка
- Трапециевидная пригрузка
- Сосредоточенная пригрузка
- Горизонтальная пригрузка

### Пассивное давление грунта

- Сплошная пригрузка

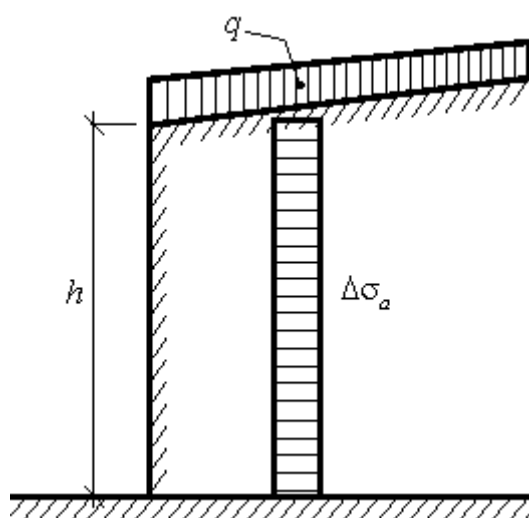
## Нагрузка поверхности - Активное давление грунта

Увеличение активного статического давления грунта вследствие нагрузки поверхности имеет следующий вид:

$$\Delta\sigma_a = p \cdot K_a$$

где:  $p$  - вертикальное равномерное нагружение  
 $K_a$  - коэффициент активного давления грунта

Вертикальное равномерное нагружение  $p$ , приложенное на поверхность земли, увеличивается по всей высоте конструкции - постоянное увеличение активного давления грунта (см. Рис.):



Увеличение активного давления грунта вследствие вертикальной равномерной нагрузки поверхности земли

## Ленточная нагрузка - Активное давление грунта

Для вертикального ленточного нагружения  $f_a$ , действующего параллельно конструкции на поверхность земли вдоль бесконечно длинной ленты, принимается трапециевидное увеличение активного давления грунта, приложенного к конструкции на определенном сегменте  $h_f$  (см. Рис.).

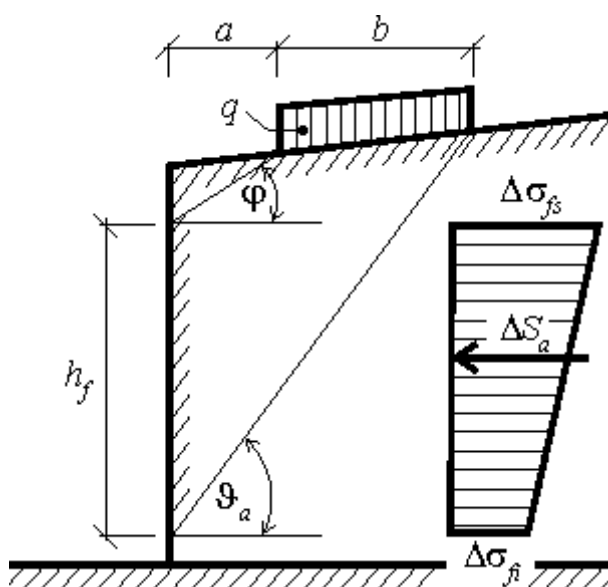


Диаграмма увеличения активного давления грунта вследствие ленточной нагрузки  $f_a$

Этот сегмент определяется пересечением конструкции и линий, проведенных от крайних точек ленточного нагружения, имеющих уклоны, связанные углами  $\varphi$  и  $\vartheta_a$ . Угол  $\vartheta_a$ , соответствующий критической плоскости скольжения, выводится из следующей формулы:

$$\vartheta_a = \varphi + \varepsilon$$

Формула подробно описана в разделе «Активное давление грунта - линейная нагрузка».



Variation of pressure increment is trapezoidal; the larger intensity of  $\Delta\sigma_{fs}$  is applied at the upper end while the smaller intensity of  $\Delta\sigma_{fi}$  at the bottom end. The two increments are given by:

Изменение увеличения давления является трапециевидным; чем большая сила  $\Delta\sigma_{fs}$  приложена к верхнему концу, тем меньшая сила  $\Delta\sigma_{fi}$  приложена к нижнему. Два увеличения выражены следующим образом:

$$\Delta\sigma_{fs} = \frac{f_a \cdot b \cdot K_{af}}{h_f} \cdot \left(1 + \frac{a}{a+b}\right)$$

$$\Delta\sigma_{fi} = \frac{f_a \cdot b \cdot K_{af}}{h_f} \cdot \left(1 - \frac{a}{a+b}\right)$$

где:

- $f_a$  - значение ленточного напряжения
- $b$  - ширина ленточного напряжения, действующего нормально на конструкцию
- $h_f$  - секция, к которой приложено увеличение активного давления грунта

$$K_{af} = \frac{\sin(\vartheta_a - \varphi)}{\cos(\vartheta_a - \varphi - \delta)}$$

где:

- $\vartheta_a$  - угол критической плоскости скольжения
- $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта
- $\delta$  - угол трения конструкция - грунт

Полученный результат увеличения активного давления грунта вследствие ленточной нагрузки  $f_a$  имеет следующий вид:

$$\Delta S_a = f_a \cdot b \cdot \frac{\sin(\vartheta_a - \varphi)}{\cos(\vartheta_a - \varphi - \delta)}$$

где:

- $\vartheta_a$  - угол критической плоскости скольжения
- $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта
- $\delta$  - угол трения конструкция - грунт
- $f_a$  - значение ленточного напряжения
- $b$  - ширина ленточного напряжения

Для неомогенного грунта программа рассчитывает **следующим образом**.

## Трапециевидная нагрузка - Активное давление грунта

Трапециевидная нагрузка подразделяется в программе на 10 сегментов. Отдельные сегменты рассматриваются как **ленточные нагрузки**. Получаемое в результате давление грунта представляет собой сумму частных нагрузок, полученных из отдельных сегментов.

## Сосредоточенная нагрузка - Активное давление грунта

Сосредоточенная нагрузка (равнодействующая  $F$  вследствие нагрузки поверхности или сосредоточенной нагрузки - см. Рис.) трансформируется в **линейную нагрузку** с ограниченной длиной. Если ширина поверхностного нагружения  $b$  меньше расстояния  $a$  от задней поверхности стены (см. Рис.), вариантная линейная нагрузка  $f$  с длиной  $l+2(a+b)$  приобретает вид:

$$f = \frac{F}{l + 2 \cdot (a + b)}$$

где:

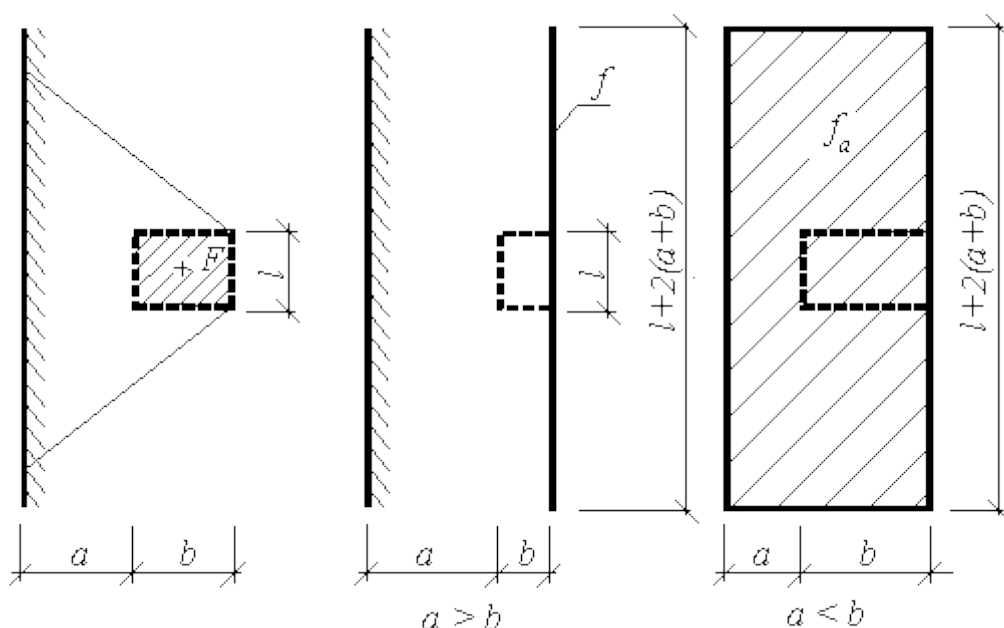
- $F$  - равнодействующая вследствие нагрузки поверхности или сосредоточенной нагрузки
- $a$  - расстояние нагрузки от задней поверхности стены
- $l$  - длина нагрузки
- $b$  - ширина нагрузки поверхности

Если ширина  $b$  поверхностного нагружения превышает расстояния  $a$  от задней поверхности стены (см. Рис.), **вариантная линейная нагрузка**  $f$  с длиной  $l+2(a+b)$  и шириной  $a+b$  приобретает вид:

$$f_a = \frac{F}{(l + 2 \cdot (a + b)) \cdot (a + b)}$$

где:

- $F$  - равнодействующая вследствие нагрузки поверхности или сосредоточенной нагрузки
- $a$  - расстояние нагрузки от задней поверхности стены
- $l$  - длина нагрузки
- $b$  - ширина нагрузки поверхности

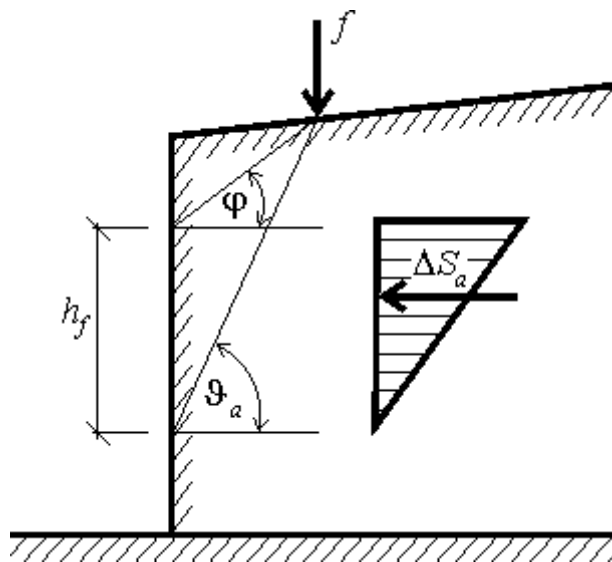


*Переменная нагрузка для расчета увеличения активного давления грунта*

Для неомогенного грунта программа рассчитывает **следующим образом**.

## Линейная нагрузка - Активное давление грунта

Вертикальная бесконечная долгая линейная нагрузка  $f$ , действующая на поверхность земли параллельно конструкции, ведет к треугольному увеличению активного давления грунта, приложенного к конструкции на данном сегменте  $h_f$  - см. Рис.:



*Диаграмма увеличение активного давления грунта вследствие вертикальной линейной нагрузки, действующей на поверхность земли*

Действие линейной нагрузки определяется так, что линии проводятся из точки применения следующих углов  $\varphi$  и  $\vartheta_a$  (соответствует критической поверхности скольжения), которое определяется следующим образом:

$$\vartheta_a = \varphi + \varepsilon$$

где:  $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта  
 $\varepsilon$  - угол, выведенный из следующих формул

$$\tan \varepsilon = \frac{\cos(\varphi - \alpha) \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \cos(\alpha + \delta) + B \cdot \cos(\varphi - \beta - \alpha - \delta)}{\sin(\varphi - \alpha) \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \cos(\alpha + \delta) + B \cdot \sin(\varphi - \beta - \alpha - \delta) + M}$$

$$M = \sqrt{(\sin(\varphi - \beta) \cdot \cos(\beta - \alpha) + B) \cdot (\sin(\varphi + \beta) \cdot \cos(\alpha + \delta) + B)}$$

$$B = \frac{2 \cdot c \cdot \cos \alpha \cdot \cos(\beta - \alpha) \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot h \cdot \cos(\beta - \alpha) + \frac{2 \cdot \sigma_z \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta}{\gamma \cdot h}}$$

где:  $\beta$  - наклон уклона  
 $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта

$\delta$	-	угол трения конструкция - грунт
$\alpha$	-	наклон задней поверхности конструкции
$c$	-	когезия грунта
$\gamma$	-	удельный вес грунта
$h$	-	принятая глубина

Для неомогенного грунта и наклона поверхности земли  $\beta$  менее, чем угол внутреннего трения  $\varphi$ , значение угла  $\varepsilon$  определяется следующим образом:

$$\cot g = \operatorname{tg}(\varphi - \alpha) + \frac{1}{\cos(\varphi - \alpha)} \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \cos(\alpha - \beta)}{\sin(\varphi - \beta) \cdot \cos(\alpha + \delta)}}$$

где:	$\beta$	-	наклон уклона
	$\varphi$	-	угол внутреннего трения грунта
	$\delta$	-	угол трения конструкция - грунт
	$\alpha$	-	наклон задней поверхности конструкции

Равнодействующая увеличения активного давления грунта вследствие линейной нагрузки  $f$  определяется следующим образом:

$$\Delta S_a = f \cdot \frac{\sin(\vartheta_a - \varphi)}{\cos(\vartheta_a - \varphi - \delta)}$$

где:	$\vartheta_a$	-	угол критической плоскости скольжения
	$\varphi$	-	угол внутреннего трения грунта
	$\delta$	-	угол трения конструкция - грунт
	$f$	-	значение линейной нагрузки

Для неомогенного грунта программа рассчитывает **следующим образом**.

## Прирост давления от горизонтальной пригрузки

Прирост активного давления и статического давления от горизонтальной пригрузки рассчитывают по следующему рисунку.

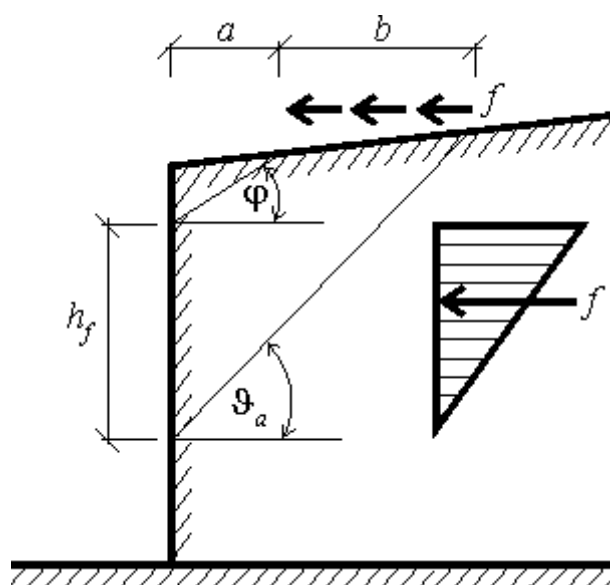


Схема прироста активного давления грунта и статического давления в условиях горизонтальной пригрузки поверхности рельефа

Крайние точки прироста давления определяют так, что от точки приложения пригрузки идут прямые линии под углами  $\varphi$  и  $\vartheta_a$  (соответствующими критической поверхности скольжения), рассчитанными по формуле:

$$\vartheta_a = \varphi + \varepsilon$$

где:  $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта  
 $\varepsilon$  - угол, рассчитанный по следующим формулам

$$\tan \varepsilon = \frac{\cos(\varphi - \alpha) \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \cos(\alpha + \delta) + B \cdot \cos(\varphi - \beta - \alpha - \delta)}{\sin(\varphi - \alpha) \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \cos(\alpha + \delta) + B \cdot \sin(\varphi - \beta - \alpha - \delta) + M}$$

$$M = \sqrt{(\sin(\varphi - \beta) \cdot \cos(\beta - \alpha) + B) \cdot (\sin(\varphi + \beta) \cdot \cos(\alpha + \delta) + B)}$$

$$M = \sqrt{(\sin(\varphi - \beta) \cdot \cos(\beta - \alpha) + B) \cdot (\sin(\varphi + \delta) \cdot \cos(\alpha + \delta) + B)}$$

$$B = \frac{2 \cdot c \cdot \cos \alpha \cdot \cos(\beta - \alpha) \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot h \cdot \cos(\beta - \alpha) + \frac{2 \cdot \sigma_z \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta}{\gamma \cdot h}}$$

где:  $\beta$  - уклон поверхности рельефа  
 $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта  
 $\delta$  - трение грунт-конструкция  
 $\alpha$  - отклонение конструкции от отвесной линии  
 $c$  - сцепление грунта  
 $\gamma$  - удельный вес грунта  
 $h$  - предусматриваемая глубина

При несвязном грунте и уклоне поверхности земли  $\beta$  меньше чем значение угла

внутреннего трения грунта  $\varphi$ , значение угла  $\varepsilon$  определяется отношением:

$$\cot g = \operatorname{tg}(\varphi - \alpha) + \frac{1}{\cos(\varphi - \alpha)} \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \cos(\alpha - \beta)}{\sin(\varphi - \beta) \cdot \cos(\alpha + \delta)}}$$

где:

- $\beta$  - уклон поверхности рельефа
- $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта
- $\delta$  - угол трения грунт-конструкция
- $\alpha$  - отклонение конструкции от отвесной линии

Результирующая прироста активного давления грунта от линейной нагрузки  $f$  определена отношением:

$$\Delta S_a = f \cdot \frac{\sin(\vartheta_a - \varphi)}{\cos(\vartheta_a - \varphi - \delta)}$$

где:

- $\vartheta_a$  - угол критической плоскости скольжения
- $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта
- $\delta$  - угол трения грунт-конструкция
- $f$  - величина линейной нагрузки

В условиях неоднородности среды грунтов, программа поступает **следующим образом**.

## Нагрузка в негетогенном грунте

Для негетогенного грунта процедура расчета следующая:

- рассчитать угол  $\vartheta_a$  для данного слоя грунта
- определить соответствующее значение силы  $S_a$  и размер диаграммы соответствующего давления
- определить значение давления грунта, действующего под нижним краем данного слоя, а также его соотношение с общим значением давления
- нагрузка сокращается при использовании коэффициента данного соотношения, затем определяется расположение нагрузки на верхнем крае последующего слоя
- рассчитать угол  $\vartheta_a$  для следующего слоя и повторить все указанные шаги, пока не будет достигнут низ конструкции или нагрузка полностью не исчезнет

## Нагрузка поверхности - Статическое давление грунта

Увеличение равномерно распределенного активного статического давления грунта  $\Delta\sigma_r$  вызванного вертикальным нагружением поверхности на поверхности земли позади конструкции, рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta\sigma_r = f \cdot K_r$$

где:  $f$  - значение нагрузки поверхности  
 $K_r$  - коэффициент статического давления грунта

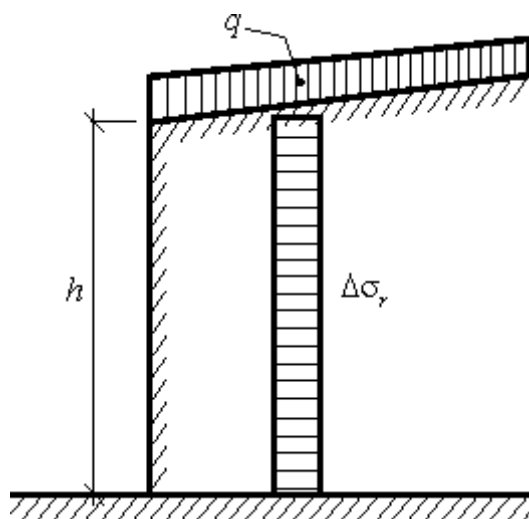


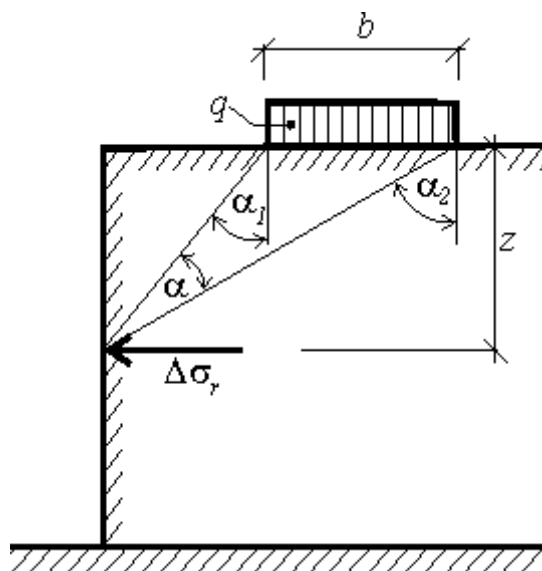
Диаграмма увеличения статического давления грунта вследствие вертикальной равномерной нагрузки, действующей на поверхность земли

## Ленточная нагрузка - Статическое давление грунта

Равномерное ленточное нагружение  $f_a$ , действующего позади конструкции на поверхность земли параллельно вертикальной конструкции (см. Рис.), создает увеличение статического напряжения  $\Delta\sigma_r$ , имеющего значение, выведенное из:

$$\Delta\sigma_r = \frac{f_a}{\pi} (2\alpha - \sin 2\alpha_2 + \sin 2\alpha_1)$$

где:  $f_a$  - вертикальная ленточная нагрузка  
 $\alpha, \alpha_1, \alpha_2$  - соответствуют схеме





*Увеличение давления грунта вследствие вертикальной ленточной нагрузки*

## Трапецевидная нагрузка - Статическое давление грунта

Трапецевидная нагрузка подразделяется в программе на 10 сегментов. Отдельные сегменты рассматриваются как **ленточные нагрузки**. Получаемое в результате давление грунта представляет собой сумму частных нагрузок, полученных из отдельных сегментов.

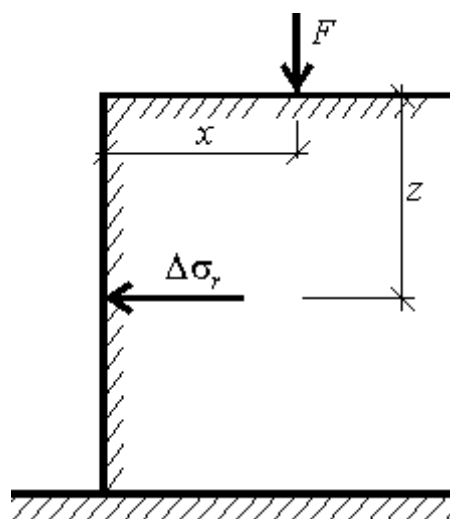
## Сосредоточенная нагрузка - Статическое давление грунта

Применение сосредоточенной нагрузки ведет к увеличению статического давления грунта  $\Delta\sigma_r$ , действующего на вертикальную конструкцию и имеющего значение:

$$\Delta\sigma_r = \frac{3 \cdot F}{\pi} \left( \frac{x^2 \cdot z}{r^5} + \frac{1-2\nu}{3} \left( \frac{1}{r \cdot (r+z)} - \frac{(2 \cdot r + z) \cdot x^2}{(r+z)^2 \cdot x^3} - \frac{z}{r^3} \right) \right)$$

$$r = \sqrt{x^2 + z^2}$$

где:  $F$  - сосредоточенная сила, действующая на поверхность  
 $x, z$  - координаты, соответствующие схеме



*Увеличение статического давления грунта вследствие вертикальной сосредоточенной силы*

## Нагрузка поверхности - Пассивное давление грунта

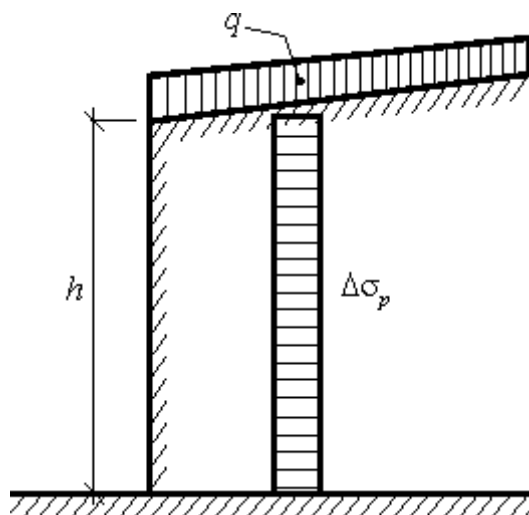
Для пассивного давления грунта только увеличение вследствие вертикальной равномерной нагрузки  $f_a$  определяется при помощи формулы:

$$\Delta\sigma_p = f_a \cdot K_p$$

где:  $f_a$  - вертикальная нагрузка поверхности

$K_p$  - коэффициент пассивного давления грунта

Вертикальное равномерное нагружение  $q$ , действующее на поверхность земли, приводит к постоянному увеличению пассивного давления, приложенного на всю длину стены (см. Рис.).



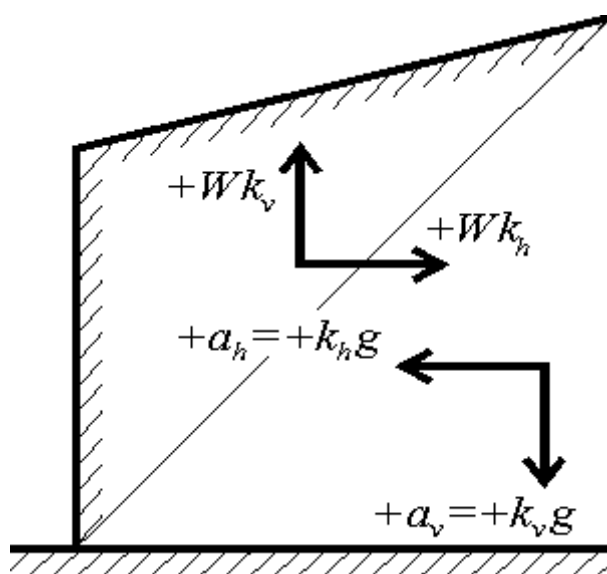
Увеличение пассивного давления грунта

## Воздействие землетрясения

Землетрясение увеличивает воздействие активного давления и снижает воздействие пассивного давления. Теории, используемые в GEO5 ([Мононоб-Окаб](#), [Арранго](#), [JTJ 004-89](#), [JTS 146-2012](#), [SL 203-97](#), [NCMA-SRW](#)) основываются на предположении об участии несвязного грунта без воздействия воды. Таким образом, все введенные грунты принимаются несвязными при использовании данных теории при рассмотрении воздействий землетрясений. Действие последних вследствие нагрузки не учитываются в программе, пользователь может ввести данные действия (в зависимости от типа нагрузки) как «**Введенные силы**».

Коэффициент  $k_h$  всегда принимается положительным, а его действие - всегда неблагоприятным. Коэффициент  $k_v$  может принимать как положительные, так и отрицательные значения. Если эквивалентное ускорение  $a_v$  действует по направлению вниз (от поверхности земли), силы инерции  $k_v W_s$  окажутся под давлением на клине грунта, действующего в противоположном направлении (поднимая клин вверх). Значения эквивалентного ускорения  $a_v$  (а, следовательно, и коэффициента  $k_v$ ) и сил инерции  $k_v W_s$  принимаются положительными. Очевидно, что инерционные действуют в направлении, противоположном ускорению (если ускорение принимается направленным вверх  $-a_v = -k_v * g$ , тогда сила инерции давит грунт вниз  $-k_v W_s$ ). При рассмотрении сейсмических воздействий принимается направление с наиболее неблагоприятным действием на конструкцию.

Для обшивочных конструкций можно пренебречь действием вертикального эквивалентного ускорения  $k_v W_s$  и ввести  $k_v = 0$ .



Правило знаков

Сейсмический угол инерции рассчитывается из коэффициентов  $k_h$  и  $k_v$  (т.е. угол между равнодействующей сил инерции и вертикальной линией) при помощи формулы:

$$\psi = \tan^{-1} \left( \frac{k_h}{1 - k_v} \right)$$

где:  $k_v$  - сейсмический коэффициент вертикального ускорения  
 $k_h$  - сейсмический коэффициент горизонтального ускорения

### Давление от сейсмического воздействия

Увеличение активного давления грунта вследствие сейсмических воздействий (рассчитывается от нижней части конструкции) выводится из следующей формулы:

$$\sigma_{ae,i} = \sigma_{0,i} (K_{ae,i} - K_{a,i})$$

$$\sigma_{0,i} = \sum_0^H \gamma_i \cdot h_i (1 - k_v)$$

где:  $\gamma_i$  - вес единицы грунта в i-ом слое  
 $K_{ae,i}$  - коэффициент активного давления грунта (статического и сейсмического) в i-ом грунте  
 $K_a$  - значение давления грунта в i-ом слое по Кулону  
 $h_i$  - толщина i-ого слоя  
 $k_v$  - сейсмический коэффициент вертикального ускорения

Уменьшение пассивного давления вследствие сейсмической нагрузки (рассчитывается от нижней части конструкции) определяется следующим образом:

$$\sigma_{pe,i} = \sigma_{0,i} (K_{p,i} - K_{pe,i})$$

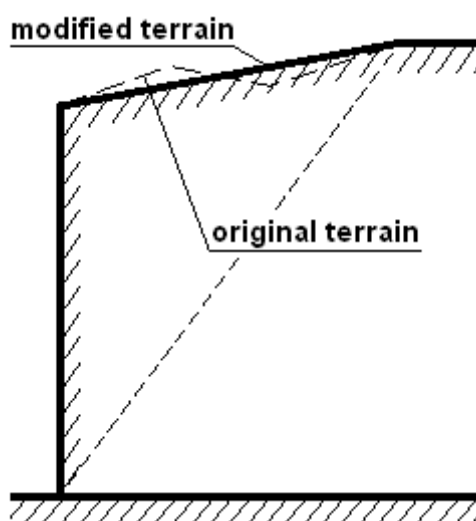
$$\sigma_{0,i} = \sum_0^H \gamma_i \cdot h_i (1 - k_v)$$

где:

- $\gamma_i$  - вес единицы грунта в i-ом слое
- $K_{pe,i}$  - коэффициент активного давления грунта (статического и сейсмического) в i-ом грунте
- $K_p$  - значение давления грунта в i-ом слое по Кулону
- $h_i$  - толщина i-ого слоя
- $k_v$  - сейсмический коэффициент вертикального ускорения

Коэффициенты активного давления грунта  $K_{ae,i}$  и  $K_{pe,i}$  рассчитываются на основе теорий Мононоб-Окаба, Арранго. При наличии грунтовых вод в массиве грунта программа учитывает их.

Основное предположение в программе при расчете землетрясения состоит в следующем: ровная поверхность земли позади конструкции с наклон  $\beta$ . В ином случае программа приближает форму местности к плоской поверхности как видно из рисунка:



Аппроксимация формы местности

### Точка применения равнодействующей силы

Равнодействующая сила автоматически располагается программой в центре диаграммы напряжения. Разные теории рекомендуют, однако, разные расположения равнодействующей силы, благодаря этому возможно выбрать точку приложения равнодействующей силы в пределах  $0,33 - 0,7H$  (высоты конструкции). Рекомендуемое (предполагаемое) значение -  $0,66H$ . при наличии равнодействующей силы, программа определяет трапециевидную форму напряжения, учитывая введенную точку приложения равнодействующей силы и ее значение.

## Теория Мононоб - Окаба

Коэффициент  $K_{ae}$  активного давления грунта имеет следующий вид:

$$K_{pe} = \frac{\cos^2(\varphi - \psi + \alpha)}{\cos \psi \cos^2 \alpha \cos(\psi - \alpha + \delta) \left( 1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \psi + \beta)}{\cos(\delta + \psi - \alpha) \cos(\beta - \alpha)}} \right)^2}$$

Коэффициент  $K_{pe}$  пассивного давления грунта имеет следующий вид:

$$K_{pe} = \frac{\cos^2(\varphi - \psi + \alpha)}{\cos \psi \cos^2 \alpha \cos(\psi - \alpha + \delta) \left( 1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \psi + \beta)}{\cos(\delta + \psi - \alpha) \cos(\beta - \alpha)}} \right)^2}$$

где:

- $\gamma$  - вес единицы грунта
- $H$  - высота конструкции
- $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта
- $\delta$  - угол трения конструкция - грунт
- $\alpha$  - наклон задней поверхности конструкции
- $\beta$  - наклон уклона
- $k_v$  - сейсмический коэффициент вертикального ускорения
- $k_h$  - сейсмический коэффициент горизонтального ускорения
- $\psi$  - угол сейсмической инерции

Отклонение сейсмических сил  $\psi$  для активного давления грунта должно быть всегда меньше или равно разнице угла внутреннего трения и наклона поверхности земли (т.е.  $\varphi - \beta$ ). Если значения  $\psi$  больше, программа принимает значение  $\psi = \varphi - \beta$ . Для пассивного давления грунта значение отклонения сейсмических сил  $\psi$  всегда должно быть меньше или равно углу внутреннего трения и наклона поверхности земли (т.е.  $\varphi + \beta$ ). Значения рассчитанного и измененного угла  $\psi$  можно увидеть в конечном отчете - в случае изменения в отчете будет присутствовать слово **ИЗМЕНЕНО**.

#### Analysis of earthquake effects (active earth pressure) - partial results

Layer No.	thick. [m]	$\phi_d$ [°]	$\psi$ [°]	$K_a$	$K_{ae}$	$K_{ae}-K_a$	Comment.
1	0.55	29.00	75.96	0.742	3.880	3.138	
2	0.48	29.00	75.96(17.69)	0.742	3.880	3.138	MODIFIED
3	1.30	29.00	75.96(17.69)	0.742	3.880	3.138	MODIFIED

#### Пример отчета программы

##### Литература:

Mononobe N, Matsuo H 1929, On the determination of earth pressure during earthquakes. In Proc. Of the World Engineering Conf., Vol. 9, str. 176

Okabe S., 1926 General theory of earth pressure. Journal of the Japanese Society of Civil Engineers, Tokyo, Japan 12 (1)

## Теория Арранго

При расчете значений  $K_a$  и  $K_p$  программа использует теорию Кулона, учитывая при этом

динамические значения ( $\alpha^*$ ,  $\beta^*$ ).

**Для активного давления грунта:**

$$\beta^* = \beta + \psi$$

$$\alpha^* = \alpha + \psi$$

**Для пассивного давления грунта:**

$$\beta^* = \beta - \psi$$

$$\alpha^* = \alpha - \psi$$

где:  $\beta$  - наклон поверхности земли  
 $\alpha$  - отклонение задней поверхности конструкции от вертикали  
 $\psi$  - отклонение сейсмических сил

Коэффициенты давления грунта  $K_{ae}$  и  $K_{pe}$  определяются путем умножения коэффициентов  $F_{ae}$  и  $F_{pe}$  на значения  $K_a$  и  $K_p$  соответственно.

$$F_{ae} = \frac{\cos^2(\alpha + \psi)}{\cos \psi \cdot \cos^2 \alpha}$$

$$F_{pe} = \frac{\cos^2(\alpha - \psi)}{\cos \psi \cdot \cos^2 \alpha}$$

где:  $\alpha$  - отклонение задней поверхности конструкции от вертикали  
 $\psi$  - отклонение сейсмических сил

Если значение угла  $\beta^*$  больше  $\phi$ , программа принимает значение ( $\beta^* = \phi$ ). Значения рассчитанного и измененного угла  $\beta^*$  можно увидеть на выходе - в таком случае рядом со строкой в отчете стоит слово **ИЗМЕНЕНО**. Пользователь сам должен проверить, соответствуют ли полученные результаты действительности.

**Analysis of earthquake effects (active earth pressure) - partial results**

Layer No.	thick. [m]	$\phi_d$ [°]	$\beta$ [°]	$\psi$ [°]	$K_a$	$K_{ae}$	$K_{ae}-K_a$	Comment.
1	0.30	26.50	71.43(26.50)	57.99	0.427	3.973	3.546	MODIFIED
2	0.80	26.50	71.43(26.50)	57.99	0.427	3.973	3.546	MODIFIED
3	0.40	26.50	71.43(26.50)	57.99	0.427	3.973	3.546	MODIFIED

Пример отчета программы

Литература:

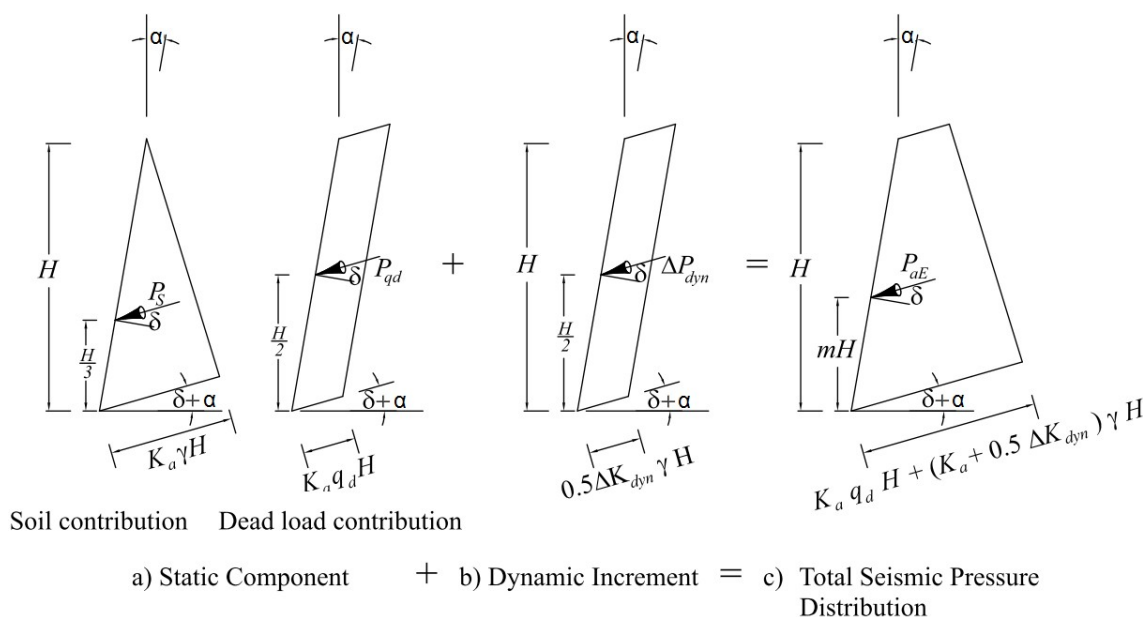
*Design of sheet pile walls, Pile Buck Inc., Vero Beach, Florida, [www.pilebuck.com](http://www.pilebuck.com)*

## NCMA - SRW

Порядок расчёта динамических сил взят из руководства *NCMA Design Manual for Segmental Retaining Walls 3rd Edition*.

Расчёт основан на теории **Mononobe-Okabe**, с той разницей, что динамическое воздействие активного давления грунта приложенное к стене (или армированному

гунтовому массиву) равномерно расположено по высоте конструкции. Следующая разница при расчёте - это уменьшение длины армированного массива на половину, из которой далее и вычисляется горизонтальная составляющая нагрузки от землетрясения.



## Воздействие воды

При анализе воздействия грунтовых вод на значения давления грунта программа GEO5 различает между ограниченной и свободной водой.

### Связанная вода

Этот тип используется для грунтов с низкой водопроницаемостью - прим. ниже значения  $k = 1 \times 10^{-3} \text{ см/с}$ . В таких грунтах на поток воды оказывается воздействие, например, крупинками (их формой или шероховатостью) или сопротивлением фракции связанной воды. Для анализа сейсмических воздействий используются общие формулы, предложенные Мононоб-Окабом или Арранго. Единственное различие состоит в замене значения сейсмического угла  $\psi$  на  $\psi^*$ :

$$\psi^* = \tan^{-1} \left( \frac{\gamma_{sat} k_h}{\gamma_{su} (1 - k_v)} \right)$$

где:

- $\gamma_{sat}$  - удельный вес полностью водонасыщенного грунта
- $\gamma_{su}$  - удельный вес грунта под водой
- $k_h$  - сейсмический коэффициент горизонтального ускорения
- $k_v$  - сейсмический коэффициент вертикального ускорения

### Свободная вода

Этот тип используется в грунте с высоким коэффициентом водопроницаемости - значение  $k > 1 \times 10^{-1} \text{ см/с}$ . В таком грунте предполагается, что движение воды в порах большей частью не зависит от частиц грунта (например, турбулентное движение в крупнозернистом



грунте). При расчёте сейсмических воздействий используются общие отношения методов Мононобе-Окабе или Арранго; в данные уравнения только подставляют вместо сейсмического угла  $\psi_e$  угол  $\psi_e^+$ :

$$\psi^+ = \tan^{-1} \left( \frac{k_{he}^+}{1 - k_v} \right)$$

$$k_{he}^+ = \frac{\gamma_d}{\gamma_{su}} \cdot k_h = \frac{G_s}{G_s - 1} \cdot k_h$$

где:

- $\gamma_d$  - удельный вес сухого грунта
- $\gamma_{su}$  - удельный вес грунта под водой
- $k_h$  - сейсмический коэффициент горизонтального ускорения
- $k_v$  - сейсмический коэффициент вертикального ускорения
- $G_s$  - удельная сила тяжести

$$G_s = \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

где:

- $\rho_s$  - видимая плотность частиц (зёрен) грунта
- $\rho_w$  - плотность воды

Помимо динамического давления на конструкцию действует также гидродинамическое давление, вызванное свободной водой. Позади конструкции действует динамическое параболически распределённое давление, которое в программе аппроксимируется на трапецевидное.

Равнодействующая гидродинамического давления  $P_{wd}$  находится на расстоянии  $y_{wd}$  от подошвы конструкции:

$$y_{wd} = 0,4 \cdot H$$

где:  $H$  - высота конструкции

и ее величина определяется отношением:

$$P_{wd} = \frac{7}{12} \cdot k_h \cdot \gamma_w \cdot H^2$$

где:

- $\gamma_w$  - удельный вес воды
- $k_h$  - сейсмический коэффициент горизонтального ускорения
- $H$  - высота конструкции

### Гидродинамическое давление на лицевую сторону стены

Равнодействующая гидродинамического давления на наружной **лицевой стороне стены**  $P_{wd}$  действует на высоте  $y_{wd}$  от подошвы конструкции:

$$y_{wd} = 0,4 \cdot H$$

где:  $H$  - высота конструкции

и ее величина определена отношением:

$$P_{wd} = \frac{7}{12} \cdot k_h \cdot \gamma_w \cdot H^2$$

где:  $\gamma_w$  - удельный вес воды  
 $k_h$  - сейсмический коэффициент горизонтального ускорения  
 $H$  - высота конструкции

## EN 1998-5 Сейсмические воздействия

Если коэффициенты  $k_h$  и  $k_v$  не были получены из измерений, необходимо их ввести следующим образом, при условии, что анализ осуществляется в соответствии с **1998-5 Еврокод 8**: Расчет конструкций для сейсмостойкости, Часть 5: Основания, подпорные сооружения и геотехнические аспекты:

$$k_h = \alpha \cdot \frac{S}{R}$$

где:  $\alpha$  - коэффициент расчетного ускорения грунта для грунта типа A ( $a_g / g$ )  
 $S$  - почвенный фактор, определенный в EN 1998-1:2004, глава 3.2.2.2  
 $R$  - коэффициент для расчета горизонтального сейсмического коэффициента (см. Таблица)

для:  $\frac{a_{vg}}{a_g} > 0,6$   $k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$

Для иных случаев:  $k_v = \pm 0,33 \cdot k_h$

<b>Тип обшивочной конструкции</b>	<i>R</i>
Свободные подпоры, которые могут выдержать смещение до $d_r = 300 \cdot \alpha \cdot S$	2
Свободные подпоры, которые могут выдержать смещение до $d_r = 200 \cdot \alpha \cdot S$	1,5
Изгибные железобетонные опоры, сцепленные анкерами или связями опоры, железобетонные опоры на вертикальных сваях, закрепленных опорах оснований и опорах моста	1

**Более подробная информация представлена в EN 1998-5 глава 7.3.2.2 Сейсмические воздействия**

## Силы от землетрясения на жёсткие конструкции (статическое давление)

На жёсткие конструкции (напр., скелет уголковой стены) действует во время землетрясения статическое давление грунта. В расчёт включена результирующая этого давления:

$$F = k_h \cdot \gamma \cdot H^2$$

где:  $H$  - высота конструкции  
 $k_h$  - сейсмический коэффициент горизонтального ускорения  
 $\gamma$  - удельный вес грунта

Результирующая сила действует в половине высоты конструкции.

## Earthquake Chinese Standards

Three different Chinese standards are implemented for calculation of seismic effect for wall design which are **JTJ 004-89 (Specifications of Earthquake Resistance Design for Highway Engineering)**, **SL 203-97 (Specification for seismic design of hydraulic structures)**, **JTS 146-2012 (Code for seismic Design of Water Transport Engineering)**. They are all based on **Mononobe-Okabe theory**. The main difference between Chinese standards and Mononobe-Okabe theory is that comprehensive influence factor  $C_z$  is introduced in Chinese standards which reduces seismic force by about 70 %.

The advantage of choosing Chinese standards as the option for earthquake analysis is that users only need to choose the intensity of the earthquake according to which the program automatically assign values of other parameters appropriate with standards.

## Influence of earthquake according to JTJ 004-89

Only horizontal seismic force is considered according to JTJ 004-89.

### Seismic force on structure

Seismic force acting on structure is provided by (Art. 3.1.5):

$$E_{ihw} = C_i C_z K_h \psi_{iw} G_{iw}$$

where:  $E_{ihw}$  - seismic force acting at the center of gravity of the wall above the  $i^{th}$  cross section [kN/m]

$K_h$  - coefficient of horizontal seismic acceleration

$G_{iw}$  - weight of the structure above the  $i^{th}$  cross section [kN/m]

$C_z$  - comprehensive influence factor, usually it's 0.25

$C_i$  - importance coefficient for seismic design

$\psi_{iw}$  - distribution coefficient of horizontal earthquake along the wall

Recommended value of distribution coefficient  $\psi_{iw}$  (Tbl. 3.1.5):

Wall Height [m]	Security level		Calculation diagram for $\psi_{iw}$
	Highway, A class and B class motorway	C class and D class motorway	
$H \leq 12$	$\psi_{iw} = 1$	$\psi_{iw} = 1$	
$H > 12$	$\psi_{iw} = 1 + \frac{H_{iw}}{H}$	$\psi_{iw} = 1$	

$\psi_{iw}$  isn't considered when  $H \leq 12$  m which means parameter  $a$  and  $b$  don't work when  $H \leq 12$  m.  $a$  is the top value of the distribution map and  $b$  is the bottom value of the distribution map.

### Seismic earth pressure

When computing seismic earth pressure, Coulomb theory is used and unite weight of soil  $\gamma$ , internal friction angle of soil  $\varphi$  and angle of friction structure-soil  $\delta$  is replaced by  $\gamma / \cos \theta$ ,  $\varphi - \theta$ ,  $\delta + \theta$ , where  $\theta$  is seismic angle (Art. 3.1.6).

Seismic angel  $\theta$  is determined by different option of [seismic fortification intensity](#).

### Water influence

[Water influence according to Chinese standard](#) is a little different from the [water influence according to Mononobe-Okabe](#) or [Arrango theory](#) by reducing the water influence using comprehensive influence factor  $C_z$ .

### Seismic bearing capacity of subsoil

Seismic bearing capacity of subsoil is provided by (Art. 2.2.1):

$$f_{aE} = \zeta_a f_a$$

where:  $f_{aE}$  - seismic bearing capacity of subsoil  
 $\zeta_a$  - adjusting coefficient for seismic bearing capacity  
 $f_a$  - characteristic value of bearing capacity which has been modified by the geometry of foundation

The above formula is as same as Art. 4.2.3 in GB 50011-2010 (Code for seismic design of buildings). Suggested values of  $\zeta_a$  by different standards can be found [here](#).

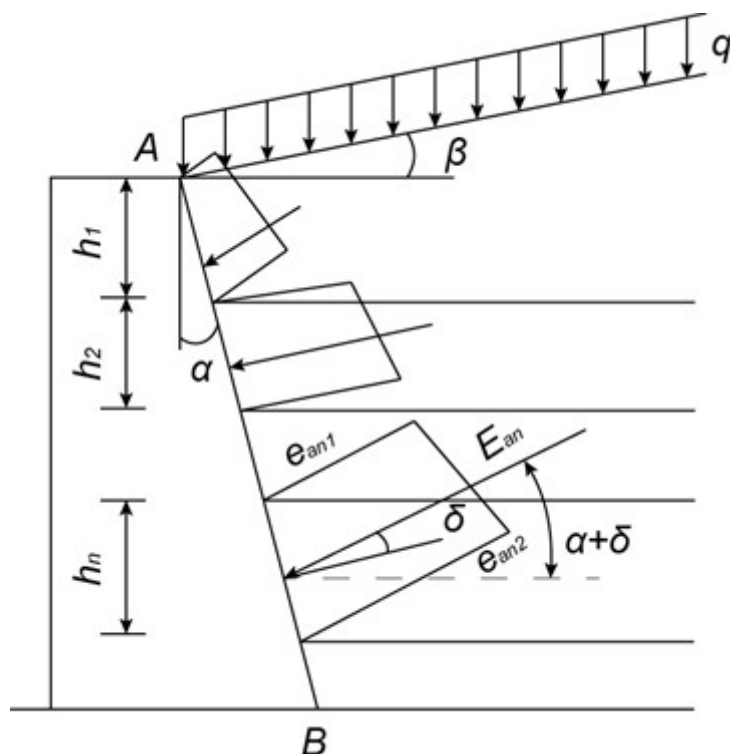
## Influence of earthquake according to JTS 146-2012

Only horizontal seismic force is considered according to JTS 146-2012.

### Seismic force on structure

Calculation of seismic force acting on structure is as same as [JTJ 004-89](#). Values of  $C_z$  can be set from 0.2 to 0.5 suggested by Art. 5.2 in JTS 146-2012.

## Seismic earth pressure



Distribution of seismic active pressure (Fig. 5.3.1)

The only difference between JTS 146-2012 and [JTJ 004-89](#) is that seismic earth pressure according to JTS 146-2012 considers the influence of cohesion.

Active seismic earth pressure is provided by (Art. 5.3.1):

$$E_{an} = \frac{1}{2}(e_{an1} + e_{an2}) \frac{h_n}{\cos \alpha}$$

where:

$$e_{an1} = \left( K_q q + \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i h_i \right) K_{an} \cos \alpha - 2c_n K_{acn} \cos \alpha$$

$$e_{an2} = \left( K_q q + \sum_{i=0}^n \gamma_i h_i \right) K_{an} \cos \alpha - 2c_n K_{acn} \cos \alpha$$

$$K_q = \frac{\cos \alpha}{\cos(\alpha - \beta)}$$

$$K_{an} = \frac{\cos^2(\varphi_n - \alpha - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \alpha \cos(\delta_n + \theta + \alpha) \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi_n + \delta_n) \sin(\varphi_n - \beta - \theta)}{\cos(\delta_n + \theta + \alpha) \cos(\alpha - \beta)}} \right)^2}$$

$$K_{acn} = \frac{\cos(\alpha - \beta) \cos \varphi_n}{\cos \theta \cos \alpha [1 + \sin(\varphi_n + \delta_n - \beta + \alpha)]}$$

$W_n$  overall active pressure acting on  $n^{th}$  layer [ $kN/m$ ]

$W_n$   
:  
:

$e_{an}$  active pressure acting on the top of the  $n^{th}$  layer [ $kPa$ ]

$e_{an}$   
 $n$   
 $l$

$e_{an2}$  active pressure acting on the bottom of the  $n^{th}$  layer [ $kPa$ ]

$e_{an2}$   
 $n$   
 $2$

$h_n$  thickness of  $n^{th}$  layer [ $m$ ]

$h_n$

$\alpha$  back face inclination of the structure [ $^\circ$ ]

$K$  coefficient

$q$

$q$  uniform load acting on the terrain [ $kPa$ ]

$\gamma_i$  unit weight of  $i^{th}$  layer [ $kN/m^3$ ], below water - buoyant unit weight is accepted

$i$

$h_i$  thickness of the  $i^{th}$  layer [ $m$ ]

$h_i$

$K_{an}$  coefficient of active pressure of  $n^{th}$  layer

$K_{an}$   
 $n$

$c_n$  standard value of cohesion of  $n^{th}$  layer [ $kPa$ ]

$c_n$

$K_{anc}$  coefficient of seismic active pressure of  $n^{th}$  layer

$K_{anc}$   
 $c$   
 $n$

$\beta$  slope inclination [ $^\circ$ ], and  $|\beta| < \varphi$

$\varphi_n$  internal friction angle of  $n^{th}$  layer [ $^\circ$ ]

$\varphi_n$

$\delta$  seismic angel [ $^\circ$ ]

$\delta_n$  angle of friction structure - soil of  $n^{th}$  layer [ $^\circ$ ]

$\delta_n$

Passive seismic earth pressure is provided by (Art. 5.3.2):

$$E_{pn} = \frac{1}{2} (e_{pn1} + e_{pn2}) \frac{h_n}{\cos \alpha}$$

where:

$$e_{pn1} = \left( K_q q + \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i h_i \right) K_{pn} \cos \alpha + 2c_n K_{pcn} \cos \alpha$$

$$e_{pn2} = \left( K_q q + \sum_{i=0}^n \gamma_i h_i \right) K_{pn} \cos \alpha + 2c_n K_{pcn} \cos \alpha$$

$$K_q = \frac{\cos \alpha}{\cos(\alpha - \beta)}$$

$$K_{pn} = \frac{\cos^2(\varphi_n + \alpha - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \alpha \cos(\delta_n + \theta - \alpha) \left( 1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi_n + \delta_n) \sin(\varphi_n + \beta - \theta)}{\cos(\delta_n + \theta - \alpha) \cos(\alpha - \beta)}} \right)^2}$$

$$K_{pcn} = \frac{\cos(\alpha - \beta) \cos \varphi_n}{\cos \theta \cos \alpha [1 - \sin(\varphi_n + \delta_n + \beta - \alpha)]}$$

Seismic angel  $\theta$  is determined by different options of [seismic fortification intensity](#).

### Water influence

[Water influence according to Chinese standard](#) is a little different from the [water influence according to Mononobe-Okabe](#) or [Arrango theory](#) by reducing the water influence using comprehensive influence factor  $C_z$ .

### Seismic bearing capacity of subsoil

Calculation of seismic bearing capacity of subsoil is as same as [JTJ 004-89](#).

## Influence of earthquake according to SL 203-97

Both horizontal and vertical seismic force can be considered according to SL 203-97. In SL 203-97, seismic angle  $\theta$  is derived automatically from  $K_h$ , so seismic angle  $\theta$  and seismic angle blow water  $\theta'$  are not visible in the frame.

### Seismic force on structure

Calculation of horizontal seismic force acting on structure is as same as [JTJ 004-89](#).

Vertical seismic force acting on structure is provided by (Art. 4.1.8):

$$E_{ivw} = C_0 \frac{E_{ihw}}{K_h} K_v$$

- where:  $E_{ivw}$  - vertical seismic force acting at the center of gravity of the wall above the  $i^{th}$  cross section [kN/m]
- $E_{ihw}$  - horizontal seismic force acting at the center of gravity of the wall above the  $i^{th}$  cross section [kN/m]
- $k_h$  - coefficient of horizontal seismic acceleration



- $k_v$  - coefficient of vertical seismic acceleration, usually, it's  $\pm 2/3 K_h$  (Art. 4.3.2)
- $G_{iw}$  - weight of the structure above the  $i^{th}$  cross section [kN/m]
- $C_\theta$  - meeting coefficient related to the influence of horizontal seismic effect, usually, it's 0.5.

### Seismic earth pressure

Calculation of seismic earth pressure is as same as JTJ 004-89. The only difference between SL 203-97 and JTJ 004-89 is that SL 203-97 has no «user defined - input  $K_h$ ,  $\theta$ » as an option for seismic fortification intensity.

### Water influence

Water influence according to Chinese standard is a little different from the water influence according to Mononobe-Okabe or Arrango theory by reducing the water influence using comprehensive influence factor  $C_z$ .

### Seismic bearing capacity of subsoil

Calculation of seismic bearing capacity of subsoil is as same as JTJ 004-89.

## Seismic fortification intensity according to Chinese standards

There are three main kinds of option for seismic fortification intensity according Chinese standards. Horizontal seismic acceleration coefficient  $K_h$  and seismic angle  $\theta$  are determined according to what option is selected for seismic fortification intensity.

- 7 degree (0.1g), 7 degree (0.15g), 8 degree (0.2g), 8 degree (0.3g), 9 degree (0.4g):  $K_h$  and seismic angel s are determined according to corresponding seismic fortification intensity based on standards.
- User defined - input  $K_h$ :  $K_h$  is inputted by user and  $\theta$  is determined by (Art. 4.9.1 from SL 203-97)

$$\theta = \arctan \left( \frac{C_z C_i K_h}{1 - C_z C_i K_v} \right)$$

- User defined - input  $K_h$ ,  $\theta$ :  $K_h$  and  $\theta$  are both inputted by user.

**Note:** Third option is only valid for JTJ 004-89 and JTS 146-2012.

Values of  $K_h$  and  $\theta$  according to corresponding seismic fortification intensity are given by the following tables:

**For JTJ 004-89 (Tbl. 1.0.7 and Tbl. 3.1.6 from JTJ 004-89)**

Seismic fortification intensity	7 degree		8 degree		9 degree
Coefficient of horizontal seismic acceleration $K_h$	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
Seismic angel $\theta$	1.5°	2.3°	3.0°	4.5°	6.0°

**Note:** 7 degree (0.15g) and 8 degree (0.30g) are not from JTJ 004-89, because there are no value for these two situations in JTJ 004-89. They are from JTS 146-2012.

**For JTS 146-2012 (Tbl. 5.3.1 from JTS 146-2012)**

Seismic fortification intensity	7 degree		8 degree		9 degree
Coefficient of horizontal seismic acceleration $K_h$	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
Seismic angle $\theta$	1.5°	2.3°	3.0°	4.5°	6.0°

**For SL 203-97 (Tbl. 4.3.1 from SL 203-97)**

Seismic fortification intensity	7 degree		8 degree		9 degree
Coefficient of horizontal seismic acceleration $K_h$	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40

**Water influence according to Chinese standard**

Seismic water influence can be divided into two parts - influence on seismic earth pressure and dynamic water pressure. Similar to [water influence according to Mononobe-Okabe](#) or [Arrango theory](#), water influence according to Chinese standards also has two types water influence - confined water and unconfined water. The main difference between Mononobe-Okabe theory and Chinese standards is that Chinese standards reduce the water influence using comprehensive influence factor  $C_z$ .

**Confined water**

This type is used in soils with lower permeability - app. below the value of  $k = 1 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$ . When confined water is chosen, dynamic water pressure is not considered. The only difference from soils without water is that seismic angle used in calculation of seismic earth pressure is replaced by seismic angle below water  $\theta'$ .

Value of seismic angle below water  $\theta'$  is determined by the following two options:

**1. By seismic fortification intensity - value of  $\theta'$  is provided by the following tables:****For JTJ 004-89 (Tbl. 3.1.6 from JTJ 004-89)**

Seismic fortification intensity	7 degree		8 degree		9 degree
Coefficient of horizontal seismic acceleration $K_h$	0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	0.40g
Seismic angle $\theta$	2.5°	4.5°	5.0°	9.0°	10.0°

**For JTS 146-2012 (Tbl. 5.3.1 from JTS 146-2012)**

Seismic fortification intensity	7 degree		8 degree		9 degree
Coefficient of horizontal seismic acceleration $K_h$	0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	0.40g
Seismic angle $\theta'$	3.0°	4.5°	6.0°	9.0°	12.0°

**2. Input seismic angle - value of  $\theta'$  is input by users. When this option is chosen, the default value of  $\theta'$  is provided by:**

$$\theta' = \arctan \left( \frac{\gamma_{sat} C_z C_i K_h}{\gamma_{sat} (1 - C_o C_z C_i K_v)} \right)$$

If you have no idea about how to calculate the value of  $\theta'$ , you can use the default.

**Note:** For [SL 203-97](#), there are no additional options for confined water.  $\theta'$  is calculated automatically according to the above formula.

### Unconfined water

This type is used in soils with higher permeability - app. above the value of  $k > 1 \cdot 10^{-1} \text{ cm/s}$ . When unconfined water is chosen, both influence on earth pressure and dynamic water pressure is considered.

Value of seismic angle below water  $\theta'$  is determined by the following three options:

1. By seismic fortification intensity - same to confined water.
2. Input seismic angle - same to confined water.
3. Input specific gravity of soil particles - value of  $\theta'$  is provided by:

$$\theta' = \arctan\left(\frac{K_{hs}^+}{1 - C_o C_z C_i K_v}\right)$$

where:

$$K_{hs}^+ = \frac{\gamma_d}{\gamma_{su}} C_z C_i K_h = \frac{G_s}{G_s - 1} C_z C_i K_h$$

**Note:** For [SL 203-97](#), there are no additional options for unconfined water.  $\theta'$  is calculated automatically according to the above formula.

**Dynamic water pressure** is calculated according to the standard chosen.

**For [JTJ 004-89](#) (Art. 4.2.11 from [JTJ 004-89](#)):**

$$E_w = 0.24 C_i K_h \gamma_w d^2$$

where:  $E_w$  - over all dynamic water pressure acting on the structure [kN]

$C_i$  - importance coefficient for seismic design

$\gamma_w$  - unit weight of water [kN/m<sup>3</sup>]

$d$  - depth of water above the heel of the structure [m]

Distribution of dynamic water pressure is constant along the structure.

**For [JTS 146-2012](#) (Art. 5.4.1 from [JTS 146-2012](#)):**

$$p_z = \frac{7}{8} \eta C_i C_z K_h \gamma_w d^{\frac{1}{2}} Z^{\frac{1}{2}}$$

where:

$$\eta = th \frac{\pi b}{4d}$$

where:  $p_z$  - dynamic water pressure at depth  $Z$  [kPa]

$\eta$  - reduction factor, for walls, it equals to 1.0

$Z$  - distance between calculation point and water table [m]

- $d$  - depth of water above the heel of the structure [m]  
 $b$  - width of water table [m]

For **SL 203-97** (Art. 6.1.9 from **SL 203-97**):

$$p_z = C_z C_i K_h \gamma_w d \psi(Z)$$

- where:  $p_z$  - dynamic water pressure at depth  $Z$  [kPa]  
 $d$  - depth of water above the heel of the structure [m]  
 $\psi(Z)$  - distribution coefficient of dynamic water pressure at depth  $Z$

Value of  $\psi(Z)$  is provide by the following table (Tbl. 6.1.9 from **SL 203-97**):

## Importance coefficient for seismic design $C_i$

Values of importance coefficient for seismic design  $C_i$  (Tbl. 1.0.4 from **JTJ 004-89**):

The importance of the motorway	Important coefficient for seismic design $C_i$
Important Highway and A class motorway	1.7
Highway and A class motorway or important B class motorway	1.3
B class motorway or important C class motorway	1.0
C class motorway or important D class motorway	0.6

Values of importance coefficient for seismic design  $C_i$  (Tbl. 1.0.4 from **JTG TB02-01-2008**):

Importance of the bridge	E1 seismic effect	E2 seismic effect
A class	1.0	1.7
B class	0.43 (0.5)	1.3 (1.7)
C class	0.34	1.0
D class	0.23	-

## Adjusting coefficient for seismic bearing capacity $\xi_a$

Values of adjusting coefficient for seismic bearing capacity  $\xi_a$  (Tbl. 4.2.3 from **GB 50011-2010**):

Name and property of the subsoil	$\zeta_a$
Rock, dense gravelly soil, dense gravel and coarse and medium coarse sand, clay and silt whose $f_{ak} \geq 300 \text{ kPa}$	1.5
Medium and moderate dense gravelly soil, medium dense and moderate dense gravel and coarse and medium coarse sand, dense and medium dense fine and silty sand, clay, silt and firm loess whose $300 \text{ kPa} \leq f_{ak} < 300 \text{ kPa}$	1.3
Moderate dense fine and silty sand, clay, silt and plastic loess whose $100 \text{ kPa} \leq f_{ak} < 150 \text{ kPa}$	1.1
Mud, muddy soil, loose sand, miscellaneous fill, newly accumulated loess and soft loess	1.0

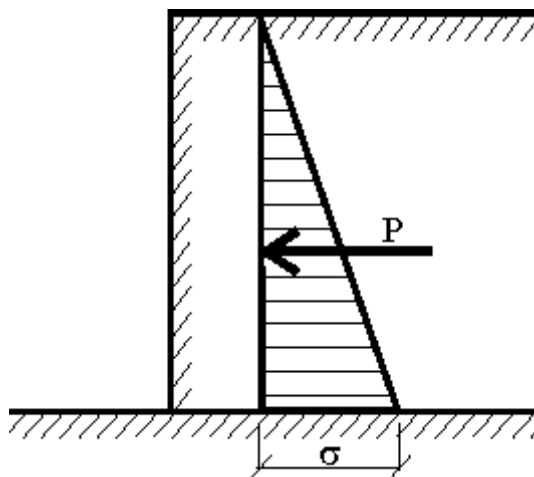
**Note:** In JTJ 004-89, it's table 2.2.1 which is similar to the above table.

**Values of adjusting coefficient for seismic bearing capacity  $\zeta_a$  (Tbl. 5.5.1 from JTS 146-2012):**

Subsoil	$\zeta_a$
Loose sand, not in liquidation status	1.0
Normal sand soil, not in liquidation status	1.3
Dense gravelly soil and bedrock	1.5

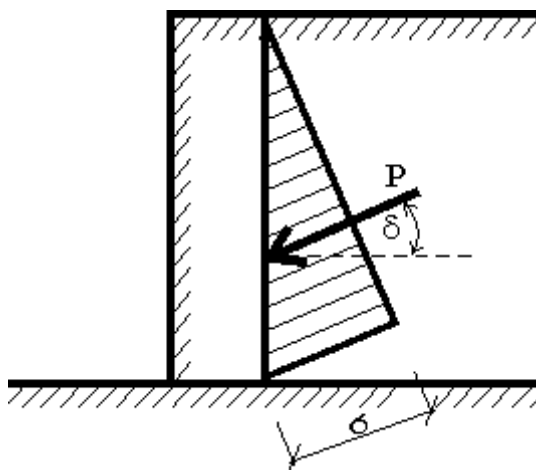
## Воздействие трения между грунтом и задней поверхностью конструкции

Значение соответственно активного или пассивного давления грунта зависит не только от выбранной теории решения, но и трения между грунтом и задней поверхностью стены, а также связности грунта и конструкции, представленной углом  $\delta$ . Если  $\delta = 0$ , то давление  $\sigma$  действует в направлении под прямым углом к задней поверхности стены, и равнодействующая давления грунта  $P$  также направлена под прямым углом к задней поверхности стены (см. Рис.):



*Распределение давления грунта вдоль конструкции для  $\delta = 0$*

Если в анализе давления грунта учитывается трение между грунтом и задней поверхностью стены, давление грунта  $\sigma$  и его равнодействующая  $P$  наклонены от задней поверхности стены на угол  $\delta$ . Координаты углов трения  $\delta$  от прямого угла к задней поверхности стены необходимо вводить в соответствии с взаимным движением конструкции грунта. При увеличении значения  $\delta$  значение активного давления грунта уменьшается, т.е. равнодействующая сила активного давления грунта отклоняется от нормального направления (см.Рис.):



*Распределение давления грунта вдоль конструкции для  $\delta \neq 0$*

Значение  $\delta$  обычно находится в пределах от  $\delta \leq 1/3\varphi$  до  $\delta = 2/3\varphi$ . Значения координат угла  $\delta$  между грунтом и конструкцией сохранены в [таблице значений  \$\delta\$](#)  для разных границ и в таблице рекомендуемых значений для  $|\delta|/\varphi$ . Значение  $\delta \leq 1/3\varphi$  можно использовать, если принять гладкую обработку задней поверхности обшивочной конструкции (фольга и обшивка от грунтовых вод). Для необработанной поверхности есть смысл увеличить значение  $\delta = 2/3\varphi$ . При выборе значения  $\delta$  необходимо отобразить и другие условия, в частности, уравнение сил равновесия в вертикальном направлении. Необходимо определить, способна ли конструкция передавать вертикальное напряжение вследствие трения на ее заднюю поверхность без чрезмерной вертикальной деформации. Если чрезмерная вертикальная деформация будет иметь место, следует уменьшить значение  $\delta$ , в этом случае может произойти лишь частичное воздействие трения на заднюю поверхность стены. В случае отсутствия уверенности, рекомендуется принимать меньшее значение  $\delta$ .

## Таблица основных коэффициентов трения для разнородных материалов

Значения угла  $\delta$  для разных границ (согласно NAVFAC)

Межфазный материал	Коэффициент трения $tg(\delta)$	Угол трения $\delta^\circ$
<b>Бетонный массив на следующих грунтовых основаниях:</b>		
Чистая твердая порода	0,7	35

Чистый гравий, гравийно-песчаные смеси, крупный песок	<i>0,55 to 0,6</i>	<i>29 to 31</i>
Чистый мелкий и средний песок, илистый средний и крупный песок, илистый или глинистый гравий	<i>0,45 to 0,55</i>	
Чистый мелкий песок, илистый или глинистый мелкий и средний песок	<i>0,35 to 0,45</i>	<i>19 to 24</i>
Мелкий песчаный ил, непластичный ил	<i>0,30 to 0,30</i>	<i>17 to 19</i>
Очень жесткая и твердая осадочная или предуплотненная глина	<i>0,40 to 0,50</i>	<i>22 to 26</i>
Средне жесткая и жесткая глина, илистая глина	<i>0,30 to 0,35</i>	<i>17 to 19</i>
<b>Стальные шпунтовые ряды в следующих видах грунта:</b>		
Чистый гравий, гравийно-песчаные смеси, хорошо отсортированный щебень с обломками	<i>0,4</i>	<i>22</i>
Чистый песок, илистая гравийно-песчаная смесь, твердый щебень одного размера	<i>0,3</i>	<i>17</i>
Илистый песок, гравий или песок, смешанный с илом или глиной	<i>0,25</i>	<i>14</i>
Мелкий песчаный ил, непластичный ил	<i>0,20</i>	<i>11</i>
<b>Штампованные бетонные или железобетонные шпунтовые ряды в следующих видах грунта:</b>		
Чистый гравий, гравийно-песчаные смеси, хорошо отсортированный щебень с обломками	<i>0,40 to 0,50</i>	<i>22 to 26</i>
Чистый песок, илистая гравийно-песчаная смесь, твердый щебень одного размера	<i>0,3 to 0,4</i>	<i>17 to 22</i>
Илистый песок, гравий или песок, смешанный с илом или глиной	<i>0,3</i>	<i>17</i>
Мелкий песчаный ил, непластичный ил	<i>0,25</i>	<i>14</i>
<b>Различные конструкционные материалы:</b>		



Околотая мягкая порода на околотой мягкой породе	0,7	35
Околотая твердая порода на околотой мягкой породе	0,65	33
Околотая твердая порода на околотой твердой породе	0,55	29
Кладка по дереву (крупнозернистость)	0,5	26
Железо на железо на сцепке шпунтов	0,3	17

## Сцепление грунта

При анализе **активного** или **пассивного давления грунта** в условиях **полного напряжённого состояния** принимается во внимание связность грунта  $c_u$  и сцепление грунта  $a$  по стене конструкции. Значение сцепления  $a$  рассматривается как часть значения связности грунта  $c$ . Типичные значения сцепляемости  $a$  для данного диапазона связности грунтов  $c$  приведены в следующей таблице.

### Типичные значения сцепляемости грунта $a$

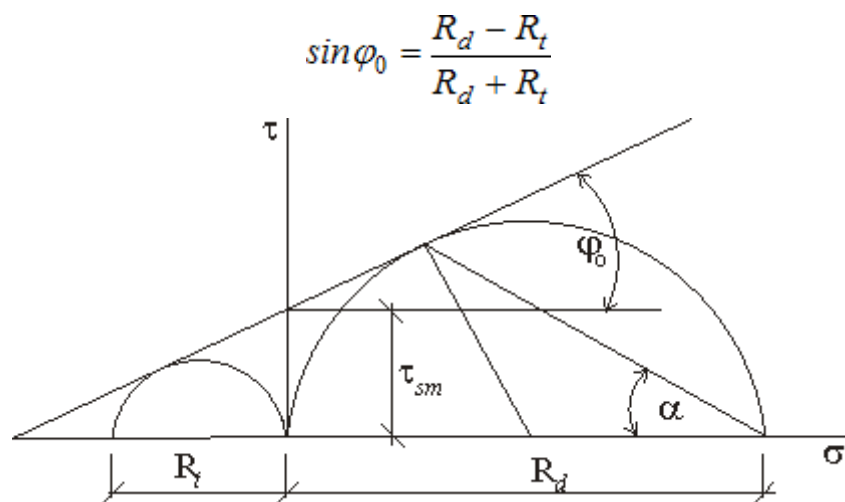
Грунт	Связность $c$ [кПа]	Сцепление $a$ [кПа]
Очень мягкий - кашеобразный связный грунт	0 - 12	0 - 12
Мягкий связный грунт	12 - 24	12 - 24
Жесткий связный грунт	24 - 48	24 - 36
Твердый связный грунт	48 - 96	36 - 46

## Параметры пород

Параметры направления пород в соответствии с прочностью породы в чистой компрессии

Прочности породы при сжатии $\sigma_{ci}$ [МПа]	Прочностные свойства породы по Хоку $m_i$ [-]	GSI [-]	Когезия породы $c$ [кПа]	Угол внутреннего трения породы $\varphi$ [°]
150	25	75	7000 - 13000	46 - 68
80	12	50	3000 - 4000	30 - 65
50	16	75	2000 - 4000	40 - 60
30	15	65	1000 - 2000	40 - 60
20	8	30	400 - 600	20 - 44
15	10	24	300 - 500	24 - 38
5	10	20	90 - 100	23 - 28

В отличие от грунта (как связного, так и несвязного), значение угла внутреннего трения (иногда называемого углом прочности при сдвиге) варьируется и зависит от текущего состояния напряжения в массиве породы. Графически это представляется углом касательной к огибающей линии кругов Мора, построенных для состояния предельного напряжения. Значение  $\varphi$  постепенно снижается при увеличении значения напряжения  $\sigma$ . Если гибкое состояние превышено (начало пластической деформации), устанавливаем  $\varphi = 0$ . В качестве характерного значения угла внутреннего трения  $\varphi$ , мы определяем значение  $\varphi_0$ , соответствующее напряжению  $\sigma = 0$ . При практическом применении часть огибающей линии Мора между кругом растяжения  $R_t$  и кругом сжатия  $R_d$  обычно заменяется касательной к обоим кругам (см. Рис.) Значение угла внутреннего трения в этом случае выводится из:



Определение  $\varphi_0$  из круга Мора

Угол внутреннего трения можно определить, измерив углы плоскостей скольжения на оставшихся частях исследуемых образцов и используя следующую формулу:

$$\alpha = 45^\circ - \frac{\varphi_0}{2}$$

**Некоторые значения координат:**

невыветренная песчаная смесь, незначительное растрескивание	35 - 44°
невыветренный глинистый сланец, среднее растрескивание	30 - 40°
невыветренный туф, среднее растрескивание	33 - 42°
невыветренный диабаз	39 - 50°
невыветренный фантанит, незначительное растрескивание	45 - 52°

## Анализ опор

Анализ опор можно провести при помощи:

- **теории предельных состояний** (при расчёте по **EN 1997** или **LRFD** конструкция проверяется таким способом)
- **коэффициента запаса**

Кроме того, в обоих случаях проверяется **устойчивость грунта основания**.

В анализе используются следующие силы:

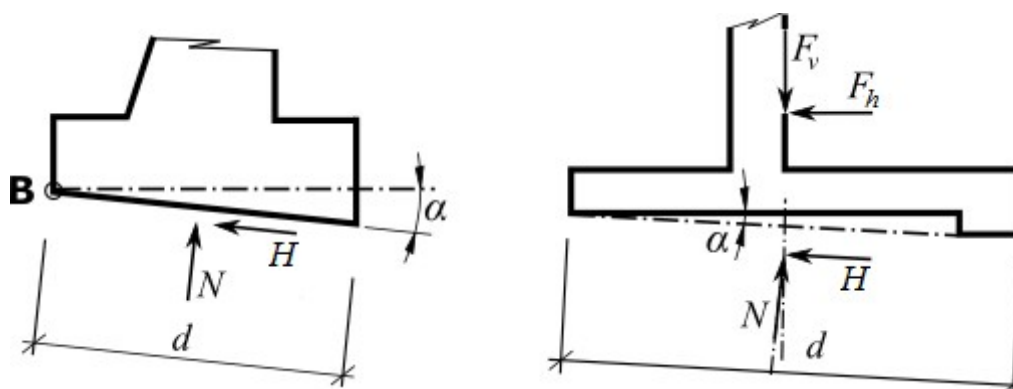
- **вес опоры** - зависит от формы и удельного веса опоры (ввод данных осуществляется в диалоговом окне «**Материал**»), гидростатическое противодействие вводится для опор, расположенных под уровнем грунтовых вод
- **сопротивление на передней поверхности** - при вводе сопротивления на передней поверхности соответствующая сила действует как **статическое, пассивное** или **ослабленное пассивное давление**
- силы тяжести **клина давления грунта** - в зависимости от формы конструкции количество данных сил различается
- **активное** или **статическое** давление грунта, действующего на конструкцию - основная нагрузка на конструкцию вследствие давления грунта. В зависимости от выбранной опции в закладке «**Установки**» давление рассчитывается с или без уменьшения входных параметров грунта
- силы **вследствие воздействия воды** или пластовое давление соответственно
- силы **вследствие нагрузки** - каждой введенной нагрузке соответствует одна сила. Если значение силы вследствие действия нагрузки равно 0 (нагрузка не оказывает воздействия на конструкцию), оно не отображается на картинке, а лишь указан в таблице
- **введенные силы**: силы, вводимые в анализ, отображаются на экране
- **силы вследствие землетрясения**: некоторые силы вводят в анализ как следствие землетрясения: увеличение давления грунта, действующего на конструкцию, уменьшение пассивного давления на переднюю поверхность конструкции или сила вследствие действия свободной воды под конструкцией
- **соединения и усиления шага сетки** отображаются и включаются в анализ, если появляются
- **анкераж основания** опоры

## Определение сил в обресе фундамента

После расчета сил, действующих на конструкцию, программа определяет общие вертикальную ( $F_v$ ) и горизонтальную ( $F_h$ ) силы, рассчитывает силы, действующие на нижнюю часть основания (стандартное усиление  $N$  и касательное усиление  $H$ ):

$$N = F_v \cos \alpha + F_h \sin \alpha$$

$$H = F_v \sin \alpha + F_h \cos \alpha$$



Силы, действующие на нижнюю часть основания

## Проверка - предельные состояния

Программа сначала определяет нормальную и касательную силы в обресе фундамента, дальше проверяет стену на опрокидывание и перемещение. В расчёт можно включить выступ стены фундамента при помощи давления, действующего на его переднюю часть или принимать стену с наклонным обрестом фундамента.

### Проверка на опрокидывание:

$$\frac{M_{res}}{\gamma_o} > M_{ovr}$$

где:  $M_{ovr}$  - опрокидывающий момент

$\gamma_o$  - коэффициент редукции несущей способности на опрокидывание

$M_{res}$  - удерживающий момент

### Проверка на перемещение:

$$\frac{[(N \tan \varphi_d + c_d(d - 2e)/\mu) + F_{res}]}{\gamma_s} > H$$

где:  $N$  - нормальная сила, действующая в обресе фундамента

$\varphi_d$  - расчётный угол трения конструкция-грунт

$c_d$  - расчётное сцепление конструкция-грунт

$d$  - ширина подошвы стены

$e$  - эксцентриситет

- $\gamma_s$  - коэффициент редукции несущей способности на смещение  
 $H$  - **сдвигающая касательная сила** действующая в обресе фундамента  
 $F_{res}$  - удерживающая сила (от геоармировок и выпусков сеток)  
 $\mu$  - коэффициент редукции контакта фундамент-грунт

где эксцентриситет  $e$ :

$$e = \frac{M_{ovr} - M_{res} + \frac{Nd}{2}}{N}$$

- где:  $M_{ovr}$  - опрокидывающий момент  
 $M_{res}$  - удерживающий момент  
 $N$  - **нормальная сила**, действующая в обресе фундамента  
 $d$  - ширина подошвы стены

Горизонтальные составляющие сил засчитывают к сдвигающей силе и опрокидывающему моменту, вертикальные составляющие сил засчитывают к нормальной силе и удерживающему моменту. К удерживающим силам и моментам также засчитывают горизонтальные силы от геоарматур и выпусков сеток.

## Проверка - коэффициента запаса

Программа сначала определяет нормальную и касательную силы в **обресе фундамента**, дальше проверяет стену на опрокидывание и перемещение. В расчёт можно **включить выступ стены** фундамента при помощи давления, действующего на его переднюю часть или принимать стену с наклонным обрезом фундамента.

### Проверка на опрокидывание:

$$\frac{M_{res}}{M_{ovr}} > SF_o$$

- где:  $M_{ovr}$  - опрокидывающий момент  
 $M_{res}$  - момент сопротивления  
 $SF_o$  - коэффициент запаса на опрокидывание

### Проверка на перемещение:

$$\frac{[(N \tan \varphi_d + c_d(d - 2e)/\mu) + F_{res}]}{H} > SF_s$$

- где:  $N$  - **стандартная сила**, действующая на нижнюю часть основания  
 $\varphi_d$  - угол трения конструкция - грунт  
 $c_d$  - сцепление конструкция-грунт  
 $d$  - ширина основания опоры

$e$	- эксцентриситет
$H$	- сдвигающая касательная сила, действующая в обресе фундамента
$F_{res}$	- <b>удерживающая сила</b> (от геоарматур и выпусков сеток)
$SF_s$	- коэффициент запаса на перемещение
$\mu$	- коэффициент редукции контакта фундамент-грунт

где вне-центренность  $e$ :

$$e = \frac{M_{ovr} - M_{res} + \frac{Nd}{2}}{N}$$

где:	$M_{ovr}$	- опрокидывающий момент
	$M_{res}$	- момент сопротивления
	$N$	- <b>стандартная сила</b> , действующая на нижнюю часть основания
	$d$	- ширина основания опоры

Горизонтальные составляющие сил засчитывают к сдвигающей силе и опрокидывающему моменту, вертикальные составляющие сил засчитывают к нормальной силе и удерживающему моменту. К удерживающим силам и моментам также засчитывают горизонтальные силы от геоарматур и выпусков сеток.

## Внутренний сдвиг

Данное предельное состояние оценивает возможность сдвига конструкция вдоль укрепления. Для выбранного укрепления программа ищет критическую поверхность скольжения в пределах  $45^\circ$ - $90^\circ$  от конца данного укрепления.

Для каждой поверхности скольжения программа рассчитывает силы сдвига и сопротивления и осуществляет проверку.

### Сила сдвига включает:

- активное давление на фиктивную опору
- силы вследствие позади опоры

### Силы сопротивления включают:

- сопротивление конструкции опоры скольжению (рассчитывается как при **измерении опоры**)
- трение между укреплением и направляющей планкой
- силы вследствие иных усилений

Сила сопротивления вследствие трения между укреплением и направляющей планкой рассчитывается по следующей формуле:

$$F = N \operatorname{tg} \varphi C_d$$

где:	$N$	- стандартная сила, действующая на укрепление (вследствие собственного веса грунта и нагрузки позади фиктивной опоры)
	$\varphi$	- угол внутреннего трения грунта, окружающего укрепление

$C_{ds}$  - поправочный коэффициент трения на укрепление

Затем проводится действительная проверка, основанная на входных данных, определенных в закладке «Расчёт стен» в соответствии с теорией предельных состояний и коэффициентом надежности. Необходимо придерживаться следующего:

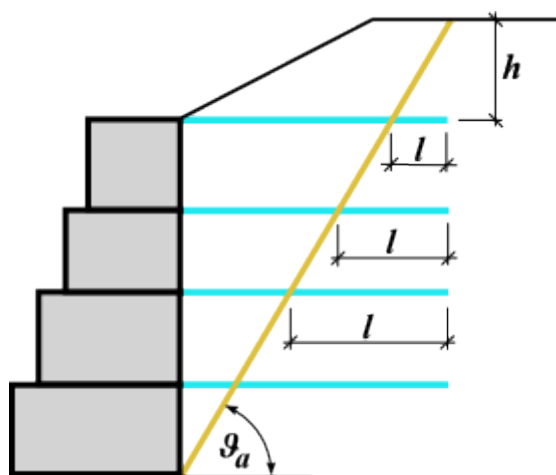
$$H_{res} > H_{act} \quad \text{resp.} \quad \frac{H_{res}}{H_{act}} > SF_{sr}$$

где:  $H_{res}$  - сила сопротивления  
 $H_{act}$  - активная сила  
 $SF_{sr}$  - требуемый коэффициент надежности

## Арматуры

Арматуры или выступы сетки позади опоры соответственно могут значительно повысить устойчивость опоры. Основным параметром армирования является **нагрузка на растяжение**  $R_t$ . Расчетное значение этого параметр используется во всех программах (за исключением программы опор Redi-Rock), т.е. сопротивление укрепления разрыву, уменьшенное коэффициентами, с учетом действия долговечности, ползучести, химии окружающей среды и степени разрушения объекта. Сила, передаваемая укреплением, никогда **не может превышать сопротивления разрыву**  $R_t$  (по умолчанию используется значение 40 кН/м для габионов).

Второй характеристикой является **сопротивление выдергиванию**  $T_p$ . Этот параметр определяет анкерную длину, т.е. требуемую длину арматуры в грунте, на которую арматура полностью напряжено, достигая значения  $R_t$ . Поскольку действительные значения сопротивления выдергиванию сложно определить, программа предлагает три опции для их расчета, соответственно расчету силы  $F$ , передаваемой арматурой.



Длина стыка или укрепления шага сетки позади блоков соответственно

### Рассчитать силы выдергивания

Сила выдергивания  $F$  рассчитывается по формуле:

$$F = 2 \cdot \sigma \cdot \tan \phi \cdot C \cdot l$$

где:  $\sigma$  - стандартная сила вследствие собственного веса в месте пересечения



- сетки и поверхности скольжения
- $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта
- $C$  - коэффициент взаимодействия (0,8 по умолчанию)
- $l$  - длина стыка шага сетки позади поверхности скольжения в массиве грунта

Расчет угла  $\vartheta_a$  описан в главе «Клин давления грунта».

#### **Ввести длину армированного анкера $l_k$**

Анкерная длина  $l_k$  указывается. Это параметр определяется прочностью при сдвиге, развиваемом между сеткой и грунтом постепенно с 0 до предельного значения (измеряется от конца арматуры, зафиксированной в грунте).

$$F = \frac{l}{l_k} \cdot R_t$$

- где:
- $l$  - длина стыка шага сетки позади поверхности скольжения в массиве грунта
- $l_k$  - анкерная длина арматуры
- $R_t$  - сопротивление разрыву

#### **Ввести сопротивление сетки выдергиванию $T_p$**

Сила выдергивания  $F$  рассчитывается по формуле:

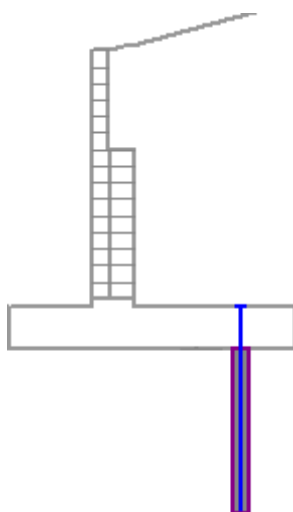
$$F = T_p \cdot l$$

- где:
- $l$  - длина стыка шага сетки позади поверхности скольжения в массиве грунта
- $T_p$  - сопротивление сетки выдергиванию

## **Анкераж основания**

Анкераж основания опоры можно определить для консольных опор. Необходимо определить местоположение анкера, размеры отверстия сверления и расстояние между анкерами.

Для анкера определяют два предельных состояния устойчивости: **устойчивость к выдергиванию**  $T_p$  [кН/м] и прочность анкера  $R_t$  [кН]. Максимальное усилие определяется как минимальное значение этих сил.



*Анкераж основания*

Устойчивость можно либо ввести, либо рассчитать на основании входных значений при помощи следующих выражений:

$$T_p = \frac{\pi d a}{SF_e}$$

где:

- $T_p$  - сопротивление выдергиванию
- $d$  - диаметр отверстия для сверления
- $a$  - предельное соединение
- $SF_e$  - коэффициент надежности выдергиванию

$$R_t = \frac{\pi d_s^2}{4} \frac{f_y}{SF_t}$$

где:

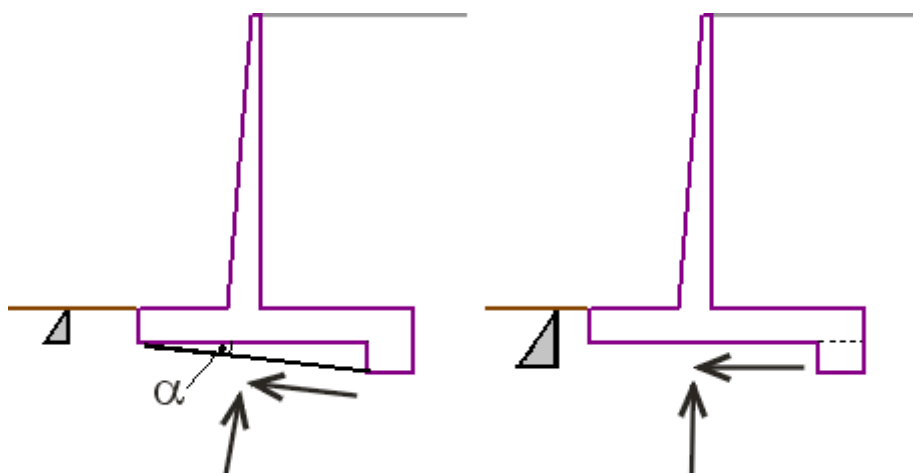
- $R_t$  - прочность анкера
- $d_s$  - диаметр анкера
- $f_y$  - устойчивость анкера к деформации
- $SF_t$  - коэффициент надежности разрыву

### **Примерные значения устойчивости выдергиванию**

Материал	Предел ное соедине ние  [N/мм <sup>2</sup> ]	Пределная прочность для определенного диаметра отверстия [кН/м]				
		65 mm	75 mm	90 mm	100 mm	150 mm
Мягкий сланец	0,21 - 0,83	42 - 169	49 - 195	59 - 234	65 - 260	98 - 391
Песчаник	0,83 - 1,73	169 - 350	195 - 407	234 - 486	260 - 543	391 - 562
Сланец, твердый сланец	0,86 - 1,38	175 - 281	202 - 325	243 - 390	270 - 433	405 - 562
Мягкий известняк	1,00 - 1,52	204 - 310	235 - 358	282 - 429	314 - 477	471 - 562
Гранит, базальт	1,72 - 3,10	351 - 562	405 - 562	486 - 562	540 - 562	562 - 562
Бетон	1,38 - 2,76	281 - 562	325 - 562	390 - 562	433 - 562	562 - 562

## Расчет выступа фундамента

Для расчета перехода опор основания в анализе предусмотрены две опции, как показано на Рис.



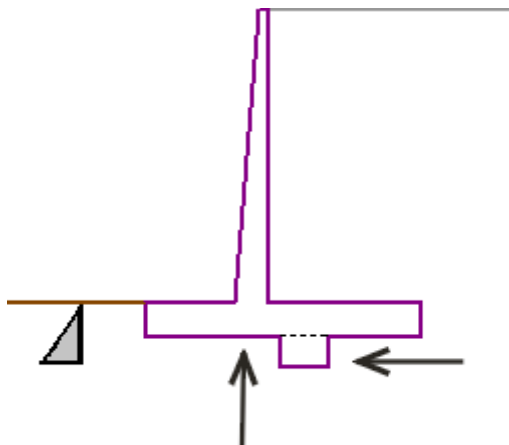
Опции для расчета перехода опор

Если переход принимается как **наклоненная нижняя часть основания**, в этом случае учитывается новая форма нижней части основания, а сопротивление передней поверхности конструкции включается только до глубины передней части опоры.

Если воздействие перехода рассматривается как **сопротивление передней поверхности**, анализ принимает ровную нижнюю часть основания (как если бы перехода не было), но сопротивление передней поверхности конструкции, включенное до глубины

перехода. В этом случае расчет сопротивления передней поверхности конструкции также необходимо ввести. В противном случае воздействие перехода учитываться не будет.

Переход, введенные под основанием опоры, всегда принимается как сопротивление передней поверхности конструкции.

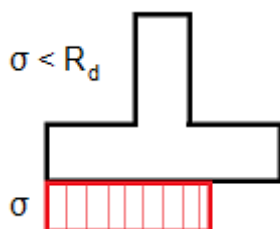


Принятие перехода опор в середине

## Несущая способность грунта основания

Анализ несущей способности грунта основания принимает во внимание все ранее выполненные расчёты по выбранным методам проверки (**предельные состояния**, **коэффициент надежности**). Проверка несущей способности грунта относится к силам, полученным в анализах в соответствии с выражениями:

Стандартно напряжение в подошве фундамента принимается как постоянное на редуцированной длине фундамента.



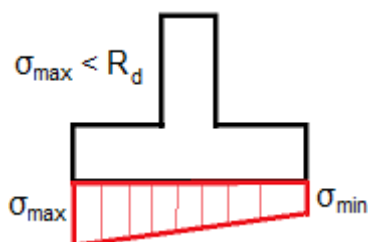
$$\sigma < R_d$$

$$\sigma$$

$$\sigma = \frac{N}{d - 2e} < R_d$$

$$e \leq e_{allow}$$

Некоторые стандарты требуют для проверки напряжения распределение трапециoidalной формы. В таком случае проверку проводим для наиболее неблагоприятного значения  $\sigma_{max}$ .



$$\sigma_{max} < R_d$$

$$\sigma_{max}$$

$$\sigma_{min}$$

где:

- $N$  - нормальная сила, действующая в подошве фундамента
- $d$  - ширина подошвы стены
- $R_d$  - несущая способность грунта основания
- $e$  - максимальный эксцентриситет нормальной силы
- $e_{alw}$  - допустимый эксцентриситет (величина задаётся в рамке «Настройка» в закладке «Расчёт стен»)

При расчёте несущей способности грунта основания (если заданы фундаменты **мелкого заложения** под стеной), то программа вычисляет **расчётную и нормированную нагрузки**, которые действуют в середине подошвы фундамента. При переносе данных и результатов в программу «Отдельные фундаменты» можно корректно рассчитать **осадку** и **опрокидывание фундамента**. В заданиях **свайных фундаментов** в рамке «Заложение» можно отобразить внутренние силы, действующие в голове свай (для одного ряда свай), или в центре подошвы фундамента (для плоского ростверка свайных фундаментов).

Силы действ. в цент. обр. фонд.					
№	Момент [кН/м]	Норм. сила [кН/м]	Сдвиг. сила [кН/м]	Эксцентриситет [-]	Напр. [кПа]
1	-2,88	133,73	-3,81	0,000	82,09
2	45,33	124,00	65,15	0,225	138,23

Нормативные усилия в центре обреза фундамента (расчёт осадки)			
№	Момент [кН/м]	Норм. сила [кН/м]	Сдвиг. сила [кН/м]
1	-2,93	99,75	-3,78
2	29,42	115,83	41,08

**Проверка нес.спос. гр. основания**

**Проверка эксцентрисит.**  
 Макс. эксцентриситет норм. силы  $e = 0,225$   
 Максим. допуск. эксцентриситет  $e_{alw} = 0,333$   
**Эксцентриситет норм. силы ПОДХОДИТ**

**Проверка нес. спос. обреза фундамента**  
 Проект. нес. спос. грунта основания  $R = 200,00$  кПа  
 Коэфф. редукции сопротивления грунта основания  $\gamma_{Rv} = 1,40$   
 Макс. напр. в обр. фонд.  $\sigma = 82,09$  кПа  
 Нес. спос. гр. основания  $R_d = 142,86$  кПа  
**Нес. спос. гр. основания ПОДХОДИТ**

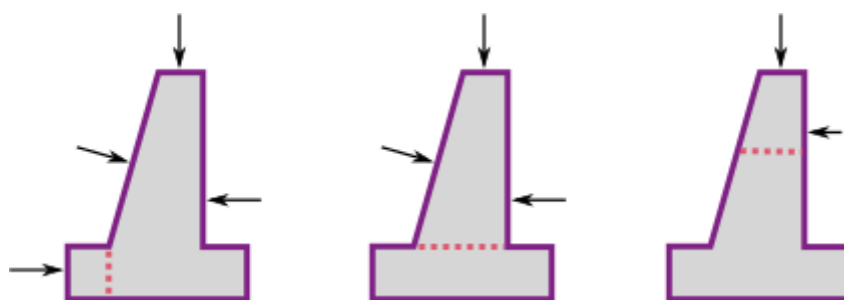
**Общая проверка - несущая способность грунта основания ПОДХОДИТ**

Диалоговое окно «Несущая способность»

## Измерение опоры

После расчета сил, действующих на конструкцию, программа определяет все внутренние силы в проанализированном поперечном сечении (стандартная сила  $N$ , сила сдвига  $Q$  и момент  $M$ ) и проверяет устойчивость поперечного сечения с использованием стандартов, выбранным в закладке «Расчёт стен».

Принимаются для измерения только силы, расположенные над анализируемым стыком (см. Рис.). Эти силы не умножаются ни на какие расчетные коэффициенты.



Силы, вводимые в анализ

**Передний переход опоры**, также как и задний, проверяется на нагрузку, вызванную моментом изгиба и силой сдвига. Напряжение в нижней части основания может быть принято либо **постоянным** (CSN), либо **линейным** (EC).

При **линейном изменении напряжения** в нижней части основания, распределение напряжения рассчитывается по следующей формуле:

$$\sigma_1 = \frac{N}{d^2} \cdot \left( 4 \cdot d - 6 \cdot \left( \frac{d}{2} - e \right) \right)$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{d^2} \cdot \left( -2 \cdot d + 6 \cdot \left( \frac{d}{2} - e \right) \right)$$

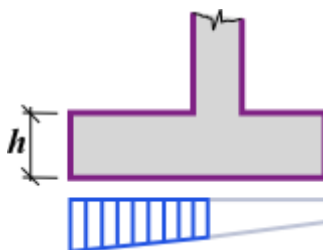
или при исключении напряжения:

$$\sigma = \frac{2 \cdot N}{3 \cdot \left( \frac{d}{2} - e \right)}$$

где:

- $e$  - вне-центренность стандартной силы  $N$
- $d$  - ширина основания опоры
- $N$  - стандартная сила, действующая в нижней части основания (см. проверка по **предельным состояниям** или **коэффициенту запаса**, соответственно)

Момент изгиба и сила сдвига определяются как реакция, развившаяся на консольной балке (как показано на Рис.):



Внутренние силы, действующие на переход опор

Поперечное сечение проверяется на нагрузку, вызванную моментом изгиба и силой сдвига.

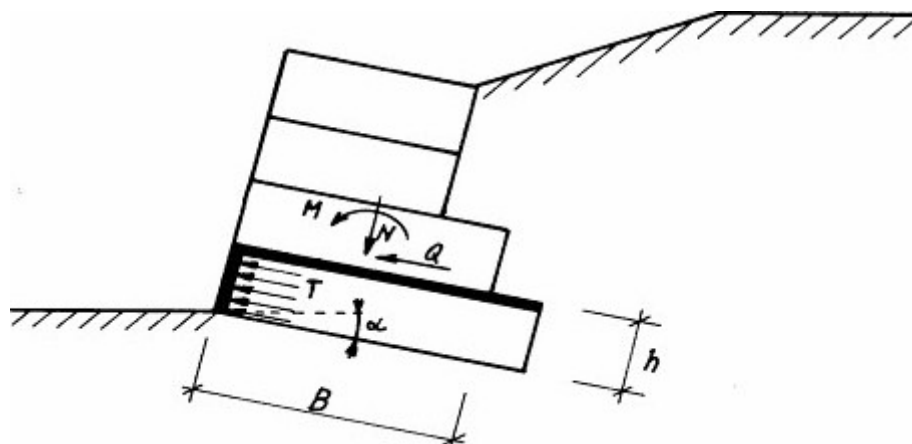
## Внутренняя устойчивость габиона

Внутреннюю устойчивость габиона можно проверить при помощи:

- теории предельных состояний
- коэффициента запаса

Проверка стыков между отдельными блоками проводится в закладке «Измерение». Конструкция над блоком нагружена **активным давлением**, и соответствующие силы определяются так же, как и для **проверки всей опоры**. В анализе используется рыхлая засыпка (но не каменная накладка, уложенная вручную), но ее действие можно симулировать, используя очень большой угол внутреннего трения. Можно предположить, что спустя некоторое время вследствие действия наполнителя напряжение в сетках упадет. Отдельные участки габионной опоры проверяются на максимальное стандартное и сдвиговое напряжение. С помощью этих параметров можно изменить уклон поверхности конструкции, создав насыпи или увеличив уклон поверхности опоры  $\alpha$ .

Допускаемая нагрузка, приложенная к нижнему блоку, схематически представляется следующим образом:



Нагрузка на нижний блок

Рабочее напряжение в центре нижнего блока имеет следующий вид:

$$\sigma = \frac{N}{B - 2e} + \frac{\gamma h \cos \alpha}{2}$$

$$e = \frac{M}{N}$$

где:

$N$	-	стандартная сила, действующая на нижний блок
$B$	-	ширина верхнего блока
$e$	-	вне-центренность
$M$	-	момент, действующий на нижний блок
$h$	-	высота нижнего блока
$\gamma$	-	удельный вес материала нижнего блока
$\alpha$	-	уклон габиона

**Давление, действующее на опору нижнего блока**, определяется как увеличенное



активное давление:

$$T = 0,5 T_r + 0,5 T_a$$

$$T_r = \sigma K_r$$

$$T_a = \sigma K_a - 2 c_d \sqrt{K_a}$$

$$K_r = 1 - \sin \varphi_d$$

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi_d}{2} \right)$$

где:

- $\varphi_d$  - расчетный угол внутреннего трения материала нижнего блока
- $c_d$  - расчетная когезия материала нижнего блока
- $\gamma$  - удельный вес материала нижнего блока
- $h$  - высота нижнего блока
- $B$  - ширина верхнего блока
- $\alpha$  - уклон габиона
- $T$  - среднее значение давления, действующего на переднюю поверхность нижнего блока
- $\sigma$  - максимальное рабочее напряжение, действующее на нижний блок
- $K_r$  - коэффициент давления грунта в состоянии покоя
- $K_a$  - коэффициент активного давления грунта

**Ширина сетки нижнего блока** на 1 погонный метр габионной опоры имеет вид:

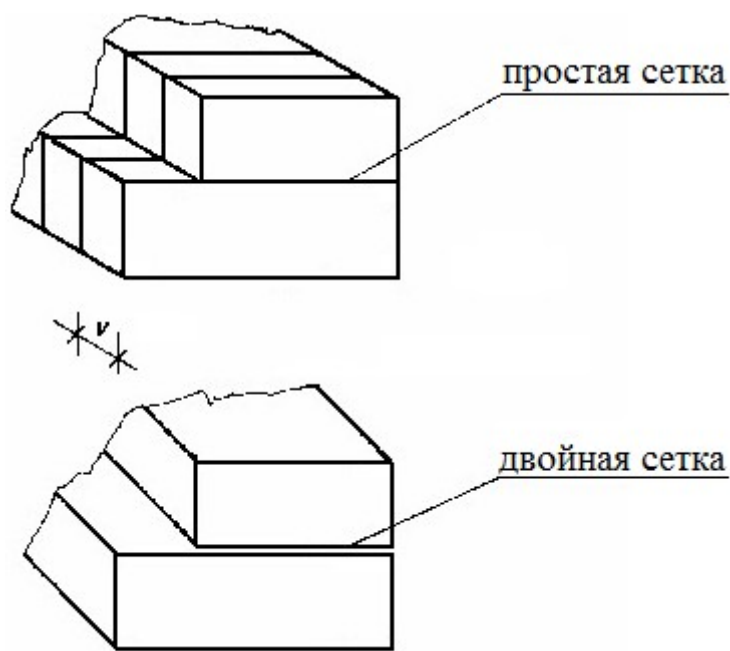
$$D_{upp} = 1$$

$$D_{total} = \frac{h}{v} + 1$$

где:

- $D_{upp}$  - ширина верхней сетки между блоками, нагруженными напряжением
- $D_{total}$  - общая ширина сеток, нагруженных в сжатии  $T$
- $v$  - расстояние вертикальных сеток
- $h$  - высота нижнего блока

Программа позволяет проанализировать габионы, как с простой, так и двойной сеткой, расположенной между блоками. Для двойных сеток введенная прочность сетки натяжению (закладка «**Редактировать материал**») должна в 2 раза превышать значение, принимаемое для простых сеток.



Геометрия габiona

## Внутренняя устойчивость габонной опоры - коэффициент запаса

При рассмотрении внутренней устойчивости габонной опоры с использованием коэффициента надежности анализируются следующие условия:

### 1) Проверка на устойчивость к опрокидыванию:

$$\frac{M_{res}}{M_{ovr}} > SF_o$$

где:

$M_{ovr}$	-	момент опрокидывания
$M_{res}$	-	момент сопротивления
$SF_o$	-	коэффициент надежности опрокидыванию

### 2) Проверка скольжения:

$$\frac{N \tan \varphi_d + c_d B}{Q} > SF_s$$

где:

$N$	-	стандартная сила, действующая на верхний стык нижнего блока
$\varphi$	-	угол внутреннего трения материала нижнего блока
$B$	-	ширина верхнего блока
$c$	-	когезия материала нижнего блока
$Q$	-	сила сдвига

$SF_s$  - коэффициент надежности скольжению

### 3) Проверка на устойчивость в отношении сопутствующего давления:

$$\frac{S_u}{S} > SF_n$$

$$S = \frac{Tbh}{D_{total}}$$

где:

$T$	-	среднее значение давления, действующего на переднюю поверхность нижнего блока
$S$	-	сила на 1 погонный метр стыка
$S_u$	-	устойчивость стыка (для ввода использовать закладку «Материал»)
$SF_n$	-	коэффициент надежности напряженной сетки (для ввода использовать вкладку «Расчёт стен» - значение по умолчанию 1,5)
$b$	-	ширина = 1 м
$h$	-	высота блока
$D_{total}$	-	общая ширина сеток, нагруженных в сжатии $T$

### 4) Проверка устойчивости стыка между блоками:

$$\frac{N_u}{N} > SF_n$$

$$N_d = \frac{T b h}{D_{total}} + \frac{\max(0, Q - Q_{tr})}{D_{upp}}$$

$$Q_{tr} = \frac{N \tan \varphi_d + c_d B}{\gamma_f}$$

где:

$N_d$	-	сила натяжения на 1 погонный метр верхнего стыка нижнего блока
$N_u$	-	прочность сетки (для ввода использовать закладку «Материал»)
$SF_n$	-	коэффициент надежности напряженной сетки (для ввода использовать вкладку «Расчёт стен» - значение по умолчанию 1,5)
$Q_{tr}$	-	сила сдвига, передаваемая трением и когезией между блоками
$k_t$	-	поправочный коэффициент трения между блоками (для ввода использовать закладку «Расчёт стен» - значение по умолчанию 0,66)
$h$	-	высота блока
$D_{total}$	-	общая ширина сеток, нагруженных в сжатии $T$
$D_{upp}$	-	ширина верхней сетки между блоками, нагруженными напряжением

## Внутренняя устойчивость габрионной опоры - предельные состояния

В анализе используются приведенные параметры материала габриона, зависящие от коэффициентов, установленных в закладке «Расчёт стен».

### 1) Проверка на устойчивость к опрокидыванию:

$$M_{ovr} < M_{res}$$

где:  $M_{ovr}$  - момент опрокидывания

$M_{res}$  - момент сопротивления

### 2) Проверка на скольжение:

$$N \cdot \tan \varphi_d + c_d \cdot B > Q$$

где:  $N$  - стандартная сила, действующая на верхний стык нижнего блока

$\varphi_d$  - расчетный угол внутреннего трения материала нижнего блока

$B$  - ширина верхнего блока

$c_d$  - расчетная когезия материала нижнего блока

$Q$  - сила сдвига

### 3) Проверка на устойчивость в отношении сопутствующего давления:

$$S < S_u$$

$$S = \frac{T b h}{D_{total}}$$

где:  $T$  - среднее значение давления, действующего на переднюю поверхность нижнего блока

$S$  - сила на  $l$  погонный метр стыка

$S_u$  - устойчивость стыка (для ввода использовать закладку «Материал»)

$b$  - ширина =  $l_m$  (погонный метр конструкции)

$h$  - высота блока

$D_{total}$  - общая ширина сеток, нагруженных в сжатии  $T$

$l$

### 4) Проверка устойчивости стыка между блоками:

$$N_d < N_u$$

$$Q_{tr} = \frac{N \tan \varphi_d + c_d B}{\gamma_f}$$

$$N_d = \frac{T b h}{D_{total}} + \frac{\max(0, Q - Q_{tr})}{D_{upp}}$$

где:  $N_d$  - сила натяжения на  $l$  погонный метр верхнего стыка нижнего блока

$N_u$	- прочность сетки (для ввода использовать закладку «Материал»)
$Q_{tr}$	- сила сдвига, передаваемая трением и когезией между блоками
$\gamma_t$	- поправочный коэффициент трения между блоками (для ввода использовать закладку «Расчёт стен»)
$h$	высота блока
$D_{total}$	общая ширина сеток, нагруженных в сжатии $T$
$l$	
$D_{upp}$	ширина верхней сетки между блоками, нагруженными напряжением

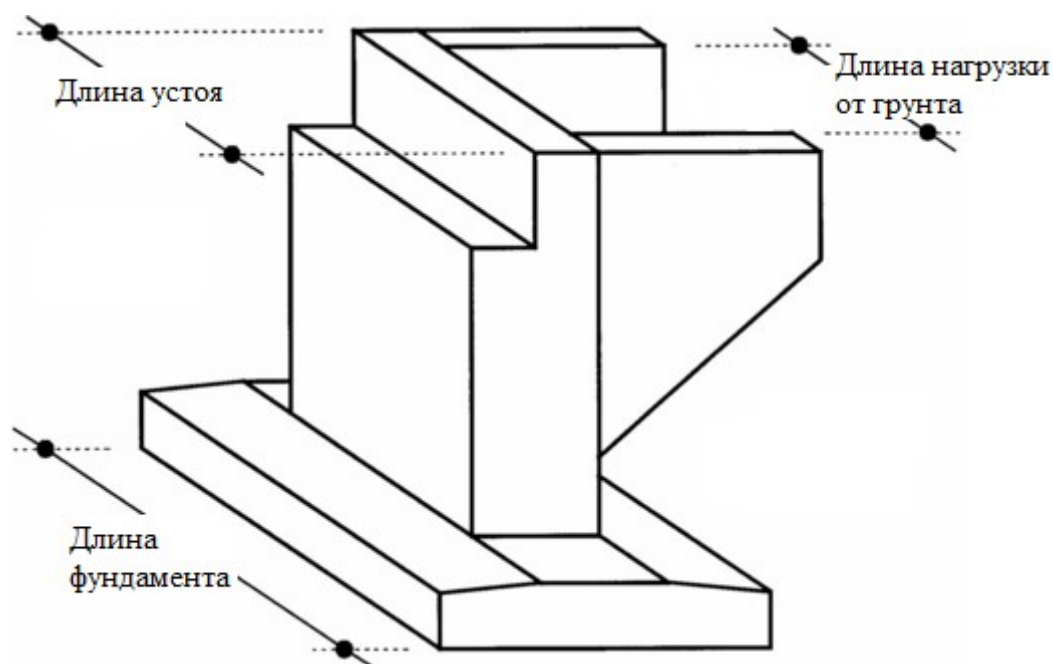
## Расчет сил устоя

Устой анализируется на 1 м (или фут). Все силы, вводимые в анализ, устанавливаются в программе следующим образом:

- **собственный вес устоя**, принятый из расчета на 1 м (фут), рассчитывается из введенного поперечного разреза
- **реакции, вводимые на мост и переходную плиту**, вводятся в кН ( $kpi$ ) с помощью значений для всего устоя. Эти значения в анализе делятся на длину устоя
- **давление грунта** определяется из расчета на 1 м (фут) и затем умножается на коэффициент **длины нагрузки, зависящей от длины грунта / устоя**
- **вес клинов земли** определяется из расчета на 1 м (фут) и затем умножается на коэффициент **длины нагрузки, зависящей от длины грунта / устоя**
- **нагрузка** определяется из расчета на 1 м (фут) и затем умножается на коэффициент **длины нагрузки, зависящей от длины грунта / устоя**
- **введенные силы и сопротивление передней поверхности** принимаются из расчета на 1 м (фут) без снижения
- **крылья** - собственный вес крыльев рассчитывается, исходя из их геометрии; перед вводом в расчет и проверку основания, он делится на **длину устоя** (пользователь должен сам включить или исключить действие крыльев из анализа)

Более подробно расчет отдельных сил устоев описан в разделе «Анализ опор».

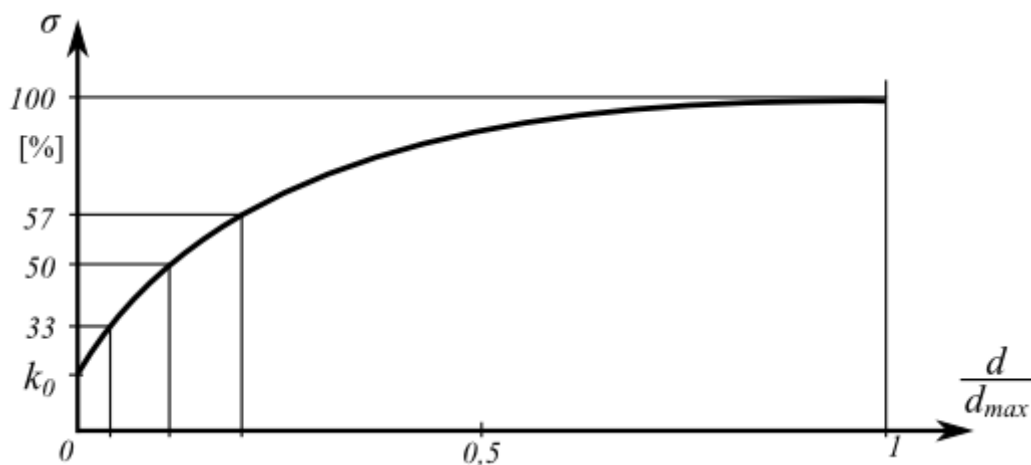
Все силы, действующие в стыке основания, введенные в анализ (за исключением сил для сопротивления передней поверхности), умножаются на коэффициент **длины устоя / длины основания**.



Геометрия устоя моста

## Приведенное пассивное давление грунта

Развитие пассивного давления грунта  $\sigma_p$  соответствует максимальному смещению конструкции в массив грунта. Такое смещение, однако, может и не произойти (например, в случае зафиксированных обшивочных конструкций), а конструкция нагружается приведенным пассивным давлением грунта  $\sigma_{ps}$ . Значение приведенного пассивного давления грунта  $\sigma_{ps}$  может варьироваться от значения статического давления грунта  $\sigma_r$  (в случае нулевой деформации) до значения пассивного давления грунта  $\sigma_p$ . На рисунке показана зависимость значений давления несвязного грунта (сопротивление грунта) от соотношения действительного сдвига  $d$  к максимальному сдвигу  $d_{max}$  (при активации промежуточного давления грунта  $\sigma_p$ ).



Зависимость значений давления грунта от коэффициента активной деформации конструкции

## Укрепление откосов нагелями

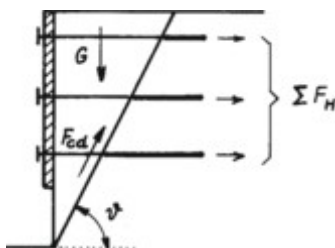
Программа «**Нагельное крепление**» позволяет проводить следующие типы анализа:

- Проверка **внутренней устойчивости конструкции** (ровная поверхность, ломаная поверхность, **несущая способность отдельных нагелей**)
- Проверка фиктивной стены - идентично проверке **гравитационной стены**
- Проверка **бетонного покрытия конструкции** (подбор размеров)
- Проверка общей устойчивости с помощью программы «**Устойчивость откоса**»

## Анализ внутренней устойчивости

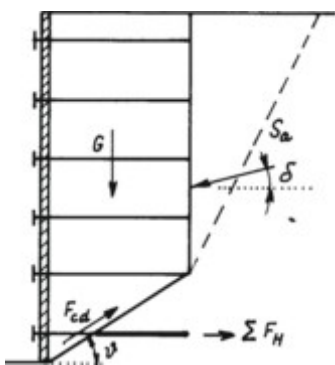
Внутренняя устойчивость конструкции проверяется, исходя из двух типов поверхности скольжения:

- **ровная поверхность скольжения:**



*Ровная поверхность скольжения*

- **ломаная поверхность скольжения:**



*Ломаная поверхность скольжения*

В обоих случаях анализируется особая поверхность скольжения на изменение угла  $\vartheta$ .

При проведении оптимизационного анализа расчет осуществляется для всех уступов с изменением угла поверхности скольжения  $\nu$  от  $1^\circ$  до  $89^\circ$  с шагом изменения в  $1^\circ$ .

Анализ внутренней устойчивости можно проводить либо с использованием **коэффициента надежности** или **теории предельных состояний**, в зависимости от установок в закладке «Расчёт стен».

Анализ проверяет, превышает ли соотношение сил сопротивления и сдвига, действующих на поверхность скольжения, введенный коэффициент надежности. Используются следующие силы:

**Силы сдвига:**



- компонент силы тяжести параллельно поверхности скольжения
- в случае ломаной поверхности скольжения - компонент активного давления грунта, действующий на вертикальную часть конструкции параллельно поверхности скольжения (давление определяется без уменьшения входных параметров)
- горизонтальные силы вследствие землетрясения

#### Силы сопротивления:

- трение и когезия грунта вдоль поверхности скольжения
- сумма сил, **передаваемых гвоздями**

## Анализ устойчивости гвоздей

Для нагеля прямо **задают** или рассчитывают следующие устойчивости:

- $R_f$  - несущая способность головки нагеля  
 $R_t$  - сопротивление разрыву  
 $T_p$  - сопротивление выдёргиванию

**Прочностные характеристики нагеля** - это основной параметр для **расчёта общей несущей способности нагеля**.

**Сопротивление нагеля разрыву** рассчитывается следующим образом:

$$R_t = \frac{\pi d_s^2}{4} \frac{f_y}{SF_t}$$

- где:
- $R_t$  - сопротивление разрыву  
 $d_s$  - диаметр нагеля  
 $f_y$  - расчётная прочность материала нагеля  
 $SF_t$  - коэффициент запаса на разрыв

**Сопротивление выдёргиванию можно рассчитать** одним из трех способов:

#### 1. по боковому трению

$$T_p = \frac{\pi d g_s}{SF_e}$$

- где:
- $T_p$  - сопротивление нагеля выдёргиванию [кН/м]  
 $d$  - диаметр бурового отверстия (нагеля)  
 $g_s$  - **боковое трение** - задано или как параметр нагеля или как **параметр грунта**  
 $SF_e$  - коэффициент запаса на выдёргивание

#### 2. по эффективному напряжению

$$T_p = \frac{\pi d (K_a \sigma_z \tan \varphi + c)}{SF_e}$$

где:

$$K_a = \frac{1 + K_0}{2} = \frac{1 + (1 - \sin \varphi)}{2}$$

где:  $T_p$  - сопротивление нагеля выдёргиванию [кН/м]  
 $d$  - диаметр бурового отверстия (нагеля)  
 $\sigma_z$  - вертикальное геостатическое напряжение  
 $\varphi$  - эффективный угол внутреннего трения грунта  
 $c$  - эффективное сцепление грунта  
 $SF_e$  - коэффициент запаса на выдёргивание

### 3. по НА 68/94

$$T_p = \frac{\pi d (\sigma_n \tan \varphi + c)}{SF_e}$$

где:  $T_p$  - сопротивление нагеля выдёргиванию [кН/м]  
 $d$  - диаметр бурового отверстия (нагеля)  
 $\sigma_n$  - среднее радиальное эффективное напряжение  
 $\varphi$  - эффективный угол внутреннего трения грунта  
 $c$  - эффективное сцепление грунта  
 $SF_e$  - коэффициент запаса на выдёргивание

Среднее радиальное эффективное напряжение  $\sigma_n$  рассчитано по формуле:

$$\sigma_n = \frac{(1 + K_L) \sigma_z}{2}$$

где:  $\sigma_z$  - вертикальное геостатическое напряжение

$$K_L = \frac{1 + K_a}{2}$$

где:

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$$

**Сопротивлени головки гвоздя** рассчитывают по формуле:

$$R_f = \frac{\min(R_t; T_p l) (0,6 + 0,2 (S_{\max} - 1))}{SF_f}$$

где:  $l$  - длина нагеля  
 $S_{\max}$  - максимальное расстояние между нагелями в конструкции  
 $R_t$  - сопротивление нагеля разрыву

$T_p$  - сопротивление нагеля выдёргиванию

$SF_f$  - коэффициент запаса по несущей способности головки нагеля

Нагелю, не заанкерованному к конструкции покрытия можно задать сопротивление головки в т.ч. и нулевое.

## Ориентировочные значения бокового трения

Данные в таблице получены при полевых и лабораторных испытаниях.

### Боковое трение: Классические буровые гвозди

$q_{s,k} [kPa]$ <sup>1)</sup> в соответствии с EA Pfähle								
Несвязные грунты			Связные грунты			Породы		
$q_c$ <sup>2)</sup> $[MN/m^2]$			$c_u$ <sup>3)</sup> $[kN/m^2]$			$q_{u,k}$ <sup>4)</sup> $[MN/m^2]$		
7,5	15	25	60	150	250	0,5	5	20
55 - 80	105 - 140	130 - 170	30 - 40	50 - 65	65 - 85	70 - 250	500 - 1000	500 - 2000
Примечания:								
1) Определение бокового трения должно входить в геологические изыскания								
2) Сопротивление на наконечнике, испытания CPT (по DIN EN ISO 22476-1)								
3) Полное сцепление грунта								
4) Прочность в одноосном сжатии								

### Литература:

EA-Pfähle, ISBN: 978-3-433-03005-9

Данные в таблице на основе классификации грунтов и пород

### Ориентировочные значения адгезии (Elias и Juran, 1991)

Материал	Технология выполнения	Тип грунта / породы	Предельное боковое трение $q_s [kPa]$
Горная порода	Роторное бурение	мергель/известняк	300 - 400
		филлит	100 - 300

		мел	500 - 600
		мягкий доломит	400 - 600
		доломит с трещинами	600 - 1000
		выветренный песчаник	200 - 300
		выветренный глинистый сланец	100 - 150
		выветренный крист. сланец	100 - 175
		базальт	500 - 600
		сланец / крепкий сланец	300 - 400
<b>Несвязный грунт</b>	<b>Роторное бурение</b>	песок / гравий	100 - 180
		Илистый песок	100 - 150
		Ил	40 - 120
		Остаточные предгорные породы	40 - 120
		Мелкий коллювий	75 - 150
	<b>Бурение на обсадных трубах</b>	песок / гравий низкая	190 - 240 280 - 430
		покрывающая толща	
		покрывающая толща	
		Плотная морена	380 - 480
		Коллювий	100 - 180
	<b>Сверление</b>	Илистый песочный грунт	20 - 40
		Илистый мелкий песок	55 - 90
		Илистый глинистый песок	60 - 140

	<b>Гидравлическое цементирование</b>	песок	380
		Песчаный гравий	700
<b>Мелкозернистый грунт</b>	<b>Роторное бурение</b>	Илистая глина	35 - 50
	<b>Бурение на обсадных трубах</b>	Глинистый ил	90 - 140
	<b>Сверление</b>	лёсс	25 - 75
		Мягкая глина	20 - 30
		Жесткая глина	40 - 60
		Жесткий глинистый ил	40 - 100
		Известковая песчаная глина	90 - 140

**Примечание:** Изменить значения в  $\kappa\Pi a$  на  $psf$ , умножив на 20,9. Изменить значения в  $\kappa\Pi a$  на  $psi$  умножив на 0,145.

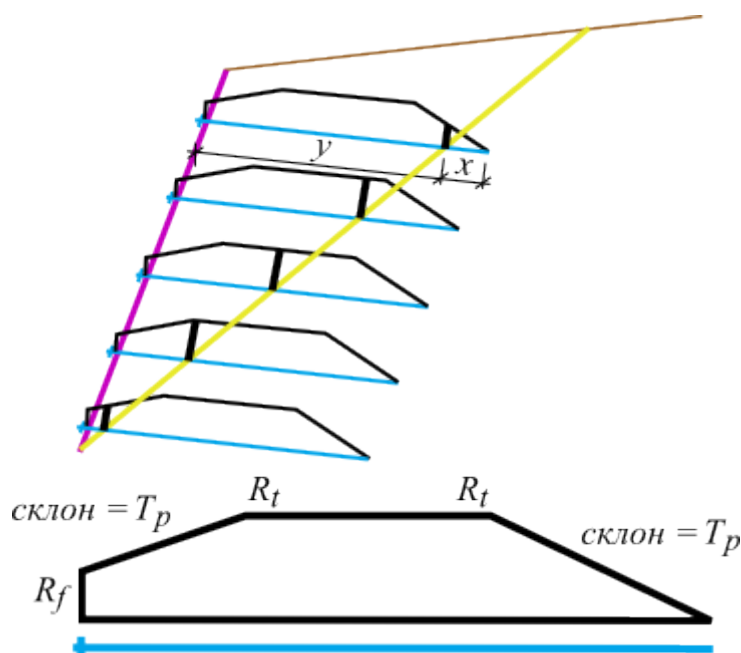
## Несущая способность нагеля

Несущая способность нагеля рассчитана с учётом положения его линии пересечения с поверхностью скольжения. Нагель, который весь находится перед поверхностью скольжения, в расчёте вообще не участвует. Если поверхность скольжения пересекает нагель, то несущую способность нагеля рассчитывают по формуле:

$$F = \min (T_p x ; R_t ; R_f + T_p y)$$

где:

- $x$  - длина гвоздя позади поверхности скольжения в направлении массива грунта
- $y$  - длина гвоздя напротив поверхности скольжения
- $R_f$  - допустимая нагрузка на шляпку гвоздя
- $R_t$  - устойчивость гвоздя к разлому
- $T_p$  - устойчивость гвоздя выдергиванию



Распределение силы растяжения вдоль гвоздя

## Коэффициент безопасности

Анализ проверяет, превышает ли соотношение сил **сопротивления** и **сдвига**, действующих на поверхность скольжения, введенный коэффициент надежности.

Коэффициент безопасности на введенные силы скольжения, таким образом, имеет следующий вид:

$$SF = \frac{F_h \cos(\nu + \alpha) + F_{cd}}{(G + S_{a,vert}) \sin \nu + S_{a,hor} \cos \nu}$$

$$F_h = \sum F_{h,n}$$

$$F_{cd} = \sum \frac{d_i}{d} (G \cos \nu + F_h \sin(\nu + \alpha)) \tan \varphi_i + \sum d_i c_i$$

где:

- $G$  - сила тяжести
- $S_{a,vert}$  - вертикальный компонент активного давления
- $S_{a,hor}$  - горизонтальный компонент активного давления
- $d_i$  - длина  $i$ -ого отрезка поверхности скольжения
- $d$  - длина поверхности скольжения
- $F_{h,n}$  - устойчивость  $n$ -го гвоздя позади поверхности скольжения на  $l$  погонный метр
- $c_i$  - когезия  $i$ -ого слоя грунта
- $\varphi_i$  - угол внутреннего трения  $i$ -ого слоя
- $\nu$  - наклон поверхности скольжения

$\alpha$  - наклон гвоздей с горизонтального направления

## Теория предельных состояний

Анализ проверяет, превышают ли **пассивные** (противодействующие) **силы**  $F_p$ , действующие на поверхность скольжения **активные** (сдвигающие) **силы**  $F_a$ :

$$F_p > F_a$$

$$F_p = F_h \cos(\nu + \alpha) + F_{cd}$$

$$F_a = (G + S_{a,vert}) \sin \nu + S_{a,hor} - \cos \nu$$

$$F_h = \sum F_{h,n}$$

$$F_{cd} = \sum \frac{d_i}{d} (G \cos \nu + F_h \sin(\nu + \alpha)) \tan \varphi_i + \sum d_i c_i$$

где:

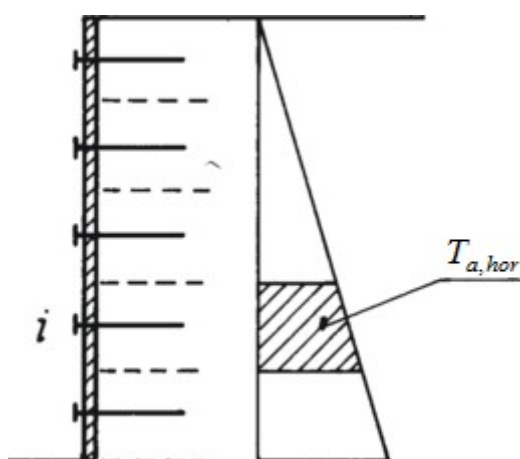
- $G$  - сила тяжести
- $S_{a,vert}$  - вертикальный компонент активного давления
- $S_{a,hor}$  - горизонтальный компонент активного давления
- $d_i$  - длина  $i$ -ого отрезка поверхности скольжения
- $d$  - длина поверхности скольжения
- $F_{h,n}$  - устойчивость  $n$ -го гвоздя позади поверхности скольжения на  $l$  погонный метр
- $c_i$  - когезия  $i$ -ого слоя грунта
- $\varphi_i$  - угол внутреннего трения  $i$ -ого слоя
- $\nu$  - наклон поверхности скольжения
- $\alpha$  - наклон гвоздей с горизонтального направления

## Определение силы в нагеле

Величину активного давления грунта уменьшает коэффициент  $k_n$ . Рекомендуемое (установленное в эксперименте) значение  $k_n = 0,85$ .

Силы в отдельных нагелях определяют путём распределения по отдельным ярусам полученного расчётом давления грунта. Каждый нагель передаёт долю активного давления, которое действует **на данный ярус**.





Силы, передаваемые отдельными гвоздями

Силы гвоздя рассчитывается по формуле:

$$F_i = \frac{b k_n \sum T_{a,hor}}{\cos \alpha}$$

где:

- $b$  - шаг нагелей
- $\alpha$  - наклон нагелей
- $k_n$  - коэффициент редукции активного давления
- $T_{a,hor}$  - активное давление грунта на данный ярус

## Измерение защитного слоя бетона

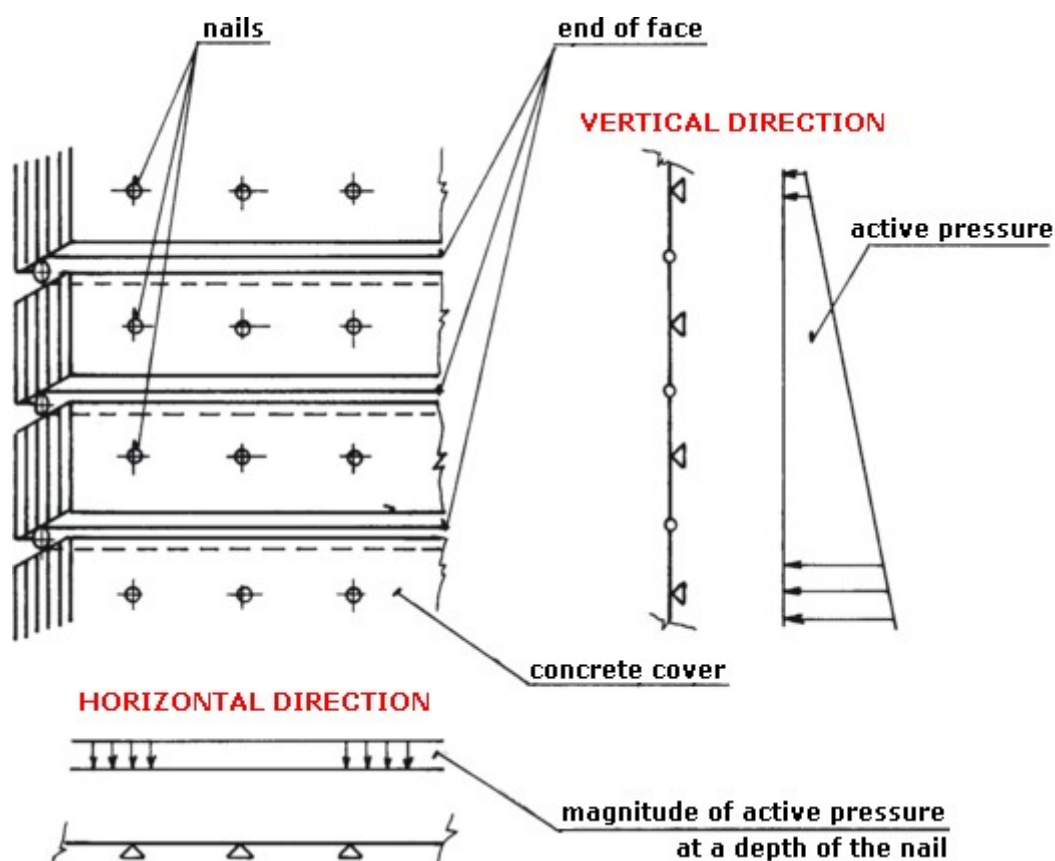
**Защитный слой бетона укрепленного гвоздями уклона** предназначен для повышения устойчивости к активному давлению грунта. Таким образом, конструкция считается разделенной на отдельные промежуточные расчетные ленты.

В **вертикальном направлении** шляпка гвоздя моделируется как опора и стык между уступами, которые рассматриваются как внутренние петли.

В **горизонтальном направлении** программа генерирует (по умолчанию) конструкцию с 5 опорами, равномерно нагруженными активным давлением до глубины шляпки гвоздя.

Программа также позволяет осуществлять проверку усиления конструкции, нагруженной моментом изгиба, **защитным слоем бетона**.

Схема построения **расчета модели** с использованием нагрузки представлена на следующем рисунке:



Измерение защитного слоя бетона

## Конструкции ограждения

Программа GEO5 для разработки комплексного проекта и анализа вертикальных конструкций ограждения **разного типа**. Предусмотрены конструкции ограждения неанкерированные, анкерированные, распорные.

Основная программа для расчёта анкерированных или распорных конструкций ограждения - это «**Ограждения котлованов - анализ**». Программа позволяет рассчитать реальное поведение конструкции в процессе возведения, рассчитать деформации и внутренние силы на конструкции, проверить внутреннюю устойчивость анкерной системы, подобрать размеры стальных, железобетонных, деревянных и пластмассовых сечений и проверить анкеры.

Для ускорения проектирования конструкций предназначена программа «**Ограждения котлованов - проект**», которая рассчитывает необходимую длину конструкции в грунте и внутренние силы на конструкции. С помощью программы можно проверить несущую способность железобетонных, стальных или деревянных сечений.

Особым примером ограждающей конструкции возведённой на склоне для предотвращения оползня - это ряд стабилизирующих свай. Для расчёта такой конструкции предназначена программа «**Стабилизирующая свая**».

## Задание сечений ограждающих конструкций

В выпадающем списке диалогового окна «**Правка участка**» приведены отдельные

варианты конструкций ограждающих стенок:

- Свайная стена
- Железобетонная прямоугольная стена
- Стена из шпунтовых свай
- Стальной двутавр-сечение
- Пластмассовая стена (виниловая)
- Пользовательские характеристики сечения

Для некоторых типов сечений можно сохранять пользовательские сечения в «Пользоват.каталог» (кнопка «Пользов. каталог»)

**Edit section**

Type of wall : Pile curtain

Cross-section name : Reinforced concrete rectangular wall

Section length : Sheet pile

Coeff. of pressure red : Plastic sheet pile (vinyl)

— Geometry —

Cross-section type : circle

Pile diameter : d = 1,00 [m]

Pile spacing : a = 1,00 [m]

Material of pile : concrete

— Information —

**A = 7,85E-01 [m²/m]** **I = 4,91E-02 [m⁴/m]**

User's catalog OK Cancel

Диалоговое окно «Правка сечения»

## Свайная стена

Для **свайной стены** в диалоговом окне задаём:

- **Название сечения** (по умолчанию задано программой, флажок у кнопки

«Пользов.» позволяет выбор названия по своему усмотрению)

- **Коэффициент редукции давлений ниже дна котлована** - коэффициент применяют при расчёте ограждения с забиркой для редукции давлений ниже дна котлована - кф. можно или **задать**, или автоматически **вычислить** (для классического ограждения без забирки коэффициент равен 1,0)
- **Тип сечения** (квадрат, круг)
- **Диаметр свай**  $d$  и их **межосевое расстояние**  $a$
- **Материал сваи** (бетон, древесина)

**Edit section**

Type of wall : Pile curtain

Cross-section name : Pile curtain d = 1,00 m; a = 1,00 m ☐ User def.

Section length :  $l =$  5,00 [m]

Coeff. of pressure reduc. below ditch bottom : calculate

— Geometry —

Cross-section type : circle

Pile diameter :  $d =$  1,00 [m]

Pile spacing :  $a =$  1,00 [m]

Material of pile : concrete

— Information —

$A = 7,85E-01$  [m<sup>2</sup>/m]       $I = 4,91E-02$  [m<sup>4</sup>/m]

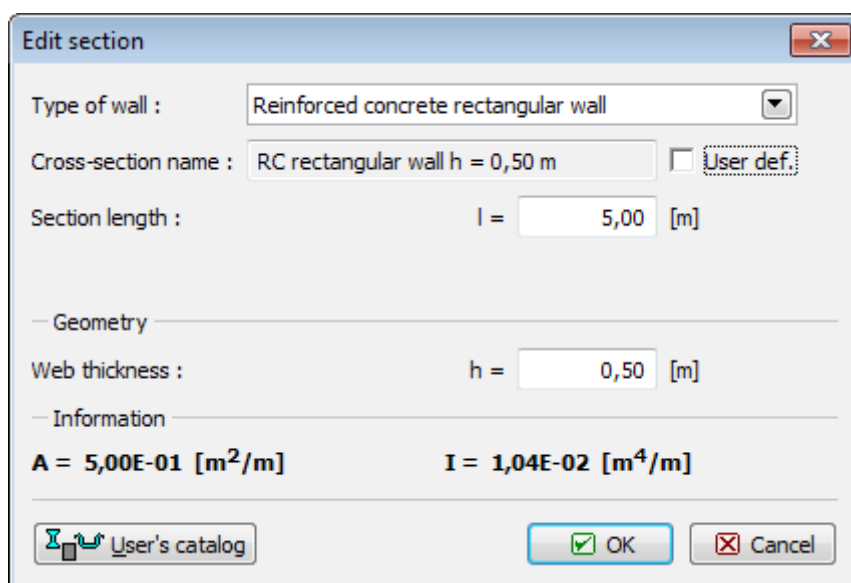
User's catalog     

*Задание параметров - свайная стена*

## Железобетонная прямоугольная стена

Для **железобетонной прямоугольной стены** в диалоговом окне задаём:

- **Название сечения** (по умолчанию задано программой, флажок у кнопки «Пользов.» позволяет выбор названия по своему усмотрению)
- **Толщину стен**  $h$



The 'Edit section' dialog box contains the following fields and controls:

- Type of wall :** A dropdown menu with 'Reinforced concrete rectangular wall' selected.
- Cross-section name :** A text field containing 'RC rectangular wall h = 0,50 m' and a checkbox labeled 'User def.'.
- Section length :** A text field with 'I = 5,00 [m]'.
- Geometry** (collapsible section):
  - Web thickness :** A text field with 'h = 0,50 [m]'.
- Information** (collapsible section):
  - A = 5,00E-01 [m<sup>2</sup>/m]**
  - I = 1,04E-02 [m<sup>4</sup>/m]**
- User's catalog** button with a folder icon.
- OK** and **Cancel** buttons.

*Задание параметров - железобетонная прямоугольная стена*

## Шпунтовая свая

Для **шпунтовой сваи** в диалоговом окне задаём:

- **Название сечения** (по умолчанию задано программой, флажком у кнопки «**Пользов**» пользователю можно выбирать название по своему усмотрению)
- **Тип сечения** - выбираем в диалоговом окне «**Каталог сечений**» (диалоговое окно открываем кнопкой «**Каталог**»)

В каталоге сечений находятся шпунтовые сваи и обсадные трубы разных производителей (см. дальше). В случае, что Вы используете изделия другого типа, просим связаться с нами (hotline@fine.cz), мы с удовольствием включим их в наш каталог в программе.

**Edit section**

Type of wall : Sheet pile

Cross-section name : Sheet pile : VL 503 ☐ User def.

Section length : I = 5,00 [m]

— Cross-section —

Name : VL 503

— Information —

A = 1,49E-02 [m<sup>2</sup>/m] I = 2,12E-04 [m<sup>4</sup>/m]

W<sub>y1</sub> = 1,250E-03 [m<sup>3</sup>/m] W<sub>pl,y</sub> = 1,430E-03 [m<sup>3</sup>/m]

Задание параметров - шпунтовые сваи

Литература:

### **Шпунтовые сваи в каталоге**

Стальные шпунтовые сваи:

- Vítkovice steel - Product catalog of sheet piles
- Arcelor Mittal - Steel Sheet Piling, General Catalogue 2012
- ThyssenKrupp Bautechnik - Sheet Piling Handbook
- Chinese standard GB/T 20933-2014 Hot rolled sheet pile
- Bethlehem Steel Sheet Piling
- Gerdau Steel Sheet Piling

Стальные шпунтовые сваи холодного изготовления:

- Mer Lion Metals - Cold Formed Steel Sheet Piles Catalogue

Обсадные трубы КД:

- ThyssenKrupp Bautechnik - Kaltgewalzte Spundwandprofile – Kanaldielen

Шпунтовые сваи O WOM/WOF:

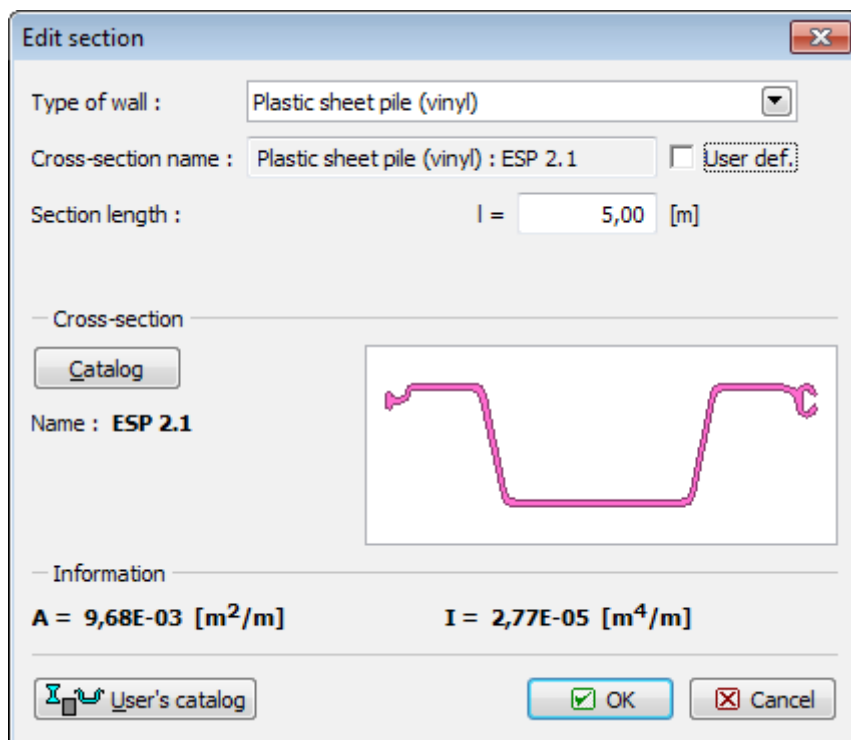
- Mer Lion Metals - Steel Sheet Piles Catalogue
- PilePro Group Company - Sheet Pile Connectors

## **Пластиковая шпунтовая свая (винил)**

Для **пластиковой шпунтовой сваи** в диалоговое окно задаём:

- **Название сечения** (по умолчанию задано программой, флажком у кнопки «Пользов.» пользователю можно выбирать название по своему усмотрению)
- **Длина секции**  $l$
- **Тип сечения** - выбираем в диалоговом окне «Каталог сечений» (кнопка «Каталог»)

В каталог вошли виниловые шпунтовые сваи конкретного производителя (см. дальнейшая литература). В случае, что Вы используете изделия другого типа, просим связаться с нами (hotline@fine.cz), мы с удовольствием включим их в наш каталог в программе.



Задание параметров - пастмассовая шпунтовая свая

Пластиковые шпунтовые сваи, **мягкие на изгиб**, подвергаются **значительной деформации** по сравнению со стальными или бетонными конструкциями. Стандартный метод расчёта модуля реакции основания по Шмитту для пластиковых шпунтин не подходит и даёт нереальные результаты. Поэтому программа автоматически переключает этот метод на метод «Винил»: **модуль реакции основания** рассчитывается по эдометрическому модулю грунта -  $k_h = 2/3 E_{oed}$ .

Прочие методы расчёта модуля реакции основания не отличаются от методов у остальных типов сечений.

В рамке подбора размеров можно выполнить анализ **несущей способности пластиковых шпунтовых свай**.

Литература:

#### **Шпунтовые сваи вошедшие в каталог**

- *Katalog Everlast Synthetic Products, LLC - can be found at <https://everlastseawalls.com/seawall-products/vinyl-sheet-piling>*



## Стальной двутавр-сечение

Для **стального двутавра-сечения** в диалоговое окно задают:

- **Название сечения** (по умолчанию задано программой, флажок у кнопки «Пользов.» позволяет выбор названия по своему усмотрению)
- **Коэффициент редукции давлений ниже дна котлована** - коэффициент применяют при расчёте **ограждения с забиркой** для редукции давлений ниже дна котлована - кф. можно или **задать**, или автоматически **вычислить** (для классического ограждения без забирки коэффициент равен 1,0)
- **Межосевое расстояние профилей**
- **Тип сечения** - выбираем в диалоговом окне «**Каталог сечений**» (диалоговое окно открываем кнопкой «**Каталог**»)

The 'Edit section' dialog box contains the following fields and controls:

- Type of wall :** Steel I-section (dropdown menu)
- Cross-section name :** I-cross-section : I(IPN) 220; a = 1,00 m (text field) with a ☐ **User def.** checkbox.
- Section length :** l = 5,00 [m] (text field)
- Coeff. of pressure reduc. below ditch bottom :** calculate (dropdown menu)
- Geometry** (collapse icon)
- Spacing of centers :** a = 1,00 [m] (text field)
- Cross-section** (collapse icon)
- Catalog** (button)
- Name :** I(IPN) 220 (text field)
- Information** (collapse icon)
- Properties:**
  - A = 3,95E-03 [m<sup>2</sup>/m]
  - I = 3,05E-05 [m<sup>4</sup>/m]
  - W<sub>y1</sub> = 2,770E-04 [m<sup>3</sup>/m]
  - W<sub>pl,y</sub> = 3,222E-04 [m<sup>3</sup>/m]
- User's catalog** (button with folder icon)
- OK** (button) and **Cancel** (button)

Задание параметров - стальной двутавр-сечение

## Задание пользовательских характеристик сечения Input of A, I, E, G

Если пользователь задаёт свою геометрию, он должен задать свои значения характеристик сечения ( $A, I$ ) и материала ( $E, G$ ).

**Edit section**

Type of wall : User input of A,I,E,G

Cross-section name : user defined ☐ User def.

Section length : I = 5,00 [m]

Coeff. of pressure reduc. below ditch bottom : 1,00 [-]

— Geometry —

☐ Verify steel cross-section

Area of cross-section : A = 0,00E+00 [m<sup>2</sup>/m]

Moment of inertia : I = 0,00E+00 [m<sup>4</sup>/m]

Elastic modulus : E = 27000,00 [MPa]

Shear modulus : G = 11300,00 [MPa]

— Information —

A = 0,00E+00 [m<sup>2</sup>/m] I = 0,00E+00 [m<sup>4</sup>/m]

E = 27000,00 [MPa] G = 11300,00 [MPa]

User's catalog OK Cancel

*Задание характеристик сечений ( $A$ ,  $I$ ) и характеристик материала ( $E$ ,  $G$ )*

Поставив флажок в поле «**Подбор размеров стального сечения**», задаём значение модуля сечения ( $W$ ) а характеристики материала ( $E$ ,  $G$ ) автоматически переходят из рамки «**Материал**», в зависимости от использованного типа стали.

В случае пользовательского задания проверка сечения будет выполняться только на **изгиб и сжатие**.

**Edit section**

Type of wall : User input of A,I,E,G

Cross-section name : user defined ☐ User def.

Section length : I = 5,00 [m]

Coeff. of pressure reduc. below ditch bottom : 1,00 [-]

— Geometry —

☒ Verify steel cross-section:

Area of cross-section : A = 0,00E+00 [m<sup>2</sup>/m]

Moment of inertia : I = 0,00E+00 [m<sup>4</sup>/m]

Sectional modulus : W = 0,000E+00 [m<sup>3</sup>/m]

— Information —

A = 0,00E+00 [m<sup>2</sup>/m] I = 0,00E+00 [m<sup>4</sup>/m]

E = 210000,00 [MPa] G = 81000,00 [MPa]

User's catalog OK Cancel

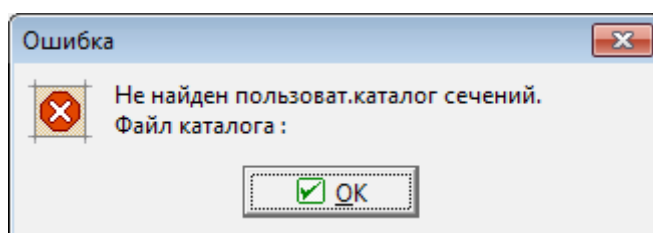
Задание характеристик сечений - флажок «Подбор размеров стального сечения»

## Пользовательский каталог

Пользовательский каталог позволяет формулировать и сохранять собственные сечения и их характеристики, из которых составлена **ограждающая конструкция**. При первом пуске каталога (каталог ещё не создан) программа выдаёт сообщение, что каталог не найден и после подтверждения кнопкой «**ОК**» откроет диалоговое окно «**Сохранить как**». Вводим имя каталога и его размещение и кнопкой «**Сохранить**» каталог сохраняем (по умолчанию в директорию, куда программа сохраняет данные задачи).

Программа позволяет создать больше пользовательских каталогов. Каталоги создаём с помощью кнопки «**Новый**» - программа задаёт вопрос - будем ли заменять имеющийся каталог (**текущий загруженный каталог программа НЕ УДАЛЯЕТ!**) и сохранит новый каталог под новым именем. Кнопкой «**Открыть**» можно загрузить любой пользовательский каталог и кнопкой «**Сохранить как**» каталог можно сохранить под другим именем.

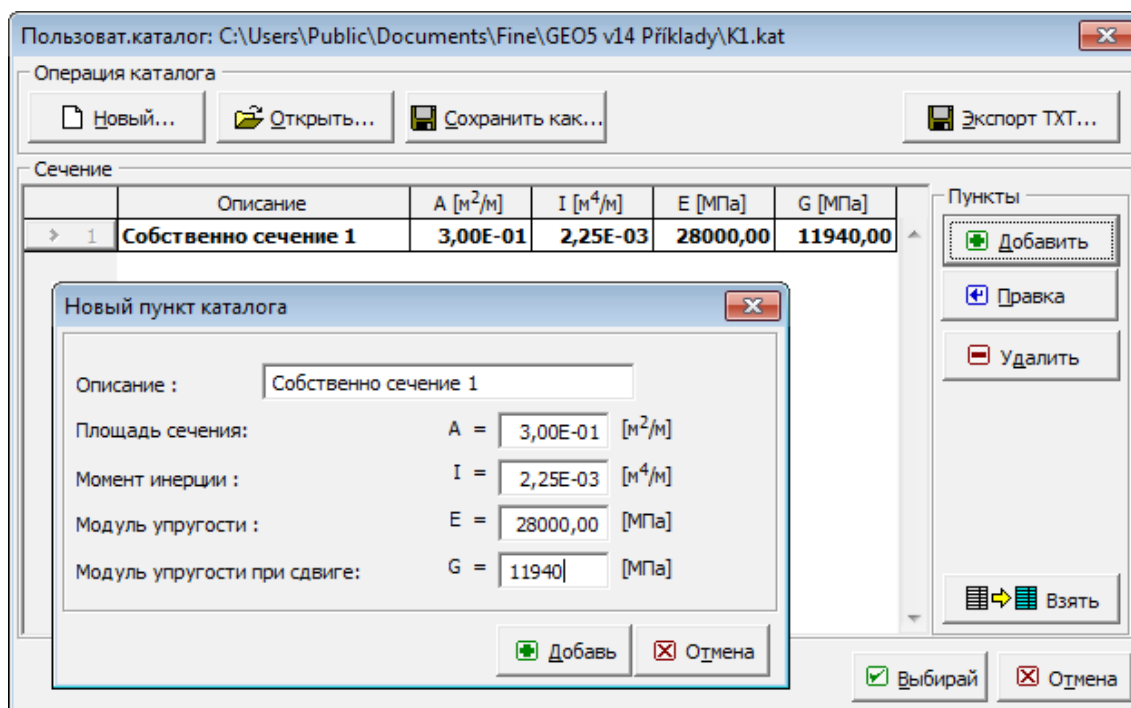
Загруженный текущий пользовательский каталог можно экспортировать в текстовый файл с помощью кнопки «**Экспорт TXT**».



Диалоговое окно при первом пуске пользовательского каталога сечений

Диалоговое окно «**Пользовательский каталог**» содержит **таблицу** со списком собственных (пользовательских) сечений. Кнопкой «**Добавить**» открывается диалоговое окно «**Новый пункт каталога**», в котором можно дать определение характеристикам нового сечения и сохранить их в каталог. Кнопками «**Править**» и «**Удалить**» можно редактировать список в таблице.

Кнопка «**Взять**» берёт текущие характеристики сечения из диалогового окна «**Создать участок**» и открывает диалоговое окно «**Новый пункт каталога**», в котором можно редактировать и сохранять.



Диалоговые окна «Пользовательский каталог» и «Новый пункт каталога»

## Автоматическое вычисление коэфф. редукции давлений под дном котлована

При **автоматическом вычислении** коэффициент редукции давлений под дном котлована  $k$  [-] определяется следующим образом:

- **свайная стена из круглых свай (а)**

$$k = 0.9 (1.5d + 0.5)/a \quad (d \leq 1 \text{ m})$$

$$k = 0.9 (d + 1)/a \quad (d > 1 \text{ m})$$

- **свайная стена с прямоугольными сваями или стальное двутавровое сечение (b)**

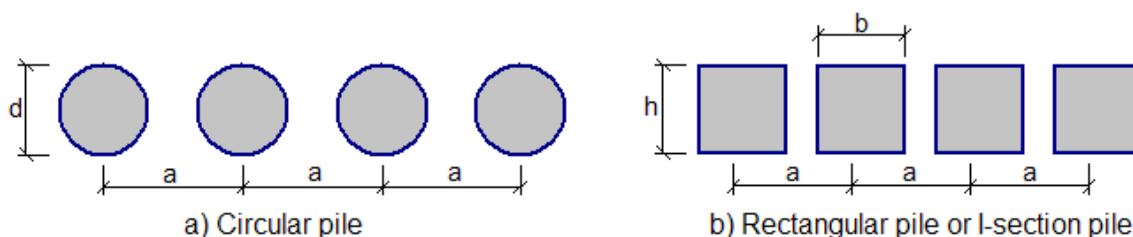
$$k = (1.5b + 0.5)/a \quad (b \leq 1 \text{ m})$$

$$k = (b + 1)/a \quad (b > 1 \text{ m})$$

**Примечание:** Если коэффициент  $k > 1$ , то справедливо  $k = 1$ .

где:

- $d$  - диаметр сваи
- $b$  - размер в плане прямоугольной сваи, или ширина полки двутаврового профиля
- $a$  - межсоевое расстояние свай, или стальных стоек



*Коэффициент редукции давлений под дном котлована k*

## Ограждения котлованов - проект

Расчёты в программе «Ограждения котлованов - проект» можно разделить на 3 группы:

- расчёт неанкерowanych стен (напр., шпунтовых )
- расчёт анкерowanych стен с защемлением подошвы
- расчёт анкерowanych стен со свободной посадкой подошвы

Программой можно рассчитать также ограждение с забиркой.

## Расчёт шпунтовой стенки

Расчёт шпунтовой стенки выполняется стандартным образом с учётом воздействия давлений грунта (в общем случае позади конструкции действует **активное давление**, а перед конструкцией - **пассивное давление**).

При расчёте **по теории предельных состояний** программа с помощью итерации ищет такую точку на стене, которая удовлетворит условию уравнения моментов:

$$M_{overturning} = M_{resisting}$$

Далее, для этой точки программа ищет положение подошвы стенки, которое удовлетворяет условию равновесия сдвигающих усилий ( вычисление глубины заделки). Таким образом находят длину конструкции в грунте.

При расчёте по **коэффициенту надёжности** программа при помощи итерации ищет точку, которая удовлетворяет условию

$$\frac{M_{resisting}}{M_{overturning}} = FS$$

Очевидно, что распределение внутренних сил при таком порядке расчёта далеко не реально, однако в некоторых странах требуют именно такой порядок расчёта.

На расчёт можно повлиять, во-первых, выбором **минимального измеряемого давления**, во-вторых, **редукцией пассивного давления**. Если принять полное пассивное давление грунта, то чаще всего получаем деформации конструкции, появление которых не реально. Фактически значение пассивного давления грунтов при нулевой деформации конструкции может равняться статическому давлению, а также и принимать более высокие значения вплоть до такого, когда происходит полная деформация конструкции (опрокидывание прим.  $10\text{ мRad}$ , т.е. деформация  $10\text{ мм}$  на  $1\text{ м}$  высоты конструкции). По этой причине целесообразно принимать более низкие значения пассивного давления при помощи «**Коэффициента редукции пассивного давления**» меньшего или равного  $1$ .

Рекомендованы следующие значения:

- $0,67$  - деформация уменьшается прикл. на половину,
- $0,50$  - приблизительно соответствует деформации конструкции, к которой приложено повышенное активное давление грунта,
- $0,33$  - приблизительно соответствует деформации конструкции, к которой приложено статическое давление, деформация конструкции составит приблизительно  $20\%$  от исходной.

## Расчёт заанкерванной стенки с защемлением в грунте

При анализе рассматривают заанкеррованную стенку с заделкой подошвы как неразрезную балку и рассчитывают методом конечных элементов -( вариант деформации) в чтобы удовлетворить предпосылку защемления подошвы в грунте. Перед собственным расчётом определяют в нескольких шагах нагружение конструкции от **давления грунта**. Давление позади конструкции принимается **активным давлением**, перед конструкцией - **пассивным давлением**.

Пассивное давление можно понизить **коэффициентом редукции пассивного давления**. Если полагать полное пассивное давление грунта, то чаще всего получаем деформации конструкции, появление которых не реально. Фактически значение пассивного давления грунтов при нулевой деформации конструкции может равняться статическому давлению, но также принимать более высокие значения вплоть до такого, когда происходит полная деформация конструкции (опрокидывание прим.  $10\text{ мRad}$ , т.е. деформация  $10\text{ мм}$  на  $1\text{ м}$  высоты конструкции). По этой причине целесообразно принимать более низкие значения пассивного давления при помощи «**Коэффициента редукции пассивного давления**» меньшего или равного  $1$ . Рекомендованы следующие значения:

- $0,67$  - деформация уменьшается прикл. на половину,
- $0,33$  - деформация уменьшается прикл. до  $20\%$  исходных значений.

Программа предлагает две опции для **определения активного давления**:

- расчет по заданным параметрам грунтов, воды, пригрузки,  $\gamma$ , в т.ч. ввод **минимального измеряемого давления**
- задаём какую-либо эпюру давления грунта до глубины нулевой точки (таким образом можно задавать любое перераспределение давления грунта)

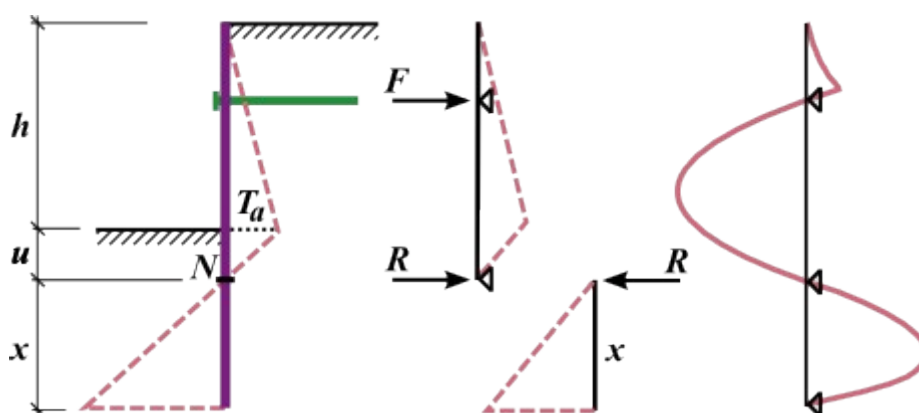
Нулевая точка, т.е. точка, в которой значение общего давления равно  $0$ , определяется по формуле:

$$u = \frac{\sigma_a}{\gamma \cdot K}$$

где:

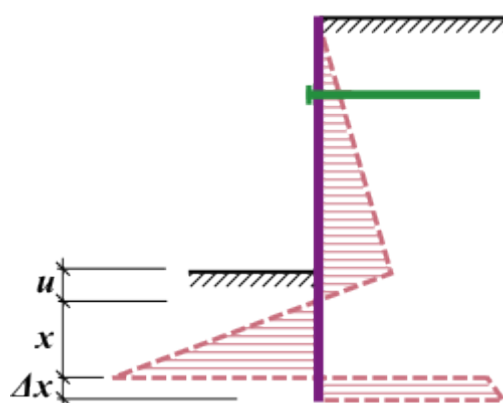
- $u$  - глубина нулевой точки
- $\sigma_a$  - величина активного давления за конструкцией на уровне дна котлована
- $K$  - коэффициент общего давления
- $\gamma$  - удельный вес грунта ниже дна котлована

Основой для расчёта конструкции защемлённой в подошве является предпосылка, что точка нулевой нагрузки  $N$  (на глубине  $u$ ) совпадает с точкой нулевого момента. Для расчёта делим конструкцию на 2 части: на верхнюю часть до нулевой точки и на нижнюю балку:



Расчёт стенки с защемлённой подошвой

Сначала считают верхнюю балку и усилия на анкерах  $F$  и реакцию в нулевой точке  $R$ . Затем определяется длина нижней балки  $x$  с целью удовлетворения момента равновесия в отношении подошвы конструкции (балка нагружена реакцией  $R$  и разницей давлений грунта). Для удовлетворения условия равновесия сдвигающих сил, расчётная длина защемления балки увеличивается на значение  $\Delta x$ , как показано на рис.:



Расчёт удлинения стены на  $\Delta x$

## Расчёт анкерной свободно опёртой стенки

Расчёт анкерной свободно опёртой стенки выполняется как для неразрезной балки с



применением метода конечных элементов-вариант деформации, чтобы удовлетворить предпосылки свободного опирания подошвы в грунте. Собственно вычислению предшествует несколько шагов определения нагрузки на конструкцию от **давления грунта**. Давление позади конструкции принимается **активным давлением**, давление перед конструкцией - **пассивным давлением**.

Пассивное давление можно уменьшить с помощью **коэффициента редукции пассивного давления**. Если принять полное пассивное давление грунта, то чаще всего получаем деформации конструкции, появление которых не реально. Фактически значение пассивного давления грунтов при нулевой деформации конструкции может равняться статическому давлению, но может также принимать более высокие значения вплоть до такого, когда происходит полная деформация конструкции (опрокидывание прим.  $10 \text{ mRad}$ , т.е. деформация  $10 \text{ мм}$  на  $1 \text{ м}$  высоты конструкции). По этой причине целесообразно принимать более низкие значения пассивного давления грунта при помощи **«Коэффициента редукции пассивного давления»** меньшего или равного  $1$ .

Рекомендованы следующие значения:

- $0,67$  - сокращает деформацию приблизительно до половины,
- $0,33$  - сокращает деформацию приблизительно до  $20\%$  от исходных значений..

Программа предлагает две опции для **определения активного давления**:

- вычисление по заданным параметрам грунта, воды, пригрузки, рельефа, в .т.ч. введение **минимального измеряемого давления**,
- задание произвольного распределения давления грунта до глубины нулевой точки (таким образом можно ввести какое-либо перераспределение давления грунта).

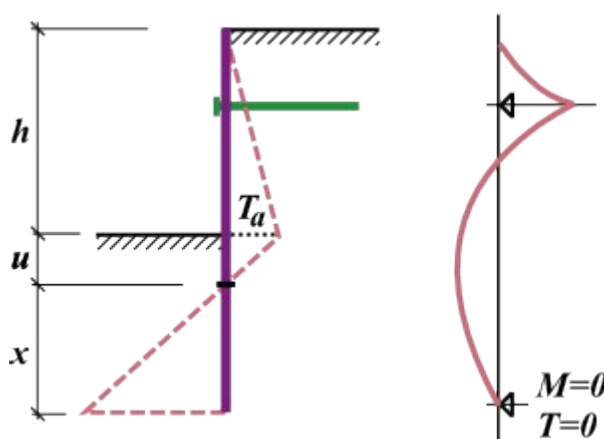
Нулевая точка, т.е. точка, в которой общее давление равно  $0$  определяется по следующей формуле:

$$u = \frac{\sigma_a}{\gamma \cdot K}$$

где:

- $u$  - глубина нулевой точки
- $\sigma_a$  - величина активного давления позади конструкции на уровне дна котлована
- $K$  - коэффициент общего давления
- $\gamma$  - удельный вес грунта под дном котлована

Для свободно опертых конструкций принимается, что величина момента и сдвигающей силы в подошве стенки равны  $0$ . Программа сперва помещает край стенки в нулевую точку, а затем последовательно ищет местоположение края балки ( $x$ ), которое удовлетворяет краевому условию (см. Рис). Процедура вычисления для многократно анкерowanych стенок идентична.



Расчёт стенки со свободным опиранием подошвы

## Ограждение котлованов проверка

Программа проверяет заданную конструкцию, используя **метод зависимых давлений** или **метод пружины по JGJ 120-2012**. Нагружение конструкции давлением грунта соответствует деформации конструкции, что позволяет моделировать реальное поведение конструкции и создавать экономически эффективные проекты. Расчёт конструкции принимает во внимание **процесс строительства** и отдельные этапы постепенного возведения стенки (**этапы проектирования**), в т.ч. постепенное развитие деформаций и натяжку анкеров. Программа позволяет моделировать **ограждение с забиркой**.

Использование метода зависимых давлений требует определения **модуля реакции основания**, линейного или **нелинейного**.

Программа также позволяет **проверить внутреннюю устойчивость анкерной системы**.

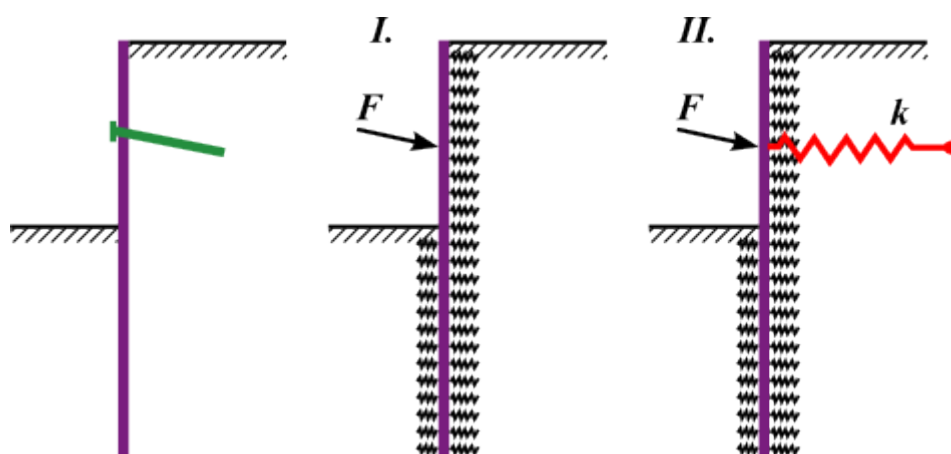
**Собственно расчёт конструкции** проводится по методу конечных элементов - вариант деформаций. Деформация, внутренние силы и модуль реакции основания рассчитываются в каждом отдельном узле, на которые программа разбивает конструкцию.

Последовательность разбивки конструкции на конечные элементы:

- создание основной схемы - узлы КЭ размещены на всех важных точках конструкции (начало и конец стенки, точки расположения анкеров и опор, точки выемки грунта, точки изменения параметров поперечных сечений).
- по заданной разбивке конструкции рассчитывают координаты остальных узлов так, чтобы порядок длины отдельных секций конструкции был одинаковым.

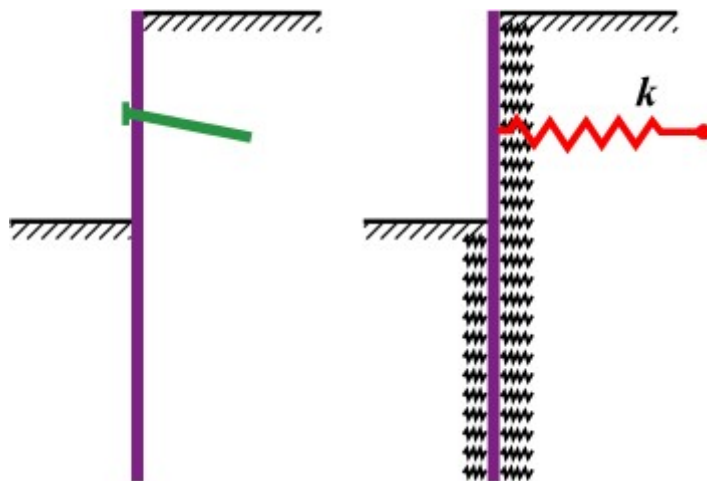
Значение модуля реакции основания присваивается каждому элементу - при вычислении оно работает как пружина упругого основания в модели Винклера. **Опоры** вводятся в программу на уже **деформированную конструкцию** - каждая опора рассматривается как вынужденное перемещение конструкции.

**Преднапряжённые анкеры** при сочетании нагрузок, на котором были заданы или дополнительно напряжены, рассматриваются как **нагрузка** (вариант I, рис.); при остальных сочетаниях нагрузок они принимаются как нагрузка и пружина жесткости  $k$  (вариант II, рис.):



Моделирование преднапряжённого анкера

**Непреднапряжённые анкеры** принимаются только как жёсткость, а величина силы в анкере вычисляется по деформации конструкции:



Моделирование непреднапряжённого анкера

**Изменение силы в анкере** от деформации стенки вычисляем по формуле:

$$\Delta F = \frac{k \cdot v \cdot \Delta w}{\cos \alpha}$$

$$k = \frac{E \cdot A}{l}$$

где:

- $v$  - горизонтальное расстояние между анкерами
- $\Delta w$  - изменение деформации конструкции в точке анкера
- $E$  - модуль упругости анкера
- $A$  - площадь поперечного сечения анкера
- $l$  - длина анкера
- $k$  - жесткость анкера
- $\alpha$  - наклон анкера

Литература:

Hurych, P.: Metoda zavislych tlaku. Sbornik konference "Automatizacia projektovania", Vysoke Tatry, 1978.

## Виды анкеров

Программа позволяет задавать и рассчитывать **преднапряжённые и ненапряжённые анкеры**. В программу включена база данных анкеров разных производителей.

В случае, что не будем проверять несущую способность анкера, отмечаем в поле вид анкера - «**не указан**». В таком случае вводим только данные необходимые для самого расчёта (расположение, жёсткость анкера).

Задание анкера - **без проверки** анкера на несущую способность

Программа позволяет задавать и проверять следующие виды анкеров:

- **стержневые, преднапряжённые**
- **жгутовые, преднапряжённые**
- **стержневые резьбовые - Helix**
- **стержневые, ненапряжённые**
- **анкерные тяги**

Анкеры можно проверять на

- **несущую способность ствола ( анкеры всех видов)**

- несущую способность на выдёргивание из грунта (анкеры стержневые и жгутовые)
- несущую способность на выдёргивание из бетона (заливки)(анкеры стержневые преднапряжённые и жгутовые)

Задание анкера - **проверка** на несущую способность анкера

## Анкер стержневой, преднапряжённый

В диалоговом окне в выпадающем списке выбираем вид анкера (**стержневой, преднапряжённый**).

В окно далее вводим:

- **Производственная серия** - пользовательская (параметры заданы пользователем) или по выбору из каталога программы (VSL, DYWIDAG...)
- **Расположение анкера** - глубина, длина, длина корня, наклон...
- **Жёсткость анкера** - диаметр анкера  $d_s$  или площадь сечения анкера  $A$ , модуль упругости  $E$
- **Усилие преднапряжения**
- **Параметры для проверки анкера** (несущая способность на разрыв, несущая способность на выдёргивание из грунта, несущая способность на выдёргивание из бетона (заливки))

Задание параметров анкера

Литература:

#### Анкеры в каталоге

- VSL Systems Ltd. - VSL Ground Anchor Systems - web brochure
- Dywidag- Systems International - Dywidag Bar Anchors, Dywidag Strand anchors - web brochures

## Анкер жгутовый, преднапряжённый

В диалоговом окне в выпадающем списке выбираем вид анкера (**жгутовый**).

В окно далее вводим:

- **Производственная серия** - пользовательская (параметры заданы пользователем) или по выбору из каталога программы (VSL, DYWIDAG...)
- **Расположение анкера** - глубина, длина, длина корня, наклон...
- **Жёсткость анкера** - диаметр жгута  $d_l$ , количество жгутов  $n$  (или площадь сечения жгута  $A_l$  и количество жгутов  $n$ ), модуль упругости  $E$
- **Усилие преднапряжения**
- **Параметры для проверки анкера** (несущая способность на разрыв, несущая способность на выдёргивание из грунта, несущая способность на выдёргивание из бетона (заливки))

Задание параметров анкера

Литература:

**Анкеры в каталоге:**

- VSL Systems Ltd. - VSL Ground Anchor Systems - web brochure
- Dywidag- Systems International - Dywidag Bar Anchors, Dywidag Strand anchors - web brochures

## Анкер резьбовой - Helix

В диалоговом окне в выпадающем списке выбираем тип анкера (**Helix**).

Далее в окно задаём:

- **Производственная серия** - пользовательская (параметры заданы пользователем) или анкер из каталога программы (Helical Anchors, Mac Lean, Chance...). Для **анкеров в каталоге** указывают (**тип ствола, кол-ство helix, толщина и материал листа helix**) - в случае, что подобранная комбинация не имеется в производстве, название анкера отсутствует и ввод данных нельзя закончить.
- **Расположение анкера** - глубина, длина, наклон....
- **Профиль ствола**
- **Жёсткость анкера** - модуль упругости  $E$
- **Параметры для проверки анкера** (несущая способность на разрыв, несущая способность на выдёргивание из грунта - см дальше)



**Edit anchor**

Anchor type :

Production set :

Type of shaft :  Thickness of helix :

Nr. of helix :  Helix material :

Anchor :

— Anchor parameters

Depth : z =  [m]

Overall length : l =  [m]

Slope : α =  [°]

Spacing : b =  [m]

— Shaft

Diameter :

Diameter : ds =  [mm]

Wall thickness : t =  [mm]

— Stiffness

Elasticity modulus : E =  [MPa]

— Tension strength

input  [kN]

— Pull out resistance (soil)

calculate

	Diameter dp [mm]	Spacing lp [mm]	Strength Rh [kN]
1	203,2	127,0	431,48
2	254,0	609,6	346,96
3	304,8	762,0	293,58

OK + OK +

### Задание параметров анкера

#### Расчёт на прочность на выдёргивание из грунта:

##### Выбор «Ввести»

Это обязательный выбор для **пользовательских анкеров**. Задаём несущую способность на выдёргивание из грунта  $R_e$  [kN, lbf]. Таблица с размерами и расположением отдельных helix предназначена только для вырисовки анкера.

##### Выбор «Рассчитать»

Выбор доступен только для анкеров из базы данных анкеров, где размер и расположение отдельных **helix** задано производителем. Несущая способность на выдёргивание из грунта описана выражением:

$$R_e = \sum_{i=1}^n \min \left( R_{h,i} ; A_i \left( c N_c + \sigma_z N_q \right) \right)$$

- где:
- $n$  - количество дисков - helix
  - $R_{h,i}$  - макс.несущая способность конкретного диска
  - $c$  - связность грунта
  - $\sigma_z$  - геостатическое напряжение
  - $N_c, N_q$  - коэффициенты несущей способности Meyerhofa

$A_i$  - площадь конкретного диска

При этом справедливо, что

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan(45 + \frac{\varphi}{2})^2$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

где:  $\varphi$  - угол внутреннего трения диска (для  $\varphi = 0$  равно  $N_c = 2 + \pi$ )

Максимальная несущая способность одного диска  $R_{h,i}$  задана производителем.

*Литература:*

**Анкеры включенные в каталог:**

- Helical Anchors, Inc. - Product Catalog
- MacLean-Dixie - Helical Foundation Systems - Engineering Reference Manual
- Chance - Civil Construction Product Catalog, Vol. I.

## Анкер стержневой, ненапряжённый

В диалоговом окне в выпадающем списке выбираем тип анкера (**стержневой, ненапряжённый**).

В окно далее вводим:

- **Производственная серия** - пользовательская (параметры заданы пользователем) или по выбору анкера из каталога программы (VSL, DYWIDAG...)
- **Расположение анкера** - глубина, длина, наклон....
- **Жёсткость анкера** - диаметр анкера  $d_s$  или площадь сечения анкера  $A$ , модуль упругости  $E$
- **Параметры для проверки анкера** (несущая способность на разрыв, несущая способность на выдёргивание из грунта)

### Задание параметров анкера

Литература:

#### Анкеры включенные в каталог

- VSL Systems Ltd. - VSL Ground Anchor Systems - web brochure
- Minova Bohemia, s.r.o. - Injekční zavrtávací a kotevní tyče MAI SDA R a T, Technický list

## Анкерная тяга

В диалоговом окне в выпадающем списке выбираем тип анкера (**анкерную тягу**).

В окно далее задаём:

- **Расположение анкера** - глубина, длина, расстояние между анкерами
- **Жёсткость анкера** - диаметр анкера  $d_s$  или площадь сечения анкера  $A$ , модуль упругости  $E$
- **Параметры для проверки анкера** (**несущая способность на разрыв**, несущая способность на выдёргивание из грунта - см. далее)

### Задание параметров анкерной тяги

#### Расчёт анкерной тяги

Анкерная тяга состоит из тяги заданной длины и анкерного элемента.

**Несущая способность на выдёргивание** из грунта определена равнодействующей пассивного сопротивления вдоль высоты анкерного элемента, уменьшенной коэффициентом  $k$ :

$$R_e = k \cdot 0,5 \cdot (2 \cdot z_B \cdot h_D - h_D^2) \cdot K_p \cdot \gamma$$

Для  $h = 0$ :

$$k = \frac{b_D}{b}$$

Для  $h \geq b - b_D$ :

$$k = \frac{3 b_D}{b}$$

где:  $h$  - высота кровли над анкерным элементом  
 $b_D$  - ширина анкерного элемента  
 $b$  - горизонтальный шаг между анкерными элементами  
 $h_D$  - высота анкерного элемента  
 $z_B$  - глубина нижней кромки анкерного элемента  
 $K_p$  - коэффициент пассивного давления  
 $\gamma$  - удельный вес грунта

Для промежуточных значений  $h - k$  интерполируется.

Расчёт высоты кровли над анкерным элементом:

$$h = z - \frac{h_D}{2}$$

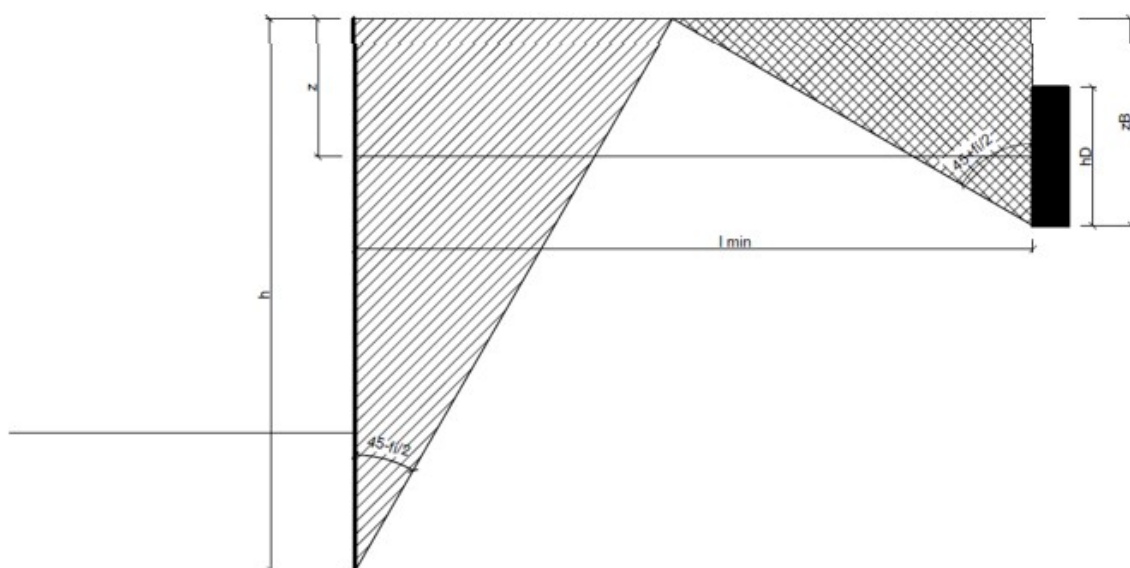
где:  $z$  - глубина анкерной тяги

Полное сопротивление выдёргиванию активируется только если не происходит перекрывание активного и пассивного грунтового клина.

$$l_{\min} = h \tan\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) + z_B \tan\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)$$

где:  $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта  
 $h$  - высота ограждающей конструкции

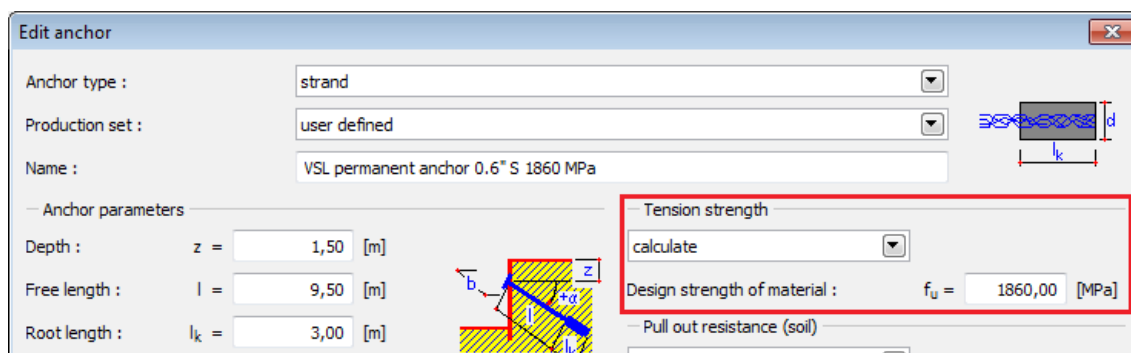
Если длина тяги  $l$  меньше, чем минимальная длина  $l_{\min}$ , то пассивное давление принимается от точки пересечения активного и пассивного грунтового клина.



Принцип определения минимальной длины анкерной тяги

## Несущая способность на разрыв

Метод расчёта выбираем в секции «Несущая способность на разрыв».



Задание способа расчёта несущей способности анкера на разрыв

### Пункт «Рассчитать»

Расчёт выполняется для всех видов анкеров одинаковым способом по следующей формуле:

$$R_t = f_u A$$

где:  $f_u$  - расчётная прочность материала  
 $A$  - площадь анализируемого ствола анкера

### Пункт «Задать»

Задаём несущую способность ствола на разрыв  $R_t$  [kN, lbf]

Для **жгутовх анкеров** необходимо задавать **площадь одного жгута** (опция «задать площадь») - общая площадь сечения определяется как:

$$A = A_1 n$$

где:  $A_1$  - площадь сечения жгута

$n$  - количество жгутов

В случае когда задаём диаметр жгута (опция «задать диаметр»), общая площадь сечения определена по формуле:

$$A = \frac{\pi d_1^2}{4} n$$

where:  $d_s$  - площадь сечения жгута

$n$  - количество жгутов

*Пример задания площади сечения жгутовых анкеров*

## Несущая способность на выдёргивание (грунт)

Метод расчёта выбираем в секции «Несущая способность на выдёргивание из грунта».

**Edit anchor**

Anchor type : strand

Production set : user defined

Name : VSL permanent anchor 0.6" S 1860 MPa

— Anchor parameters

Depth :  $z = 1,50$  [m]

Free length :  $l = 9,50$  [m]

Root length :  $l_k = 3,00$  [m]

Slope :  $\alpha = 15,00$  [°]

Spacing :  $b = 2,50$  [m]

— Stiffness

Type of input : input area

— Tension strength

calculate

Design strength of material :  $f_u = 1860,00$  [MPa]

— Pull out resistance (soil)

calculate from skin friction

Diameter of root :  $d =$  [mm]

Skin shear :  $f = 125,00$  [kPa]

— Pull out resistance (grouting)

*Задание способа расчёта несущей способности на выдёргивание из грунта*

**Расчёт для анкеров стержневых предварительного напряжения, жгутовых и стержневых не преднапряжённых**

**Опция «Расчитать из эффективного состояния напряжения»**

$$R_s = \pi d l_k \sigma_z \tan \varphi$$

где:  $d$  - диаметр корня  
 $l_k$  - длина корня  
 $\sigma_z$  - геостатическое напряжение на глубине середины корня  
 $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта

**Опция «Расчитать из трения на боковой поверхности»**

$$R_s = \pi d l_k f$$

где:  $d$  - диаметр корня  
 $l_k$  - длина корня  
 $f$  - трение на боковой поверхности

**Опция «Задать несущую способность на пог.м»**

$$R_s = R_{s,bm} l_k$$

где:  $R_{s,bm}$  - несущая способность на выдёргивание из грунта на 1 пог.м  
 $l_k$  - длина корня

**Опция «Задать»**

Задаём несущую способность на выдёргивание из грунта  $R_e$  [kN, lbf]

## Несущая способность на выдергивание (бетон)

Метод расчёта выбираем в секции «Несущая способность на выдёргивание из бетона».



*Задание способа расчёта несущей способности анкера на выдёргивание из бетона*

Параметр характеризует способность анкерной тяги сопротивляться выдёргиванию из корня. Расчёт выполняется одинаковым способом для стержневых анкеров предварительного напряжения и жгутовых анкеров.

$$R_c = \pi d_s l_k \tau$$

#### Опция «Рассчитать из сопротивления сдвигу»

где:  $d_s$  ( $d_l$ ) - диаметр анкерной тяги (диаметр жгута соответствующий площади жгута)  
 $l_k$  - длина корня  
 $\tau$  - сопротивление сдвигу бетон-анкер

#### Опция «Рассчитать из параметров бетона»

Способ расчёта одинаковый как в предыдущем случае, расчёт сопротивления сдвигу  $\tau$  выполняется по параметрам бетона в разных стандартах:

- EN 1992-1-1 (EC2)

$$\tau = 1,2 \eta_1 f_{ctd}$$

где:  $\eta_1$  - коэффициент технологии (1,0 для хороших условий сцепления, 0,7 в остальных случаях)  
 $f_{ctd}$  - прочность бетона на растяжение - получаем из заданного  $f_{ck}$  при помощи формул; ограничено значением для бетона C60/75

- ACI 318-11

$$\tau = 3,3 \sqrt{f_c'} \\ \tau \leq 100 \text{ psi (cca } 0,689 \text{ kPa)}$$

где:  $f_c'$  - прочность бетона на сжатие

- GB 50010-2010

$$\tau = \alpha f_t$$

где:  $\alpha$  - коэффициент вида арматуры  
 1,47 - 7- жгутовый канат  
 1,56 - 3-жгутовый канат

	1,79 – простая арматура железобетона
	1,92 – ребристая стальная проволока
$f_t$	расчётная прочность бетона на растяжение; ограничена значением для бетона C60 value

#### Опция «Задать несущую способность на пог.м»

$$R_c = R_{c,bm} l_k$$

где:  $R_{c,bm}$  – несущая способность корня [ $kN/bm$ ,  $lbf/ft$ ] на выдёргивание из грунта на 1 пог.м

$L_K$  – длина корня

#### Опция «Задать»

Задаём несущую способность на выдёргивание из бетона  $R_c$  [ $kN$ ,  $lbf$ ]

## Метод зависимых давлений

Основное предположение метода: грунт или горная порода в районе стены ведут себя как идеально упруго-пластичный материал по теории Винклера. Этот материал определяется модулем реакции основания  $k_h$ , который характеризует деформацию в упругом участке, и дополнительными предельными деформациями. При превышении этих деформаций материал ведет себя как идеально пластичный.

Используются следующие допущения:

- **давление, действующее на стену**, может достигать любого значения в пределах между **активным** и **пассивным**, но не может выходить за них,
- **статическое давление** действует на недеформированную конструкцию ( $w = 0$ )

Давление, действующее на деформированную конструкцию, рассчитывается следующим образом:

$$\sigma = \sigma_r - k_h \cdot w$$

$\sigma = \sigma_a$  для:  $\sigma < \sigma_a$

$\sigma = \sigma_p$  для:  $\sigma > \sigma_p$

где:	$\sigma_r$	-	статическое давление
	$k_h$	-	модуль реакции основания
	$w$	-	деформация конструкции
	$\sigma_a$	-	<b>активное давление грунта</b>
	$\sigma_p$	-	<b>пассивное давление грунта</b>

Последовательность расчета:

- модуль реакции основания  $k_h$  назначается всем элементам, а конструкция нагружается статическим давлением (см. Рис.):

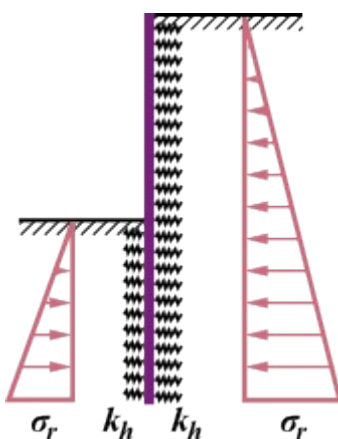


Схема конструкции перед итерацией

- проводится анализ, проверяется условие для допустимых значений давлений, действующих на стену. Там, где эти условия нарушаются, программа назначает значение  $k_h=0$ , а стена нагружается активным или пассивным давлением соответственно (см. Рис):

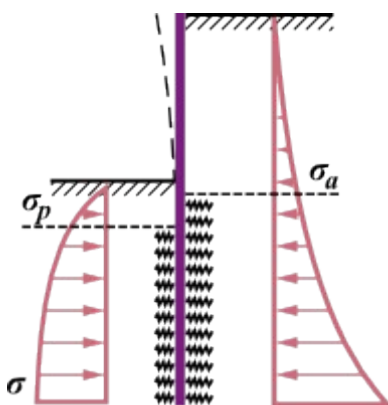


Схема конструкции в процессе итерации

Итерация продолжается до тех пор, пока все условия не будут удовлетворены.

В анализе последующих этапов построения программа рассчитывает упругую деформацию стены. По этой причине для определения отдельных **этапов построения**, соответствующих действительному процессу строительства.

Литература:

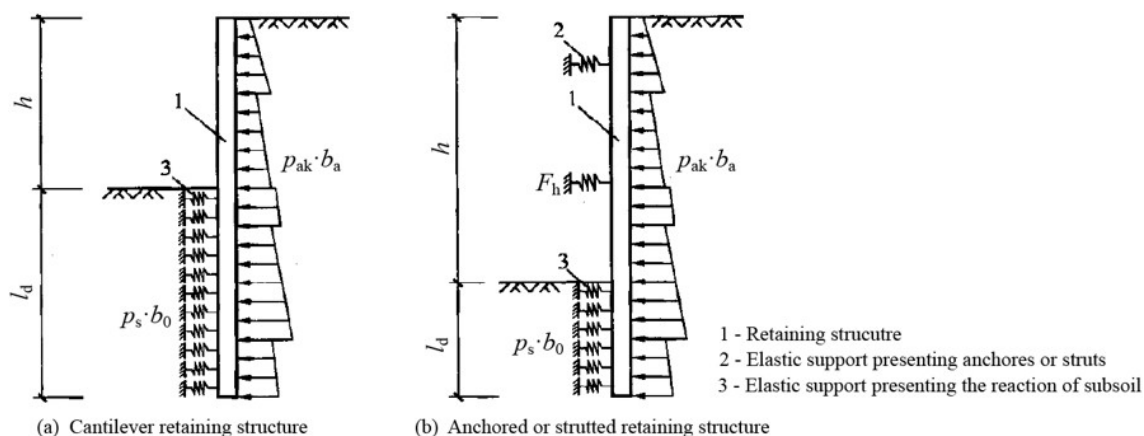
Bartak, J.: *Progresivni postupy navrhovani pazenych stavebnich jam*. VUT Brno, 1991.

Hurych, P.: *Metoda zavislych tlaku*. Sbornik konference "Automatizacia projektovania", Vysoke Tatry, 1978.

## Spring method according to JGJ 120-2012

This method is used for analysis of **sheeting structures** and it's based on the **Chinese standard JGJ 120-2012** (Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations). In principle, this theory is similar to calculation according to the **method of dependent pressures**, the difference is in consideration of **earth pressures**. The following figure shows that **behind the wall** (outside of the foundation pit) acts **active earth pressure**  $p_a$  or **earth pressure at rest**  $p_0$  (it's defined in the "Settings" frame).

**In front of the wall** there are considered springs (defined by using the **modulus of subsoil reaction**), which models reaction of the soil in a horizontal direction. In case of the attainment of ultimate pressures a limiting of the size of springs is the same as for **method of dependent pressures**.



Principle of spring method according to JGJ 120-2012 for solution of sheeting structures - (a) non-anchored structure, (b) anchored or strutted structure

#### Literature:

JGJ 120-2012 (Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations).

## Определение модуля реакции основания

В программе имеются следующие опции определения модуля реакции основания:

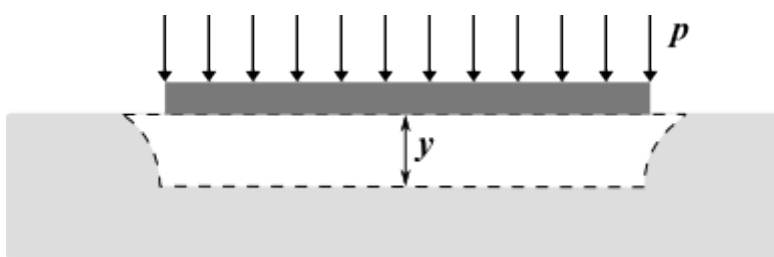
- **в виде распределения** (вводится принятое распределение модуля реакции основания  $k_h$  перед и позади конструкции)
- **как параметр грунта** значением (линейный или **нелинейный-кривая**)
- по **Schmitt**
- по **Chadeisson**
- по **CUR166**
- **итерация по характеристикам деформативности грунтов**
- задают результаты **прессиометрического испытания** (по NF P 94-282, по **Menard**)
- задают результат **дилатометрического испытания (DMT)**
- по **китайским стандартам** (метод "с", "к" или "m")

Модуль горизонтальной реакции основания (подстилающего слоя) соответствует в общем жесткости пружины в модели Винклера, описывающей отношение между нагрузкой, приложенной к жесткой плите и её вдавливанием в основание, выраженное уравнением:

$$p = k \cdot y$$

где:

$p$	-	нагрузка, действующая вдоль контакта пластина - грунт
$k$	-	жесткость пружины Винклера
$y$	-	перемещение плиты в грунтовое основание



Определение модуля реакции основания

## Модуль реакции основания по Шмитту

Для расчёта модуля реакции основания используем отношение зависимое от эдометрического модуля грунта и жёсткости на изгиб конструкции, опубликованное Шмиттом в журнале *Revue Francaise de Géotechnique* n° 71 и 74:

$$k_h = 2,1 \left( \frac{E_{osd}^{4/3}}{(EI)^{1/3}} \right)$$

где:  $EI$  - жёсткость на изгиб конструкции [ $MNm^2/m$ ]  
 $E_{osd}$  - эдометрический модуль [ $MPa$ ]

Данный метод не предоставлен для пластмассовых шпунтовых свай.

Литература:

Schmitt. P.(1995). "Estimating the coefficient of subgrade reaction for diaphragm wall and sheet pile wall design", in French. *Revue Française de Géotechnique*, N. 71, 2° trimestre 1995, 3-10.

## Модуль реакции основания по Шадессену

На основании измерений обшивочных конструкций в разных типах грунта и расчетов сдвига конструкции, необходимых для задействия предельного значения пассивного давления. Р. Шадессен вывел формулу для определения модуля реакции основания в следующем виде:

$$k_h = \left[ 20 EI \left( \frac{K_p \gamma \left( 1 - \frac{K_0}{K_p} \right)}{0,015} \right)^4 \right]^{1/5} + A_p c' \frac{\operatorname{tgh} \left( \frac{c'}{30} \right)}{0,015}$$

где:  $E^*I$  - жёсткость конструкции [ $kNm^2/m$ ]  
 $\gamma$  - удельный вес грунта [ $kN/m^3$ ]  
 $K_p$  - коэффициент пассивного давления грунта [-]

- $K_0$  - коэффициент статического давления грунта [-]  
 $c'$  - эффективное сцепление грунта [kPa]  
 $A_p$  - коэффициент влияния сцепления (1 - 15) [-]

#### Литература:

Chadeisson, R. (1961) *Parois continues moulées dans le sols. Proceedings of the 5<sup>th</sup> European Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2. Dunod, Paris, 563-568*".

K. J. Bakker, A. Bezuijen, W. Broere, E. A. Kwast: *Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground: Proceedings of the 5th International Symposium TC28. Amsterdam, the Netherlands, 15-17 June 2005. CRC Press, 2013, pp. 616, ISBN: 0415889138, 9780415889131.*

Monnet, A.: *Module de réaction, coefficient de décompression, au sujet des paramètres utilisés dans la méthode de calcul élastoplastique, Revue française de Géotechnique, 65, 1994, pp. 67 - 72.*

Mitew, M.: *Numerical analysis of displacements of a diaphragm wall. Warsaw University of Technology, Poland.*

N. M. ILIEŞ, T. A. HULPUŞ, A. POPA: *Design of Anchored Walls: The Influence of Design Approaches and Design Methods. Technical University of Cluj Napoca, Faculty of Civil Engineering, Romania, 2010.*

## Модуль реакции основания в соответствии с CUR 166

В следующей таблице представлены значения **модуля реакции основания**, полученные из экспериментальных измерений, проведенных в Нидерландах (описано в CUR 166). В таблице представлены секущие модули, которые в программе напрямую переводятся в секущие модули реакции основания (см. **нелинейный модуль реакции основания**).

	$k_{h,1} (\text{кН/м}^3)$ $p_0 < p_h < 0,5 p_{pas}$	$k_{h,2} (\text{кН/м}^3)$ $0,5 p_{pas} \leq p_h \leq 0,8 p_{pas}$	$k_{h,3} (\text{кН/м}^3)$ $0,8 p_{pas} \leq p_h \leq 1,0 p_{pas}$
<b>Песок</b>			
рыхлый	12000 - 27000	6000 - 13500	3000 - 6750
средней плотности	20000 - 45000	10000 - 22500	5000 - 11250
плотный	40000 - 90000	20000 - 45000	10000 - 22500
<b>Глина</b>			
мягкая	2000 - 4500	800 - 1800	500 - 1125
жесткая	4000 - 9000	2000 - 4500	800 - 1800
твердая	6000 - 13500	4000 - 9000	2000 - 4500
<b>Торф</b>			
мягкий	1000 - 2250	500 - 1125	250 - 560
твердый	2000 - 4500	800 - 1800	500 - 1125

где:  $p_0$  - значение статического давления в  $\text{кН/м}^2$   
 $p_{pas}$  - пассивное давление в  $\text{кН/м}^2$   
 $p_h$  - горизонтальное давление в  $\text{кН/м}^2$ , соответствующее данному сдвигу конструкции

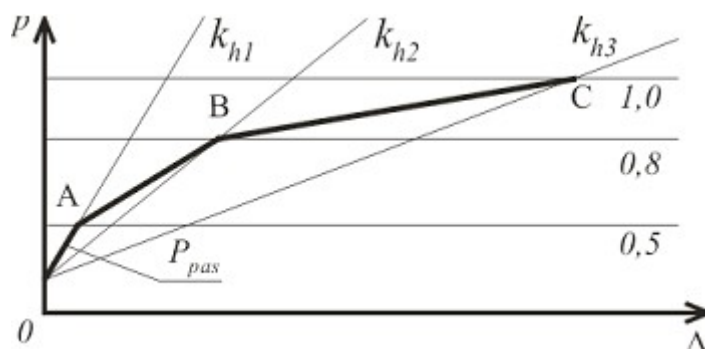


Диаграмма определения модуля реакции основания

Литература:

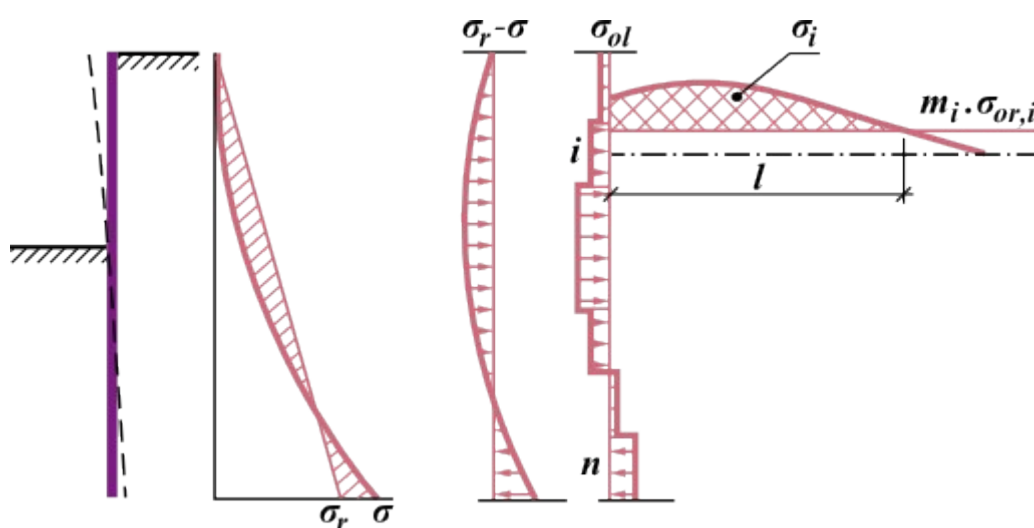
CUR 166 Damwandconstructies, available at Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving: P.O.Box 420, 2800 AK Gouda (NL).

## Модуль реакции основания полученный путём итерации

Программа позволяет автоматически рассчитать **модуль реакции основания** из характеристик деформативности грунта путём итерации. Расчет строится на предположении, что деформация упругого полупространства, характеризуемого **деформационным модулем деформативности**  $E_{def}$  [МПа], при изменении состояния напряжения, соответствующего изменению давлений грунта, будет идентична деформации подземной стены.

Следовательно подыскиваем такие значения  $k_h$  [ $\text{МН/м}^3$ ], при которых сохраняется непрерывность деформации стены и грунта. Расчет с **ручной итерацией** модуля реакции основания  $k_h$  **не учитывает пластическую деформацию конструкции**. Расчет с **автоматической итерацией** модуля реакции основания  $k_h$ , наоборот, **учитывает пластическую деформацию конструкции**. Схема метода ручной итерации показана на примере определения модуля реакции основания  $i$ -ого сегмента неанкерванной стены на рисунке:





#### Определение модуля реакции основания $i$ -ого сегмента

Для изменения состояния напряжения  $\sigma_r - \sigma$  определяем равномерно распределённую нагрузку отдельных сегментов конструкции  $\sigma_{ol}$  [МПа]. Затем рассчитываем общее изменение состояния напряжения за сегментом  $i$  ( $\bar{\sigma}_{il}$  [МПа\*м]), вызванное пригрузкой массива от сегмента  $l$  до  $n$  ( $\sigma_{ol,l} - \sigma_{ol,n}$ ). Общее изменение состояния напряжения  $\Delta\sigma_i$  уменьшена за счёт структурной прочности  $m_i \cdot \sigma_{or,i}$  [МПа]. Новое значение жесткости пружины выводим из формулы:

$$k_{n,i} = \frac{E_{def,i} \cdot \sigma_{ol,i}}{\sigma_{il}}$$

где:  $E_{def}$  - модуль деформативности упругого полупространства [МПа]  
 $\sigma_{ol}$  - равномерная нагрузка сегментов конструкции [МПа]  
 $\sigma_{il}$  - общее изменение состояния напряжения за  $i$ -сегментом конструкции [МПа]

Изменение напряжения в точке массива определяется по теории Бусинеска. Подставка нового значения  $k$  прямо в следующий расчет конструкции вызовет неустойчивость итерации, поэтому значение  $k$ , вводимое в последующий расчёт стены, определяется из исходного значения  $k_p$  и нового значения  $k_n$  модуля реакции основания.

$$k = k_p + 0,25 \cdot (k_n - k_p)$$

где:  $k_p$  - исходное значение модуля реакции основания [МПа]  
 $k_n$  - новое значение модуля реакции основания [МПа]

Максимальная величина модуля реакции основания  $i$ -го слоя ограничивается значением:

$$k_{max,ip} = 10 \cdot E_{def,i}$$

где:  $E_{def,i}$  - модуль деформативности  $i$ -го слоя [МПа]

Порядок расчёта при **ручной итерации** модуля реакции основания:

1) Определяем матрицу значений линий влияния для определения изменения напряжения в глубине массива грунта за  $i$ -ым сегментом конструкции от пригрузки в результате

изменения напряжения на остальных сегментах конструкции.

2) Подставляем первую аппроксимацию модуля  $k_h$  перед и за стеной: принимается треугольное распределение с значением у подошвы стены  $k_h = 10 \text{ МН/м}^3$ .

3) Выполняем расчёт ограждающей конструкции.

4) Рассчитаем новые значения  $k_h$  и определяем новые значения для следующего расчёта.

5) На экране появляется диалоговое окно для проверки итерации; программа ожидает следующую команду. Если выбираем  $n$ -ое количество следующих итераций, то действия пунктов 3, 4 повторятся  $n$ -ое количество раз, после чего снова выходим на пункт 5. Расчёт завершаем в этом диалоговом окне нажатием на кнопку **«Завершить»**.

**Ручной итерацией** управляет пользователь: он решает о степени реальности рассчитанных модулей. **Автоматическую итерацию** выполняет автоматически программ без необходимости задавать следующее количество итераций для определения модуля реакции основания  $k_h$ .

*Литература:*

*Bartak J.: Progresivni postupy navrhovani pazenych stavebnich jam, VUT Brno, 1991.  
(Прогрессивные методы проектирования котлованов с ограждающей конструкцией.)*

## Модуль реакции основания по Менарду

На основании свойств и параметров грунта, полученных при испытаниях нагружающей пластиной и **прессиометром** Менард вывел следующую формулу для **модуля горизонтальной реакции основания**:

$$k_h = \frac{E_M}{\frac{\alpha \cdot a}{2} + 0,133 \cdot (9 \cdot a)^\alpha}$$

где:  $E_M$  - **прессиометрический (Менарда) модуль**, при необходимости можно заменить эдометрическим модулем грунта [ $\text{МПа}$ ]

$a$  - характерная длина, зависящая от глубины заделки конструкции, по Менарду принимается в  $2/3$  длины заделки конструкции ниже конечной глубины котлована

$\alpha$  - реологический коэффициент грунта

**Значения реологического коэффициента грунта  $\alpha$ :**

	Глина	Ил	Песок	Гравий
<b>Переуплотненный</b>	1	2/3	1/2	1/3
<b>Нормально уплотненный</b>	2/3	1/2	1/3	1/4
<b>Неуплотненный</b>	1/2	1/2	1/3	1/4

*Литература:*

Menard L., 1975, "The Menard Pressuremeter: Interpretation and Application of the Pressuremeter Test Results to Foundations Design", Sols-Soils, No. 26, Paris, France.

## Модуль реакции основания по NF P 94-282

Модуль реакции основания  $k_h$  по **NF P94-282:2009-03** зависит от изгибной жёсткости ограждающей конструкции  $E_{str} I_{str}$  и прессиометрического модуля по Менарду  $E_M$ .  
Значение модуля реакции основания определяется по формуле:

$$k_h = 2 \left( \frac{\left( \frac{E_M}{\alpha} \right)^{4/3}}{\left( \frac{E_{str} I_{str}}{B_0} \right)^{1/3}} \right) = 2 \left( \frac{\left( \frac{E_M}{\alpha} \right)^{4/3}}{(EI)^{1/3}} \right)$$

$$EI = \frac{E_{str} I_{str}}{B_0} = [MNm^2 / m]$$

где:  $k_h$  - модуль реакции основания  $[MN/m^3]$   
 $E_M$  - прессиометрический модуль определённый по Менарду  $[MPa]$   
 $\alpha$  - эмпирический коэффициент в зависимости от типа грунта или породы  $[-]$   
 $E_{str} I_{str}$  - изгибная жёсткость ограждающей конструкции  $[MNm^2]$   
 $B_0$  - единица измерения ограждающей конструкции  $[1 \text{ } m]$   
 $E$  - модуль упругости материала ограждающей конструкции  $[MPa]$   
 $I$  - момент инерции сечения  $[m^4/m]$

### Значения эмпирического коэффициента $\alpha$ $[-]$ для разного типа грунтов

Тип грунта	Торф	Глина		Ил		Песок		Gravel	
	$\alpha$	$E_M/pLM$	$\alpha$	$E_M/pLM$	$\alpha$	$E_M/pLM$	$\alpha$	$E_M/pLM$	$\alpha$
Переуплотнённый	-	> 16	1	> 14	2/3	> 12	1/2	> 10	1/3
Уплотнённый	1	9 - 16	2/3	8 - 14	1/2	7 - 12	1/3	6 - 10	1/4
Неуплотнённый	-	7 - 9	1/2	5 - 8	1-2	5 - 7	1-3	-	-

### Значения эмпирического коэффициента $\alpha$ $[-]$ для разного типа пород (по степени их разрушения)

Тип породы	$\alpha$ [-]
Нетронутая,здоровая	2/3
Слабо разрушенная, невыветрелая	1/2
Сильно разрушенная, выветрелая	1/3
Метаморфизованная	2/3

Литература:

NF P94-282: March 2009, pp. 142 – 146.

## Модуль реакции основания установленный по результатам испытания ДМТ

Модуль реакции основания определяем по формуле:

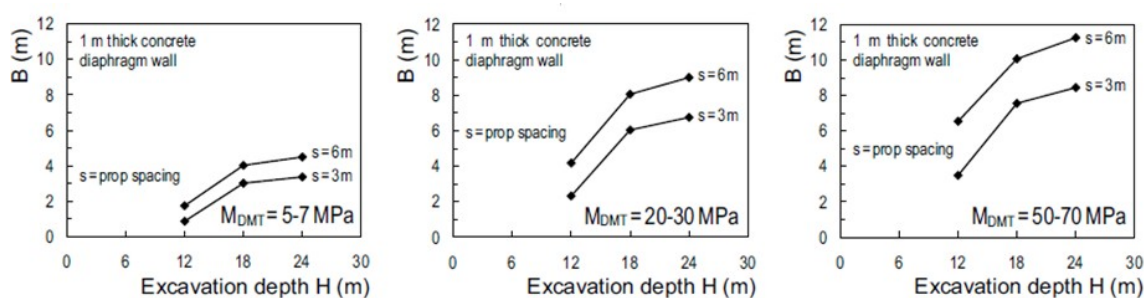
$$k_h = \frac{M_{DMT}}{B}$$

где:  $k_h$  - модуль реакции основания [ $MN/m^3$ ]

$M_{DMT}$  - дилатометрический модуль, полученный по испытаниям ДМТ [ $MPa$ ]

$B$  - характерная длина ограждающей конструкции (коэффициент редукции)

Ориентировочные значения коэффициента редукции  $B$  в зависимости от глубины выемки  $H$  [m] и величины дилатометрического модуля  $M_{DMT}$  [ $MPa$ ] приведены на следующем изображении.



Графики для определения коэффициента редукции  $B$  (источник: [2], рис. 7, стр. 999)

Литература:

Monaco, P. and Marchetti, S.: Evaluation of the coefficient of subgrade reaction for design of multi-propped diaphragm walls from DMT moduli. Millpress, Rotterdam, 2004, pp. 993 – 1002, ISBN 90 5966 009 9.

## Modulus of subsoil reaction according to Chinese standards

The calculation of **modulus of subsoil reaction** according to **Chinese standards** is based on the **JGJ 120-2012** standard (Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations) for **"m" method**.

For **"m" method**, the modulus of subsoil reaction  $k_h$  is given by the following formula:

$$k_h = m(z - h)$$

where:  $m$  - proportional coefficient of modulus of subsoil reaction [ $kN/m^4$ ]  
 $z$  - depth of the calculation point from the original ground [ $m$ ]  
 $h$  - depth of the calculation point from the ditch bottom at current **stage of construction** [ $m$ ]

From previous formula it's obvious that calculation of modulus  $k_h$  is linear with depth of point during the analysis.

**Proportional coefficient**  $m$  should be determined from pile test with horizontal load. If there are no test data, Chinese standard **JGJ 120-2012** suggest an empirical formula to estimate this coefficient:

$$m = \frac{0.2 \varphi^2 - \varphi + c}{v_b}$$

where:  $c$  - cohesion (shear strength) of soil [ $kPa$ ]  
 $\varphi$  - angle of internal friction of soil [ $^\circ$ ]  
 $v_b$  - horizontal displacement of **sheeting structure** at the ditch bottom [ $mm$ ]; when the displacement is smaller than 10  $mm$ , then  $v_b = 10 \text{ mm}$

Other methods (**"c" method** and **"k" method**) are not published in **JGJ 120-2012** standard, but they are based on practical experience and they are used in China profusely. Then the modulus of subsoil reaction  $k_h$  is given by the following formula:

$$k_h = a(z - h)^n$$

If exponent  $n = 0.5$ , it's **"c" method** and then  $a = c \text{ (} kN/m^{3.5} \text{)}$ .

If exponent  $n = 0$ , it's **"k" method** and then,  $a = K \text{ (} kN/m^3 \text{)}$ .

It's obvious that for **"m" method**,  $n = 1$ .

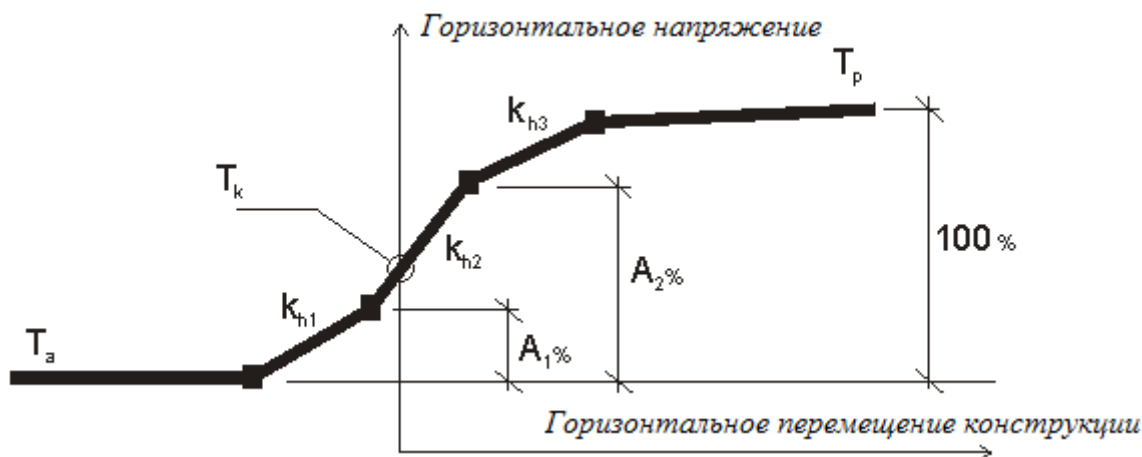
*Literature:*

*JGJ 120-2012 (Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations).*

## Нелинейный модуль реакции основания

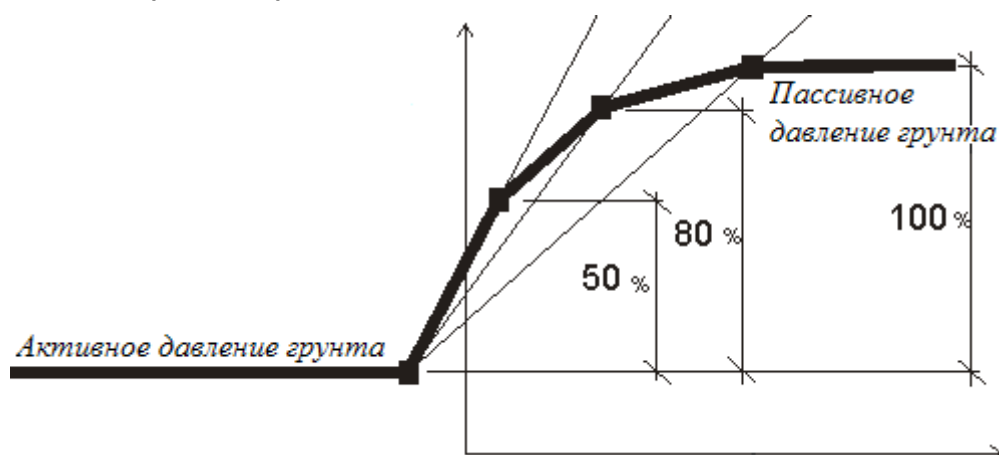
Нелинейная модель описывает зависимость модуля реакции основания  $k_h$  - т.е. изменение  $k_h$  в пределах пороговых значений, соответствующее обрушению вследствие действия пассивного давления грунта  $T_p$  и активного давления грунта  $T_a$  - см. Рис. (модуль реакции

основания представлен уклоном кривой; для пластового статического давления, действующего на конструкцию, можно взять значение  $k_{h1}$ ). Эта модель также рассчитывает пружинные опоры и вызванные прогибы конструкции, различные краевые условия, применение опор и анкеров и т.д.



Модель взаимодействия для определения  $k_h$

Значения модуля реакции основания можно вывести из значений секущих модулей реакций основания (CUR 166) - см. Рис.:



Модель взаимодействия для определения  $k_h$  - CUR 166

## Закладное крепление

При расчёте закладного крепления (**свайная стена, стальной двутавр** или задание пользователем  $A, I, E, G$ ) для определения **давлений грунта** используем следующий метод:

На глубину дна котлована давления определяются из расчета на 1 погонный метр ширины конструкции. Ниже дна котлована давления грунта умножаются на поправочный коэффициент  $k$  («**Коэффициент редукции давлений ниже дна котлована**»)  
Коэффициент можно или задать в рамке «**Геометрия**» как параметр секции конструкции, или существует опция **автоматического вычисления**.

Когда выше дна котлована задаём «**Засыпка грунта**» (рамка «**Разработка выемки**»), то давления на данном участке рассчитываем относительно полной ширины стены ( $k = 1$ ).

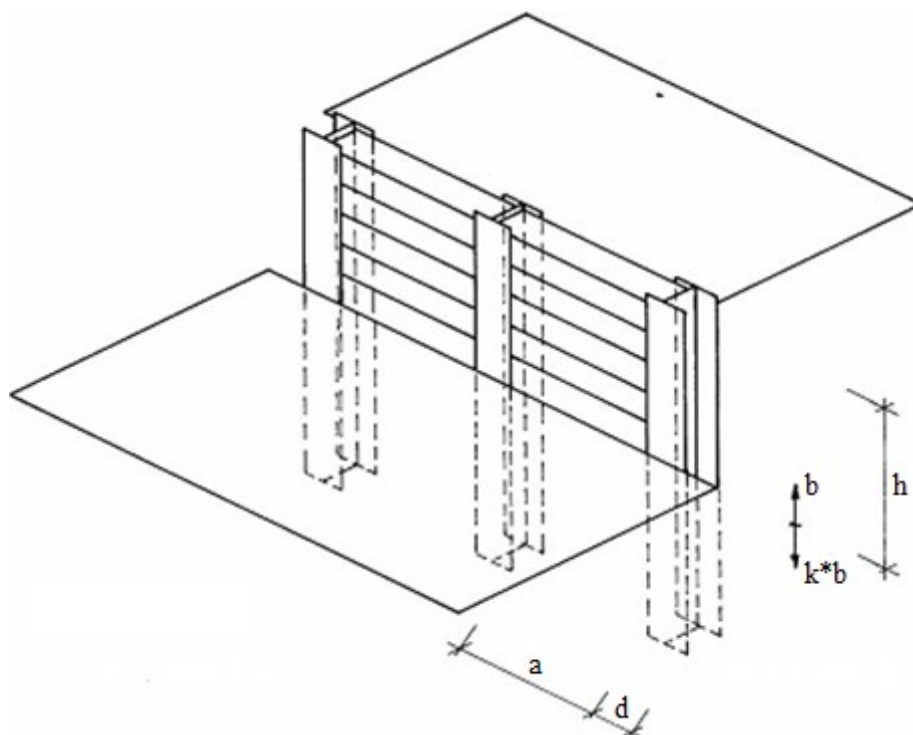
**Коэффициент редукции давлений ниже дна котлована  $k$**  можно приближённо

определить по формуле:

$$k = \frac{d}{d + a}$$

где:  $a$  - продольное расстояние между стойками, или осевое расстояние свай  
 $d$  - ширина стойки, или диаметр сваи

**Фактическое значение** коэффициента  $k$  зависит также от типа грунта и объёмного эффекта **давления грунта**. Реально получаем значения этого коэффициента прежде всего в экспериментах и эти значения примерно в **2-3 раза больше**, чем вычисленные по указанной выше формуле.



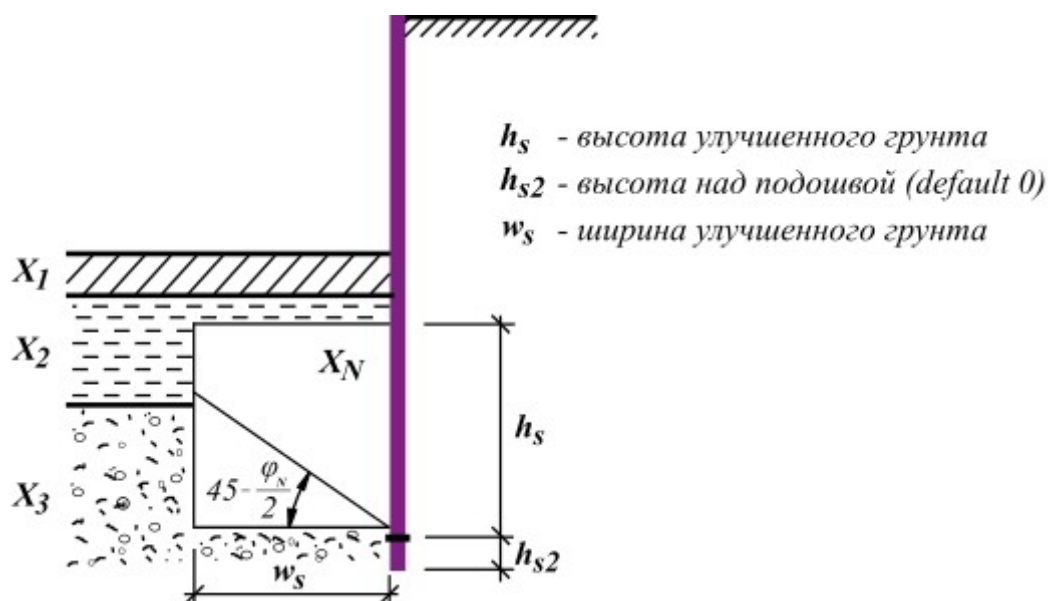
*Закладное крепление - схема вида конструкции*

## Улучшение свойств грунта

Программа может моделировать улучшение свойств грунта в месте подошвы **ограждающей конструкции**. Усиление грунта выполняется после установки свай или стен путём инъектажа в месте подошвы стены. Решающими параметрами являются **высота  $h_s$** , **ширина  $w_s$  слоя улучшенного грунта** и **параметры улучшенного грунта ( $\varphi, c$ )**.

Принцип решения показан на следующем рисунке.





Улучшение свойств грунта в месте подошвы конструкции - графическое изображение принципа решения

Описание принципа расчёта для улучшения свойств грунта в месте подошвы конструкции:

$$\mu = \text{Min} \left( \frac{w_s \tan \left( 45 - \frac{\varphi_N}{2} \right)}{h}; 1 \right)$$

$$X_i = X_{oi}(1 - \mu) + \mu X_N$$

- где:
- $N$  - новый слой грунта с улучшенными параметрами
  - $\mu$  - соотношение (вспомогательная величина)
  - $X_i$  - любая величина в  $i$ -слое грунта
  - $X_{oi}$  - исходная величина в  $i$ -слое грунта
  - $X_N$  - новая величина улучшенного грунта
  - $w_s$  - ширина улучшенного грунта [m]
  - $h_s$  - высота улучшенного грунта [m]

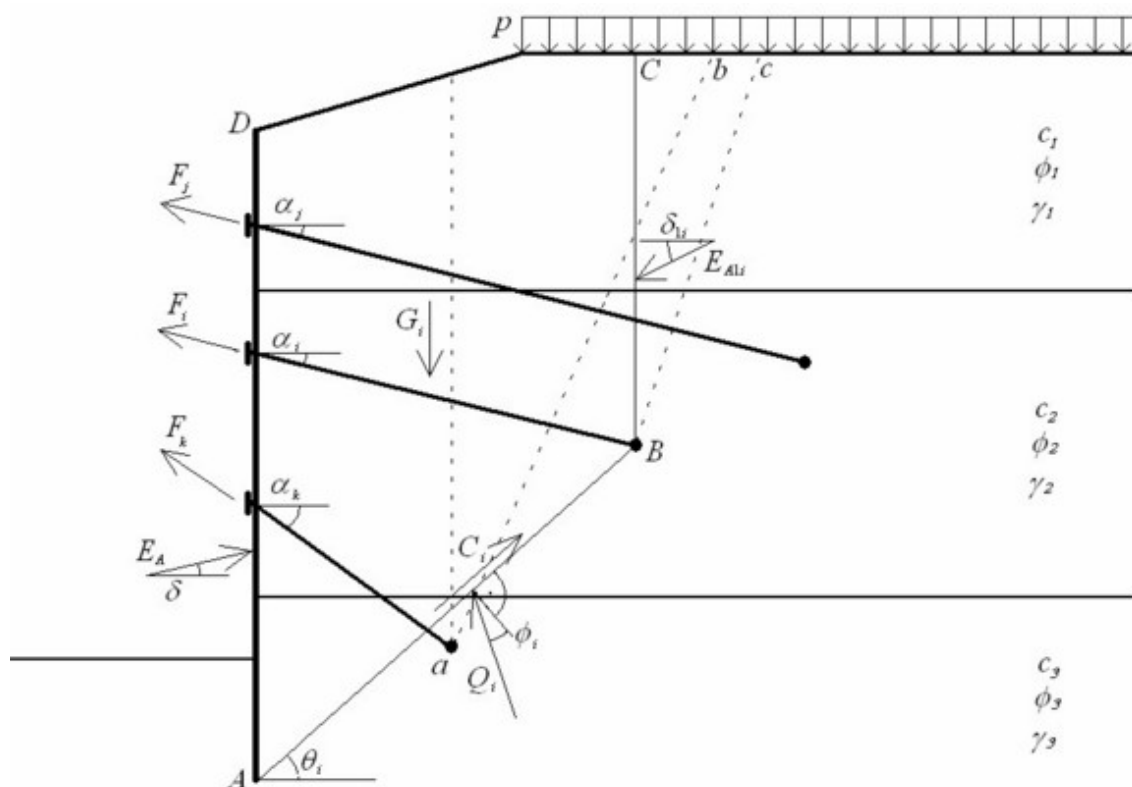
## Внутренняя устойчивость анкеров

Внутренняя устойчивость анкеражной системы обшивки определяется отдельно для каждого слоя. Проверка определяет силу анкера, которая уравнивает силы, действующие на участок грунта. Участок грунта выделяется обшивкой, площадкой, линией, соединяющей основание обшивки с корнем анкера, и вертикальной линией, проходящей через центр корня анкера и площадки.

Теоретическая нижняя часть обшивочной конструкции - это точка, в которой сумма горизонтальных сил под основанием котлована конструкции равна 0. Если эта точка

находится под основанием обшивочной стены, эта теоретическая точка и есть основание данной стены.

Анализ проводится из расчета на  $1$  погонный метр обшивочной конструкции. Анкерные силы рассчитываются в отношении их расстояния в отдельных слоях.



#### Анализ внутренней устойчивости

Схема анализа  $i$ -ого слоя анкеров представлена на рисунке. Определяется равновесие сил для участка  $ABCD$ . В анализе используются следующие силы:

- $E_A$  - равнодействующая активного давления грунта, действующая на основание (на линии  $AD$ )
- $E_{Ai}$  - равнодействующая активного давления грунта над корнем, анализируемого анкера (на линии  $BC$ )
- $G_i$  - вес участка грунта  $ABCD$ ; это значение также включает нагрузку  $p$ , приложенную на поверхность земли при условии, что уклон  $\theta_i$  поверхности скольжения  $AB$  превышает среднее значение угла внутреннего трения на данной поверхности; в случае, если наклон поверхности скольжения  $AB$  меньше угла внутреннего трения, нагрузка земли не учитывается
- $C_i$  - равнодействующая сцепления грунта на поверхности скольжения  $AB$
- $F_j, F_k$  - силы, развиваемые на других анкерах; только некоторые из них включаются в анализ равновесия  $i$ -го слоя, а включение данного анкера (например,  $m$ -го анкера) в равновесие  $i$ -го участка определяется следующим образом:

Из обоих анкеров сперва выбирают нижний ( $m$ -анкер или  $i$ -анкер); от центра корня нижнего анкера проводят плоскую поверхность скольжения под углом  $45^\circ - \varphi_n/2$  относительно вертикальной плоскости (отрезок линии  $ab$  или  $Bc$  на

рисунке);  $\varphi_n$  - это среднее значение угла внутреннего трения над корнем нижнего анкера; при условии, что  $i$ -корень находится над  $m$ -корнем, а выше расположенный  $i$ -корень находится за пределами участка заданного плоской поверхностью скольжения -  $m$ -анкер включен в анализ; если  $i$ -корень находится под  $m$ -корнем, а выше расположенный  $m$ -корень находится внутри участка, то и  $m$ -анкер включен в анализ; в двух остальных случаях анкеры не учитываются, т.е. если  $i$ -корень находится над  $m$ -корнем, а  $i$ -корень одновременно находится внутри участка, или если  $i$ -корень под  $m$ -корнем и  $m$ -корень находится за пределами участка. Из сего следует, что «более короткий» анкер  $F_k$  включен в анализ, между тем как «более длинный» анкер  $F_j$  не принят во внимание (см. рисунок).

$Q_i$  - реакция на поверхности скольжения  $AB$

$F_i$  - сила в анализируемом анкере, максимально допустимое значение этой силы - это результат анализа равновесия, проведенного для  $i$ -го блока

Решение задачи равновесия для данного участка требует записи формул горизонтальной и вертикальной сил равновесия. В результате получаем систему уравнений для неизвестной реакции основания  $Q_i$  и максимально допустимого значения силы анкера  $F_i$ .

В результате программа рассчитывает максимально допустимые силы анкера для каждого ряда анкеров. Затем они сравниваются с силами, действительно приписанными анкерам.

## Гидравлический градиент

### Проверка гидравлического подъёма

Сопротивление грунта разрушению дна подъёмом грунта от движения воды в грунте основания (HYD) для проверки по **предельным состояниям** проверяется отношением:

$$u_{dst} \leq \frac{\sigma_{stb}}{\gamma_h}$$

где:  $u_{dst}$  - дестабилизирующее общее **поровое давление воды**

$\sigma_{stb}$  - стабилизирующее **вертикальное напряжение**, или стабилизирующая сила тяжести грунта

$\gamma_h$  - коэффициент редукции сопротивления к гидравлическому подъёму

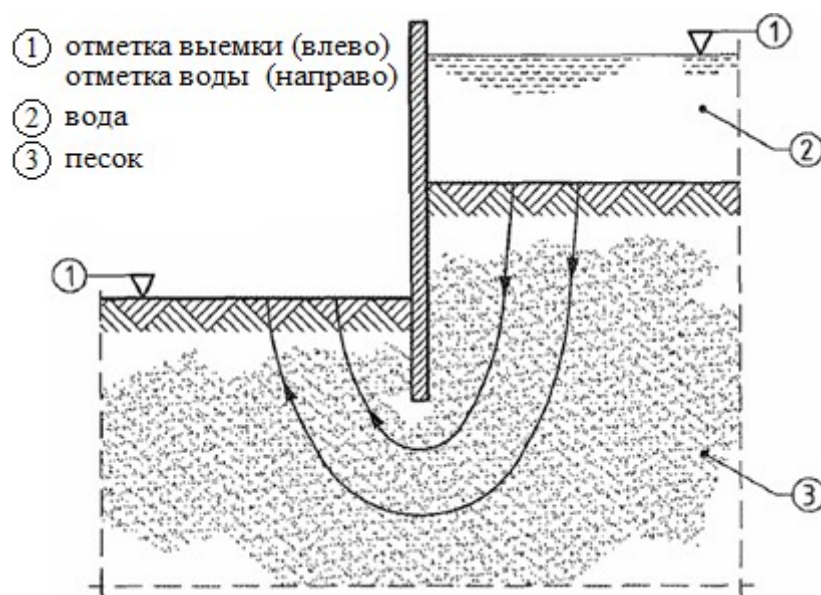
Устойчивость грунта к разрушению дна от приподнятия в результате движения воды в грунте основания (HYD) при проверке на **коэффициент запаса** проверяется с помощью отношения:

$$\frac{\sigma_{stb}}{u_{dst}} \geq SF_h$$

где:  $u_{dst}$  - дестабилизирующее общее **поровое давление воды**

$\sigma_{stb}$  - стабилизирующее **вертикальное напряжение**, или стабилизирующая сила тяжести грунта

$SF_h$  - **коэффициент запаса** на гидравлический подъём



Разрушение от приподнятого дна - схематическое изображение ограждающей конструкции

### Проверка вымывания грунта

Вымывание грунта (под воздействием суффозии) для проверки по **предельным состояниям** проверяется отношением:

$$i \leq \frac{i_c}{\gamma_p}$$

где:

- $i$  - гидравлический градиент
- $i_c$  - критический гидравлический градиент, где  $i_c = \gamma_{su}/\gamma_w$
- $\gamma_p$  - коэффициент редукции сопротивления против вымывания грунта

Вымывание грунта (под воздействием суффозии) для проверки по **коэффициенту запаса** проверяется отношением:

$$\frac{i_c}{i} \geq SF_p$$

где:

- $i$  - гидравлический градиент
- $i_c$  - критический гидравлический градиент, где  $i_c = \gamma_{su}/\gamma_w$
- $SF_p$  - коэффициент запаса на вымывание грунта

Литература:

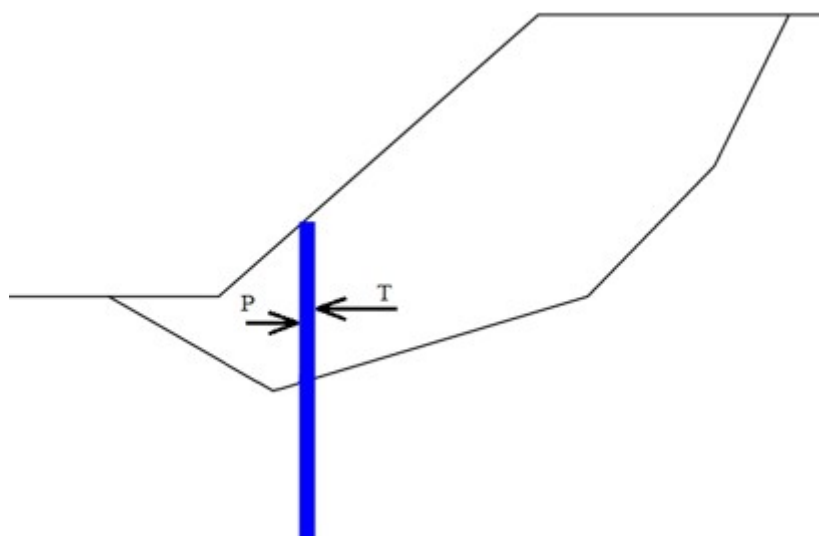
*Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules.*

## Стабилизирующая свая

Программа «**Стабилизирующая свая**» выполняет анализ стабилизирующей сваи (**расчёт внутренних сил, деформации, подбор размеров сечения сваи**). Расчёт конструкции сваи практически соответствует расчётам в программе «**Ограждение котлованов-анализ**»;

разница в основном в **определении давлений (нагрузок)** над поверхностью скольжения и возможность **заделки сваи в породу**.

В случае, что для заданного склона (откоса) или конструкции найдена неудовлетворительная поверхность скольжения, то устойчивость откоса можно **повысить вставкой** стабилизирующей сваи (для программы «**Устойчивость откоса**» этот шаг выполняется в рамке «**Стабилизирующая свая**»). Свая должна быть расположена так, чтобы пересекалась с поверхностью скольжения и её подошва находилась на достаточной глубине от предусматриваемой поверхности скольжения. Над поверхностью скольжения свая подвержена действию активной силы  $T$ , стремящейся сдвинуть сваю, и пассивной силы (сопротивление)  $P$ , которая, наоборот, стабилизирует сваю (см. рисунок ниже). **Разность между активной и пассивной силами** создаёт напряжение, которое свая должна передать, чтобы повысить устойчивость данной поверхности скольжения до требуемого значения  $SF_s$ .



*Схема действия активной и пассивной сил на стабилизирующую сваю*

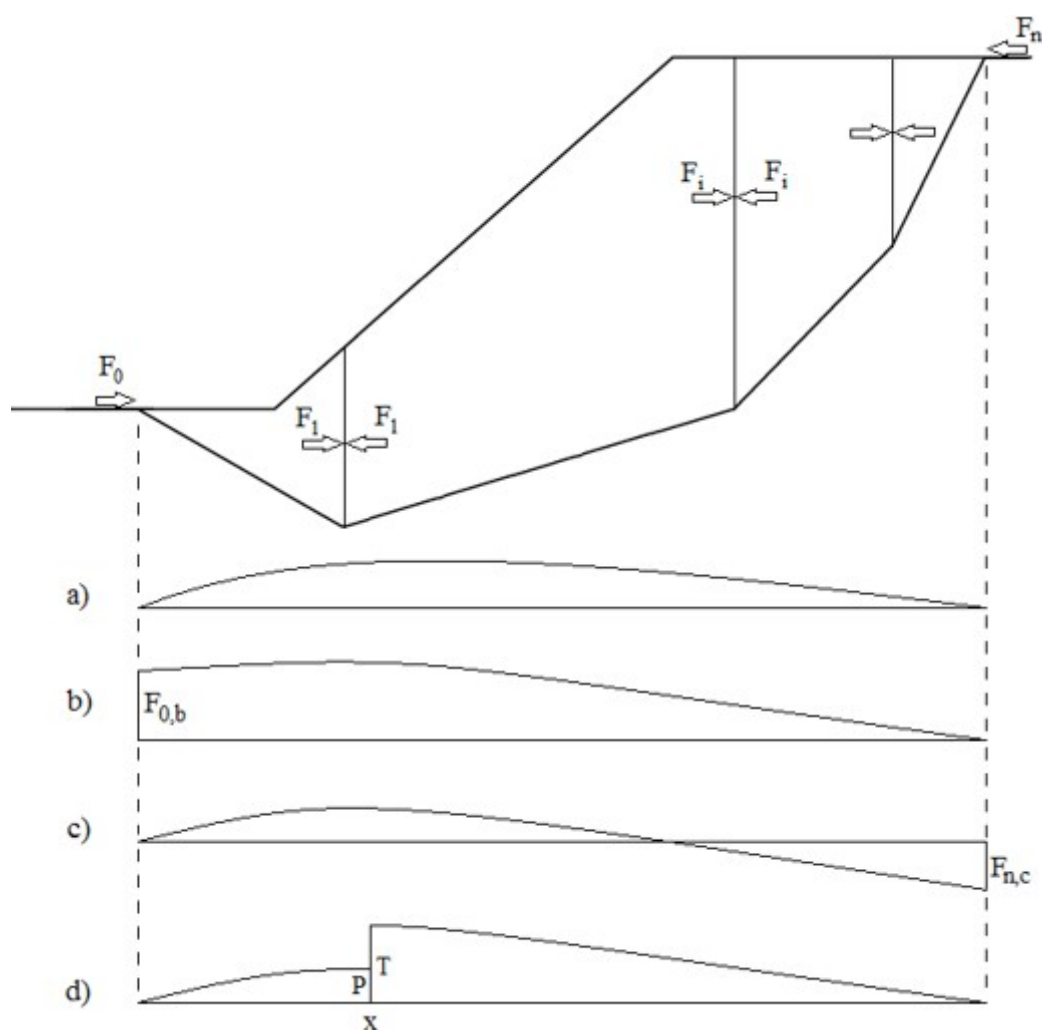
В случае, что устойчивость откоса  $SF$  без сваи удовлетворяет, активная и пассивная силы сбалансированы - к свае не приложена нагрузка, то применение этой сваи теряет основание. Для расчёта сил, приложенных к свае поэтому важно, чтобы требуемый коэффициент устойчивости  $SF_s$  был больше, чем рассчитанный коэффициент устойчивости данной поверхности скольжения  $SF$  без применения сваи, или, чтобы требуемый коэффициент безопасности был больше, чем безопасность данной поверхности скольжения без применения сваи.

## Определение сил, действующих на стабилизирующую сваю

**Силы, действующие на стабилизирующую сваю определяются с помощью расчёта устойчивости откоса.** При расчёте коэффициента устойчивости  $SF$  вычисляют равновесие сил на блоках грунта над поверхностью скольжения. На вертикальных плоскостях между отдельными блоками предполагается действие межблочных сил  $F_i$ . Определение величины этих сил - один из шагов в расчёте коэффициента устойчивости. Если блоки грунта находятся точно в состоянии предельного равновесия, то межблочные силы в начале и конце поверхности скольжения равны нулю. Предельный коэффициент устойчивости  $SF_{lim}$ , для которого было получено это предельное равновесие, рассматривается как фактический коэффициент устойчивости данной поверхности

скольжения. Эпюра межблочных сил вдоль длины оползания именуется **линией давления**. Силы действующие на стабилизирующую сваю определяются из эпюры линий давления требуемого коэффициента устойчивости  $SF_s$ .

Следующий рисунок показывает различные типы распределения межблочных сил  $F_i$  (линий давления). **График а)** показывает эпюру сил  $F_i$  в состоянии предельного равновесия с нулевыми значениями в начале и конце эпюры. Это свидетельствует о том, что данное состояние достигнуто для коэффициента устойчивости  $SF_{lim}$ , который точно выражает степень безопасности данной поверхности скольжения. **График б)** показывает линию давления, вычисленную для более высокого коэффициента устойчивости, чем  $SF_{lim}$ . В верхней части принимаем допущение нулевой силы  $F_n$ , а в нижнем конце сдвигающей силы получаем ненулевое значение силы  $F_{0,b}$ . Это значит, что для того, чтобы получить коэффициент устойчивости  $SF$ , в подошве откоса теоретически должна действовать сила давления величиной  $F_{0,b}$ . **График с)** показывает линию давления для коэффициента устойчивости  $SF$  более высокого, чем  $SF_{lim}$ . Исходя из предпосылки нулевой силы  $F_0$  на нижнем конце поверхности скольжения, на её верхнем конце получаем неуравновешенную силу  $F_{n,c}$ . Для того, чтобы достигнуть для коэффициента устойчивости  $SF$  равновесия, должна теоретически в верхнем конце поверхности скольжения действовать растягивающая сила такой величины. **График d)** показывает распределение межблочных сил в случае, что в точке  $x$  находится стабилизирующая свая. Часть эпюры ниже заданной сваи исходит из графика с) и служит для определения величины пассивной силы  $P$  в точке  $x$ . Над сваем принимается распределение в соответствии с графиком б) и в точке  $x$  определяется величина активной силы  $T$ . Разность значений  $P$  и  $T$  - это и есть соответствующая сила, которую воспринимает стабилизирующая свая.

Эпюра межблочной силы давления  $F_i$ 

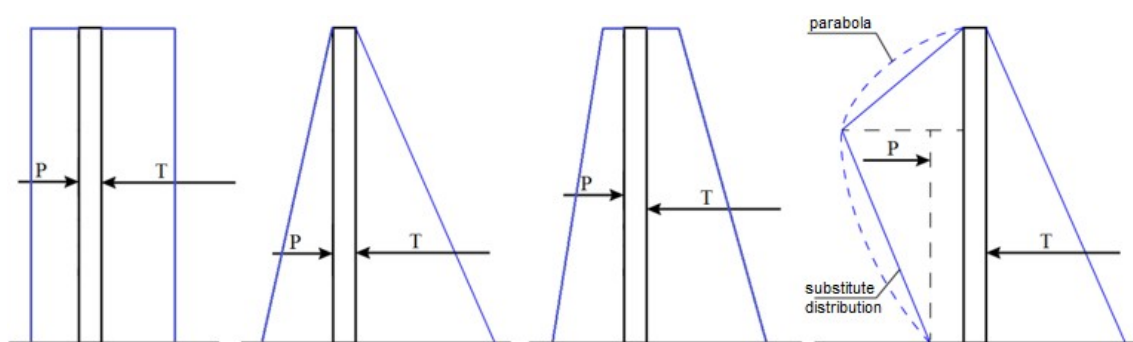
Подписи к рисунку:

- a)** эпюра для коэффициента устойчивости  $SF = SF_{lim}$  ( $F_0 = 0$  а  $F_n = 0$ )
- b)** эпюра для коэффициента устойчивости  $SF > SF_{lim}$  с нулевым значением на верхнем конце
- c)** эпюра для коэффициента устойчивости  $SF > SF_{lim}$  с нулевым значением на нижнем конце
- d)** эпюра для коэффициента устойчивости  $SF$  со стабилизирующей сваей в точке  $x$

## Схемы давления над поверхностью скольжения

Распределение нагрузки на стабилизирующую сваю выше поверхности скольжения определяют из величины сил  $P$  и  $T$ . Принимается допущение, что характер распределения может быть **постоянным**, **треугольным** или **трапециевидным** (для программы «**Стабилизирующая свая**» распределение активной и пассивной сил задают в рамках «**Определение давления**»). Для пассивной (удерживающей) силы  $P$  можно допускать также **параболическую** схему распределения, которую для упрощения аппроксимируют треугольной и трапециевидной схемами.





Допускаемые схемы нагружения сваи над поверхностью скольжения

### Рекомендации по распределению активной силы

- Треугольная схема - слой над поверхностью скольжения образуют крупнозернистые грунты (гравий)
- Прямоугольная схема - слой над поверхностью скольжения образуют мелкозернистые грунты (глина)
- Трапециевидная схема - слой над поверхностью скольжения образуют крупнозернистые и мелкозернистые грунты.

## Расчёты в программе Шахта

Программа «**Шахта**» в рамке «**Расчёт**» определяет **нагрузку** действующую на шахту.

Вычисленная нагрузка вводится в **расчёт внутренних сил** в рамке «**Подбор размеров**».

## Расчёт нагрузки на шахту.

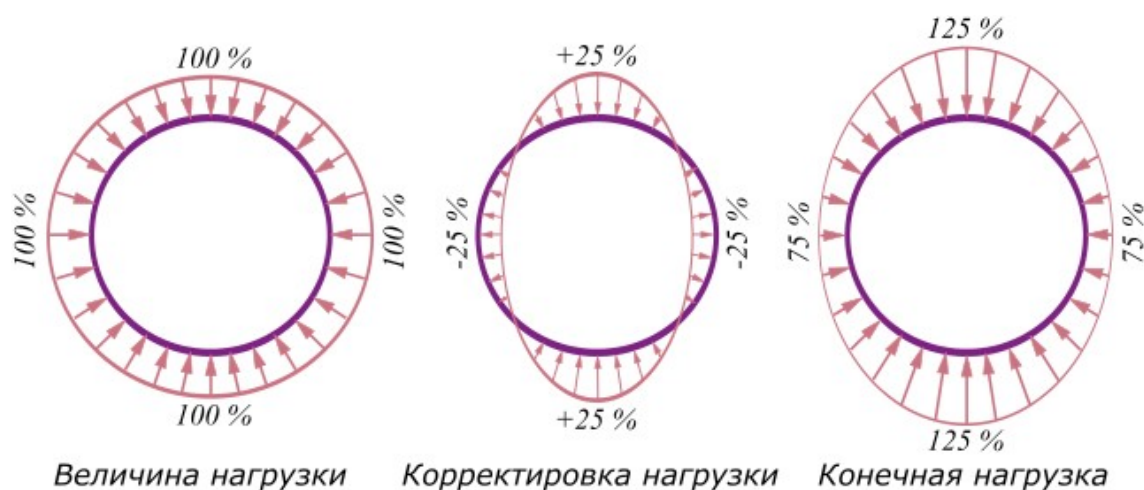
Нагрузка от давления грунта, действующая на шахту определяется в рамке «**Расчёт**». Для определения давления грунта, действующего на круглую шахту, принципиальное значение имеет деформация конструкции шахты. Жёсткая конструкция шахты препятствует деформации, следовательно подвергается более высокой нагрузке, чем податливая конструкция. Наоборот, податливая конструкция шахты допускает достаточную степень деформации, следовательно подвергается существенно меньшей нагрузке, чем жёсткая конструкция.

Программа рассматривает конструкции шахты 3-х типов:

- **Податливая** - оценка нагрузки от активного давления грунта (для сосредоточенной / ограниченной по площади пригрузки)
- **Полужёсткая**
- **Жёсткая** - оценка нагрузки от натурального давления грунта (для сосредоточенной / ограниченной по площади пригрузки)

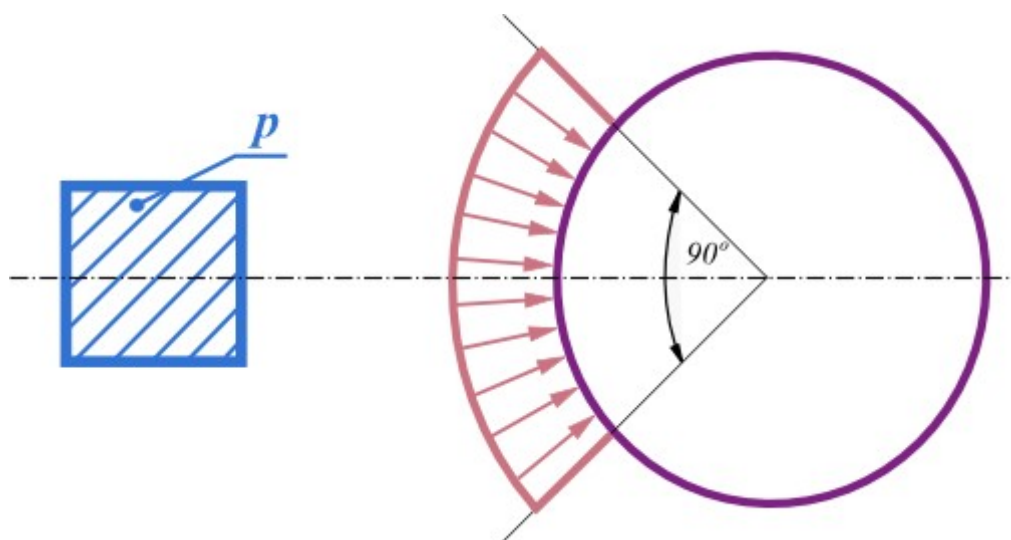
### Порядок определения нагрузки

**Нагрузка от давления грунта** и сплошная пригрузка действуют равномерно и одинаково по всему периметру. При такой нагрузке к конструкции приложена только нормальная сила с благоприятным воздействием. Для получения модели реальной нагрузки на шахту программа позволяет рассчитанную нагрузку скорректировать с помощью коэффициента редукции нагрузки в соответствии со стандартами DIN V 4034-1 или СНиП II-94-80. Рекомендуемое значение коэффициента редукции нагрузки - 25 %.



*Распределение радиальной составляющей давления грунта*

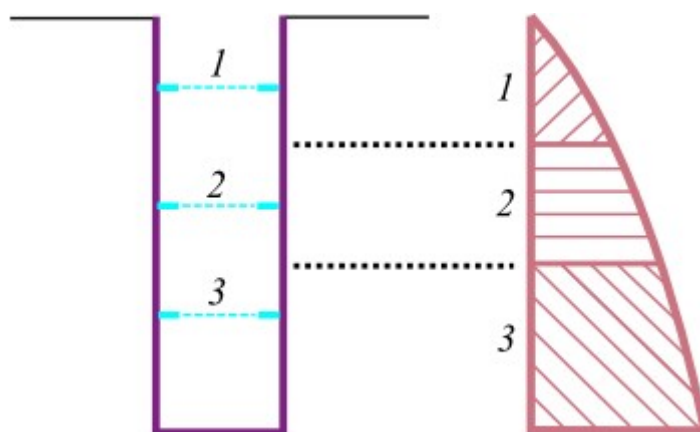
**Нагрузка от сосредоточенной / ограниченной по площади пригрузки** принимается как показано на следующем изображении. Коэффициент редукции нагрузки не подвергался корректировке.



*Расчёт давления грунта на конструкцию шахты с заданной пригрузкой (схема-план)*

### **Пересчёт нагрузки на отдельные стяжки**

Если заданы стяжки, то программа считает нагрузку на заданные стяжки. Нагрузка приложенная к стяжке принимается в зависимости от расстояния между осями стяжек, аналогично балочному перекрытию.



Расчёт нагрузки на стяжку

Если стяжки не заданы, то выполняется расчёт нагрузки на заданной глубине на 1 пог.м глубины конструкции.

На основе полученных нагрузок программа определяет эпюры **внутренних сил** конструкции шахты.

#### Литература:

Berezantzev, V. G.: *Earth pressure on the cylindrical retaining walls, Brussels conference on Earth pressure problems*, 1958.

ČSN 73 0037: *Zemní tlak na stavební konstrukce*, 1990.

DIN 4085: *Berechnung des Erddrucks*, 1987.

Exner, K.: *Hloubení jam, VŠB v Ostravě*, 1986.

Cheng, Y. M.; Hu, Y. Y.: *Active earth pressure on circular shaft lining obtained by simplified slip line solution with general tangential stress coefficient. Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 27 (1), 110-115, 2005.

Link, H.; Lutgendorf, H.; Stoss, K.: *Richtlinien zur Berechnung von Schachtauskleidungen in nicht standfestem Gebirge*, 1976.

Sedláček, M.: *Zatížení kruhových šachet prostorovým zemním tlakem. Příspěvek ke konferenci Zakládání staveb*, 2014.

Snášelová, K.: *Hloubení a vyztužování jam v extrémních podmínkách, ODIS VTEI pro uhelný průmysl*, 1987.

Tobar, T.; Meguid, M.: *Distribution of active earth pressure on vertical shafts*, Geo Halifax, 2009.

Valencia, T. T.: *An experimental study of the earth pressure distribution on cylindrical shafts*, McGill University, Montreal, 2009.

Walz, B.; Pulsfort, M.: *Raumliche Erddruck auf Schachtbauwerke in Abhängigkeit von der Wandverformung*, Bergische Universität Wuppertal, 1999.

## Податливая конструкция шахты

Типичный пример **податливой** конструкции - это горная выработка шахты. При этой технологии сперва удаляется грунт и после устанавливается первичная крепь. В связи с технологическими процессами (удаление грунта, набрызг бетона или установка рудничной крепи) имеет место некоторые задержки во времени, в течение которых

происходит перераспределение напряжения в грунте вблизи шахты и конечная величина давления грунта на конструкцию шахты приближается активному давлению грунта. Самая точная характеристика этого явления дана в теории по В.Г- Березанцеву (1958).

Нагрузка на податливую шахту определяется по формуле:

$$p_a = K_{a\gamma} \gamma h + K_{aq} q - K_{ac} c_{ef}$$

где:  $\gamma$  - удельный вес грунта  
 $h$  - глубина сечения  
 $q$  - величина пригрузки  
 $c_{ef}$  - связность грунта

$$K_{a\gamma} = \frac{\tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right)}{\eta - 1} \left( \frac{r_0}{h} - \frac{r_0}{h R_b^{\eta-1}} \right)$$

$$K_{aq} = \frac{1}{R_b^{\eta}} \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right)$$

$$K_{ac} = \left[ \frac{1 - \lambda + \eta}{\eta} - \frac{\xi}{R_b^{\eta}} \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right) \right] \cot \varphi_{ef}$$

где:  $r_0$  - радиус шахты  
 $\varphi_{ef}$  - угол внутреннего трения грунта  
 $\xi = 1$   
 $\lambda = 1$

$$\eta = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_{ef}}{2}\right) - 1$$

$$R_b = 1 + \frac{h}{r_0} \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right)$$

Литература:

*Berezantzev, V. G.: Earth pressure on the cylindrical retaining walls, Brussels conference on Earth pressure problems, 1958.*

## Полужёсткая конструкция шахты

Типичный пример **полужёсткой** конструкции - это шахта из стальных шпунтовых свай. При этой технологии сперва создаётся собственно конструкция шахт и только после удаляется грунт. Учитывая хрупкость конструкции имеет место частичное перераспределение напряжения в грунте вблизи шахты. Действующая величина давления грунта на конструкцию шахты колеблется между пространственным активным давлением и пространственным натуральным давлением.

Нагрузка на полужёсткую шахту в программе принята как усреднённое значение нагрузки на податливую шахту и жёсткую шахту.

## Жёсткая конструкция шахты

Типичный пример **жёсткой** конструкции - это шахта из шпунтовых свай зетового профиля. При этой технологии сперва создаётся собственно конструкция шахты и только после удаляется грунт. Под воздействием жёсткой конструкции (минимальные деформации) не происходит перераспределение напряжения в грунте вблизи шахты и величина давления грунта будет соответствовать натуральному давлению. Характеристика этих взаимоотношений выведена авторами Y. M. Cheng и Y. Y. Hu (2005).

Нагрузка на жёсткую конструкцию шахт определяется по формуле:

$$p_a = K_{ay} \gamma h + K_{aq} q - K_{ac} c_{ef}$$

где:  $\gamma$  - удельный вес грунта  
 $h$  - глубина сечения  
 $q$  - величина пригрузки  
 $c_{ef}$  - связность грунта

$$K_{ay} = \frac{\tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right)}{(1 - \sin \varphi_{ef}) Z} \left( \left[ 1 + Z \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right) \right]^{1 - \sin \varphi_{ef}} - 1 \right)$$

$$K_{aq} = \frac{1}{\left[ 1 + Z \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right) \right]^{\sin \varphi_{ef}}} \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right)$$

$$K_{ac} = \left[ 2 - \frac{1}{\left[ 1 + Z \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right) \right]^{\sin \varphi_{ef}}} \sec^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right) \right] \cot \varphi_{ef}$$

где  $r_0$  - радиус шахты  
 :

$\varphi_{ef}$  - угол внутреннего трения грунта

$$\eta = \sin \varphi_{ef}$$

$$Z = \frac{h}{r_0}$$

$r_0$  - отношение глубины сечения  $h$  и радиуса шахты  $r_0$

$$\xi = \sec^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_{sf}}{2} \right)$$

$$R_b = 1 + \frac{h}{r_0} \tan \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{sf}}{2} \right)$$

$$\lambda = 1 - \sin \varphi_{sf}$$

#### Литература:

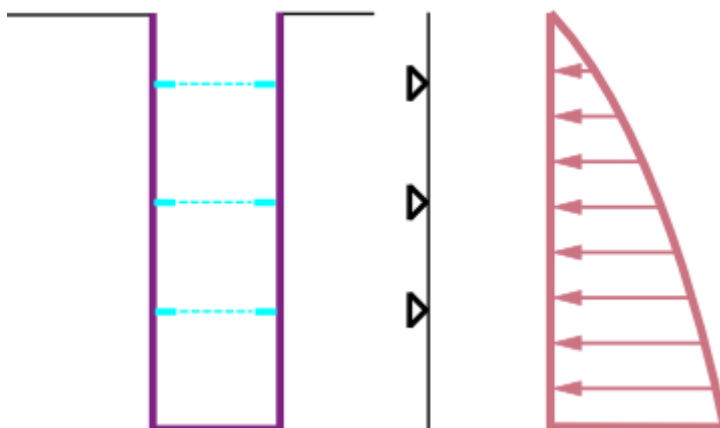
Cheng, Y. M.; Hu, Y. Y.: Active earth pressure on circular shaft lining obtained by simplified slip line solution with general tangential stress coefficient. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 27 (1), 110-115, 2005.

## Расчёт внутренних сил на конструкции шахты (подбор размеров)

Программа позволяет выполнять расчёт внутренних сил конструкции в вертикальном направлении и горизонтальном направлении на основе известной **нагрузки**, действующей на шахту.

### Расчёт внутренних сил по вертикальному направлению

Схема конструкции показана на изображении. Стяжки моделированы как опоры, сам расчёт выполнен на 1 м ширины конструкции. Конструкция без стяжек или с одной стяжкой в вертикальном направлении не поддаётся расчёту.

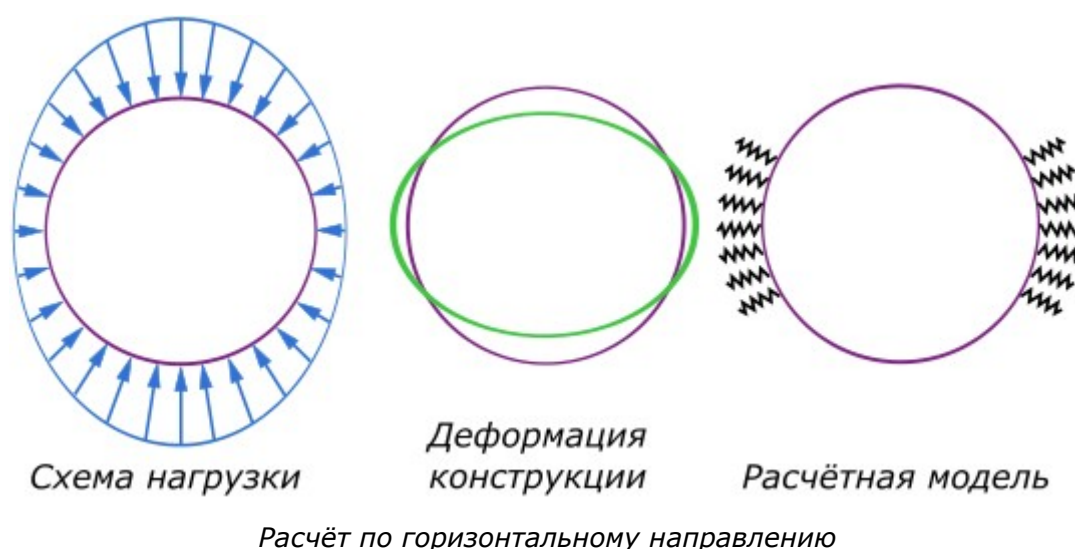


Расчёт по вертикальному направлению.

### Расчёт внутренних сил по горизонтальному направлению (полигональный метод)

Расчёт внутренних сил в горизонтальном направлении программа выполняет с помощью полигонального метода, при котором контур конструкции вводится в расчёт с помощью средней линии сечения, а горизонтальное сечение конструкции шахты (круг) делится на отдельные стержни полигона. Опора стержней моделируется с помощью нелинейно упругих линейных опор, которые работают только при сжатии. Жёсткости пружин определены заданным модулем реакции подстилающего слоя.

На изображении виден принцип расчёта - если деформация конструкции направлена в центр, то заданные пружины не принимаются в расчёт.



## Устойчивость откоса

Программа **Устойчивость откоса** рассчитывает устойчивость откосов и насыпей с круглоцилиндрической или полигональной поверхностью скольжения.

Решение выполняется на двумерной модели грунтового массива. Грунт в **массиве склона (откоса)** может быть ниже **уровня грунтовых вод**, вода может также выходить над поверхность склона, который может быть частично или полностью подтоплен. На склон может действовать **пригрузка** общего вида и величины, расположенная или на поверхности рельефа или внутри грунтового массива. В устойчивость учитывается **действие анкеров**, которые могут крепить откос, или в массиве откоса могут быть размещены горизонтальные армирующие элементы - **геоарматуры**, или же вертикальные - **стабилизирующие сваи**. Расчёт может моделировать также влияние **землетрясения**.

В программу встроены **два метода расчёта**: классический расчёт в соответствии с коэффициентом надёжности (коэффициент устойчивости) и расчёт по теории предельных состояний.

Поверхность скольжения может быть смоделирована двумя способами: как **круглоцилиндрическая** (методы **Феллениус/Петтерсона**, **Бишопа**, **Спенсера**, **Джанбу**, **Моргенштерн-Прайса**, **Шахунянца**, **ITF**) или как **полигональная** (методы **Сарма**, **Спенсера**, **Джанбу**, **Моргенштерн-Прайса**, **Шахунянца**, **ITF**).

## Массив грунта

Массив грунта формируется **профилем слоя**. Можно использовать любое количество **слоев**. Каждый слой определяется его геометрией и материалом. Материал слоя обычно представляется **грунтом** с **установленными свойствами**. **Геостатическое напряжение** в массиве грунта определяется посредством анализа.

Слой может быть определен как **жесткое тело**. Такой слой представляет собой скалистое основание или обшивочную стену. Поверхность скольжения никогда не проходит через жесткое тело.

## Воздействие воды

Грунтовую воду можно назначить участку плоскости уклона при помощи одной из пяти



опций:

### 1) Уровень грунтовых вод

Уровень грунтовых вод определяется как многоугольник. Его необходимо произвольно изогнуть, расположив полностью в массиве грунта или включив частично **над поверхностью земли**.

Наличие воды воздействует на значение пластового давления, действующего в грунте и сокращающего устойчивость сдвигу. Пластовое давление рассматривается как гидростатическое давление, т.е. удельный вес воды умножается на уменьшенную высоту уровня воды:

$$u = \gamma_w \cdot h_r$$

где:  $\gamma_w$  - удельный вес воды  
 $h_r$  - уменьшенная высота уровня воды

$$h_r = h \cdot \cos^2 \alpha$$

где:  $h$  - вертикальное расстояние точки, где рассчитывается пластовое давление, точки на уровне воды  
 $\alpha$  - наклон уровня воды

В расчете используется равнодействующая сила пластового давления в определенной секции блока:

$$U = u \cdot l$$

где:  $u$  - пластовое давление в точке  
 $l$  - длина секции

Под уровнем грунтовых вод анализ проводится при помощи удельного веса насыщенного грунта  $\gamma_{sat}$  и гидростатического противодействия; над уровнем грунтовых вод анализ принимает введенный удельный вес грунта  $\gamma$ . Силы сдвига вдоль поверхности скольжения рассчитываются по формуле:

$$T = (N - U) \cdot \tan \varphi + c \cdot d$$

где:  $T$  - сила сдвига вдоль сегмента поверхности скольжения  
 $N$  - стандартная сила сегмента поверхности скольжения  
 $U$  - равнодействующая пластового давления вдоль сегмента поверхности скольжения  
 $\varphi$  - угол внутреннего трения  
 $c$  - сцепление  
 $d$  - длина сегмента поверхности скольжения

В случае общего напряжения (введенного в диалоговом окне «Грунты») используются общие параметры, а пластовое давление устанавливается равным 0.

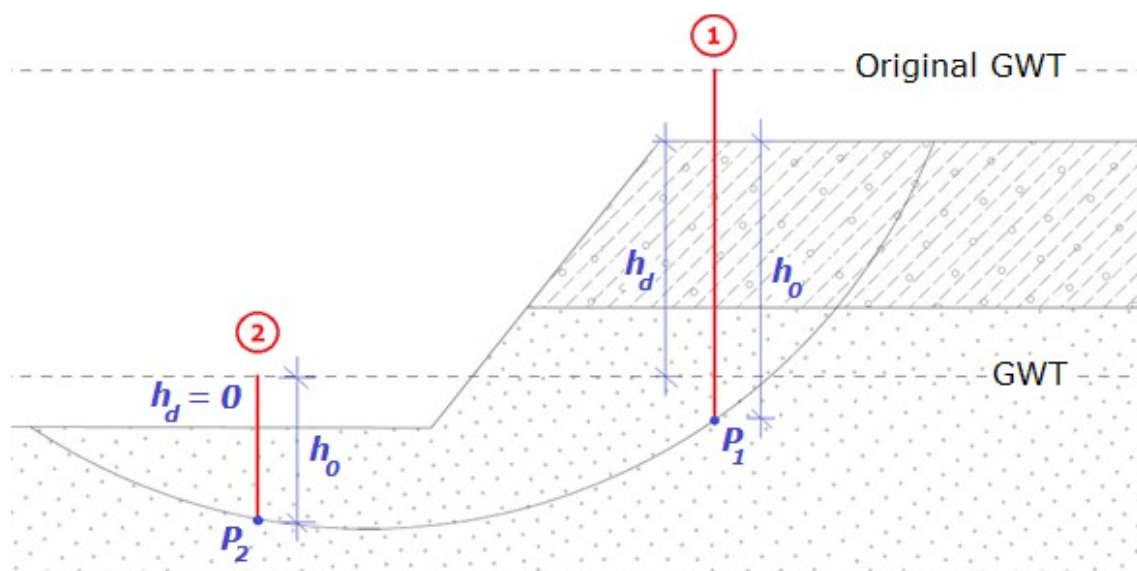
### 2) Уровень грунтовых вод с учетом абсорбции

**Уровень абсорбции** можно установить над введенным уровнем грунтовых вод. В этом случае принимается отрицательное значение пластового давления  $u$  в районе, разделенном двумя уровнями. Абсорбция увеличивается как отрицательное

гидростатическое давление от уровня грунтовых вод в направлении уровня абсорбции.

### 3) Резкое снижение давления

Над заданным уровнем воды можно задать **исходный уровень воды**, моделирующий состояние непосредственно перед резким понижением УГВ.



Резкое понижение воды

Сперва рассчитываем исходное поровое давление  $u_0$ :

$$u_0 = \gamma_w \cdot h_0$$

где:  $h_0$  - высота от исходного уровня воды к точке **P**  
 $\gamma_w$  - удельный вес воды

Высота  $h_0$  - это расстояние от точки **P** (где определено значение порового давления) до исходного уровня воды - это в случае, что исходный уровень воды находится под поверхностью земли. В случае, когда исходный уровень воды расположен над поверхностью земли высота  $h_0$  принимается от точки **P** до уровня земли (см. **разрез 1** на рис.). В случае, когда оба уровня воды находятся над поверхностью земли, высота  $h_0$  - это будет расстояние от точки **P** до пониженного уровня воды (см. **разрез 2** на рис.).

Вторым шагом будет определение уменьшения порового давления в области между исходным и пониженным **УГВ**:

$$\Delta u = \gamma_w \cdot h_d$$

где:  $h_d$  - высота между исходным и пониженным уровнем воды  
 $\gamma_w$  - удельный вес воды

Как и в предыдущем расчёте давления, здесь тоже могут иметь место три опции положения уровней воды, т.е. три способа как получить высоту  $h_d$ . Когда оба уровня расположены под поверхностью земли, то  $h_d$  - это расстояние между исходным и пониженным уровнем воды. Когда исходный уровень воды находится над поверхностью земли, то высота  $h_d$  пониженного уровня воды принимается только до уровня поверхности земли (см. **разрез 1** на рис.). В последнем случае оба уровня могут находиться над

поверхностью земли, т.е. разность уровней  $h_d$  равна нулю (см. **разрез 2** на рис.и).

В третьем шагу определяем конечное значение порового давления  $u$ . Уменьшение давления  $\Delta u$  переумножаем на коэффициент редукции исходного порового давления  $X$ , который должен задаваться для каждого грунта в диалоговом окне в рамке «Грунты». В расчёт войдёт значение коэффициента  $X$  грунта на участке определения порового давления, т.е. в месте точки **P** (а не грунта, расположенного в области между исходным и пониженным **УГВ**). У водопроницаемого грунта равен  $X = 1$ , у практически неводопроницаемого  $X = 0$ . В расчёт принимается конечное значение порового давления:

$$u = u_0 - X \cdot \Delta u$$

где:

$u_0$	-	исходное пластовое давление
$X$	-	поправочный коэффициент исходного пластового давления
$\Delta u$	-	изменение пластового давления

#### 4) Коэффициент пластового давления $R_u$

Коэффициент пластового давления  $R_u$  представляет собой отношение между пластовым давлением и гидростатическим давлением в массиве грунта. В области, где  $R_u$  имеет положительное значение, учитывается введенный удельный вес насыщенного грунта  $\gamma_{sat}$ , в ином случае используется удельный вес почвы  $\gamma$ .

Значения  $R_u$  вводятся при помощи изолиний, соединяющих точки с одинаковым значением  $R_u$ . Для получения промежуточных значений принимается линейная интерполяция. Пластовое давление устанавливается как геостатическое напряжение, сокращенное коэффициентом  $R_u$ :

$$u = R_u \cdot \sum h_i \cdot \gamma_i$$

где:

$R_u$	-	коэффициент пластового давления
$h_i$	-	высота i-ого слоя грунта
$\gamma_i$	-	удельный вес i-ого слоя грунта

#### 5) Значения пластового давления

Уровень грунтовых вод можно ввести напрямую через значения пластового давления в плоском сечении массива грунта. В области, где  $u$  имеет положительное значение, учитывается введенный удельный вес насыщенного грунта  $\gamma_{sat}$ , в ином случае используется удельный вес почвы  $\gamma$ .

Значения пластового давления вводятся с помощью изолиний, соединяющих точки с одинаковым значением пластового давления. Для получения промежуточных значений принимается линейная интерполяция. Значения пластового давления затем выводятся из значений пластового давления, полученных в конкретных точках в пределах плоскости сечения уклона.

## Нагрузка

Танализ устойчивости уклона принимает в расчет даже нагрузку, обусловленную действием соседних конструкций. нагрузку можно ввести либо как сосредоточенную силу, либо как распределенную нагрузку, действующую либо на поверхность земли, либо внутри массива грунта.

Поскольку обычно предполагается, что нагрузка вызывается весом объектов, находящихся на массиве уклона, к весу блоков добавляется вертикальный компонент нагрузки, имеющий направление веса (компонент материала). Это значит, что если **действие землетрясения** включено, то этот компонент также умножается на коэффициент горизонтального ускорения или вертикального землетрясения. Компонент нагрузки материала также влияет на положение центра масс блока. Компоненты, которые действуют в направлении веса, принимаются в уравнениях равновесия для данного блока как не имеющие веса, а потому не участвуют ни в инерционных воздействиях землетрясения, ни в положении центра масс блока.

Нагрузка всегда рассматривается в анализе в расчете на 1 погонный метр. Если нагрузка, главным образом действующая на область  $b \cdot l$ , включена как сосредоточенная сила, она изменяется перед анализом в нагрузку поверхности, распределяющуюся до глубины поверхности скольжения вдоль уклона в пропорции  $2:1$ , как показано на рис.

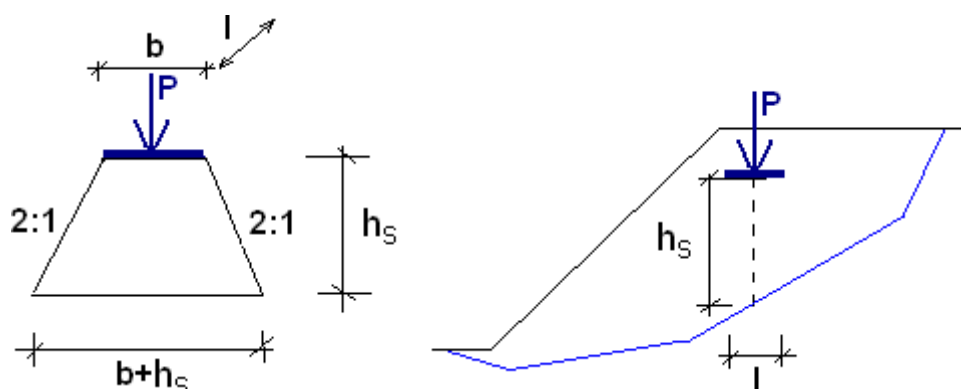


Схема распределения сосредоточенной нагрузки на поверхность скольжения

Затем анализ переходит к равнодействующей нагрузки поверхности  $p$ , имеющей значение:

$$p = \frac{P}{(b + h_s) \cdot l}$$

## Анкеры

Расположение анкера определено начальной точкой, свободной длиной  $l$ , длиной корня  $l_k$  и наклоном  $\alpha$ . Далее, задаём усилие предварительного натяжения в анкере. Начальная точка всегда находится на поверхности земли, сила всегда действует в направлении внутрь массива откоса. При расчете равновесия на блоке сила в анкере добавляется к пригрузке откоса нематериального характера.

Для расчета анкеров имеются две опции:

1. **Вычислить длину анкеров** - расчет учитывает влияние всех анкеров, т.е. они принимаются как «бесконечно» длинные. Вычисляем необходимые свободные длины анкеров, т.е. расстояния между головкой анкера и пересечением прямой линии, на которой находится анкер, с поверхностью скольжения. Корень анкера располагаем за пределами поверхности скольжения. Этот метод чаще всего используется при проектировании анкеров, от которых требуем постоянное активное воздействие на увеличение устойчивости откоса (склона), и нам нужно узнать необходимую минимальную свободную длину.
2. **Расчёт при заданных длинах анкеров** - в расчёте учитывают только те анкеры, конец корня которых находится позади поверхности скольжения. В случае, что

поверхность скольжения пересекает свободную длину анкера - в расчёт берут полную анкеровочную силу. В случае, что поверхность скольжения проходит через корень анкера, сила в анкере линейно уменьшается от максимального значения в начале корня до нуля в конце корня. Этот метод расчёта используем в случае проверки текущего состояния откоса с наличием анкеров, причём некоторые из которых могут не пересекать критическую поверхность скольжения из-за недостаточной своей длины и, следовательно, вносят нулевой вклад в устойчивость откоса.

## Нагели

Для нагеля задаём или рассчитываем следующие параметры:

- $R_f$  - несущая способность головки
- $R_t$  - сопротивление нагеля разрыву
- $T_p$  - сопротивление нагеля выдёргиванию

**Прочностные характеристики нагеля** - это основные параметры для расчёта полной несущей способности нагеля.

**Сопротивление нагеля разрыву** вычисляем по формуле:

$$R_t = \frac{\pi d_s^2}{4} f_y$$

- где:
- $R_t$  - сопротивление разрыву
  - $d_s$  - диаметр нагеля
  - $f_y$  - расчётная прочность материала нагеля

**Сопротивление нагеля разрыву** можно вычислить одним из следующих способов:

### 1. рассчитать по боковому трению:

$$T_p = \pi d g_s$$

- где:
- $T_p$  - сопротивление нагеля выдёргиванию [kN/m]
  - $d$  - диаметр нагеля
  - $g_s$  - боковое трение, задаём как или параметр нагеля или параметр грунта.

### 2. рассчитать по эффективному напряжённому состоянию

$$T_p = \pi d (K_a \sigma_z \tan \varphi + c)$$

где:

$$K_a = \frac{1 + K_0}{2} = \frac{1 + (1 - \sin \varphi)}{2}$$

- где:
- $T_p$  - сопротивление нагеля выдёргиванию [kN/m]
  - $d$  - диаметр нагеля
  - $\sigma_z$  - вертикальное геостатическое напряжение

- $\varphi$  - эффективный угол внутреннего трения грунта  
 $c$  - эффективное сцепление грунта

### 3. рассчитать по НА 68/94

$$T_p = \pi d (\sigma_n \tan \varphi + c)$$

- где:  $T_p$  - сопротивление нагеля выдёргиванию [kN/m]  
 $d$  - диаметр нагеля  
 $\sigma_n$  - среднее радиальное эффективное напряжение  
 $\varphi$  - эффективный угол внутреннего трения грунта  
 $c$  - эффективное сцепление грунта

Среднее радиальное эффективное напряжение  $\sigma_n$  рассчитано по формуле:

$$\sigma_n = \frac{(1 + K_L) \sigma_z}{2}$$

- где:  $\sigma_z$  - вертикальное геостатическое напряжение

$$K_L = \frac{1 + K_a}{2}$$

где:

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$$

**Несущую способность головки нагеля** или задают, или головка принимается неанкерванной и в этом случае с нулевой несущей способностью.

## Арматуры

Арматуры - это горизонтальные усиливающие элементы, которые располагаются в грунте для повышения устойчивости уклона, используя их нагрузку на растяжение. Если арматура пересекает поверхность скольжения, сила, развиваемая в арматуре, включается в уравнение силы равновесия данного блока. В противном случае, на устойчивость уклона воздействие не оказывается.

Базовым параметром армирования является **нагрузка растяжения  $R_t$** . Используется расчетное значение этого параметра, т.е. сила армирования, приведенная коэффициентами, учитывая действие долговечности, ползучести и степени разрушения. Сила, передаваемая арматурой, **никогда не может превышать сопротивления разрыву  $R_t$** .

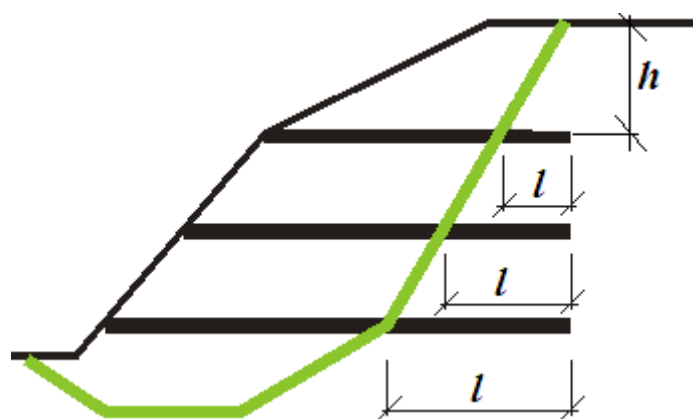


Схема расчета армирования

Второй характеристикой является **сопротивление выдергиванию**  $T_p$ . Этот параметр определяет анкерную длину, т.е. требуемую длину арматуры в грунте, на которую арматура полностью напряжена, достигая значения  $R_t$ . Поскольку действительные значения сопротивления выдергиванию сложно определить, программа предлагает три опции для их расчета, соответственно расчету силы  $F$ , передаваемой армированием.

### Рассчитать силы выдергивания

Сила выдергивания  $F$  рассчитывается по формуле:

$$F = 2 \cdot \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot C \cdot l$$

где:

- $\sigma$  - стандартная сила вследствие собственного веса в месте пересечения арматуры и поверхности скольжения (см. Рис)
- $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта
- $C$  - коэффициент взаимодействия (0,8 по умолчанию)
- $l$  - длина стыка шага арматуры позади поверхности скольжения в массиве грунта

### Ввести длину армированного анкера $l_k$

Указывается анкерная длина  $l_k$ . Это параметр определяется прочностью при сдвиге, развиваемой между арматурой и грунтом постепенно с 0 до предельного значения (измеряется от конца арматуры, зафиксированной в грунте).

$$F = \frac{l}{l_k} \cdot R_t$$

где:

- $l$  - длина арматуры позади поверхности скольжения в массиве грунта
- $l_k$  - анкерная длина арматуры
- $R_t$  - сопротивление разрыву

### Ввести сопротивление арматуры выдергиванию $T_p$

Сила выдергивания  $F$  рассчитывается по формуле:

$$F = T_p \cdot l$$



где:  $l$  - длина арматуры позади поверхности скольжения в массиве грунта  
 $T_p$  - сопротивление арматуры выдергиванию

Силы в элементе арматуры определённые на основании несущей способности элементов арматуры могут достигать относительно больших значений. После ввода этих сил в расчёт соответствующим образом увеличивается степень устойчивости этой поверхности скольжения. Методы типа Spencer, Janbu, Morgenstern-Price могут после введения в расчёт сил в арматуре потерять конвергенцию. Это может иметь место в случаях когда силы приобретают такое значение, которое не позволяет получить равновесия сил в блоках при одновременном соблюдении допущений отдельных методов. Напр., допущения, что в месте где кончается поверхность скольжения момент равен нулю. В таком случае при расчёте силы в элементах арматуры подвергаются редукции по возможности до такого уровня, при котором метод ещё способен к конвергенции и выдаёт приемлемые результаты. Уровень до которого силы в арматуре для расчёта были уменьшены указывается в подробной выписке результатов расчёта на устойчивость. Если силы не уменьшались и расчёт достиг конвергенции при полных значениях сил в элементах армировки, то в подробном результате на выходе редукция не указывается.

## Расположение арматуры

Программа рассматривает укладку арматуры **неподвижной** или **свободной**.

В случае, что на склоне с **армировкой** произойдёт смещение грунта, произойдёт одно из возможных повреждений **арматуры** как показано на следующих изображениях.

При жёстком укреплении начала **арматуры** перед поверхностью скольжения (напр., закрепление в обшивочной конструкции), не произойдёт повреждение типа 3 - выдергивание арматура перед поверхностью скольжения. Повреждения типа 1 и 2 в расчётах проверяются в любом случае, а повреждения типа 3 только в случае арматуры с свободной укладкой, которая допускает возможность такого повреждения.

Создать армировку

Расположение армировки

Точка слева :  $x = 32,77$  [м]  
 $z = 125,99$  [м]

Точка справа :  $x = 50,01$  [м]  
 $z = 125,99$  [м]

Длина :  $L = 17,24$  [м]

Удлинить слева      Удлинить справа

Параметры армировки

Прочность арматуры :  $R_t = 15,00$  [кН/м]

Расчёт несущей способности : Посчитать несущую способность

Коэффициент взаимодействия  $C = 0,80$  [-]

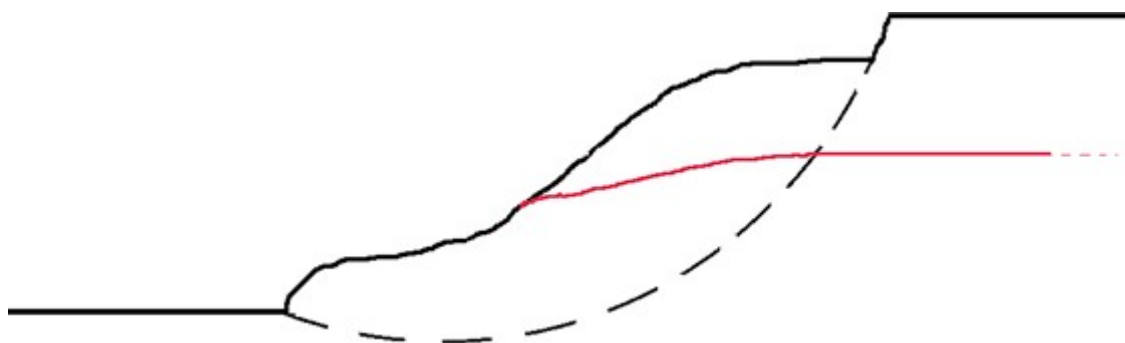
Опираение арматуры : Неподвижное

OK      Отмена

*Диалоговое окно «Создать армировку» - задание расположения армировки*



*Разрыв арматуры - повреждение типа 1*



*Выдёргивание арматуры из грунта за поверхностью скольжения - повреждение типа 2*

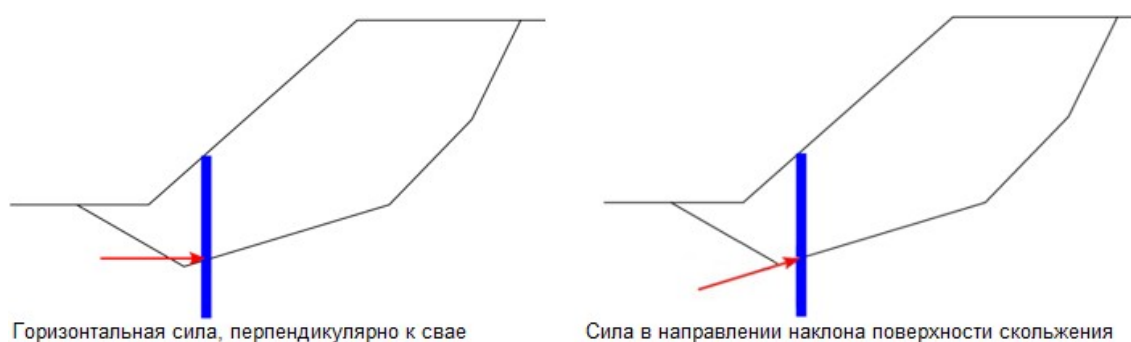


*Выдёргивание арматуры из грунта перед поверхностью скольжения - повреждение типа 3*

## Стабилизирующая свая

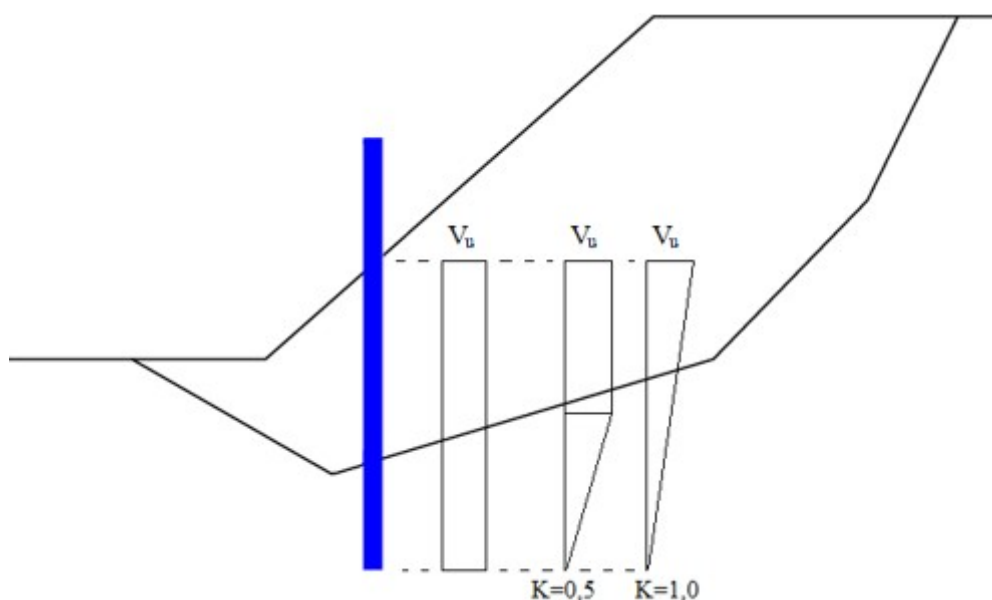
Стабилизирующие сваи - это вертикальные конструктивные элементы, с помощью которых можно увеличить устойчивость откоса (склона). Когда стабилизирующая свая заходит в рассматриваемую поверхность скольжения, то в расчёт коэффициента устойчивости рассматриваемой поверхности скольжения вводят пассивную (удерживающую) силу  $P$ , соответствующую несущей способности сваи  $V_u$ . Этим самым получают более высокое значение коэффициента устойчивости  $SF$ .

Предполагается, что **свая всегда находится в вертикальном положении**. Пассивная (удерживающая) сила  $P$  в точке пересечения с поверхностью скольжения учитывается или в горизонтальном направлении, или в направлении, соответствующему наклону поверхности скольжения на этом участке.



*Изображение направления действия пассивной (удерживающей) силы.*

Значение пассивной (удерживающей) силы  $P$  всегда определяется на 1 м ширины откоса (склона) с учётом интервалов между сваями. Несущую способность сваи  $V_u$  можно задать как **постоянное значение** вдоль всей длины сваи, или **линейно возрастающее** от подошвы сваи вверх.



*Постоянная и линейная эпюра несущей способности  $V_u$  по длине сваи*

Линейное возрастание несущей способности сваи описывает **градиент  $K$** , т.е. отношение длины сваи, на котором получена максимальная несущая способность  $V_u$  к длине сваи под поверхностью земли. Если значение градиента  $K$  приближается к нулю, то линейное распределение несущей способности  $V_u$  приближается к постоянному распределению.

Программа позволяет определять **активные и пассивные силы**, действующие на сваи выше поверхности скольжения и передавать данные в программу «**Стабилизирующая свая**», в которой можно проводить дальнейшие анализы.

## Действие землетрясения

Программа позволяет рассчитать воздействие землетрясения по следующим стандартам:

- Стандартный расчёт
- Расчёт по китайскому стандарту JTJ 004-89
- Расчёт по китайскому стандарту SL 203-97

Китайские стандарты удобны тем, что в расчёт вводят силу землетрясения, в соответствии с которой в программу автоматически вводятся значения коэффициента  $K_h$  согласно соответствующим стандартам.

## Действие землетрясения - standard analysis

Программа позволяет рассчитать действия землетрясения при помощи двух переменных: коэффициента горизонтального ускорения  $K_h$  или коэффициента вертикального землетрясения  $K_v$ .

### Коэффициент вертикального землетрясения $K_v$

Коэффициент вертикального землетрясения либо понижает ( $K_v > 0$ ), либо повышает ( $K_v < 0$ ) удельный вес грунта, воды в грунте и напряжения материала, умножив соответствующие значения на  $1-K_v$ . Следует отметить, что коэффициент  $K_v$  может принимать как положительное, так и отрицательное значение, а в случае достаточно большого коэффициента горизонтального ускорения облегчение уклона ( $K_v > 0$ ) оказывает более неблагоприятное воздействие, чем нагрузка.

### Коэффициент горизонтального ускорения $K_h$

Обычно при расчете принимается коэффициент  $K_h$ , равный 0. Эта постоянная, однако, может быть использована для моделирования действия землетрясения, если установить значение, отличное от 0. Это значение представляет собой соотношение между горизонтальными и гравитационными ускорениями. Увеличение коэффициента  $K_h$  ведет, соответственно, к уменьшению коэффициента надежности  $FS$ .

Коэффициент горизонтального ускорения включает в анализ дополнительную горизонтальную силу, действующую в центре силы тяжести соответствующего блока со значением  $K_h * W_i$ , где  $W_i$  - общий вес блока, включая компонент материала нагрузки уклона.

В следующей таблице представлены значения коэффициента  $K_h$ , соответствующие разным степеням землетрясения, выделяемым по шкале MCS.

Шкала MCS	Горизонтальное ускорение		Коэффициент горизонтального ускорения	
(MSK-64)	[мм/с <sup>2</sup> ]		$K_h$	
1	0,0	- 2,5	0,0	- 0.00025
2	2,5	- 5,0	0,00025	- 0.0005
3	5,0	- 10,0	0,0005	- 0.001
4	10,0	- 25,0	0,001	- 0.0025
5	25,0	- 50,0	0,0025	- 0.005
6	50,0	- 100,0	0,005	- 0.01
7	100,0	- 250,0	0,01	- 0.025

8	250,0	- 500,0		0,025	- 0.05
9	500,0	- 1000,0		0,05	- 0.1
10	1000,0	- 2500,0		0,1	- 0.25
11	2500,0	- 5000,0		0,25	- 0.5
12		>5000,0			> 0.5

## Earthquake analysis according to JTJ 004-89

Earthquake effects are in stability analysis represented by horizontal and vertical forces acting at the centers of gravity of individual soil blocks. Magnitude of these forces is related to the weight of soil blocks and is calculated using horizontal and vertical earthquake coefficients. Horizontal earthquake force is always oriented out from the slope massif. Vertical force can be directed upwards or downwards, the orientation is defined by the sign of the force.

Horizontal earthquake force  $E_{hs}$  is given by formula:

$$E_{hs} = C_i C_z K_h G_s$$

and vertical earthquake force  $E_{vs}$  is determined by:

$$E_{vs} = C_0 C_i C_z K_v G_s$$

where:  $C_i$  - importance coefficient for seismic design  
 $C_z$  - comprehensive influence factor  
 $C_0$  - meeting coefficient related to the influence of horizontal seismic effect  
 $K_h$  - coefficient of horizontal seismic acceleration  
 $K_v$  - coefficient of vertical seismic acceleration  
 $G_s$  - weight of the soil block

## Earthquake analysis according to SL 203-97

Earthquake effects are in stability analysis represented by horizontal and vertical forces acting at the centers of gravity of individual soil blocks. Magnitude of these forces is related to the weight of soil blocks and is calculated using horizontal and vertical earthquake coefficients. Earthquake coefficients are depended on position gravity center of each block. Therefore the coefficients have individual and different values for each one of soil blocks. Horizontal earthquake force is always oriented out from the slope massif. Vertical force can be directed upwards or downwards, the orientation is defined by the sign of the force.

Horizontal earthquake force  $E_{hs}$  is given by formula:

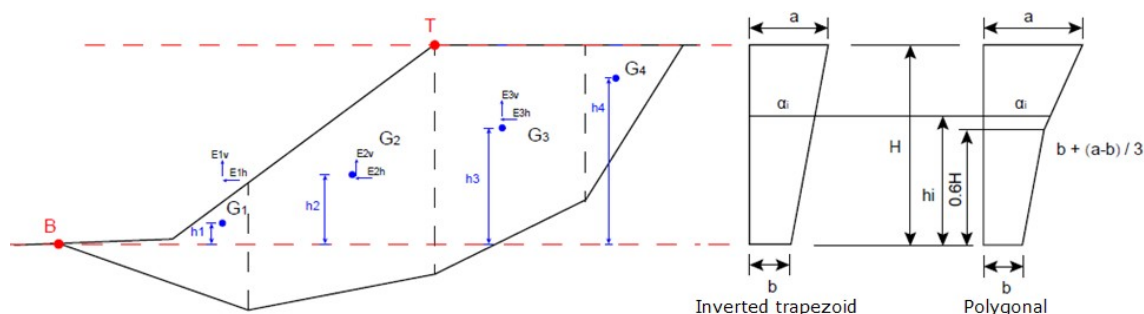
$$E_{hs} = C_i C_z \alpha_i K_h G_s$$

and vertical earthquake force  $E_{vs}$  is determined by:

$$E_{vs} = C_0 C_i C_z \alpha_i K_v G_s$$

- где:
- $C_i$  - importance coefficient for seismic design
  - $C_z$  - comprehensive influence factor
  - $C_0$  - meeting coefficient related to the influence of horizontal seismic effect
  - $K_h$  - coefficient of horizontal seismic acceleration
  - $K_v$  - coefficient of vertical seismic acceleration
  - $G_s$  - weight of the soil block
  - $\alpha_i$  - dynamic distribution coefficient of block  $i$

There are two types of dynamic distribution used for determining of  $\alpha_i$  value: inverted trapezoid and polygonal. Method for setting  $\alpha_i$  value could be seen at Figure.



*Determination of dynamic distribution coefficient  $\alpha_i$*

Height  $H$  of the range of  $\alpha_i$  is given by points **B** and **T**. The bottom point **B** is the lowest point of terrain above the slip surface and the top point **T** is the highest point of terrain above the slip surface.  $G_i$  denotes gravity center points of individual blocks and  $E_{ih}$ ,  $E_{iv}$  are horizontal and vertical earthquake forces.

## Анализ по теории предельных состояний / коэффициенту надежности

При проверке на соответствие с EN 1997 важен выбор соответствующего Проектного подхода и Частных коэффициентов расчёта. Во всех проектных подходах происходит редукция сил и нагрузки.

Рассчитывается степень использования  $V_u$ , относительно 100 %. Степень использования задана отношением:

$$V_u = \frac{M_a}{M_p} 100 < 100\%$$

- где:
- $M_a$  - сдвигающий момент
  - $M_p$  - удерживающий момент

В проектном подходе 2 удерживающий момент  $M_p$  определён по неуменьшенным параметрам грунтов, но с влиянием редукции сопротивления  $\gamma_{Rs}$ .

В проектном подходе 1 и проектном подходе 3 для определения суммарного сопротивления

$M_p$  **подвергаются редукции параметры грунтов** (угол внутреннего трения, сцепление).

## Анализ по теории предельных состояний / коэффициенту надёжности

Параметры для проверки задаются в закладке «Расчёты на устойчивость». Конструкцию можно проверить по теории предельных состояний или на *stupň bezpečnosti*.

Проверка по **теории предельных состояний**:

Параметры грунтов (угол внутреннего трения, сцепление) в таком случае подвергаются **редукции расчётными коэффициентами**, которые задаются в закладке «Расчёты на устойчивость».

Рассчитывается степень использования  $V_u$ , относительно 100%. Величину степени использования характеризует отношение:

$$V_u = \frac{M_a}{M_p} 100 < 100 \%$$

где:  $M_a$  - сдвигающий момент  
 $M_p$  - удерживающий момент

Удерживающий момент  $M_p$  определяется с учётом влияния редукции коэффициентом общей устойчивости конструкции  $\gamma_s$ .

Проверка на **коэффициенты надёжности**:

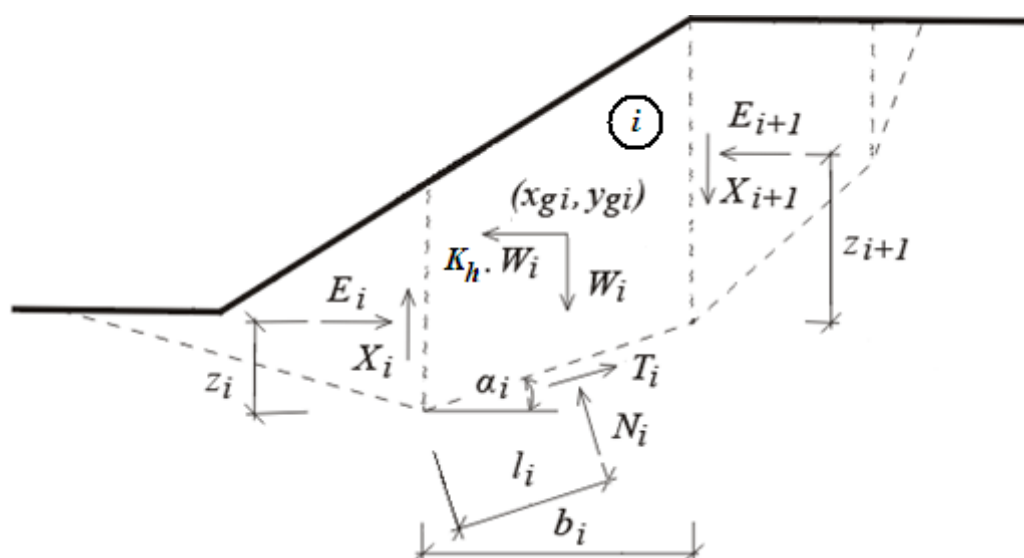
$$\frac{M_p}{M_a} > SF_s$$

где:  $M_a$  - сдвигающий момент  
 $M_p$  - удерживающий момент  
 $SF_s$  - коэффициент надёжности

## Полигональная поверхность скольжения

Решение задачи устойчивости склона при использовании полигональной поверхности скольжения основывается на определении предельного равновесия сил, действующих на массив грунта над поверхностью скольжения. Для определения этих сил грунт над поверхностью скольжения делим на блоки плоскостями деления. Обычно эти плоскости принимаются вертикальными, но это не обязательное условие, например, метод Сарма работает с **наклонными плоскостями деления**.





### Статическая схема блока

На рисунке показаны силы, действующие на отдельные блоки грунта. Если участок над поверхностью скольжения разделен на  $n$ -ое количество блоков, то для расчёта имеем следующих  $6n-2$  неизвестных:  $n$  значений нормальных сил  $N_i$ , действующие на участках поверхности скольжения,  $n$  значений относящихся к ним поперечных сил  $T_i$ ;  $n-1$  значений нормальных сил  $E_i$  между блоками грунта,  $n-1$  значений поперечных сил  $X_i$  между блоками грунта;  $n-1$  значений  $z_i$ , определяющих точки приложения сил  $E_i$ ,  $n$  значений  $l_i$ , обозначающие точки приложения  $N_i$  и одно значение степени устойчивости  $SF$ . Значения сил  $X_i$  могут быть заменены в некоторых методах значением наклона сил  $E_i$ .

Для решения задачи равновесия имеются следующие системы уравнений:  $n$  горизонтальное и  $n$  вертикальное уравнения равновесия, записанные для отдельных блоков,  $n$  уравнения моментов равновесия для отдельных блоков и  $n$  отношения между силами  $N_i$  и  $T_i$ , развиваемыми в блоках в соответствии с теорией Мора-Кулона. В целом, имеется  $4n$  уравнений для  $6n-2$  неизвестных. Это означает, что  $2n-2$  неизвестные должны быть выбраны априори. Отдельные методы различаются способом отбора значений.

Чаще всего, выбираются точки приложения отдельных сил, действующих между блоками или их наклонями. При решении проблемы равновесия программа анализирует ее итеративно, выбранные значения должны удовлетворять равновесию и кинематической допустимости полученного решения.

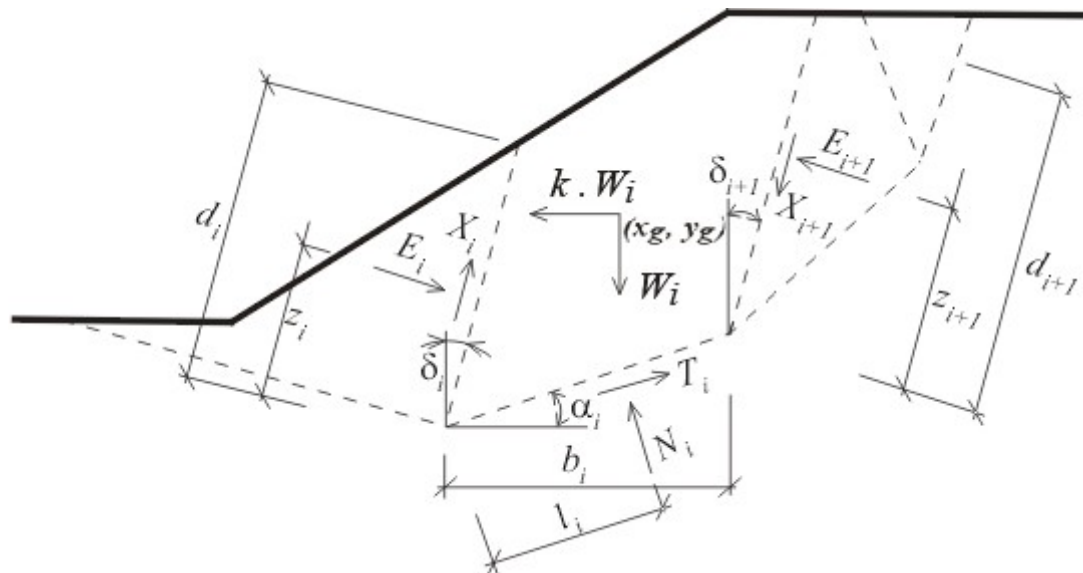
Программа позволяет выбрать один из следующих методов:

- Сарма
- Спенсера
- Джанбу
- Моргенштер-Прайса
- Шахунянц
- **Метод ITF** - Метод неуравновешенных сдвигающих сил

Можно **оптимизировать** поверхность скольжения и найти её наиболее критическое положение (самый низкий коэффициент устойчивости  $SF$  ).

## Сарма

Метод Сарма попадает в категорию общих методов предельных состояний. Он основан на выполнении условий равновесия силы и момента в отдельных блоках. Блоки создаются путем разделения участка грунта над потенциальной поверхностью скольжения плоскостями, которые могут, в принципе, могут иметь **иное наклонение**. Силы, действующие на отдельные блоки, представлены на следующем рисунке.



Статическая схема: метод Сарма

Здесь  $E_i$ ,  $X_i$  - стандартная и сдвиговая силы между блоками.  $N_i$ ,  $T_i$  - стандартная и сдвиговая силы на сегментах поверхности скольжения.  $W_i$  - вес блока, а  $K_h * W_i$  - горизонтальная сила, используемая для достижения по методу Сарма предельного состояния. В принципе, наклоненная **нагрузка** может быть введена в любой блок. Эта нагрузка включается в анализ вместе с нагрузкой вследствие действия воды, имеющий свободный уровень над поверхностью земли, а также вместе с силами в **анкерах**. Все эти силы проецируются в вертикальном и горизонтальном направлениях, которые затем суммируются в компоненты  $F_{xi}$  и  $F_{yi}$ .

$K_h$  - это постоянная коэффициента **горизонтального ускорения**, которая вводится в анализ для того, чтобы удовлетворить условие равновесия в отдельных блоках. Между  $K_h$  и коэффициентом устойчивости уклона существует отношение  $SF$ , позволяющее рассчитать коэффициент надежности. В обычных случаях анализ использует значение  $K_h$ , равное 0. Значение  $K_h$ , отличное от 0, используется для моделирования горизонтальной нагрузки, например, вследствие действия землетрясения (см. ниже).

### Процесс анализа

#### Расчет предельного равновесия

Расчет предельного равновесия требует решения  $6n-1$  неизвестных, где  $n$  - количество блоков, разделяющих участок грунта над потенциальной поверхностью скольжения. К ним относятся:

- где:
- $E_i$  - силы, развиваемые между блоками
  - $N_i$  - стандартные силы, действующие на поверхность скольжения
  - $T_i$  - силы сдвига, действующие на поверхность скольжения

- $X_i$  - силы сдвига, развиваемые между блоками  
 $z_i$  - расположение точек приложения сил  
 $l_i$  - расположение точек приложения сил  
 $K_h$  - коэффициент горизонтального ускорения

Уравнения 5n-1 могут быть использованы для определения требуемых неизвестных. К ним, в частности, относятся:

**а) уравнения равновесия горизонтальной силы на блоках:**

$$T_i \cdot \cos \alpha_i - N_i \cdot \sin \alpha_i = K_h \cdot W_i - Fx_i + X_{i+1} \cdot \sin \delta_i - X_i \cdot \sin \delta_i + E_{i+1} \cdot \cos \delta_i - E_i \cdot \cos \delta_i$$

**б) уравнения равновесия вертикальной силы на блоках:**

$$N_i \cdot \cos \alpha_i - T_i \cdot \sin \alpha_i = W_i - Fy_i + X_{i+1} \cdot \cos \delta_{i+1} - X_i \cdot \cos \delta_i - E_{i+1} \cdot \sin \delta_{i+1} + E_i \cdot \sin \delta_i$$

**с) уравнения равновесия момента на блоках:**

$$N_i \cdot l_i - X_{i+1} \cdot b_i \sec \alpha_i \cdot \cos(\alpha_i + \delta_{i+1}) + E_{i+1} [z_{i+1} + b_i \sec \alpha_i \cdot \sin(\alpha_i + \delta_{i+1})] - E_i \cdot z_i - W_i \cdot (x_{gi} - x_i) + K_h \cdot W_i \cdot (y_{gi} - y_i) - Fx_i \cdot rx_i + Fy_i \cdot ry_i = 0$$

где  $rx_i$  и  $ry_i$  - плечи сил  $Fx_i$  и  $Fy_i$

**д) отношение между нормальной и сдвиговой силами в соответствии с теорией Мора-Кулона:**

$$T_i = (N_i - U_i) \cdot \tan \varphi_i + c_i \cdot b_i \cdot \sec \alpha_i$$

$$X_i = (E_i - PW_i) \tan \bar{\varphi}_i + \bar{c}_i \cdot d_i$$

- где:
- $PW_i$  - равнодействующая сила пластового давления на разделяемых плоскостях
  - $\bar{\varphi}_i$  - среднее значение угла внутреннего трения на разделяющей плоскости
  - $\bar{c}_i$  - среднее значение сцепления на разделяющей плоскости

Очевидно, что  $n-1$  должно быть выбрано (рассчитано) априори. При оценке точки приложения сил  $E_i$  допускается относительно небольшая погрешность. После этого задача становится решаемой статистически. Решение полученной в результате системы уравнения позволяет получить значения всех оставшихся неизвестных. Главным результатом этого анализа является определение коэффициента горизонтального ускорения  $K_h$ .

**Расчет коэффициента устойчивости уклона  $SF$**

Коэффициент устойчивости уклона  $SF$  включается в анализ для того, чтобы уменьшить параметры прочности грунта  $c$  и  $tg\varphi$ . Анализ равновесия производится для приведенных параметров для получения коэффициента горизонтального ускорения  $K_h$ , соответствующего данному коэффициенту устойчивости уклона  $SF$ . Эта итерация повторяется до тех пор, пока коэффициент  $K_h$  не достигнет 0 или определенного значения.

**Воздействие внешней нагрузки**

Анализируемый уклон может быть нагружен на поверхности земли наклоненной нагрузкой, имеющей обычно трапециевидную форму. Данная нагрузка вводится в анализ

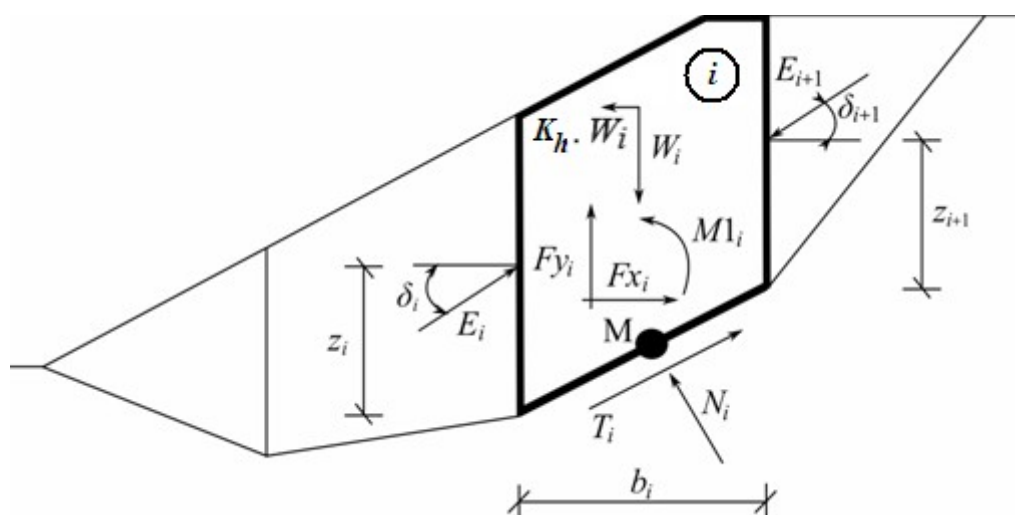
таким образом, что ее вертикальный компонент материала (если он имеет направление веса) добавляется к весу соответствующего блока. В результате изменяется вес участка и его центр тяжести. Если вертикальный компонент действует против направления тяжести, он прибавляется к силе  $F_{yi}$ . Горизонтальный компонент добавляется к силе  $F_{xi}$ .

Литература:

Sarma, S. K.: *Stability analysis of embankments and slopes*, Géotechnique 23, 423-433, 1973.

## Спенсер

Метод Спенсера является общим методом участков, разработанным на основе предельного равновесия. Он требует удовлетворения равновесия сил и моментов, действующих на отдельные блоки. Блоки создаются путем деления участка грунта над потенциальной поверхностью скольжения плоскостями. Силы, действующие на отдельные блоки, представлены на следующем рисунке.



Статическая схема: метод Спенсера

Предполагается, что каждый блок испытывает следующие усилия:

- $W_i$  - вес блока, включая напряжение материала, имеющего свойство блока, в т.ч. воздействие **коэффициента вертикального землетрясения  $K_v$**
- $K_h * W_i$  - горизонтальная инерционная сила, представляющая действие землетрясения,  $K_h$  - **коэффициент горизонтального ускорения во время землетрясения**
- $N_i$  - стандартная сила на поверхности скольжения
- $T_i$  - сила сдвига на поверхности скольжения
- $E_i, E_{i+1}$  - силы, приложенные соседними блоками, они наклонены от горизонтальной поверхности на угол  $\delta$
- $F_{xi}, F_{yi}$  - другие горизонтальные и вертикальные силы, действующие на блок
- $M_i$  - момент сил  $F_{xi}, F_{yi}$ , вращающихся вокруг точки  $M$ , которая является центром  $i$ -ого сегмента поверхности скольжения
- $U_i$  - равнодействующая пластового давления на  $i$ -ом сегменте поверхности скольжения

Для расчета предельного равновесия сил и моментов на отдельных блоках по методу Спенсера используются следующие допущения:

- разделяющие плоскости между блоками всегда вертикальны
- линия действия веса блока  $W_i$  проходит через центр  $i$ -ого сегмента поверхности скольжения, представленного точкой **M**
- стандартная сила  $N_i$  действует в центре  $i$ -ого сегмента поверхности скольжения, в точке **M**
- наклонение сил  $E_i$ , действующих между блоками, является постоянной величиной для всех блоков и равно  $\delta$ , только на крайних точках поверхности скольжения  $\delta = 0$

Решение принимает следующие выражения:

$$N_i = N'_i + U_i \quad (1)$$

$$T_i = (N_i - U_i) \tan \varphi_i + c_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} = N'_i \tan \varphi_i + c_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} \quad (2)$$

$$N'_i + U_i - W_i \cos \alpha_i + k_r W_i \sin \alpha_i + Fy_i \cos \alpha_i - Fx_i \sin \alpha_i + E_{i+1} \sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) - E_i \sin(\alpha_i - \delta_i) = 0 \quad (3)$$

$$N'_i \frac{\tan \varphi_i}{SF} + \frac{c_i}{SF \cos \alpha_i} \frac{b_i}{\cos \alpha_i} - W_i \sin \alpha_i - k_r W_i \cos \alpha_i + Fy_i \sin \alpha_i + Fx_i \cos \alpha_i - E_{i+1} \cos(\alpha_i - \delta_{i+1}) + E_i \cos(\alpha_i - \delta_i) = 0 \quad (4)$$

$$E_{i+1} \cos \delta_{i+1} \left( z_{i+1} - \frac{b_i}{2} \tan \alpha_i \right) - E_{i+1} \sin \delta_{i+1} \frac{b_i}{2} - E_i \cos \delta_i \left( z_i - \frac{b_i}{2} \tan \alpha_i \right) - E_i \sin \delta_i \frac{b_i}{2} + M1_i - k_r W_i (y_M - y_{gi}) = 0 \quad (5)$$

Уравнение (1) представляет отношение между действительным и общим значением стандартной силы, действующей на поверхность скольжения. Уравнение (2) соответствует условию Мора-Кулона, представляющего отношение между стандартной и сдвиговой силами на данном сегменте поверхности скольжения. Уравнение (3) представляет уравнение равновесия силы в направлении под прямым углом к  $i$ -ому сегменту поверхности скольжению, а уравнение (4) представляет силу равновесия вдоль  $i$ -ого сегмента поверхности скольжения.  $SF$  - коэффициент надежности, который используется для приведения параметров грунта. Уравнение (5) соответствует уравнению момента равновесия вокруг точки  $M$ , где  $y_{gi}$  - вертикальная координата точки приложения веса блока, а  $y_M$  - вертикальная координата точки  $M$ . Изменяя уравнения (3) и (4), получаем следующую рекурсивную формулу:

$$E_{i+1} = \frac{\left[ (W_i - Fy_i) \cos \alpha_i - (K_r W_i - Fx_i) \sin \alpha_i - U_i + E_i \sin(\alpha_i - \delta_i) \right] \frac{\tan \varphi_i}{SF} + \frac{c_i}{SF \cos \alpha_i} \frac{b_i}{\cos \alpha_i} - (W_i - Fy_i) \sin \alpha_i - (K_r W_i - Fx_i) \cos \alpha_i + E_i \cos(\alpha_i - \delta_i)}{\sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) \frac{\tan \varphi_i}{SF} + \cos(\alpha_i - \delta_{i+1})}$$

На основе этого отношения можно для  $\delta$  и  $SF$  постепенно вычислить все силы  $E_i$  между блоками, исходя при этом из факта, что в начале поверхности скольжения значение  $E$  известно:  $E_I = 0$ .

Из уравнения момента равновесия (5) выводится дополнительная рекурсивная формула:

$$z_{i+1} = \frac{\frac{b_i}{2} [E_{i+1}(\sin \delta_{i+1} - \cos \delta_{i+1} \tan \alpha_i) + E_i(\sin \delta_i - \cos \delta_i \tan \alpha_i)] + E_i z_i \cos \delta_i - M1_i + K_k W_i (y_M - y_{gi})}{E_{i+1} \cos \delta_{i+1}}$$

Эта формула позволяет рассчитать для данных значений  $\delta$  все плечи  $z$  сил, действующих между блоками, зная значение слева в начале поверхности скольжения, где  $z_I = 0$ .

Коэффициент надежности  $SF$  определяется при помощи следующего итерационного процесса:

1. Начальное значение  $\delta$  устанавливается равным 0,  $\delta = 0$ .
2. Коэффициент надежности  $SF$  для данного значения  $\delta$  следует из уравнения (6), при этом допускается значение  $E_{n+1} = 0$  в конце поверхности скольжения.
3. Значение  $\delta$  рассчитывается уравнением (7) с помощью значений  $E$ , определенных на предыдущем этапе при условии, что момент на последнем блоке равен 0. Уравнение (7) не определяет значение  $z_{n+1}$ , поскольку оно равно 0. Для этого значения должно выполняться уравнение момента равновесия (5).
4. Этапы 2 и 3 повторяются до тех пор, пока значение  $\delta$  не измениться.

Для обеспечения устойчивости процесса итерации необходимо избегать неустойчивых условий. Такие неустойчивости появляются в точках, где имеет место деление на 0 в выражениях (6) и (7). В уравнении (7) деление на 0 принимается для  $\delta = \pi/2$  или  $\delta = -\pi/2$ . Таким образом, значение угла  $\delta$  должно находиться в интервале  $(-\pi/2; \pi/2)$ .

Деление на 0 в выражении (6) имеет место, когда:

$$SF = \tan \varphi_i \tan(\delta_{i+1} - \alpha_i)$$

Еще одним способом предупредить цифровую неустойчивость является проверка параметра  $m_\alpha$ : должно выполняться следующее условие:

$$m_\alpha = \cos \alpha_i + \frac{\sin \alpha_i \tan \varphi_i}{SF} > 0,2$$

Таким образом, перед началом итерации необходимо найти наивысшие показатели критических значений ( $SF_{min}$ ), удовлетворяющих выше указанные условия. Значения ниже данного критического значения  $SF_{min}$  находятся в области неустойчивого решения, таким образом, итерация начинается с установки  $SF$  на значение «слегка» выше  $SF_{min}$ , и все получаемые значения  $SF$  из итерации выше, чем  $SF_{min}$ .

В общем можно сказать, что сложные методы труднее подвергаются конвергенции чем более простые методы (Bishop, Fellenius). Проблемы с конвергенцией возникают напр., на участках поверхности скольжения повышенной крутизны, сложной геометрии, при резком увеличении пригрузки и т.п. В случае, что расчёт не даёт результата, рекомендуется немного изменить задание, напр., уменьшить крутизну, в поверхность скольжения добавить больше точек и т.п. или выполнить расчёт по более простому методу.

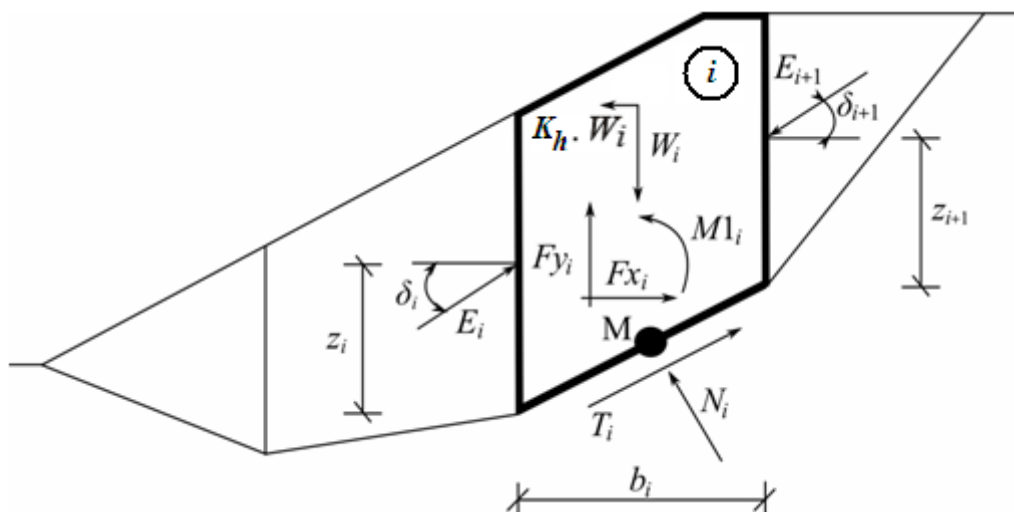
*Литература:*

Spencer, E. 1967. A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces. *Géotechnique*, 17(1): 11-26.

## Джанбу

Метод Джанбу является общим методом участков, разработанным на основе предельного равновесия. Он требует удовлетворения равновесия сил и моментов, действующих на

отдельные блоки (не удовлетворяется лишь равновесие момента на последнем самом высоком блоке). Блоки создаются путем разделения участка грунта над потенциальной поверхностью скольжения плоскостями. Силы, действующие на отдельные блоки, представлены на следующем рисунке:



Статистическая схема: метод Джанбу

Предполагается, что каждый блок испытывает следующие усиления:

- $W_i$  - вес блока, включая напряжение материала, имеющего свойство блока, в т.ч. воздействие **коэффициента вертикального землетрясения  $K_v$**
- $K_h * W_i$  - горизонтальная инерционная сила, представляющая действие землетрясения,  $K_h$  - **коэффициент горизонтального ускорения во время землетрясения**
- $N_i$  - стандартная сила на поверхности скольжения
- $T_i$  - сила сдвига на поверхности скольжения
- $E_i, E_{i+1}$  - силы, приложенные соседними блоками, они наклонены от горизонтальной поверхности на угол  $\delta_i$  и  $\delta_{i+1}$  соответственно, и находящиеся на высоте  $z_i$  и  $z_{i+1}$  соответственно над поверхностью скольжения
- $F_{xi} F_{yi}$  - другие горизонтальные и вертикальные силы, действующие на блок
- $M_i$  - момент от сил  $F_{xi}, F_{yi}$ , вращающихся вокруг точки  $M$ , которая является центром  $i$ -ого сегмента поверхности скольжения
- $U_i$  - равнодействующая пластового давления на  $i$ -ом сегменте поверхности скольжения

Для расчета предельного равновесия сил и моментов на отдельных блоках по методу Джанбу используются следующие допущения:

- разделяющие плоскости между блоками всегда вертикальны
- линия действия веса блока  $W_i$  проходит через центр  $i$ -ого сегмента поверхности скольжения, представленного точкой  $M$
- стандартная сила  $N_i$  действует в центре  $i$ -ого сегмента поверхности скольжения, в точке  $M$
- принимается положение  $z_i$  сил  $E_i$ , действующих между блоками, на конечных точках



поверхности скольжения  $z=0$

Выбор положения  $z_i$  может иметь значительное влияние на конвергенцию метода. При неверном предположении положения  $z_i$  для данного уклона, может оказаться невозможным удовлетворить условия равновесия (алгоритм не сходится). Высота  $z_i$  над поверхностью скольжения устанавливается примерно на  $1/3$  от высоты стыка между блоками. В случае неудовлетворения условий равновесия, алгоритм переносит высоты на иную позицию, т.е. немного выше в пределах пассивной зоны, около основания, и выше в пределах активной зоны, около гребня уклона.

Решение принимает следующие выражения:

$$N_i = N'_i + U_i \quad (1)$$

$$T_i = (N_i - U_i) \tan \varphi_i + c_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} = N'_i \tan \varphi_i + c_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} \quad (2)$$

$$N'_i + U_i - W_i \cdot \cos \alpha_i + K_h \cdot W_i \cdot \sin \alpha_i + Fy_i \cdot \cos \alpha_i - Fx_i \cdot \sin \alpha_i + \quad (3)$$

$$E_{i+1} \cdot \sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) - E_i \cdot \sin(\alpha_i - \delta_i) = 0$$

$$N'_i \cdot \frac{\tan \varphi_i}{FS} + \frac{c_i}{FS} \cdot \frac{b_i}{\cos \alpha_i} - W_i \cdot \sin \alpha_i - K_h \cdot W_i \cdot \cos \alpha_i + Fy_i \cdot \sin \alpha_i + \quad (4)$$

$$Fx_i \cos \alpha_i - E_{i+1} \cdot \cos(\alpha_i - \delta_{i+1}) + E_i \cdot \cos(\alpha_i - \delta_i) = 0$$

$$E_{i+1} \cdot \cos \delta_{i+1} \left( z_{i+1} - \frac{b_i}{2} \tan \alpha_i \right) - E_{i+1} \cdot \sin \delta_{i+1} \cdot \frac{b_i}{2} - \quad (5)$$

$$E_i \cdot \cos \delta_i \left( z_i - \frac{b_i}{2} \tan \alpha_i \right) - E_i \cdot \sin \delta_i \cdot \frac{b_i}{2} +$$

$$Ml_i - K_h \cdot W_i (y_M - y_{gi}) = 0$$

Уравнение (1) представляет отношение между **действительным и общим** значением стандартной силы, действующей на поверхность скольжения. Уравнение (2) соответствует условию Мора-Кулона, представляющего отношение между стандартной и сдвиговой силами на данном сегменте поверхности скольжения. Уравнение (3) представляет уравнение равновесия силы в направлении под прямым углом к  $i$ -ому сегменту поверхности скольжению, а уравнение (4) представляет силу равновесия вдоль  $i$ -ого сегмента поверхности скольжения.  $FS$  - коэффициент надежности, который используется для приведения параметров грунта. Уравнение (5) соответствует уравнению момента равновесия вокруг точки  $M$ , где  $y_{gi}$  - вертикальная координата точки приложения веса блока, а  $y_M$  - вертикальная координата точки  $M$ .

Изменяя уравнения (3) и (4), получаем следующую рекурсивную формулу (6):

$$E_{i+1} = \frac{\left[ (W_i - Fy_i) \cdot \cos \alpha_i - (K_h W_i - Fx_i) \cdot \sin \alpha_i - U_i + E_i \cdot \sin(\alpha_i - \delta_i) \right] \cdot \frac{\tan \varphi_i}{FS} + \frac{c_i}{FS} \cdot \frac{b_i}{\cos \alpha_i} - (W_i - Fy_i) \cdot \sin \alpha_i - (K_h W_i - Fx_i) \cdot \cos \alpha_i + E_i \cdot \cos(\alpha_i - \delta_i)}{\sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) \cdot \frac{\tan \varphi_i}{FS} + \cos(\alpha_i - \delta_{i+1})} \quad (6)$$

Эта формула позволяет рассчитать все силы  $E_i$ , действующие между блоками для данных значений  $\delta$  и  $FS$ . Это решение допускает, что в начале поверхности скольжения значение  $E$  известно и равно  $E_I = 0$ .

Формула для расчета угла  $\delta_i$  (7) выводится из уравнения момента равновесия (5):

$$\delta_{i+1} = \arctan\left(\frac{2 \cdot z_{i+1}}{b_i} + \tan \alpha_i\right) - \arcsin \frac{E_i \left( \cos \delta_i \left( z_i - \frac{b_i \cdot \tan \alpha_i}{2} \right) + \sin \delta_i \cdot \frac{b_i}{2} \right) - M1_i}{E_{i+1} \sqrt{\left( z_{i+1} + \frac{b_i \cdot \tan \alpha_i}{2} \right)^2 + \left( \frac{b_i}{2} \right)^2}} \quad (7)$$

Эта формула позволяет рассчитать углы  $\delta_i$  для всех значений  $z_i$ , зная значения в конечных точках поверхности скольжения  $\delta = 0$ .

Коэффициент надежности  $SF$  определяется при помощи следующего итерационного процесса:

1. Начальное значение углов устанавливается на 0,  $\delta_i = 0$ , а положения  $z_i$  - на примерно 1/3 высоты стыка.
2. Коэффициент надежности  $SF$  для данного значения  $\delta_i$  следует из уравнения (6), при этом допускается значение  $E_{n+1} = 0$  в конце поверхности скольжения.
3. Значение  $\delta_i$  рассчитывается уравнением (7) с помощью значений  $E_i$ , определенных на предыдущем этапе.
4. Этапы 2 и 3 повторяются до тех пор, пока значение  $FS$  не измениться.

Для обеспечения успешного процесса итерации необходимо избегать неустойчивых условий. Такие нестабильности появляются в точках, где имеет место деление на 0 в выражении (6), например:

$$FS = \tan \varphi_i \cdot \tan(\delta_{i+1} - \alpha_i)$$

Еще одним способом предупредить цифровую нестабильность является проверка параметра  $m_\alpha$ : должно выполняться следующее условие:

$$m_\alpha = \cos \alpha_i + \frac{\sin \alpha_i \cdot \tan \varphi_i}{FS} > 0,2$$

Таким образом, перед началом итерации необходимо найти наивысшие показатели критических значений ( $SF_{min}$ ), удовлетворяющих выше указанные условия. Значения

ниже данного критического значения  $SF_{min}$  находятся в области неустойчивого решения, таким образом, итерация начинается с установки  $SF$  на значение «слегка» выше  $SF_{min}$ , и все получаемые значения  $SF$  из итерации выше, чем  $SF_{min}$ .

В общем можно сказать, что сложные методы труднее подвергаются конвергенции чем более простые методы (Bishop, Fellenius). Проблемы с конвергенцией возникают напр., на участках поверхности скольжения повышенной крутизны, сложной геометрии, при резком увеличении пригрузки и т.п. В случае, что расчёт не даёт результата, рекомендуется немного изменить задание, напр., уменьшить крутизну, в поверхность скольжения добавить больше точек и т.п. или выполнить расчёт по более простому методу.

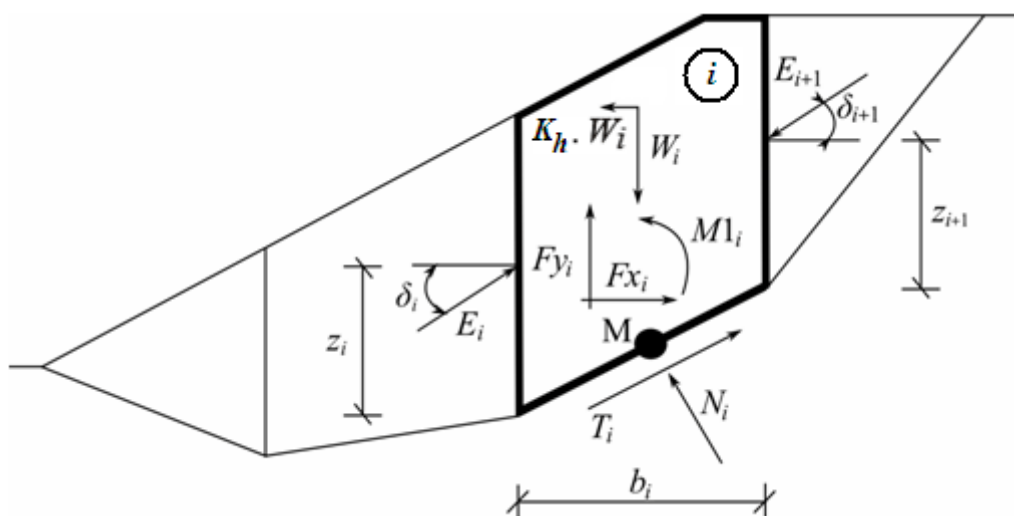
*Литература:*

Janbu, N. 1954. *Application of Composite Slip Surface for Stability Analysis*. European Conference on Stability Analysis, Stockholm, Sweden.

Janbu, N. 1973. *Slope Stability Computations*. Embankment Dam Engineering - Casagrande Volume, R.C. Hirschfeld and S.J. Poulos, eds., John Wiley and Sons, New York, pp 47-86.

## Моргенштерн-Прайс

Метод Моргенштерн-Прайса является общим методом участков, разработанным на основе предельного равновесия. Он требует удовлетворения равновесия сил и моментов, действующих на отдельные блоки (не удовлетворяется лишь равновесие момента на последнем самом высоком блоке). Блоки создаются путем деления участка грунта над потенциальной поверхностью скольжения плоскостями. Силы, действующие на отдельные блоки, представлены на следующем рисунке:



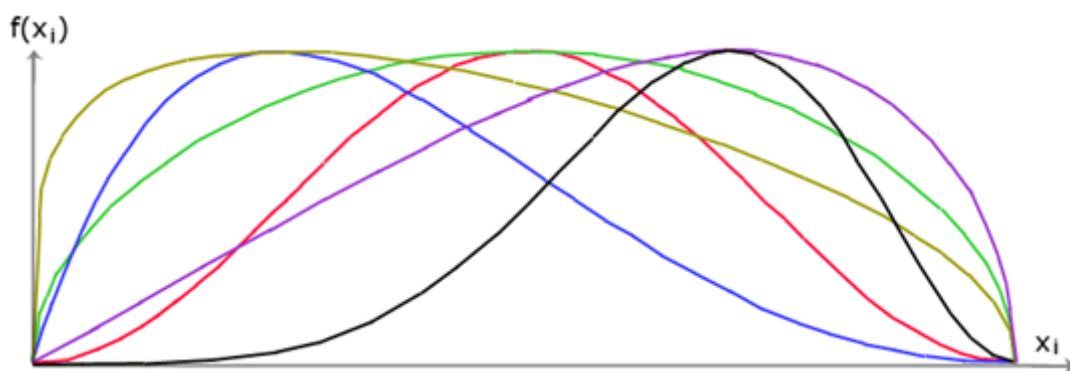
Статистическая схема: метод Моргенштерн-Прайса

Предполагается, что каждый блок испытывает те же усиления, что и в методе **Спенсера**. Для расчета предельного равновесия сил и моментов на отдельных блоках по методу Моргенштерн-Прайса используются следующие допущения:

- разделяющие плоскости между блоками всегда вертикальны
- линия действия веса блока  $W_i$  проходит через центр  $i$ -ого сегмента поверхности скольжения, представленного точкой  $M$
- стандартная сила  $N_i$  действует в центре  $i$ -ого сегмента поверхности скольжения, в точке  $M$

- наклонение сил  $E_i$ , действующих между блоками, различно на каждом блок ( $\delta_i$ ), на крайних точках поверхности скольжения  $\delta = 0$

Единственное различие между методами **Спенсера** и Моргенштерн-Прайса состоит в указанных выше предположениях. Выбор углов наклона  $\delta_i$  сил  $E_i$ , действующих между блоками, представлен с помощью функции полу-синуса: на рисунке показана одна из выбранных автоматически функций. Выбор формы функции оказывает незначительное влияние на конечные результаты, но правильно сделанный выбор может повысить конвергентность метода. Функциональное значение функции полу-синуса  $f(x_i)$  на граничной точке  $x_i$ , умноженное на величину  $\lambda$ , дает значение угла наклона  $\delta_i$ .



Функция полу-синуса

Решение принимает следующие выражения (как метод **Спенсера**):

$$N_i = N'_i + U_i \quad (1)$$

$$T_i = (N_i - U_i) \tan \varphi_i + c_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} = N'_i \tan \varphi_i + c_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} \quad (2)$$

$$N'_i + U_i - W_i \cdot \cos \alpha_i + K_h \cdot W_i \cdot \sin \alpha_i + Fy_i \cdot \cos \alpha_i - Fx_i \cdot \sin \alpha_i + \quad (3)$$

$$E_{i+1} \cdot \sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) - E_i \cdot \sin(\alpha_i - \delta_i) = 0$$

$$N'_i \cdot \frac{\tan \varphi_i}{FS} + \frac{c_i}{FS} \cdot \frac{b_i}{\cos \alpha_i} - W_i \cdot \sin \alpha_i - K_h \cdot W_i \cdot \cos \alpha_i + Fy_i \cdot \sin \alpha_i + \quad (4)$$

$$Fx_i \cos \alpha_i - E_{i+1} \cdot \cos(\alpha_i - \delta_{i+1}) + E_i \cdot \cos(\alpha_i - \delta_i) = 0$$

$$E_{i+1} \cdot \cos \delta_{i+1} \left( z_{i+1} - \frac{b_i}{2} \tan \alpha_i \right) - E_{i+1} \cdot \sin \delta_{i+1} \cdot \frac{b_i}{2} - \quad (5)$$

$$E_i \cdot \cos \delta_i \left( z_i - \frac{b_i}{2} \tan \alpha_i \right) - E_i \cdot \sin \delta_i \cdot \frac{b_i}{2} +$$

$$M1_i - K_h \cdot W_i (y_M - y_{gi}) = 0$$

- (1) отношение между действительным и общим значением стандартной силы, действующей на поверхность скольжения
- (2) условие Мора-Кулона, представляющее отношение между стандартной и сдвиговой силами на данном сегменте поверхности скольжения ( $N_i$  и  $T_i$ )
- (3) уравнение равновесия силы в направлении под прямым углом к  $i$ -ому сегменту поверхности скольжению
- (4) уравнение силы равновесия вдоль  $i$ -ого сегмента поверхности скольжения
- (5) уравнение момента равновесия вокруг точки  $M$

Изменяя уравнения (3) и (4), получаем следующую рекурсивную формулу (6):

$$E_{i+1} = \frac{\left[ (W_i - Fy_i) \cdot \cos \alpha_i - (K_h W_i - Fx_i) \cdot \sin \alpha_i - U_i + E_i \cdot \sin(\alpha_i - \delta_i) \right] \cdot \frac{\tan \varphi_i}{FS} + \frac{c_i}{FS} \cdot \frac{b_i}{\cos \alpha_i} - (W_i - Fy_i) \cdot \sin \alpha_i - (K_h W_i - Fx_i) \cdot \cos \alpha_i + E_i \cdot \cos(\alpha_i - \delta_i)}{\sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) \cdot \frac{\tan \varphi_i}{FS} + \cos(\alpha_i - \delta_{i+1})} \quad (6)$$

Эта формула позволяет рассчитать все силы  $E_i$ , действующие между блоками для данных значений  $\delta$  и  $FS$ . Это решение допускает, что в начале поверхности скольжения значение  $E$  известно и равно  $E_I = 0$ .

Дополнительная формула для расчета угла  $\delta_i$  (7) выводится из уравнения момента равновесия (5):

$$z_{i+1} = \frac{\frac{b_i}{2} \cdot [E_{i+1} (\sin \delta_{i+1} - \cos \delta_{i+1} \cdot \tan \alpha_i) + E_i (\sin \delta_i - \cos \delta_i \cdot \tan \alpha_i)] + E_i \cdot z_i \cdot \cos \delta_i - M1_i + K_h W_i \cdot (y_M - y_{\text{гг}})}{E_{i+1} \cdot \cos \delta_{i+1}} \quad (7)$$

Эта формула позволяет рассчитать для данных значений  $\delta_i$  все плечи  $z_i$  сил, действующих между блоками, зная значение слева в начале поверхности скольжения, где  $z_I = 0$ .

Коэффициент надежности  $FS$  определяется при помощи следующего итерационного процесса:

- Начальное значение  $\delta_i$  устанавливается в соответствии с функцией полу-синуса ( $\delta_i = \lambda * f(x_i)$ ).
- Коэффициент надежности  $SF$  для данного значения  $\delta_i$  следует из уравнения (6), при этом допускается значение  $E_{n+1} = 0$  в конце поверхности скольжения.
- Значение  $\delta_i$  рассчитывается уравнением (7) с помощью значений  $E_i$ , определенных на предыдущем этапе при условии, что момент на последнем блоке равен 0. Функциональные значения  $f(x_i)$  остаются неизменными на протяжении всей итерации, вычисляется лишь величина  $\lambda$ . Уравнение (7) не определяет значение  $z_{n+1}$ , поскольку оно равно 0. Для этого значения должно выполняться уравнение момента равновесия (5).



4. Этапы **2** и **3** повторяются до тех пор, пока значение  $\delta_i$  (соответственно величина  $\lambda$ ) не измениться.

Для обеспечения устойчивости процесса итерации необходимо избегать неустойчивых условий. Такие неустойчивости появляются в точках, где имеет место деление на 0 в выражениях (6) и (7). В уравнении (7) деление на 0 принимается для  $\delta = \pi/2$  или  $\delta = -\pi/2$ . Таким образом, значение угла  $\delta_i$  должно находиться в интервале  $(-\pi/2; \pi/2)$ .

Деление на 0 в выражении (6) имеет место, когда:

$$FS = \tan \varphi_i \cdot \tan (\delta_{i+1} - \alpha_i)$$

Еще одним способом предупредить цифровую неустойчивость является проверка параметра  $m_\alpha$ : должно выполняться следующее условие:

$$m_\alpha = \cos \alpha_i + \frac{\sin \alpha_i \cdot \tan \varphi_i}{FS} > 0,2$$

Таким образом, перед началом итерации необходимо найти наивысшие показатели критических значений ( $SF_{min}$ ), удовлетворяющих выше указанные условия. Значения ниже данного критического значения  $SF_{min}$  находятся в области неустойчивого решения, таким образом, итерация начинается с установки  $SF$  на значение «слегка» выше  $SF_{min}$ , и все получаемые значения  $SF$  из итерации выше, чем  $SF_{min}$ .

В общем можно сказать, что сложные методы труднее подвергаются конвергенции чем более простые методы (Bishop, Fellenius). Проблемы с конвергенцией возникают напр., на участках поверхности скольжения повышенной крутизны, сложной геометрии, при резком увеличении пригрузки и т.п. В случае, что расчёт не даёт результата, рекомендуется немного изменить задание, напр., уменьшить крутизну, в поверхность скольжения добавить больше точек и т.п. или выполнить расчёт по более простому методу.

*Литература:*

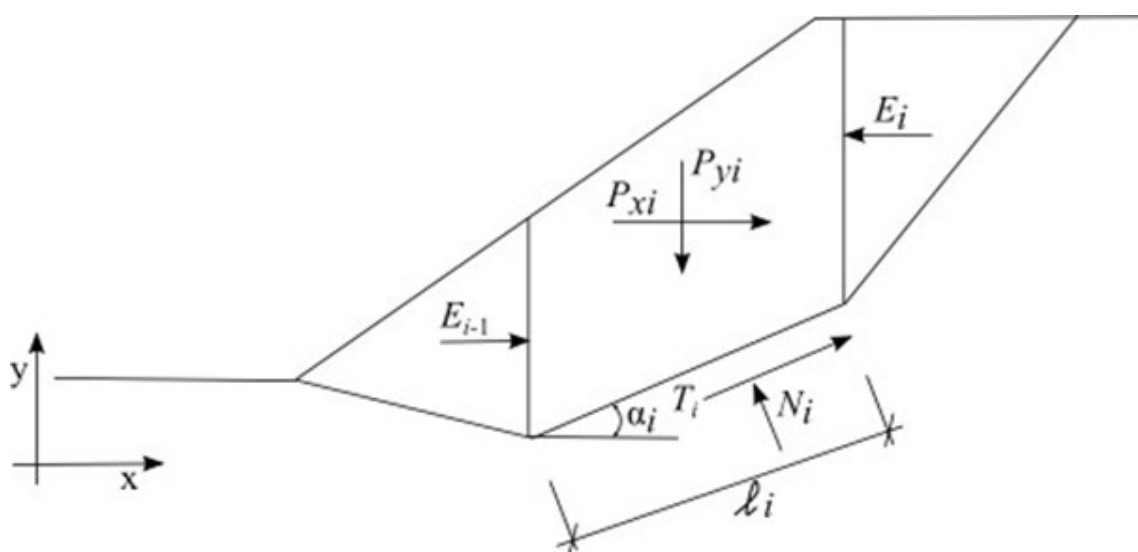
Morgenstern, N.R., and Price, V.E. 1965. The analysis of the stability of general slip surfaces. *Géotechnique*, 15(1): 79-93.

Morgenstern, N.R., and Price, V.E. 1967. A numerical method for solving the equations of stability of general slip surfaces. *Computer Journal*, 9: 388-393.

Zhu, D.Y., Lee, C.F., Qian, Q.H., and Chen, G.R. 2005. A concise algorithm for computing the factor of safety using the Morgenstern-Price method. *Canadian Geotechnical Journal*, 42(1): 272-278.

## Шахунянц

Метод Шахунянца - это общий метод отсеков предельного равновесия, основанный на выполнении условия равновесия сил на отдельных блоках. Блоки образуются в результате разбивки области над поверхностью скольжения плоскостями сечения. Статическая схема блоков и сил, действующих на них отображена на рисунке:



Статическая схема - Метод Шахунянца

На каждом блоке предполагается воздействие следующих сил:

- где:
- $P_{yi}$  - вертикальная равнодействующая сил на блоке ( вес блока, пригрузка блока, сеймика, усилие анкеров, ...)
  - $P_{xi}$  - горизонтальная равнодействующая сил на блоке (пригрузка блока, сеймика, усилие анкеров, армировка грунта, ...)
  - $E_{i+1}, E_i$  - силы между блоками
  - $N_i$  - реакция под блоком в перпендикулярном направлении к отсеку поверхности скольжения
  - $T_i$  - сила трения на отсеке поверхности скольжения
  - $\alpha_i$  - угол наклона отсека поверхности скольжения
  - $l_i$  - длина отсека поверхности скольжения

Для расчёта предельного равновесия сил на блоках метод Шахунянца вводит следующие предпосылки:

- поверхности разделяющие блоки всегда вертикальны
- наклон межблочных сил  $E_i$  равен нулю, силы действуют в горизонтальном направлении

#### Порядок решения:

Силы  $P_{yi}$  и  $P_{xi}$  при помощи отношений (1), (2) трансформируются в направления сил  $T_i$  и  $N_i$ . При этом для угла  $\alpha_i$  со знаком + (одинаково на схеме) сила  $P_{Ni}$  направлена против силы  $N_i$ , и сила  $P_{Qi}$  направлена против силы  $T_i$ .

$$P_{Ni} = P_{xi} \sin \alpha_i + P_{yi} \cos \alpha_i$$

(1)

$$P_{Qi} = P_{yi} \sin \alpha_i - P_{xi} \cos \alpha_i$$

(2)

На отсеке поверхности скольжения между силами действует отношение:



$$T_i = (N_i - U_i) \tan \varphi_i + c_i l_i \quad (3)$$

где:  $U_i$  - поровое давление на отсеке поверхности скольжения

На блоке действуют условия сложения равновесия:

Условие в перпендикулярном направлении к отсеку поверхности скольжения:

$$N_i = P_{Ni} + E_{i-1} \sin \alpha_i - E_i \sin \alpha_i \quad (4)$$

Условие в горизонтальном направлении к отсеку поверхности скольжения:

$$T_i = P_{Qi} + E_i \cos \alpha_i - E_{i-1} \cos \alpha_i \quad (5)$$

Подставляя отношение (3) в уравнение (5), получаем уравнение:

$$(N_i - U_i) \tan \varphi_i + c_i l_i = P_{Qi} + E_i \cos \alpha_i - E_{i-1} \cos \alpha_i \quad (6)$$

Далее, подставлением отношения (4) в уравнение (6) получаем уравнение:

$$(P_{Ni} + E_{i-1} \sin \alpha_i - E_i \sin \alpha_i - U_i) \tan \varphi_i + c_i l_i = P_{Qi} + E_i \cos \alpha_i - E_{i-1} \cos \alpha_i \quad (7)$$

После преобразований:

$$\begin{aligned} (P_{Ni} - U_i) \tan \varphi_i + (E_{i-1} - E_i) \sin \alpha_i \tan \varphi_i + c_i l_i &= P_{Qi} + (E_i - E_{i-1}) \cos \alpha_i \\ (P_{Ni} - U_i) \tan \varphi_i + c_i l_i - P_{Qi} &= (E_i - E_{i-1})(\cos \alpha_i + \sin \alpha_i \tan \varphi_i) \end{aligned} \quad (8)$$

Применением математического отношения:

$$\cos \alpha + \sin \alpha \tan \beta = \frac{\cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta}{\cos \beta} = \frac{\cos(\alpha - \beta)}{\cos \beta} \quad (9)$$

уравнение (8) принимает вид:

$$(P_{Ni} - U_i) \tan \varphi_i + c_i l_i - P_{Qi} = (E_i - E_{i-1}) \frac{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}{\cos \varphi_i} \quad (10)$$

Из последующих преобразований:

$$(P_{Ni} - U_i) \tan \varphi_i + c_i l_i - P_{Qi} + E_{i-1} \frac{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}{\cos \varphi_i} = E_i \frac{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}{\cos \varphi_i} \quad (11)$$

вытекает рекуррентное отношение для межблочных сил  $E_i$ :

$$E_i = \frac{[(P_{Ni} - U_i) \tan \varphi_i + c_i l_i - P_{Qi}] \cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)} + E_{i-1} \quad (12)$$

На этом этапе в расчёт вводится коэффициент устойчивости склона  $K_u$ . Коэффициент устойчивости - это значение, с помощью которого силы, действующие на отдельные блоки грунта приведены в состояние предельного равновесия. Предельное равновесие достигается тем, что на коэффициент устойчивости переумножаются активные силы, т.е. силы, воздействие которых способствует движению массива над поверхностью скольжения по направлению вниз. Активные силы в выражении (12) отражены в члене  $P_{Qi}$ . В нём находятся и активные силы, которые способствуют сползанию блока, но также и силы, удерживающие блок от сползания. Активные силы, способствующие сползанию имеют условное обозначение  $P_{Qi,sd}$ , силы, удерживающие сползание блока получают обозначение  $P_{Qi,ud}$ . Следовательно отношение (12) приобретает вид:

$$E_i = \frac{[(P_{Ni} - U_i) \tan \varphi_i + c_i l_i - K_u P_{Qi,sd} - P_{Qi,ud}] \cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)} + E_{i-1} \quad (13)$$

При значении  $P_{Qi}$  со знаком +, сила способствует оползанию склона и будет рассмотрена как активная сила  $P_{Qi,sd}$ . При значении  $P_{Qi}$  со знаком -, сила удерживает сползание склона и будет рассмотрена как  $P_{Qi,ud}$ . Следовательно, вычитание значения  $P_{Qi,ud}$  со знаком - в выражении (13) - это фактическое прибавление плюсового значения, следовательно, можно формально записать:

$$E_i = \frac{[(P_{Ni} - U_i) \tan \varphi_i + c_i l_i - K_u P_{Qi,sd} + |P_{Qi,ud}|] \cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)} + E_{i-1} \quad (14)$$

В начале поверхности скольжения значение равно  $E_0 = 0$ . Следовательно, для значения  $E_1$  действует:

$$E_1 = \frac{[(P_{N1} - U_1) \tan \varphi_1 + c_1 l_1 - K_u P_{Q1,sd} + |P_{Q1,ud}|] \cos \varphi_1}{\cos(\alpha_1 - \varphi_1)} \quad (15)$$

Значение  $E_2$ , следовательно, представлено:

$$E_2 = \frac{[(P_{N2} - U_2) \tan \varphi_2 + c_2 l_2 - K_u P_{Q2,sd} + |P_{Q2,ud}|] \cos \varphi_2}{\cos(\alpha_2 - \varphi_2)} + \frac{[(P_{N1} - U_1) \tan \varphi_1 + c_1 l_1 - K_u P_{Q1,sd} + |P_{Q1,ud}|] \cos \varphi_1}{\cos(\alpha_1 - \varphi_1)} \quad (16)$$

Подобным образом можно определить значения всех остальных межблочных сил, причём соблюдается правило, что на последнем блоке в конце поверхности скольжения должно равняться  $E_n = 0$ . В соответствии с предыдущими отношениями это можно записать:

$$E_n = \sum_{i=1}^n [(P_{Ni} - U_i) \tan \varphi_i + c_i l_i + |P_{Qi,ud}|] \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)} - K_u \sum_{i=1}^n P_{Qi,sd} \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)} = 0$$

(17)

Из данного уравнения прямо вытекает выражение для расчёта коэффициента устойчивости  $K_u$ :

$$K_u = \frac{\sum_{i=1}^n [(P_{Ni} - U_i) \tan \varphi_i + c_i l_i + |P_{Qi,ud}|] \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}}{\sum_{i=1}^n P_{Qi,sd} \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}} \quad (18)$$

## Метод ITF (Imbalance Thrust Force Method)

Метод неуравновешенных сдвигающих сил - это метод предельного равновесия. Он основан на условии равновесия проекций сил на отдельных блоках и не рассматривает условие равновесия моментов. Принцип метода и установленные предположения показаны на рисунке 1.

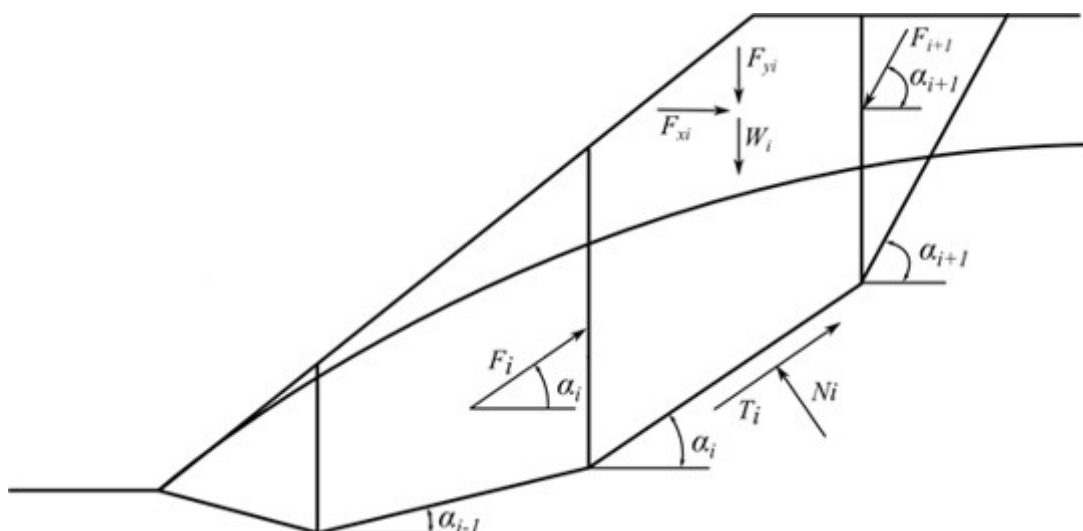


Fig. 1 Forces acting on a block - ITF Method

Consider the following assumptions to concerning the forces acting on the block:

- where:
- $W_i$  - weight of the  $i^{th}$  block, the weight of a part of the block below the ground water is determined from the saturated unit weight of soil  $\gamma_{sat}$
  - $F_{yi}$  - represents the remaining vertical load acting on the block
  - $F_{xi}$  - represents the remaining horizontal load acting on the block
  - $F_i, F_{i+1}$  - forces acting between blocks along directions given by angles  $\alpha_i$  and  $\alpha_{i+1}$

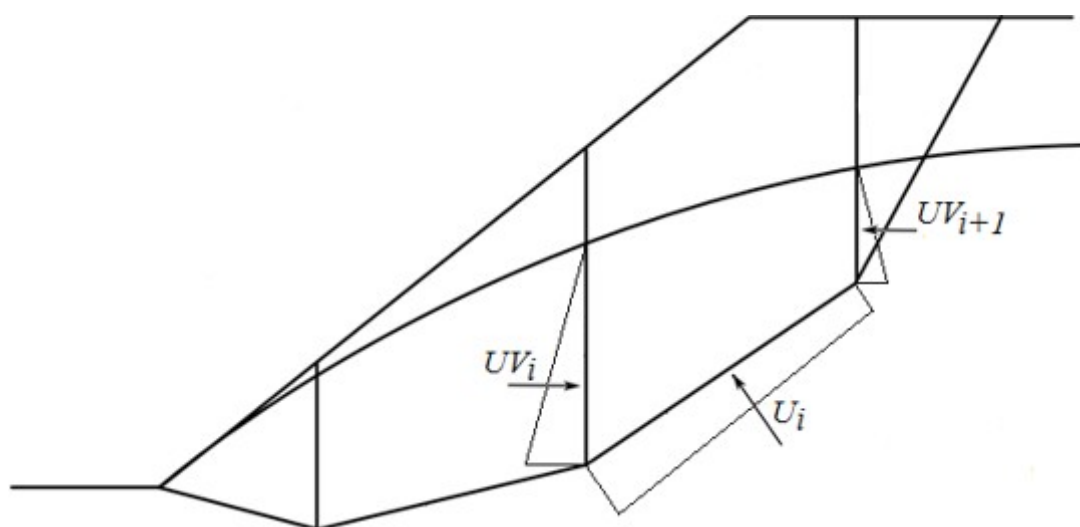


Fig. 2 Scheme of pore pressure action on block

$U_i$  - pore pressure resultant on slip surface segment

$UV_i, UV_{i+1}$  - pore pressure resultants on dividing planes between blocks  
 $l$

The forces  $UV_i$  and  $UV_{i+1}$  are included in horizontal forces  $Fx_i$ .

The force equation of equilibrium in the direction normal to the segment of the slip surface provides:

$$N_i = (W_i + Fy_i) \cos \alpha_i + Fx_i \sin \alpha + F_{i+1} \sin(\alpha_{i+1} - \alpha_i) - U_i \quad (1)$$

The forces on the segment of a slip surface are related by

$$T_i = N_i \tan \varphi_i + c_i l_i \quad (2)$$

where:  $\varphi_i$  - angle of internal friction of soil

$c_i$  - soil cohesion

$l_i$  - length of the slip surface segment associated with the  $i^{th}$  block

The force equation of equilibrium in the direction of the  $i^{th}$  segment of the slip surface (given by angle  $\alpha_i$ ) yields the force  $F_i$  acting between blocks in the form:

$$F_i = (W_i + Fy_i) \sin \alpha_i - Fx_i \cos \alpha_i - T_i + F_{i+1} \cos(\alpha_{i+1} - \alpha_i) \quad (3)$$

Introducing Eqs.(1) and (2) into Eq. (3) provides:

$$\begin{aligned} F_i = & (W_i + Fy_i) \sin \alpha_i - Fx_i \cos \alpha_i - \\ & - \left\{ (W_i + Fy_i) \cos \alpha_i + Fx_i \sin \alpha_i + F_{i+1} \sin(\alpha_{i+1} - \alpha_i) - U_i \right\} \tan \varphi_i + c_i l_i \} + \\ & + F_{i+1} \cos(\alpha_{i+1} - \alpha_i) \end{aligned}$$

and after some formal algebra we arrive at the resulting form of the equation of equilibrium as:

$$F_i = (W_i + Fy_i) \sin \alpha_i - Fx_i \cos \alpha_i - \{[(W_i + Fy_i) \cos \alpha_i + Fx_i \sin \alpha_i - U_i] \tan \varphi_i + c_i l_i\} + F_{i+1} [\cos(\alpha_{i+1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i+1} - \alpha_i) \tan \varphi_i] \quad (4)$$

The equilibrium condition will be fulfilled by introducing the factor of safety  $SFS$  into the analysis such that the strength parameters of a given soil  $c$  and  $\tan \varphi$  are divided by this value. Eq. (4) then becomes

$$F_i = (W_i + Fy_i) \sin \alpha_i - Fx_i \cos \alpha_i - \{[(W_i + Fy_i) \cos \alpha_i + Fx_i \sin \alpha_i - U_i] \tan \varphi_i + c_i l_i\} / SF + F_{i+1} [\cos(\alpha_{i+1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i+1} - \alpha_i) \tan \varphi_i / SF] \quad (5)$$

Eq. (5) then gives the searched factor of safety  $SF$  through the process of iteration. This process proceeds such that the force  $F_n$  equal to  $0 \text{ kN}$  is applied at the highest (end) point of the slip surface. The forces  $F_i$  acting in between blocks are determined for a given value of the factor of safety  $SF$  from Eq. (5). This step is repeated for various values of  $SF$  until we find such  $SF$  for which the force  $F_0$  at the slope base becomes equal to  $0 \text{ kN}$ . No tension is assumed along the slip surface. If the equilibrium condition requires the value of normal force  $N_i$  being negative, which means that the soil is loaded in tension, then the value of this force is set equal to zero in the next iteration step and the shear force  $T_i$  acting on a given segment is determined based on the soil cohesion only.

The ITF method is quite sensitive with respect to the shape of the slip surface. In case the slip surface contains sharp segment discontinuities the resulting factor of safety is generally larger as compare to reality. It is recommended that the slope difference between adjacent segments of the slip surface be less than  $10^\circ$ . This is checked automatically by the program and if the slope difference is found greater the programs prompts a warning that the results might be overestimated. This is usually not the problem of a circular slip surface but should be kept in mind in case of polygonal slip surfaces.

### ITF Method - explicit solution

The explicit solution of the ITF method assumes a different way of introducing the factor of safety into the analysis. The mathematical solution then does not require iterations and the resulting factor of safety is calculated directly in one step. With this approach the resulting factor of safety is typically higher which may the solution totally devalued, particularly in cases concerning polygonal slip surfaces with large slope differences of adjacent segments.

The solution exploits Eq. (4) to which the factor of safety  $SF$  is introduced such that it multiplies the active components of forces, i.e. the components acting in the sliding direction. The equilibrium condition then becomes :

$$F_i = [(W_i + Fy_i) \sin \alpha_i - Fx_i \cos \alpha_i] SF - \{[(W_i + Fy_i) \cos \alpha_i + Fx_i \sin \alpha_i - U_i] \tan \varphi_i + c_i l_i\} + F_{i+1} [\cos(\alpha_{i+1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i+1} - \alpha_i) \tan \varphi_i] \quad (6)$$

For lucidity we introduce the component of active forces as:

$$A_i = (W_i + Fy_i) \sin \alpha_i - Fx_i \cos \alpha_i$$

and next the component of passive forces as:

$$P_i = [(W_i + Fy_i) \cos \alpha_i + Fx_i \sin \alpha_i - U_i] \tan \varphi_i + c_i l_i$$

and an auxiliary function:

$$\psi_i = \cos(\alpha_{i+1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i+1} - \alpha_i) \tan \varphi_i$$

Eq. (6) can be then written in more compact form as:

$$F_i = A_i SF - P_i + F_{i+1} \psi_{i+1} \quad (7)$$

The next step assumes the known force  $F_n=0$  to provide expressions of forces between blocks  $F$  in the form:

$$\begin{aligned} F_{n-1} &= A_{n-1} SF - P_{n-1} \\ F_{n-2} &= A_{n-2} SF - P_{n-2} + (A_{n-1} SF - P_{n-1}) \psi_{n-1} \\ F_{n-3} &= A_{n-3} SF - P_{n-3} + (A_{n-2} SF - P_{n-2}) \psi_{n-2} + (A_{n-1} SF - P_{n-1}) \psi_{n-1} \psi_{n-2} \end{aligned}$$

Etc....

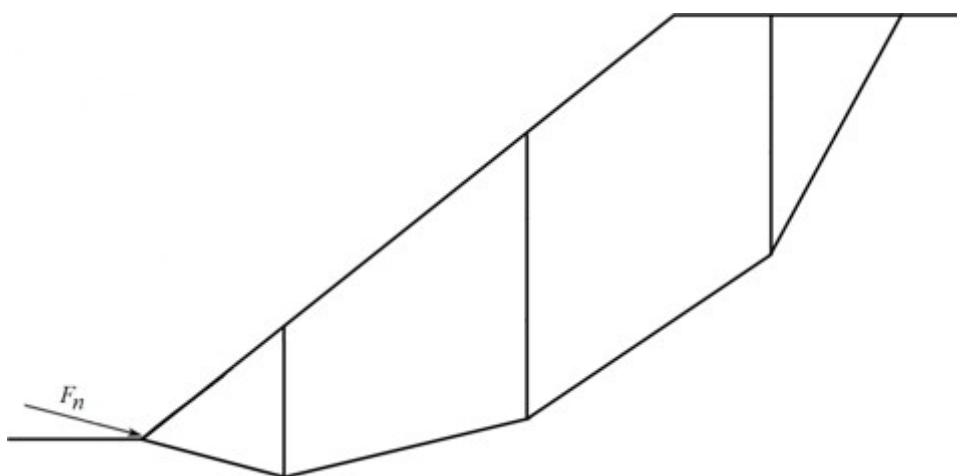
$$F_0 = \left[ A_0 + \sum_{i=1}^{n-1} \left( A_i \prod_{j=1}^i \psi_j \right) \right] SF - P_0 - \sum_{i=1}^{n-1} \left( P_i \prod_{j=1}^i \psi_j \right) \quad (8)$$

And since the force on the bottom origin of the slip surface should be equal to 0 kN, we get the final form of the factor of safety  $SF$  as:

$$SF = \frac{P_0 + \sum_{i=1}^{n-1} \left( P_i \prod_{j=1}^i \psi_j \right)}{A_0 + \sum_{i=1}^{n-1} \left( A_i \prod_{j=1}^i \psi_j \right)} \quad (9)$$

## Стабилизирующее усилие в подошве поверхности скольжения

При неудовлетворительной устойчивости откоса (степень устойчивости меньше, чем требуемое значение), рассчитываем по методу ITF так наз. стабилизирующую силу. Силу вводим так, чтобы действовала в подошве поверхности скольжения в касательном направлении относительно поверхности скольжения. Величина силы рассчитана из равновесия сил и приводит откос в состояние предельного равновесия при заданном значении степени устойчивости. См. рис.



### Стабилизирующее усилие $F_n$

Значение стабилизирующего усилия можно использовать в качестве критерия оптимизации. Оптимизация выполняется путем поиска поверхности скольжения, при которой получаем наиболее низкое значение степени устойчивости. В случае неудовлетворяющего наклона откоса, для вычисленной степени устойчивости всегда рассчитываем соответствующее значение стабилизирующей силы в подошве. По практическим соображениям полезно узнать поверхность скольжения, которая хотя и не обладает наиболее низким значением степени устойчивости, но для её стабилизации получаем самое большое значение стабилизирующего усилия в подошве. В таком случае оптимизация предлагает расчет, в котором критерием для нахождения поверхности скольжения является именно величина этой стабилизирующей силы. Такой способ оптимизации применим только в случае, когда имеем неудовлетворительную устойчивость откоса, т.к. при удовлетворительных откосах величину стабилизирующей силы не рассчитываем. Для удовлетворяющего откоса оптимизацию выполняем всегда только по степени устойчивости.

## Оптимизация полигональной поверхности скольжения

Оптимизация поверхности скольжения проходит так что программа последовательно меняет положения отдельных точек поверхности и проверяет, какое изменение положения данной точки приводит к самому большому понижению устойчивости  $SF$ . Крайние точки поверхности скольжения сдвигаются по поверхности рельефа, внутренние точки перемещаются в вертикальном и горизонтальном направлениях. Шаг сдвига изначально выбирается как  $1/10$  наименьшего расстояния соседних точек поверхности скольжения. С каждым новым расчетом размер шага сокращается наполовину. Положение точек поверхности скольжения последовательно оптимизируется слева направо и оптимизация завершается в момент, когда в последнем расчете не сдвинута ни одна точка.

На процесс оптимизации полигональной поверхности скольжения может оказать влияние **локальный минимум** степени устойчивости (развивается постепенное движение узловых точек), поэтому процесс не всегда приводит к нахождению критической поверхности скольжения. В случае сложного профиля склона (откоса) целесообразно задавать оптимизацию нескольких исходных положений поверхности скольжения. Также рекомендуется использование в сочетании с процессом оптимизации кругло-цилиндрической поверхности скольжения, а именно сперва рассчитать критическую поверхность (-и) скольжения на кругло-цилиндрической поверхности. Далее, в случае полигональной поверхности скольжения, полученные результаты используются в качестве исходных для оптимизации.

Процесс оптимизации может быть **ограничен некоторыми ограничивающими условиями**, что целесообразно, напр., когда искомая поверхность скольжения должна проходить, или, наоборот, обходить, некую область. Ограничение оптимизации для полигональной поверхности скольжения можно сделать двумя способами.

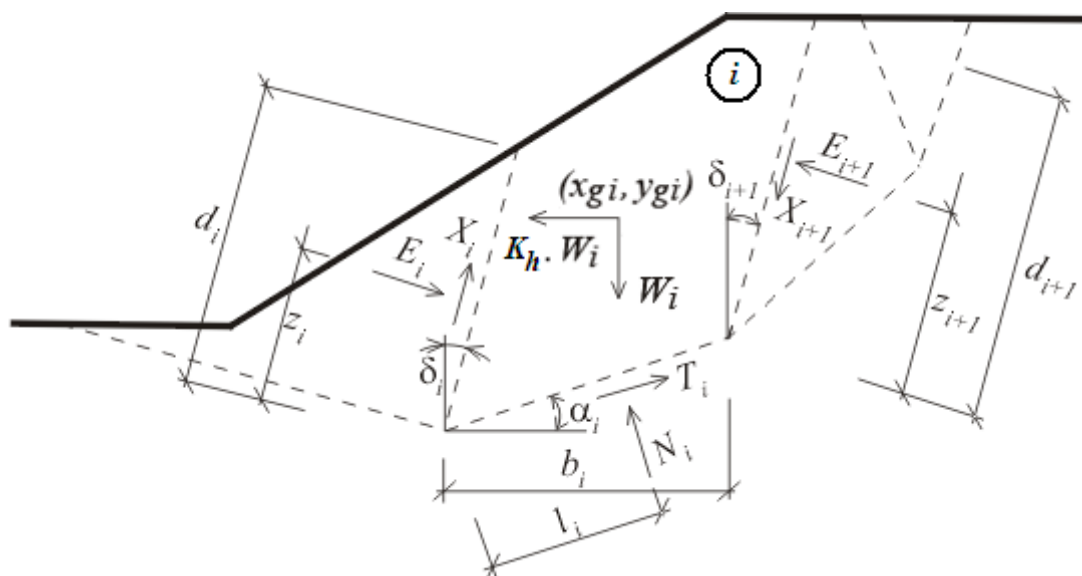
1. Ограничения задаём в виде множества отрезков в теле откоса. При оптимизации поверхность скольжения должна отрезки обходить.
2. Ограничение оптимизации сводится к ограничению смещения некоторых точек заданной поверхности скольжения. Можно полностью воспрепятствовать движению точки или позволить ей только вертикальное или только горизонтальное перемещение (держат точку).



Для методов ITF можно выбрать иной способ оптимизации: критерием становится значение **стабилизирующей силы** в под ошве поверхности скольжения  $F_n$ . В таком случае оптимизация проходит в поиске такой поверхности скольжения, у которой получаем самое большое значение стабилизирующей силы, невзирая на степень устойчивости. Такой способ оптимизации можно применить только в случае того, что не удовлетворяет текущая поверхность скольжения. При удовлетворяющей поверхности скольжения значение стабилизирующей силы  $F_n$  равно нулю и поиск оптимизации идёт только по степени устойчивости  $FS$ .

## Изменение наклона разделяющих плоскостей

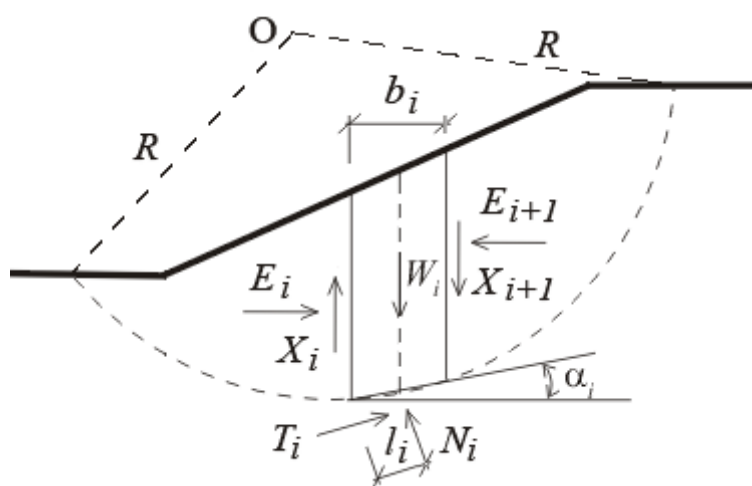
Changing inclination of dividing planes is applied for Sarma's method only. Из рисунка видно, что плоскости, разделяющие отдельные блоки, не обязательно являются вертикальными и не всегда даже параллельны друг другу. На первом этапе анализа, когда процесс **оптимизации** перемещает точки вдоль поверхности скольжения, анализ принимает вертикальное расположение разделяющих плоскостей. Для получения меньшего значения устойчивости уклона можно изменить общее расположение разделяющих плоскостей. Этот процесс повторяется в несколько этапов с ограниченным значением шага вращения, который уменьшается в ходе оптимизации. Этот этап оптимизации завершается, как только шаг вращения оказывается меньше  $1^\circ$ , а вращение на последнем этапе оптимизации не изменялось.



Статическая схема: метод Сарма

## Круговая поверхность скольжения

Все методы предельного равновесия допускают, что массив грунта над поверхностью скольжения делится на блоки (разделяющие плоскости между блоками всегда вертикальны). Силы, действующие на отдельные блоки, представлены на рисунке.



Статическая схема участка

Здесь  $E_i$ ,  $X_i$  - стандартная и сдвиговая силы между отдельными блоками.  $N_i$ ,  $T_i$  - стандартная и сдвиговая силы на отдельных сегментах поверхности скольжения.  $W_i$  - вес отдельных блоков.

Отдельные методы участков различаются допущениями удовлетворения уравнений сил равновесия и уравнений момента равновесия по отношению к центру **O**.

Программа допускает выбор одного из следующих методов:

- Феллениуса/Петтерсона
- Бишопа
- Спенсера
- Джанбу
- Моргенштерн-Прайса
- Шахунянц
- ITF Method

Грунтовая вода, определенная в массиве грунта (с использованием одной из пяти опций) воздействует на анализ двумя способами. Сначала, при расчете веса блока грунта, и затем при определении сил сдвига. Следует помнить, что для соотношения стандартной и сдвиговой сил используют действительные параметры грунта.

### Введение сил анкеров и воды над поверхностью земли в анализ

Силы анкеров рассматриваются как внешние нагрузки, приложенные к уклону. Они берутся из расчета на метр погонный [ $\text{кН/м}$ ] и вводятся в уравнение момента равновесия. Эти силы обеспечивают дополнительную устойчивость, если этого невозможно добиться иным образом. Ограничений значений сил анкеров нет, а потому необходимо вводить реальные значения.

Воздействие воды над поверхностью земли рассматриваются как набор сил, действующих перпендикулярно на поверхность земли вместе с **пластовым давлением** вдоль поверхности скольжения, которая выводится в зависимости от глубины поверхности скольжения, измеренной от уровня грунтовых вод. Силы, действующие на поверхность земли, вводятся в уравнение силы равновесия как силы, действующие на соответствующие плечи, измеренные по направлению к центру поверхности скольжения.

**Оптимизация** круговой поверхности скольжения ищет наиболее критическую поверхность

(наименьший коэффициент надежности  $SF$ ).

## Феллениус / Петтерсон

Это самый простой метод участков допускает только общее уравнение момента равновесия, записанное в отношении к центру поверхности скольжения. Стандартная и сдвиговая силы между блоками  $X_i$  и  $E_i$  не учитываются. Коэффициент надежности  $SF$  рассчитывается напрямую из следующей формулы:

$$FS = \frac{1}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot \sum_i [c_i \cdot l_i + (N_i - u_i \cdot l_i) \cdot \tan \phi_i]$$

где:

- $u_i$  - **пластовое давление** в блоке
- $c_i, \phi_i$  - действительные значения параметров грунта
- $W_i$  - вес блока
- $N_i$  - стандартная сила на сегменте поверхности скольжения
- $\alpha_i$  - наклонение сегмента поверхности скольжения
- $l_i$  - длина сегмента поверхности скольжения

*Литература:*

Petterson KE (1955) *The early history of circular sliding surfaces. Geotechnique 5:275-296.*

## Бишоп

Упрощенный метод Бишоп допускает нулевые  $X_i$  силы между блоками. Метод основывается на удовлетворении уравнения момента равновесия и уравнения вертикальной силы уравнения.

Коэффициент надежности  $SF$  определяется через последовательное решение следующего выражения:

$$FS = \frac{1}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot \sum_i \frac{c_i \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i) \cdot \tan \phi_i}{\cos \alpha_i + \frac{\tan \phi_i \cdot \sin \alpha_i}{FS}}$$

$d$

где:

- $u_i$  - **пластовое давление** в блоке
- $c_i, \phi_i$  - действительные значения параметров грунта
- $W_i$  - вес блока
- $\alpha_i$  - наклонение сегмента поверхности скольжения
- $b_i$  - горизонтальная ширина блока

*Литература:*

Bishop, A.W. (1955) *"The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes"*, *Geotechnique, Great Britain, Vol. 5, No. 1, Mar., pp. 7-17*

## Спенсер

Этот метод допускает ненулевые силы между блоками. Равнодействующие сдвиговых и стандартных сил между блоками имеют постоянные наклоны. Метод Спенсера является точным в том смысле, что он удовлетворяет все три уравнения равновесия: уравнения сил равновесия в горизонтальном и вертикальном направлении, а также уравнение момента равновесия. Коэффициент надежности  $SF$  определяется через решение наклоны сил, действующих между блоками, и коэффициента надежности  $SF$ . Подробная информация о методе описана в разделе, освещающем анализ [многоугольной поверхности скольжения](#).

## Джанбу

Этот метод допускает ненулевые силы между блоками. Метод удовлетворяет уравнения сил равновесия в горизонтальном и вертикальном направлениях для всех блоков, а также уравнение момента равновесия для всех участков, за исключением последнего, самого высокого. Данный метод допускает выбор положения сил, действующих между блоками. Коэффициент надежности  $SF$  определяется через решение наклоны сил, действующих между блоками, а затем рассчитываются наклоны этих сил. Подробная информация о методе описана в разделе, освещающем анализ [многоугольной поверхности скольжения](#).

## Моргенштерн-Прайс

Этот метод допускает ненулевые силы между блоками. Равнодействующие сдвиговых и нормальных сил, действующих между блоками, имеют разные наклоны в каждом блоке (форма функции полу-синуса). Метод Моргенштерн-Прайса является точным в том смысле, что удовлетворяет всем трём условиям равновесия: в горизонтальном и вертикальном направлении, а также условию равновесия моментов. Коэффициент надежности  $SF$  получаем итерацией наклона межблочных сил и коэффициента надежности  $SF$ . Подробное описание метода см. расчёт [полигональной поверхности](#).

## Шахунянц

Подробное описание метода можно встретить в секции анализа [полигональной поверхности скольжения](#).

## Метод ITF (Imbalance Thrust Force Method)

Подробное описание метода можно встретить в секции анализа [полигональной поверхности скольжения](#).

## Оптимизация кругло-цилиндрической поверхности скольжения

Оптимизация заключается в нахождении кругло-цилиндрической поверхности скольжения с самым низким значением устойчивости  $SF$ . Кругло-цилиндрическая поверхность скольжения определена тремя точками: двумя точками на поверхности рельефа и одной внутри земляного массива. Каждая из точек на поверхности имеет одну степень свободы, а точка внутри массива имеет две степени свободы. Поверхность скольжения определена 4 независимыми параметрами. Для нахождения четырёх значений параметров, , которые дают наиболее неблагоприятные результаты, была на основании изучения влияния

вариаций параметров выбрана матрица изменения параметров, которая приводит к быстрой и надежной процедуре оптимизации. В качестве критической принимается поверхность скольжения, для которой расчёт показал наиболее низкую степень устойчивости. Параметры отдельных поверхностей скольжения и отдельных результатов процесса оптимизации можно отобразить в документе.

Этот метод обычно находит критическую поверхность скольжения, не сталкиваясь при этом сильно с влиянием локальных минимумов. Рекомендуется применять его в сочетании с процессом оптимизации поверхности скольжения общего вида, а именно сперва рассчитать критическую поверхность скольжения на кругло-цилиндрической поверхности. Далее, в случае полигональной поверхности скольжения, полученные результаты используются в качестве исходных для оптимизации.

Процесс оптимизации может быть **ограничен некоторыми ограничивающими условиями**, что целесообразно, напр., когда искомая поверхность скольжения должна проходить, или, наоборот, обходить, некую область. Ограничение оптимизации для кругло-цилиндрической поверхности можно сделать двумя способами.

1. Ограничения задаём в виде множества отрезков в теле откоса. При оптимизации поверхность скольжения должна отрезки обходить.
2. Ограничение оптимизации сводится к запрету смещения начальной или конечной точки заданной поверхности скольжения.

Для методов ITF можно выбрать иной способ оптимизации: критерием становится значение **стабилизирующей силы** в под ошве поверхности скольжения  $F_n$ . В таком случае оптимизация проходит в поиске такой поверхности скольжения, у которой получаем самое большое значение стабилизирующей силы, невзирая на степень устойчивости. Такой способ оптимизации можно применить только в случае, что не удовлетворяет текущая поверхность скольжения. При удовлетворяющей поверхности скольжения значение стабилизирующей силы  $F_n$  равно нулю и поиск оптимизации идёт только по степени устойчивости  $FS$ .

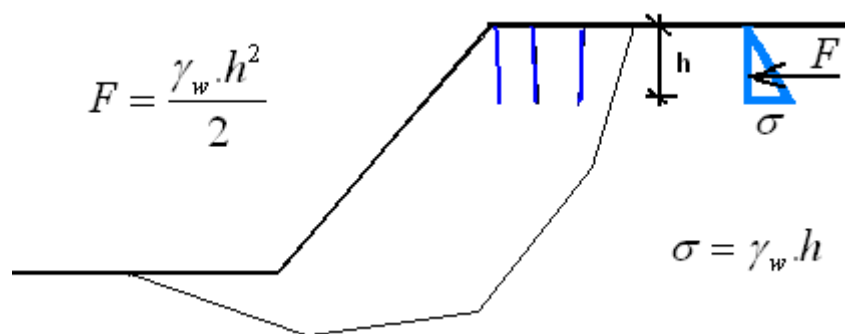
## Отслаивание

В грунт можно ввести отслаивание. Это означает, что вдоль угла, определенного в конкретном интервале, который, в свою очередь вводится как один из параметров грунта <Начальный уклон; Конечный уклон> грунт имеет значительно отличающиеся (обычно худшие) параметры ( $c$  а  $\varphi$ ).

Если в интервале <Начальный уклон; Конечный уклон> допускается уклон сегмента поверхности скольжения или уклон стыка между блока, анализ использует измененные параметры  $c$  и  $\varphi$ .

## Воздействие трещин разрыва

Программа позволяет рассчитать воздействие трещин разрыва, которые появляются на поверхности земли и наполняются водой  $h$ . Единственным параметром ввода является глубина трещин разрыва. Действие трещин включается при расчете стандартной и сдвиговой сил в участках поверхности скольжения с трещинами. В участках с трещинами разрыва параметры прочности на сдвиг устанавливаются равными 0 ( $c = 0$ ,  $\varphi = 0$ ). Затем в анализ вводится горизонтальная сила  $F$  вследствие наличия воды в трещине разрыва (см. Рис.):

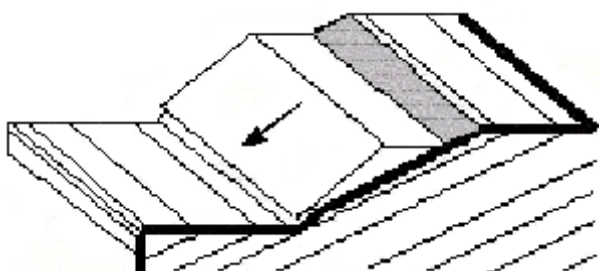


*Воздействие трещин разрыва*

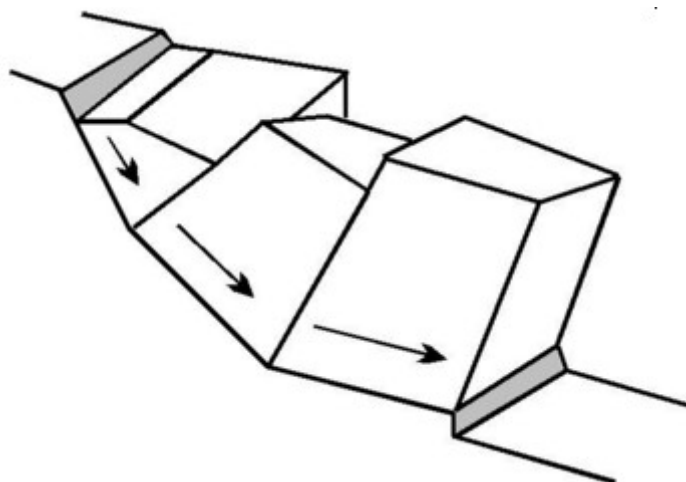
## Скальный откос

Программа анализа устойчивости скального откоса (склона) рассматривает следующие типы разрушений скальной стены:

- скольжение на ровной поверхности скольжения
- переход на многоугольную поверхность скольжения
- осадка клина породы



*Разрушение скальной стены вследствие скольжения на ровной поверхности скольжения*



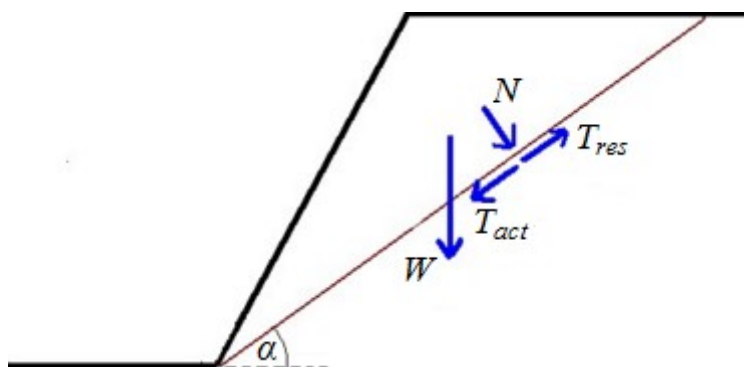
*Перемещение по полигональной поверхности скольжения*



Осадка клина породы

## Плоская поверхность скольжения

Разрушение на плоской поверхности скольжения проявляется перемещением блока породы вниз по поверхности скольжения. Породный клин можно задавать с трещиной растяжения. Основой для расчёта устойчивости - определение **нормальной силы**  $N$ , действующей на поверхность скольжения, **сдвигающей силы**  $T_{act}$  (**активной**) и **удерживающих сил сдвига**  $T_{res}$  (**пассивных**).



Изображение сил, действующих на плоской поверхности скольжения

Для определения **пассивных сил**  $T_{res}$  наиболее важными входными данными являются **условия сопротивления сдвигу** и **нормальная сила**  $N$ , действующая на поверхность скольжения. На расчет **активной силы**  $T_{act}$  и **нормальной силы**  $N$  также влияет собственная тяжесть блока (зависит от геометрии и **объемной тяжести породы**), укрепление блоков **анкерами**, **пригрузка**, **воздействие воды** и **сейсмические действия**. Активная сила  $T_{act}$  и нормальная сила  $N$  определяются как сумма всех сил, вводимых в расчёт.

Программа предлагает несколько типов плоских поверхностей скольжения:

- гладкая
- волнистая
- ступенчатая

Окончательная проверка выполняется в соответствии с **методикой проверки**, заданной в рамке «**Настройка**».



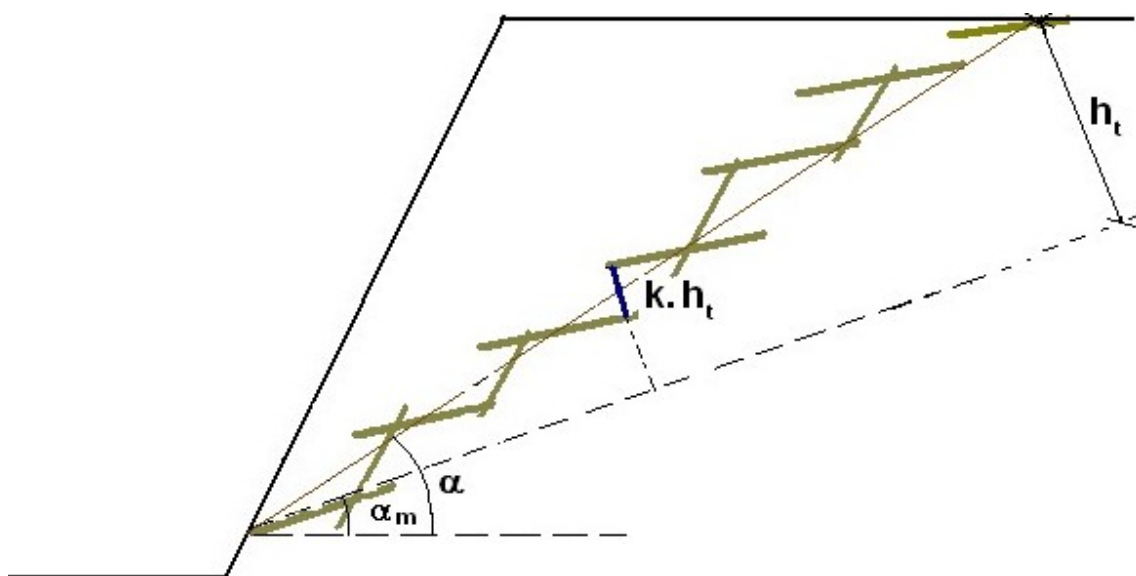
## Ступенчатая поверхность скольжения

Если в массиве породы присутствует система параллельных несквозных трещин, с наклоном к лицевой поверхности скальной стены, а вторая система невыражена, в массиве породы можно предположить образование ступенчатой (с уступами) поверхности скольжения. Влияние этой поверхности можно ввести в программу, используя теорию Call и Nicholas, по которой сопротивление сдвигу на поверхности скольжения увеличивается за счет  $\Delta\tau$ .

$$\Delta\tau = \sigma_n \operatorname{tg} v + T$$

$$T = \sum k \cdot h_t \cdot T_0$$

- где:
- $\sigma_n$  - нормальное напряжение, действующее перпендикулярно к поверхности скольжения
  - $v$  - угол волнистости
  - $T$  - эффективное сопротивление растяжению ступеней в ненарушенном массиве
  - $k$  - высота ступеней образованных неразрушенным массивом (не образованных вторичной системой плоскостей)  $\sum k \in \langle 0,1 \rangle$
  - $h_t$  - высота по перпендикуляру ступенчатого клина, расположенного на наклонной плоскости у главной системы плоскостей
  - $T_0$  - сопротивление растяжению неразрушенной породы



Ступенчатая поверхность скольжения

### Литература:

W.S. Dershowitz, H.H. Einstein - Characterizing rock joint geometry with joint system models *Journal Rock Mechanics and Rock Engineering*, Springer Wien ISSN 0723-2632 , Issue Volume 21, Number 1 / January, 1988 Pages 21-51.

## Прочность породы на растяжение

Прочность породы на растяжение  $T_e$  в 20-30 раз меньше прочности породы при

центральной сжатии  $\sigma_c$ .

Прочность некоторых ненарушенных пород при центральной сжатии  $T_o$  [МПа]

Базальт	3 – 18
Гнейс	7 – 16
Гранит	11 – 21
Известняк	3 – 5
Мрамор	7 – 12
Кварцит	4 – 23
Песчаник	5 – 11
Аспидный сланец	5 – 12
Шиферный сланец	2 – 17
Вулканический туф	2 – 4

## Волнистая поверхность скольжения

Для волнистой поверхности скольжения (на шкале  $I$  до 10 м) принять волнистость можно при помощи угла волнистости  $\nu$ :

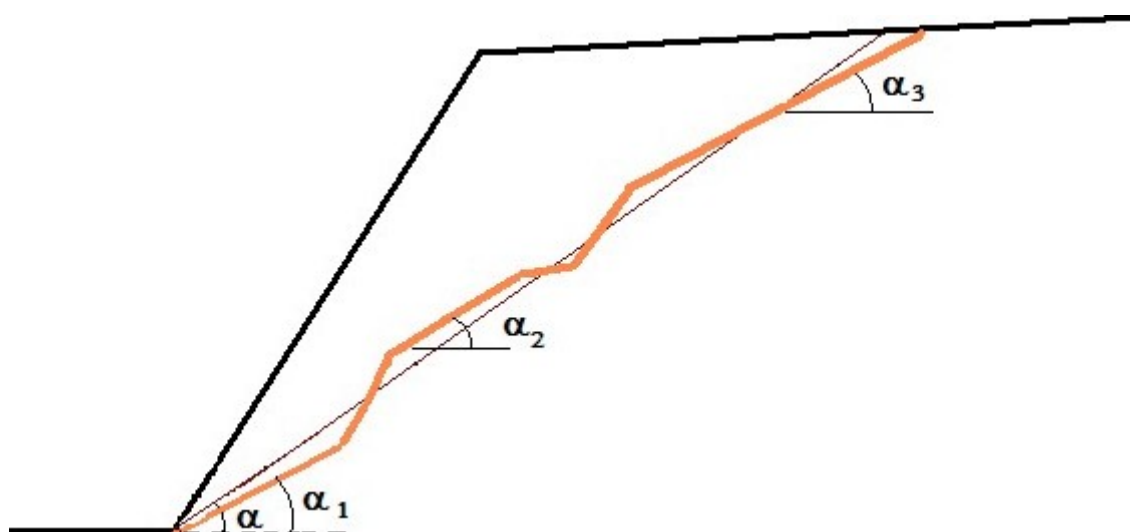
$$\nu = \alpha - \min(\alpha_i)$$

где:  $\alpha$  - угол наклона поверхности скольжения  
 $\alpha_i$  - угол наклона  $i$ -ой волны поверхности скольжения

Волнистость увеличивает сопротивление сдвигу  $\tau$  на поверхности скольжения на величину  $\Delta\tau$ :

$$\Delta\tau = \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \nu$$

где:  $\sigma_n$  - нормальное напряжение, действующее перпендикулярно к поверхности скольжения  
 $\nu$  - угол волнистости



Волнистая поверхность скольжения

Литература:

Miller, S.M. (1988). *Modeling Shear Strength at Low Normal Stresses for Enhanced Rock Slope Engineering, Proc. Of 39th Highway Geology Symp*, 346-356.

## Укрепление скального откоса анкерами

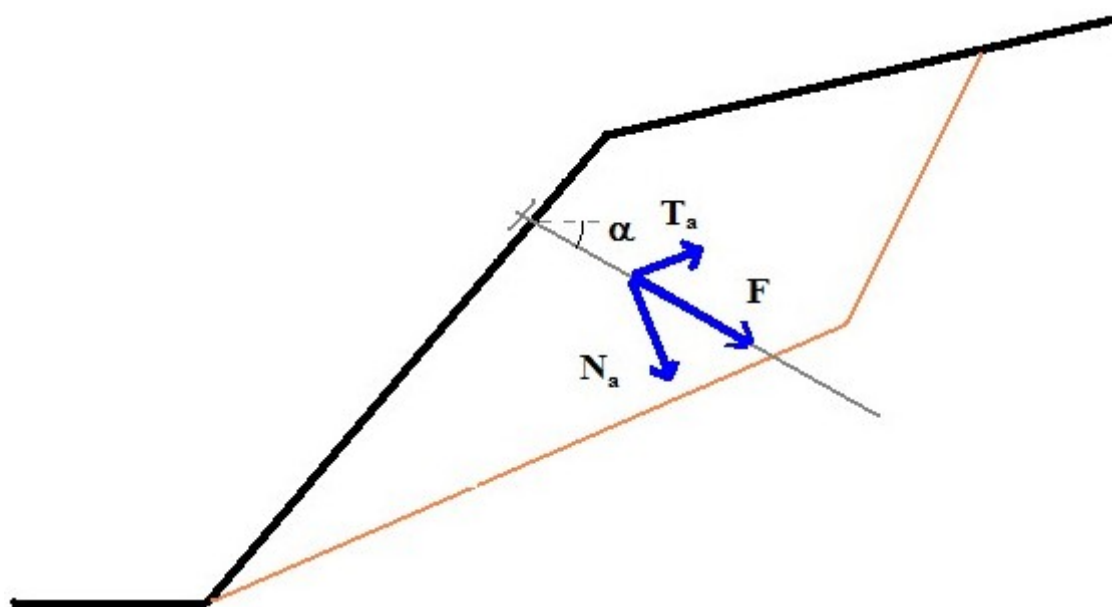
При расчёте устойчивости скального откоса на плоской поверхности скольжения можно задать два типа анкеров:

### Активный

Активный анкер – это предварительно напряженный анкер, у которого анкерные силы активируются до сдвига блока породы. Нормальная сила увеличивает нормальное напряжение на поверхности скольжения и, следовательно, удерживающие силы, касательная составляющая прибавляется (или отнимается) к сдвигающим (активным) силам.

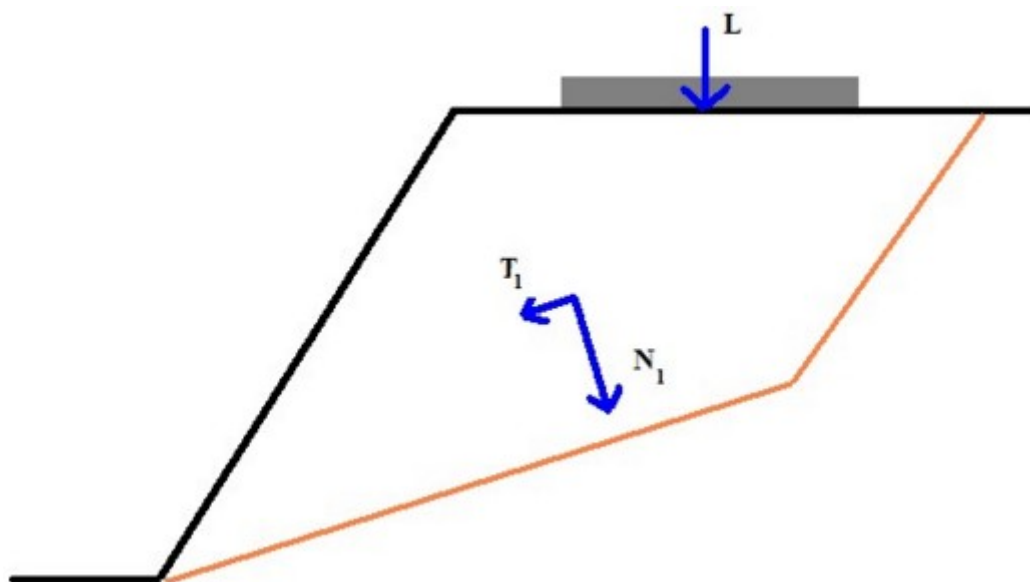
### Пассивный

Пассивный анкер активируется перемещением блока породы (анкер без предварительного напряжения). Нормальная сила увеличивает нормальное напряжение на поверхности скольжения и, следовательно, удерживающие силы; касательная составляющая прибавляется к удерживающим (пассивным) силам.

*Разложение анкерной силы*

## Пригрузка скального откоса

По заданной пригрузке рассчитаем равнодействующую. Нормальная составляющая равнодействующей силы увеличивает нормальное напряжение на поверхности скольжения и, следовательно, удерживающие силы  $T_{res}$ , касательная составляющая прибавляется к сдвигающим (активным) силам  $T_{act}$ , либо вычитается от них.

*Разложение нагрузки*

## Влияние воды на поверхность скольжения

Программа позволяет расчёты по следующим воздействиям воды:



Без грунтовых вод, вода не учитывается



Гидростатическое давление, У.Г.В. над подошвой откоса



Гидростатическое давление, У.Г.В. также в трещине растяжения



Гидростатическое давление, У.Г.В. в трещине растяжения, макс.



Гидростатическое давление, вода действует только в трещине растяжения



Собственно воздействие только на поверхности скольжения



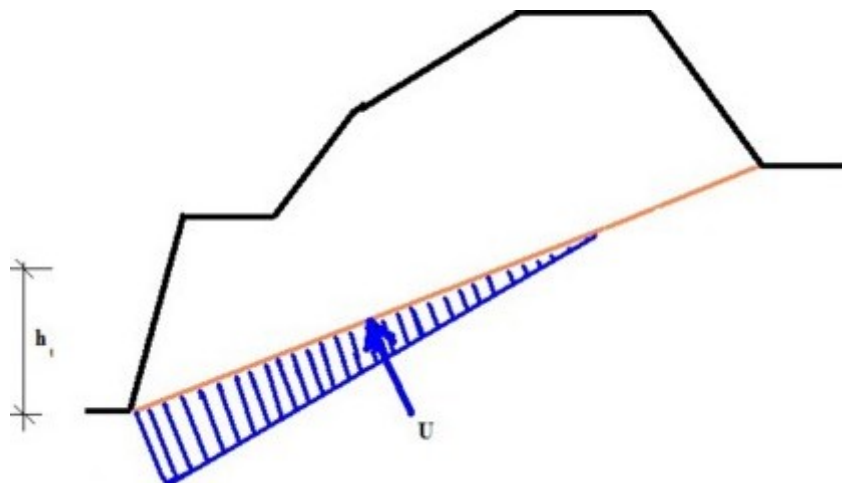
Собственно воздействие

## Уровень грунтовых вод над подошвой откоса



Гидростатическое давление, У.Г.В. над подошвой откоса

Поверхность скольжения полностью или частично находится под уровнем грунтовых вод, максимальное гидростатическое давление действует у подошвы стены.



*Гидростатическое давление на поверхности скольжения*

Величина давления воды  $u$  у подошвы откоса рассчитывается по формуле:

$$u = \gamma_w \cdot h_t$$

где:  $\gamma_w$  - объемная масса воды  
 $h_t$  - положение уровня грунтовых вод над подошвой откоса

Сила гидростатического давления действующая под прямым углом к поверхности скольжения, рассчитывается по формуле:

$$U = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot h_t \cdot \left( \frac{h_t}{\sin \alpha} \right)$$

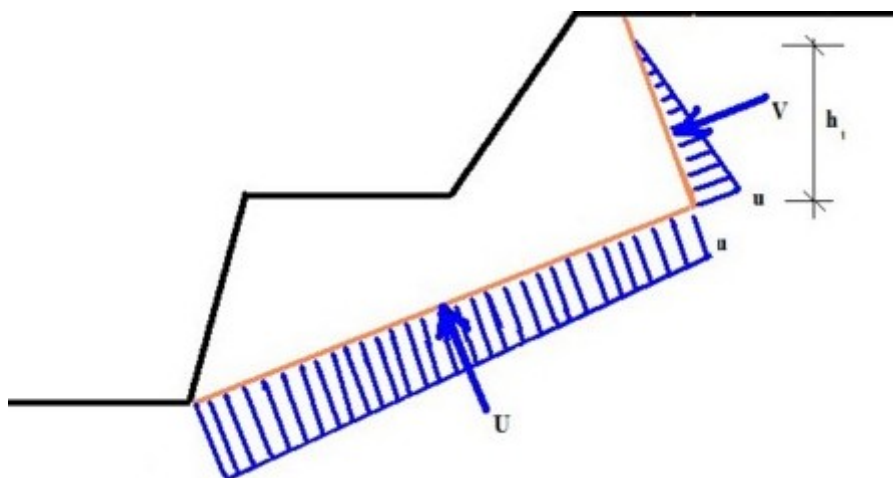
где:  $\gamma_w$  - объемная масса воды  
 $h_t$  - высота уровня грунтовых вод над подошвой откоса  
 $\alpha$  - отклонение поверхности скольжения от горизонтальной линии

## Уровень грунтовых вод в трещине растяжения



### У.Г.В. в трещине растяжения

Поверхность скольжения полностью находится под уровнем грунтовых вод; уровень грунтовых вод пересекает трещину разрыва или находится на уровне земли, максимальное значение гидростатического противодавления - на нижней части поверхности.



*Гидростатическое давление на поверхности скольжения и трещине разрыва, макс.  
 Значение - на подошве откоса*

Значение противодавления воды  $u$  на пересечении поверхности скольжения и трещины разрыва рассчитывается по формуле:

$$u = \gamma_w \cdot h_t$$

где:  $\gamma_w$  - объемная масса воды  
 $h_t$  - высота уровня грунтовых вод над линией пересечения поверхности скольжения и трещины растяжения

Сила  $V$  гидростатического давления действующая под прямым углом к трещине

растяжения, рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot h_t \cdot \left( \frac{h_t}{\sin \varphi} \right)$$

где:  $\gamma_w$  - объемная масса воды  
 $h_t$  - высота уровня грунтовых вод над линией пересечения поверхности скольжения и трещины растяжения  
 $\varphi$  - отклонение трещины разрыва от вертикальной линии

Значение давления  $u_1$  на подошве уклона рассчитывается по формуле:

$$u_1 = \gamma_w \cdot H_w$$

где:  $\gamma_w$  - объемная масса воды  
 $H_w$  - высота уровня грунтовых вод над подошвой откоса

Сила гидростатического давления  $U$  действующая под прямым углом к трещине растяжения, рассчитывается по формуле:

$$U = \frac{1}{2} \cdot (u + u_1) \cdot \left( \frac{H_w - h_t}{\sin \alpha} \right)$$

где:  $u$  - давление воды, действующее на линии пересечения поверхности скольжения и трещины растяжения  
 $u_1$  - давление воды на подошве откоса  
 $h_t$  - высота уровня грунтовых вод над линией пересечения поверхности скольжения и трещины растяжения  
 $\alpha$  - отклонение поверхности скольжения от горизонтальной линии  
 $H_w$  - высота уровня грунтовых вод над подошвой откоса

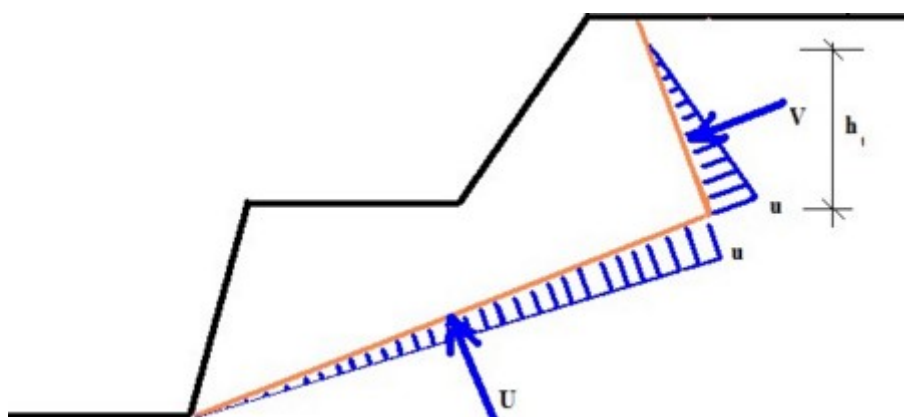
## Уровень грунтовых вод в трещине растяжения, максимально



### У.Г.В. в трещине растяжения

Поверхность скольжения полностью находится под уровнем грунтовых вод; уровень грунтовых вод пересекает трещину разрыва или находится на уровне земли, максимальное значение гидростатического противодавления - на пересечении трещины разрыва и поверхности скольжения.





Гидростатическое давление на трещине разрыва

Значение давления воды  $u$  на пересечении поверхности скольжения и трещины разрыва рассчитывается по формуле:

$$u = \gamma_w \cdot h_t$$

где:  $\gamma_w$  - объемная масса воды

$h_t$  - высота уровня грунтовых вод над линией пересечения поверхности скольжения и трещины разрыва

Конечная сила гидростатического давления  $V$ , действующая под прямым углом к трещине растяжения, рассчитывается следующим образом:

$$V = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot h_t \cdot \left( \frac{h_t}{\sin \varphi} \right)$$

где:  $\gamma_w$  - объемная масса воды

$h_t$  - высота уровня грунтовых вод над линией пересечения поверхности скольжения и трещины разрыва

$\varphi$  - отклонение трещины разрыва от вертикальной линии

Значение давления  $u_1$  на подошве откоса равно 0.

Компрессионная гидростатическая сила  $U$ , действующая под прямым углом к трещине разрыва, рассчитывается следующим образом:

$$U = \frac{1}{2} \cdot u_1 \cdot \left( \frac{H_w - h_t}{\sin \alpha} \right)$$

где:  $u$  - давление воды, действующее на линии пересечения поверхности скольжения и трещины разрыва

$h_t$  - высота уровня грунтовых вод над линией пересечения поверхности скольжения и трещины разрыва

$\alpha$  - отклонение поверхности скольжения от горизонтальной линии

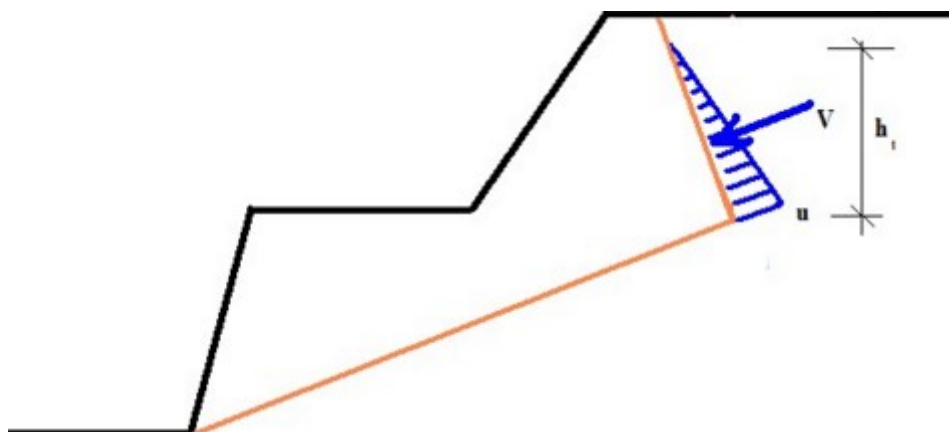
$H_w$  - высота уровня грунтовых вод над подошвой откоса

## Вода действует только в трещине растяжения



### Вода действует только в трещине растяжения

Поверхность скольжения полностью сухая; уровень грунтовых вод пересекает трещину разрыва или находится на уровне земли, максимальное значение гидростатического противодавления - на пересечении трещины разрыва и поверхности скольжения.



*Действие воды только в трещине растяжения*

Значение давления воды  $u$  на пересечении поверхности скольжения и трещины разрыва рассчитывается по формуле:

$$u = \gamma_w \cdot h_t$$

где:  $\gamma_w$  - объемная масса воды

$h_t$  - высота уровня грунтовых вод над линией пересечения поверхности скольжения и трещины разрыва

Конечная сила гидростатического давления  $V$ , действующая под прямым углом к трещине растяжения, рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot h_t \cdot \left( \frac{h_t}{\sin \varphi} \right)$$

где:  $\gamma_w$  - объемная масса воды

$h_t$  - высота уровня грунтовых вод над линией пересечения поверхности скольжения и трещины разрыва

$\varphi$  - отклонение трещины разрыва от вертикальной линии

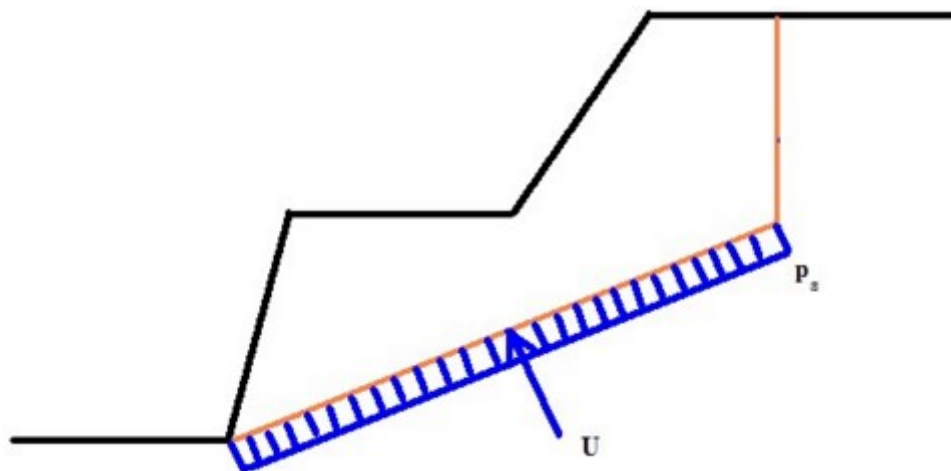
Значение давления воды, действующей на поверхность скольжения, равно 0.

## Собственно гидростатическая сила, действующая только на поверхность скольжения



### Собственно гидростатическая сила, действующая только на поверхность скольжения

Программа позволяет ввести вручную значение давления воды  $p_s$  в  $[kPa]$ , действующей на поверхность скольжения, если распределение давления остается постоянным.



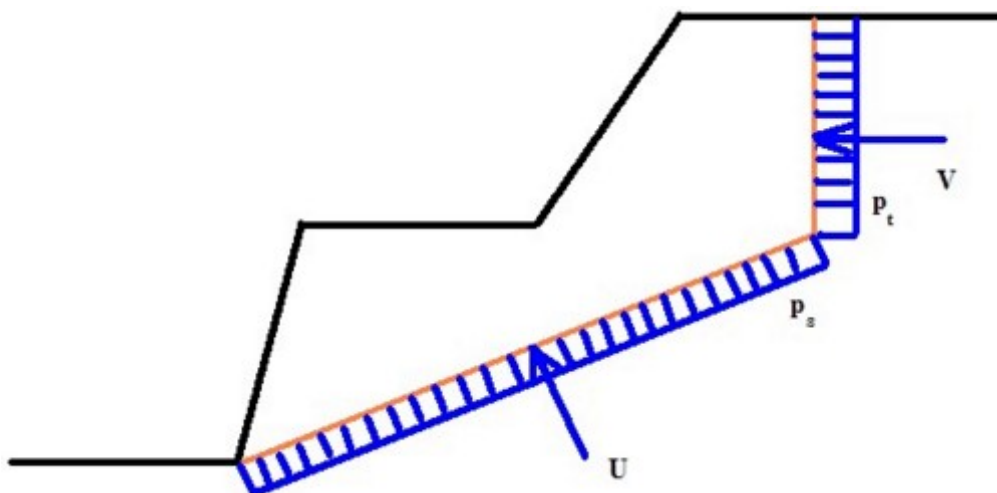
*Собственно гидростатическая сила, действующая только на поверхность скольжения*

## Характер собственно гидростатической силы



### Характер собственно гидростатической силы

Программа позволяет ввести вручную значение давления воды  $p_t$  в  $[kPa]$ , действующей на трещину разрыва, если распределение давления остается постоянным.



*Собственные значения гидростатического давления на поверхность скольжения и трещину разрыва*

## Полигональная поверхность скольжения

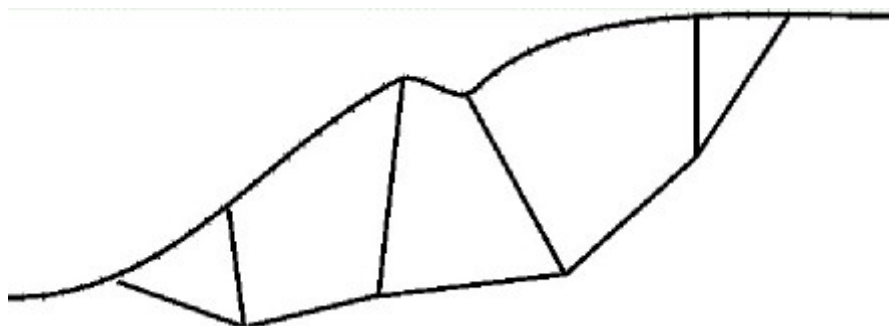
Программа проводит анализ устойчивости блоков породы, перемещающихся по полигональной поверхности скольжения. Ввиду сложности общего решения, программа

принимает следующие допущения:

- движение блоков породы только поступательное
- блоки смещаются по полигональной поверхности скольжения образованной плоскими или умеренно волнистыми поверхностями
- блоки пород между собой отделены стыками с известными направлениями
- реальные деформации массива породы внутри блоков пренебрежительны
- разрушение на полигональной поверхности скольжения и вдоль стыков происходит по критерию разрушения **Мора-Кулона**
- На целой полигональной поверхности скольжения принимается одинаковая степень устойчивости
- все блоки породы находятся в контакте (раскрытие стыков не допускается)

Параметры сопротивления сдвигу **Мора-Кулона** на поверхности скольжения и стыках, разделяющих отдельные блоки, - основные входные данные для определения устойчивости блоков породы. На решение также влияет вес блока (который зависит от **геометрии и объемной массы породы**), **анкераж, нагрузка, воздействие воды и сейсмические действия**.

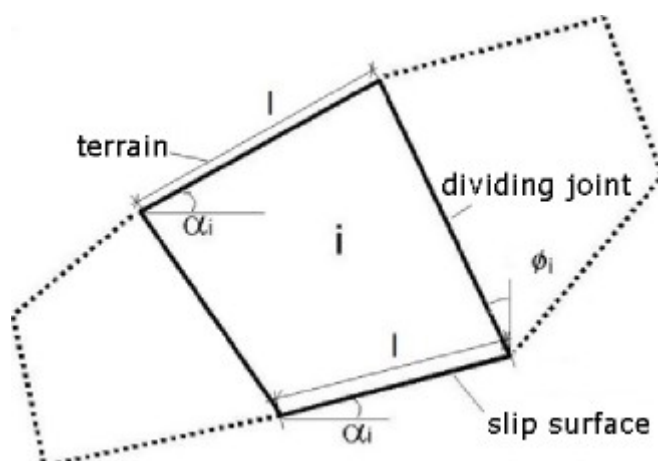
Основные теоретические обоснования решения описаны [здесь](#).



*Многоугольная поверхность скольжения*

## Геометрия блока породы

Геометрия блока определяется во-первых, углом наклона  $\alpha$ , длиной соответствующей полигональной поверхности скольжения  $l$  и углом наклона стыка  $\varphi$ , отделяющего блок от последующего блока, а во-вторых, углом наклона  $\alpha$  и длиной верхней поверхности блока  $l$  на наружной поверхности скального откоса (образующей рельеф). Длины поверхностей можно задавать либо общей длиной, либо длинами их горизонтальных и вертикальных проекций. Необходимо удовлетворить условию, что все блоки породы находятся в контакте (раскрытие стыков не допускается).

Геометрия  $i$ -ого элемента

## Анкерные силы, пригрузка

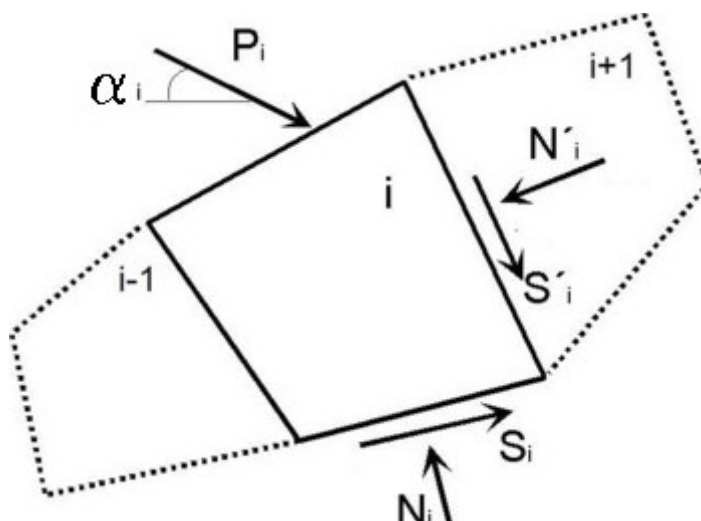
Можно задать анкерные силы и пригрузку блоков породы. По заданным силам программа вычисляет равнодействующую внешних сил, действующих на  $i$ -ой блок ( $kH/m$ ). В равнодействующую внешних сил засчитаны известные силы, действующие на блок включительно действия воды на поверхности скольжения и на стыке.

### Пригрузка, действующая на блок

Пригрузку на рельеф можно задать равномерно распределённую по площади, ленточную или трапециевидную. Затем программа рассчитывает воздействие заданной нагрузки на отдельные блоки породы.

### Анкерные силы

Заданную силу преднапряжения анкера программа откорректирует по заданному горизонтальному расстоянию анкеров из расчета на 1 погонный метр.

Внешние силы на  $i$ -ом элементе

## Воздействие воды

Действие воды можно ввести в расчёт следующими способами: посредством **общей формы У.Г.В.**, **горизонтального зеркала У.Г.В.** или непосредственным **заданием воды на блоки**.

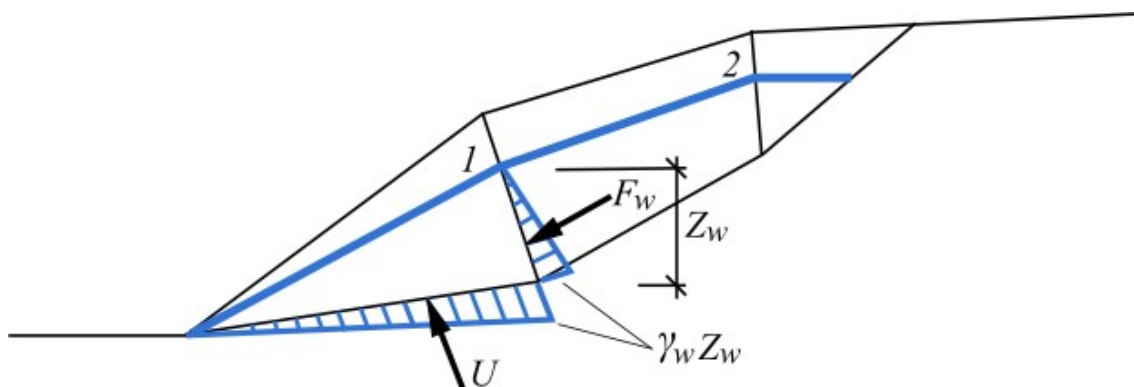
### Общая форма У.Г.В.

Общий вид конфигурации У.Г.В. задают в виде полигона. Напряжение на поверхности скольжения принимается линейным по формуле  $u = \gamma_w z_w$ .

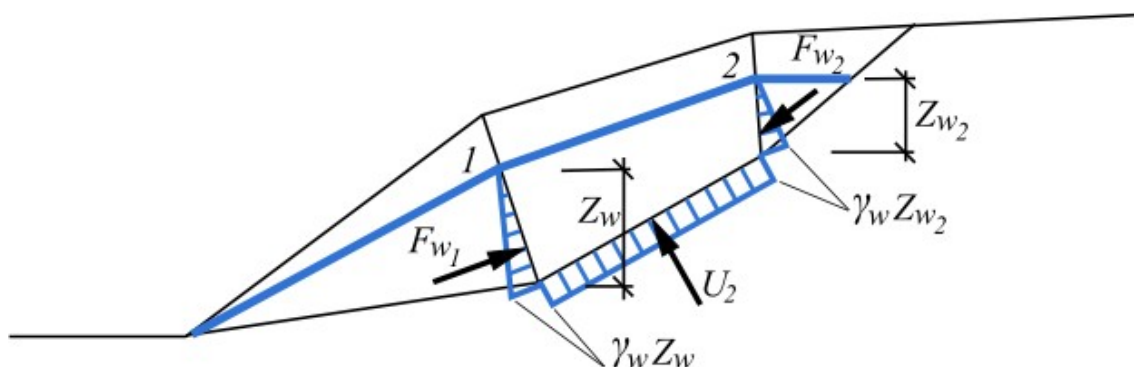
где:  $\gamma_w$  - объёмный вес воды

$z_w$  - соединительная линия точек, к которым поднимается У.Г.В. в трещине

Из эпюр нагрузки напряжением от воды рассчитывают равнодействующие сил  $U$  (давление, действующее на погружённую в воду часть поверхности скольжения на пог.метр ширины), или  $F_v$  (давление, действующее на погружённую часть стыка на пог.метре ширины).



*Силы от воды, действующие на блок – вода из стыке может свободно вытекать*



*Силы от воды, действующие на блок - вода не может вытекать из стыка*

### Горизонтальный У.Г.В.

Принимается горизонтальный уровень грунтовой воды заданный постоянной высотой  $h_w$  над подошвой откоса (от начала системы координат). Воздействие воды принимается от высоты У.Г.В. к данной точке на отвесной линии.

### Вода, заданная на блоках

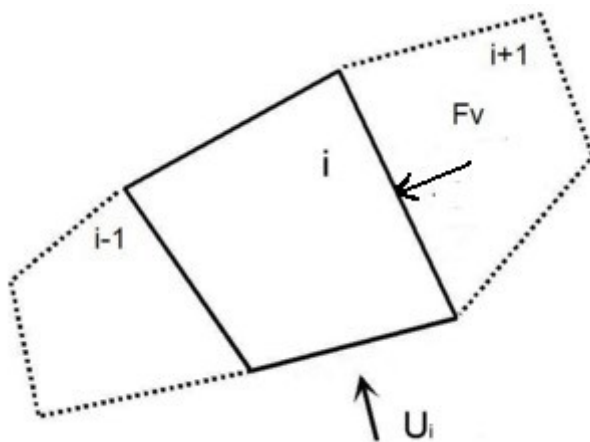
Воздействие воды можно учитывать в стыке между блоками или на поверхности скольжения и задавать её в виде внешней нагрузки:

**Гидростатическое давление на стыках (вода между блоками)  $F_v$** 

Его необходимо вводить в анализ, если ожидается наличие воды в стыках между блоками. Оно прикладывается как равнодействующая сила  $F_v$  в  $\kappa H$  (учитывается давление, действующее на погруженную часть стыка из расчета на 1 погонный метр).

**Гидростатическое давление на внешней поверхности (гидростатическое противодействие)  $U$** 

Определяется как гидростатическое давление отдельно на каждой поверхности скольжения многоугольника (внешняя поверхность скольжения) и вводится как внешняя нагрузка (гидростатическое противодействие)  $U$  в  $\kappa H$ , которая может быть уменьшена в зависимости от водопроницаемости поверхности скольжения учитывается давление, действующее на погруженную часть стыка из расчета на 1 погонный метр).

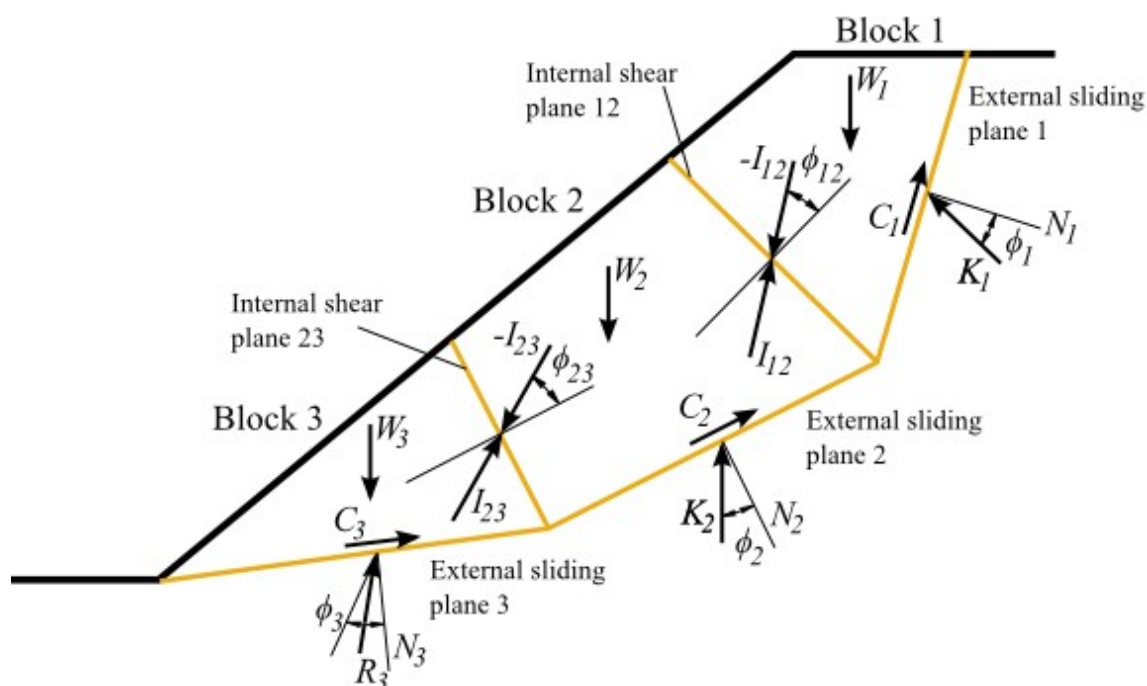


*Гидростатические силы, действующие на блок породы*

**Принцип расчёта**

Принцип расчёта устойчивости скального откоса для **полигональной поверхности скольжения** следует из рисунка:





Силы действующие на поверхностях между блоками (внутренние поверхности скольжения)

Вектор  $D_1$  представляющий равнодействующую всех активных сил, действующих на блок № 1 определен отношением:

$$D_1 = W_1 + E_1 + U_1 + V_1$$

- где:
- $W_1$  - равнодействующая собственной силы тяжести блока породы № 1
  - $E_1$  - вектор внешней силы в результате землетрясения
  - $U_1$  - вектор силы в результате действия подъемной силы воды на поверхность скольжения
  - $V_1$  - сила от воды в трещинах растяжения

Для единичного вектора  $N_1$  и угла внутреннего трения на поверхности скольжения № 1  $\phi_1$  блок №1 может быть **активным и неустойчивым** в случае, что равнодействующая сил находится вне конуса трения плоскости № 1 в соответствии с отношением:

$$N_1 R_1 > \cos \phi_{m1}$$

- где:
- $R_1$  - единичная равнодействующая эпюры сил, или активных и пассивных сил на блоке №1
  - $N_1$  - единичный вектор, представляющий нормальную силу на поверхности скольжения № 1
  - $\phi_{m1}$  - мобилизованный угол внутреннего трения

Передача взаимных сил  $I_{12}$  между верхним блоком №1 и нижним блоком № 2 определена отношением:

$$I_{12} = K_1 - R_1$$

- где:
- $K_1$  - реакция силы для блока № 1, действующей под углом  $\phi_1$  для условия

равновесия в соответствии с рис. 1

Подобный метод расчёта можно выполнить для блока № 2 с учётом силы взаимодействия  $I_{12}$ . Равнодействующая эпюры сил  $R_2$  характеризуется выражением:

$$R_2 = D_2 + C_{m2} + B_2 - I_{12}$$

- где:
- $D_2$  - равнодействующая всех активных сил, приложенных к блоку № 2
  - $C_{m2}$  - вектор обозначающий мобилизованные силы скольжения
  - $B_2$  - вектор равнодействующей всех пассивных сил, приложенных к блоку № 2 с участием породных анкеров или инъекций бетона.
  - $I_{12}$  - сила взаимодействия между верхним блоком № 1 и нижним блоком №2

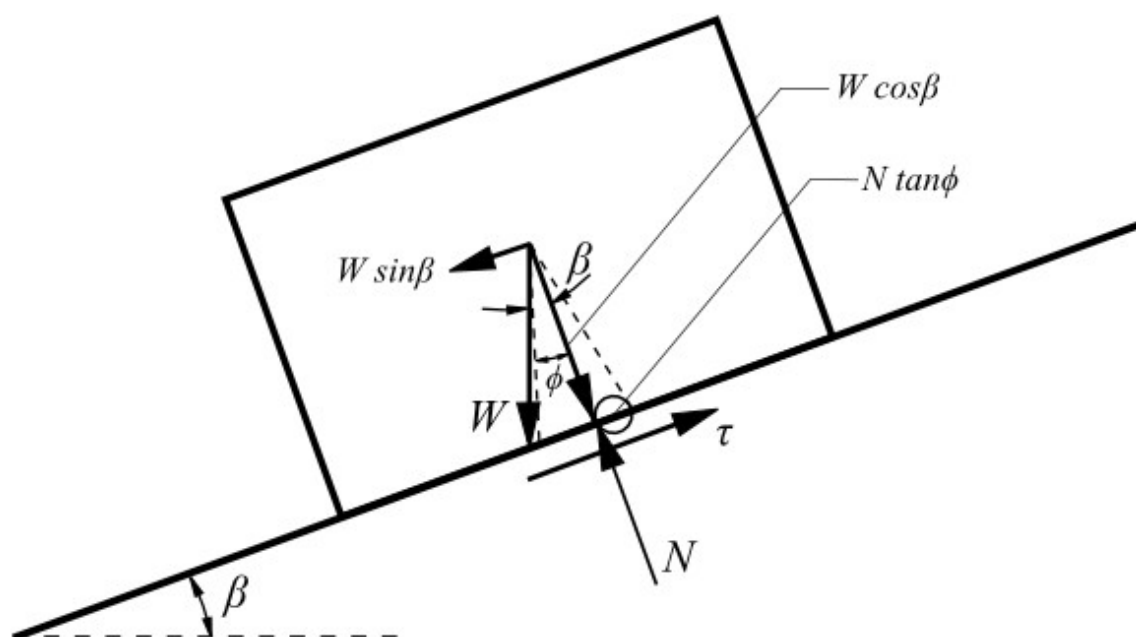
Расчёт устойчивости скального откоса выполняется секвенциями по всем блокам, начиная с верхнего № 1, вплоть до нижнего блока  $n$ . Всю систему блоков можно рассматривать как устойчивую, если результирующая сила самого нижнего блока находится внутри конуса трения на поверхности скольжения, а также при условии, что на нижнем блоке № 3 удовлетворено условие:

$$N_3 R_3 \leq \cos \phi_{m3}$$

- где:
- $R_3$  - единичная равнодействующая эпюры сил, или активных и пассивных сил на блоке № 3
  - $N_3$  - единичный вектор, представляющий нормальную силу на поверхности скольжения № 3
  - $\phi_{m3}$  - мобилизованный угол внутреннего трения

## Концепт конуса трения

**Концепт конуса трения** – это комбинация кинематического и кинетического расчёта, представляющая собой обычный способ решения и служащая для нахождения потенциальной **поверхности разрушения сдвигом**. Принцип решения показан на следующем изображении.



Концепт конуса трения для блока расположенного на наклонной поверхности скольжения  
Удерживающие силы выражены при помощи условия:

$$N \tan \phi = c A + W \cos \beta \tan \phi$$

где:

- $A$  - поверхность блока расположенного на поверхности скольжения
- $c$  - удельное сцепление на поверхности скольжения
- $W$  - равнодействующая собственной силы тяжести блока породы
- $N$  - нормаль к поверхности скольжения
- $\phi$  - угол внутреннего трения

Literature:

Goodman, R. E.: *Introduction to Rock Mechanics: John Wiley & Sons, New York, 1989, 562 p.*

## Клин породы

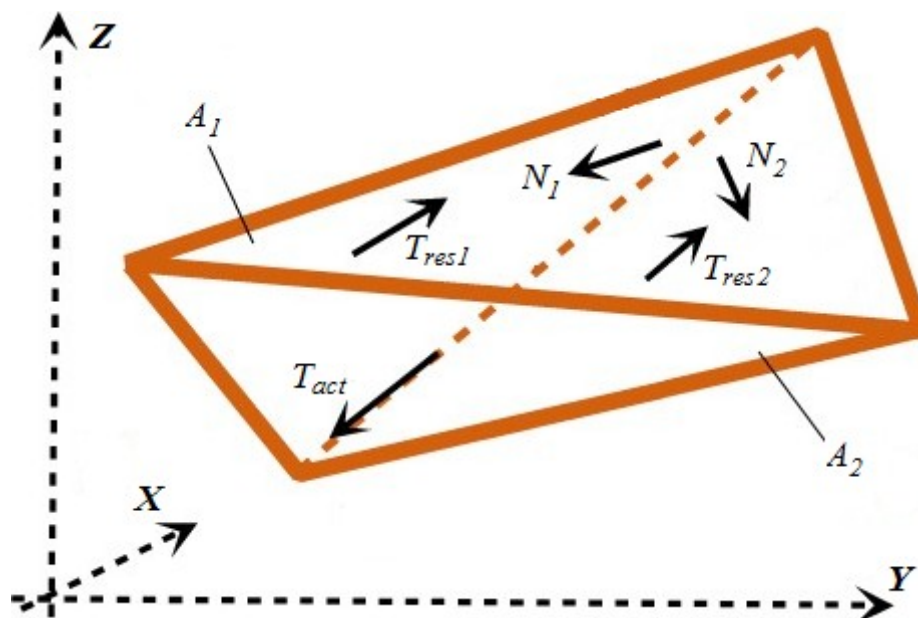
Программа проводит анализ устойчивости клина породы, вклиненного между двумя поверхностями (плоскостями) и передвигающегося в направлении линии пересечения (желобчатой поверхности) этих поверхностей. Угол наклона линии пересечения должен быть значительно больше угла внутреннего трения вдоль секущих плоскостей, а линия максимального уклона обеих секущих плоскостей должна быть направлена к линии пересечения. Далее принимаем, что пересечение расположено в устойчивом скальном массиве.

Для решения необходимо определение **нормальной силы  $N$ , сдвигающей силы  $T_{act}$  (активной) и удерживающей (пассивной) силы  $T_{res}$** , действующих на поверхности скольжения  $A_1$  и  $A_2$ . Активную силу  $T_{act}$  и нормальную силу  $N$  получают как сумму всех сил, введенных в расчёт после выполнения трёхмерного **разложения действующих сил**.

Для определения **пассивной силы  $T_{res}$**  наиболее важными входными данными являются параметры сдвига на поверхностях скольжения  $A_1$  и  $A_2$  по **Мору-Кулону** и **нормальная**

сила  $N$  на поверхностях скольжения  $A_1$  и  $A_2$ . На расчет **активной силы**  $T_{act}$  и **нормальной силы**  $N$  также влияет сила тяжести блока (которая зависит от **геометрии** и **объемной массы породы**), анкераж, пригрузка, **воздействие грунтовой воды** и **сейсмические действия**.

Поверхность скольжения можно задать с трещиной растяжения. Окончательную проверку можно провести по **методике** заданной в рамке «**Настройка**».

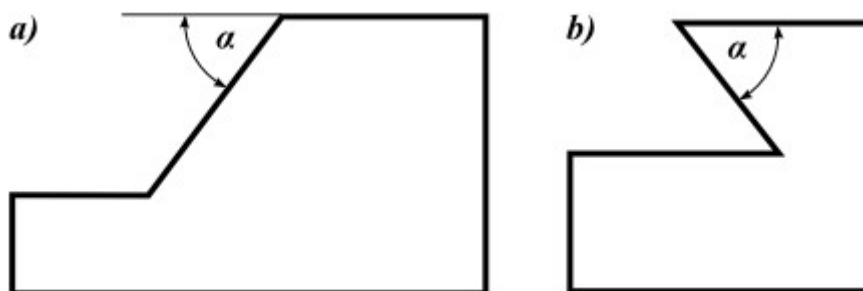


Компоненты, действующие на клин породы

## Геометрия клина породы

С помощью угла наклона и направления линии максимального уклона задаем пространственную ориентацию скальной стены, рельефа (верхней стены), поверхностей скольжения  $N_1$ ,  $N_2$  и трещины растяжения, при этом:

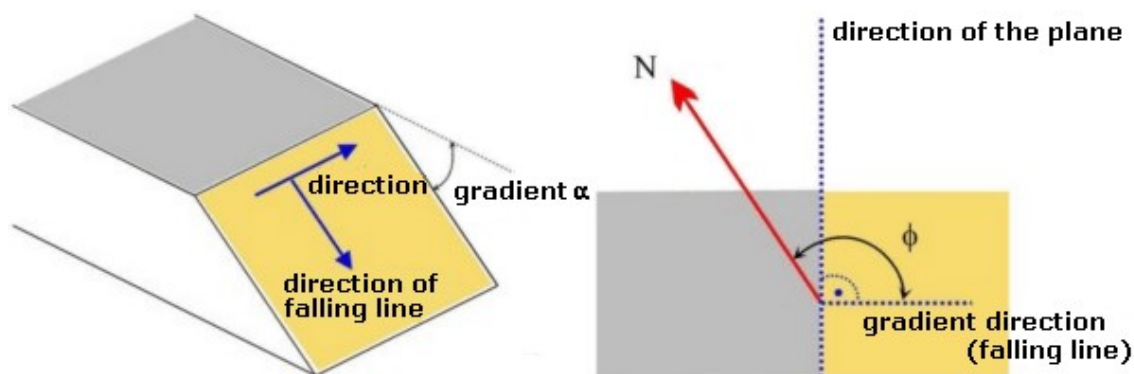
- **Наклон** (угол наклона) подразумевается угол  $\alpha$ , под которым поверхность отклоняется от горизонтали (может принимать значения  $0^\circ$  до  $90^\circ$ ). При нависающем склоне (бровка откоса находится перед подошвой откоса – стена уходит от бровки откоса в массив), зачёркиваем кнопку «**Нависающая скальная стена**» и угол наклона  $\varphi$  принимаем в полуплоскости массива. Программа проверяет существует ли опасность опрокидывания клина породы с нависающей стеной. В случае реальной возможности опрокидывания, программа выдаёт предупреждение при выдаче результатов, но фактическую проверку на опрокидывание или вращение клина породы программа не выполняет.



а) Ненависающая скальная стена б) Нависающая скальная стена

- **Направлением уклона** (линия максимального уклона) - подразумевается угол  $\phi$  горизонтальной проекции прямой перпендикулярно к направлению простирания, измеренный как угол азимута (с севера по часовой стрелке) (линия максимального уклона соответствует наклону плоскости) и может принимать значения  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

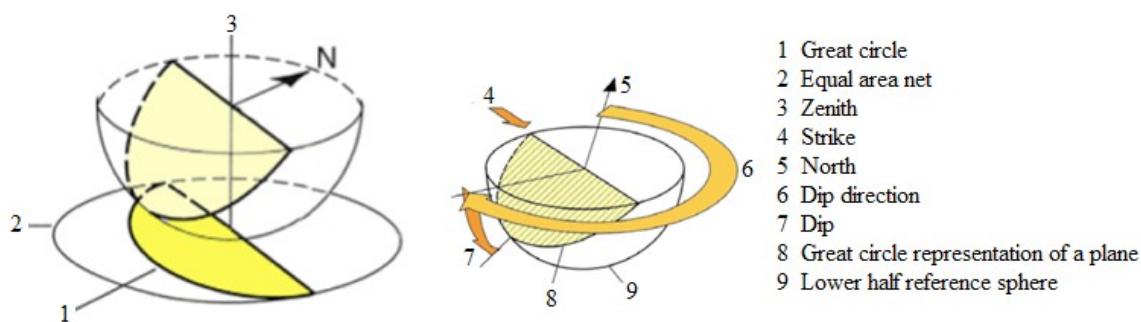
Если задать ориентацию плоскостей в пространстве, программа отобразит поверхности с помощью **стереографической проекции**.



Описание ориентации поверхностей (вертикальный разрез через массив породы и проекция на плоскости)

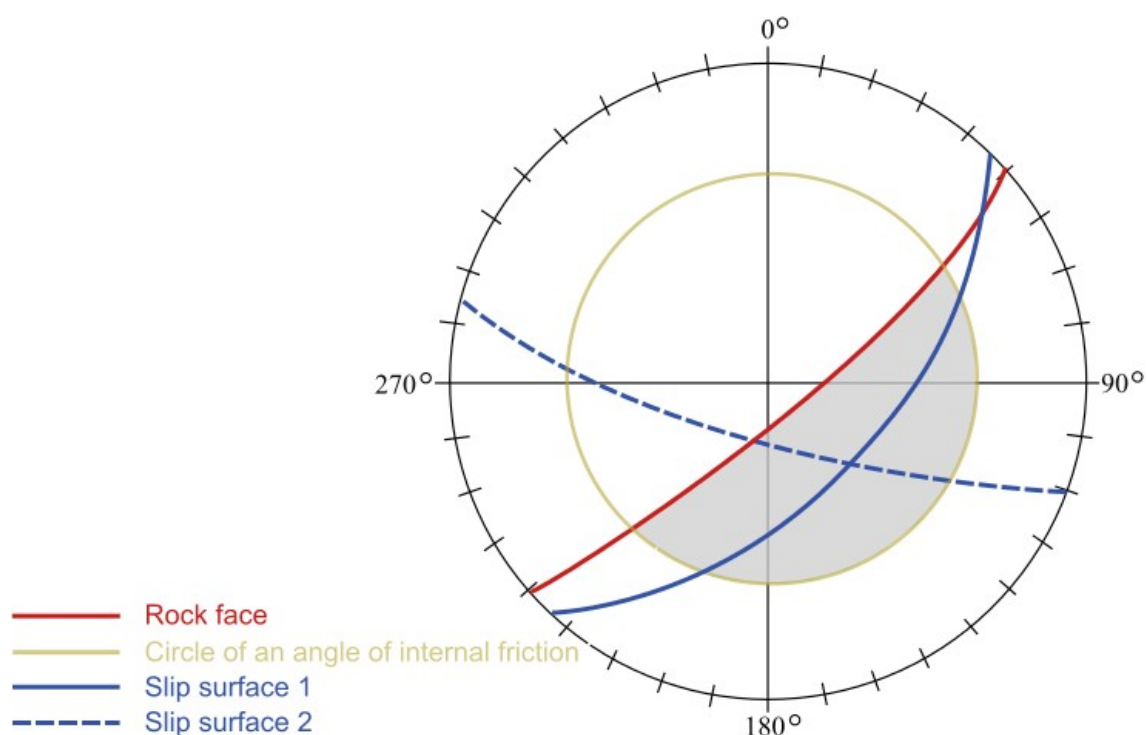
## Стереографическая проекция

При определении геометрии клина и поверхностей скольжения при помощи пространственной проекции программа отображает заданные поверхности с помощью больших кругов конической проекции Ламберта на нижнее полушарие.



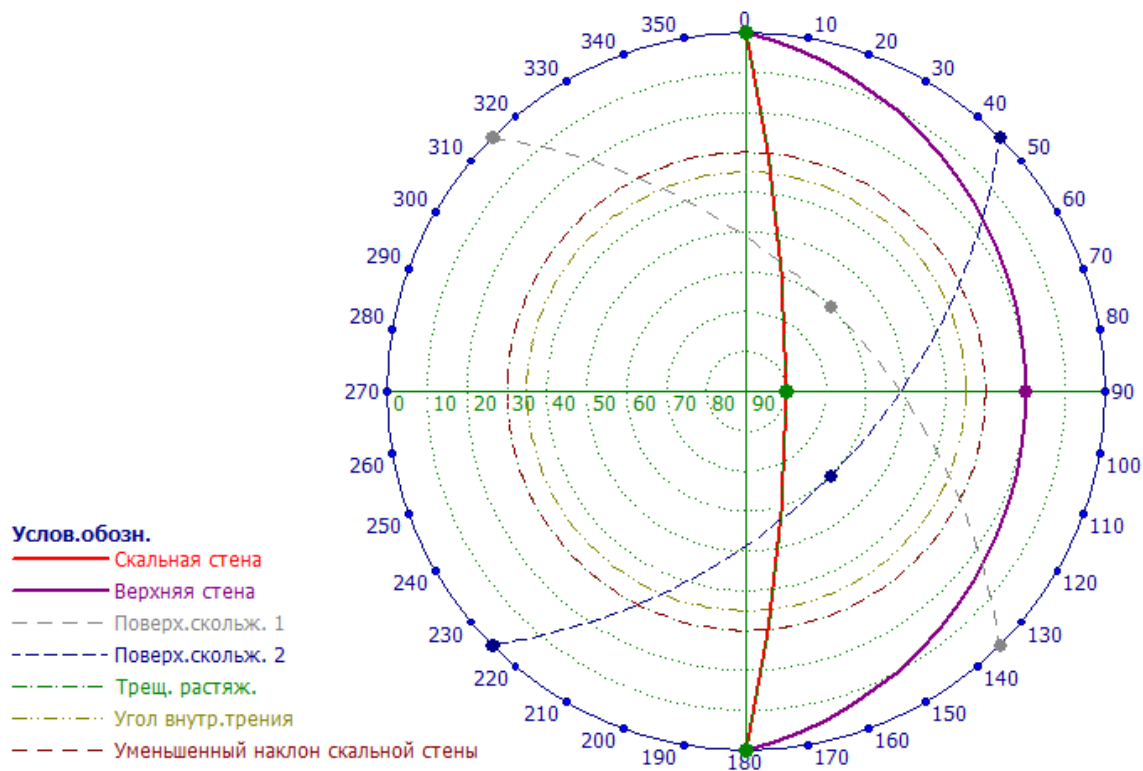
Принцип стереографической проекции (коническая проекция Ламберта)

Отображение Маркланда в стереографической проекции позволяет проверить кинематику клина породы. На рис. вырисована геометрия **породного клина** с помощью отображения его поверхностей большими кругами (скальная стена, поверхности скольжения 1 и 2). Далее на этой эпюре вырисован круг угла внутреннего трения на поверхностях скольжения. При условии, что точка пересечения больших кругов отображающих поверхности скольжения 1 и 2 находится в области серого цвета, возможен сдвиг (перемещение) клина породы вдоль линии пересечения поверхностей скольжения (т.е. кинематика клина породы). Область серого цвета ограничена большим кругом, изображающим поверхность скальной стены и кругом изображающим угол внутреннего трения на поверхностях скольжения.



*Кинематика клина породы (изображение Маркланда в стереографической проекции)*

К отображению геометрии клина породы добавлены элементы вырисовки Маркланда, благодаря чему можно по стереографической проекции проверить кинематику данного породного клина.



*Изображение Маркланда*



## Воздействие грунтовой воды

По умолчанию программа производит анализ устойчивости клина породы без учета грунтовых вод. Если нужно рассмотреть влияние грунтовых вод, задаём высоту У.Г.В. от пересечения линии пересечения поверхностей скольжения со скальной стеной (У.Г.В. может находиться в любом месте по всей длине клина породы). Программа допускает возможность свободного движения воды в разрывах сплошности под уровнем грунтовой воды (если не существует барьеров, напр. ледяных).

Гидростатическое давление действует в перпендикулярном направлении к поверхностям скольжения против нормальных составляющих пассивных сил. Если высота  $y_w$  над точкой максимального давления  $P_{max}$  равно или  $Z/2$  и полностью расположена в клине породы, его значение принимается равным  $Z/2$  (случай А). Если высота  $y_w$  над точкой максимального давления  $P_{max}$  меньше  $Z/2$  (случай В), его значение сокращается следующим образом:

$$y_w = \left( \frac{1}{2} \cdot L^* \cdot \sin \delta \right) \left( \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \delta} - 1 \right)$$

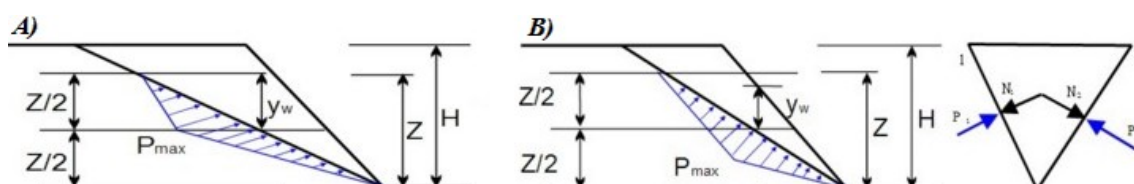
где:  $L^*$  - длина линии пересечения поверхностей скольжения  $A1, A2$   
 $\alpha_1$  - угол наклона скальной стены  
 $\delta$  - наклон линии пересечения поверхностей скольжения

В результате давление воды на поверхности скольжения 1,2 определено формулами:

$$P_1 = \frac{1}{3} \cdot P_{max} \cdot A_1^w = \frac{1}{3} \cdot \gamma_w \cdot y_w \cdot A_1^w$$

$$P_2 = \frac{1}{3} \cdot P_{max} \cdot A_2^w = \frac{1}{3} \cdot \gamma_w \cdot y_w \cdot A_2^w$$

где:  $Z$  - высота уровня грунтовых вод над линией пересечения поверхностей скольжения и поверхностью породы  
 $P_{ma}$  - максимальное гидростатическое давление на линии пересечения поверхностей скольжения  
 $\gamma_w$  - объемный вес воды ( $\approx 10 \text{ кН/м}^3$ )  
 $A_1^w$  - площадь погруженной в воду части поверхности скольжения 1  
 $A_2^w$  - площадь погруженной в воду части поверхности скольжения 2

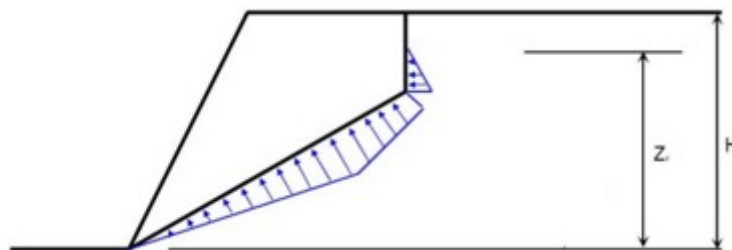


Распределение гидростатического давления на линии пересечения поверхностей скольжения

Если трещина растяжения полностью или частично заполнена водой, принимается в расчёт действие воды на поверхностях скольжения 1 и 2 (силы  $P_1$  и  $P_2$ ), отображенные с



помощью эпюры нагрузки на линии пересечения этих поверхностей, а также воздействие на трещину растяжения - сила  $P_3$  (действует перпендикулярно к трещине растяжения).



Распределение гидростатического давления: У.Г.В. в трещине растяжения

## Разложение действующих сил

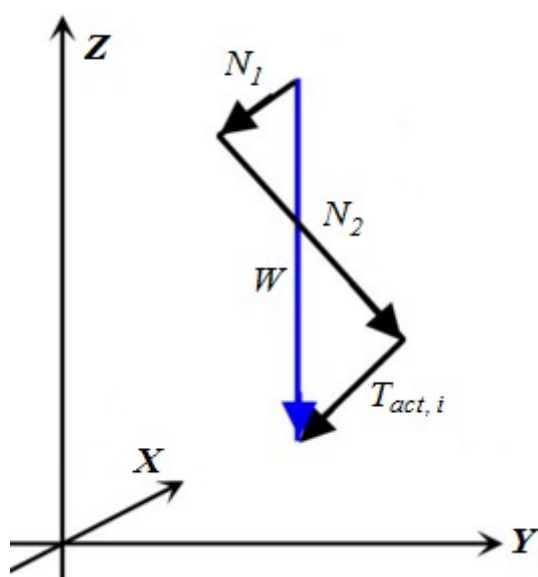
Силы, действующие на блок породы (сила тяжести блока, внешняя нагрузка, анкерная сила), раскладываются численно по нормальным плоскостям  $A_1$  и  $A_2$  (между которых вклинен блок) и в направлении их линии пересечения. В результате разложения получают составляющие нормальных сил  $N_1$ ,  $N_2$ , действующих на плоскостях  $A_1$  и  $A_2$ , и составляющие удерживающих (пассивных) сил  $T_{res,1}$ ,  $T_{res,2}$ , действующие вдоль плоскостей  $A_1$  и  $A_2$ .

Затем разложением получают **сдвигающую силу (активную)**  $T_{act}$ , действующую в направлении линии пересечения поверхностей скольжения. Результирующее значение **сдвигающей силы (активной)**  $T_{act}$  получают как сумму отдельных сдвигающих составляющих  $T_{act,i}$ .

**Удерживающую (пассивную)** силу  $T_{res}$  находят путем сложения составляющих  $T_{res,1}$ ,  $T_{res,2}$  (например, от внешней нагрузки) и сил трения на поверхностях скольжения  $A_1$  и  $A_2$  от действия нормальных сил:

$$T_{res} = \sum T_{res,1} + \sum T_{res,2} + \sum (N_1 \operatorname{tg} \varphi_1 + c_1 A_1) + \sum (N_2 \operatorname{tg} \varphi_2 + c_2 A_2)$$

где:	$c_1$	удельное сцепление на поверхности скольжения $A_1$
	$c_2$	удельное сцепление на поверхности скольжения $A_2$
	$\varphi_1$	угол внутреннего трения на поверхности скольжения $A_1$
	$\varphi_2$	угол внутреннего трения на поверхности скольжения $A_2$
	$T_{res,1}$	силы сопротивления на поверхности скольжения $A_1$
	$T_{res,2}$	силы сопротивления на поверхности скольжения $A_2$



Разложение собственного веса клина породы  $W$  в пространстве

## Проверка

Проверку выполняют по [методике проверки](#), заданной в рамке «[Настройка](#)».

## Проверка по коэффициенту запаса

При проверке по коэффициенту запаса программа непосредственно рассчитывает значение коэффициента устойчивости  $SF$ . Проверка выполняется по формуле:

$$SF = \frac{T_{res}}{T_{act}} > SF_s$$

где:

$T_{act}$	сдвигающие силы на поверхности скольжения
$T_{res}$	пассивные силы на поверхности скольжения
$SF$	коэффициент запаса
$SF_s$	коэффициент запаса (вводят в закладку « <a href="#">Расчёты на устойчивость</a> »)

Характерные значения для большинства случаев при анализе устойчивости скальных склонов, например, для стен котлованов,  $SF_s = 1,1 - 1,25$ , скальных выемок для наземных коммуникаций  $SF_s = 1,2 - 1,5$ , и т.д.

## Проверка по теории предельных состояний

При проверке по теории предельных состояний программа приводит параметры материала породы (угол внутреннего трения или тангенс угла внутреннего трения, удельное сцепление), используя частные коэффициенты, введенные в закладке «[Расчёты на устойчивость](#)».

Условие проверки имеет следующий вид:

$$T_{act} < \frac{T_{res}}{\gamma_s}$$

где:  $T_{act}$  - сдвигающие силы на поверхности скольжения  
 $T_{res}$  - пассивные силы на поверхности скольжения  
 $\gamma_s$  - коэффициент общей устойчивости конструкции (задают в закладке «Расчёт на устойчивость»)

При анализе **полигональной поверхности скольжения** программа сравнивает рассчитанное значение со значением при полном нагружении на 100 процентов (состояние равновесия с нулевым запасом).

Условие проверки имеет следующий вид:

$$SF > SF_s$$

где:  $SF$  - коэффициент запаса, рассчитанный по приведённым параметрам материала  
 $SF_s$  - коэффициент общей устойчивости конструкции

## Критерий сопротивления породы сдвигу

Сопротивление сдвигу - основной критерий определения удерживающих пассивных сил. Удерживающую силу рассчитывают по формуле:

$$T_{res} = \tau l$$

где:  $\tau$  - сопротивление сдвигу на поверхности скольжения  
 $l$  - длина поверхности скольжения

Сопротивление сдвигу плоской поверхности скольжения можно описать по методам:

- Мора-Кулона
- Гука-Брауна
- Бартона-Брандиса

## Мор - Кулон

Сопротивление сдвигу  $\tau$  [kPa] по Мору-Кулону имеет вид:

$$\tau = c + \frac{N}{l} \operatorname{tg} \varphi$$

где:  $N$  - нормальная сила, действующая на поверхности скольжения  
 $l$  - длина поверхности скольжения  
 $c$  - сцепление грунта /породы  
 $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта

Приближённые значения параметров критерия обрушения Мора-Кулона для отдельных пород приведены [здесь](#).

## Параметры Мора-Кулона

По возможности сдвигающие параметры должны определяться измерениями in-situ. Результаты эксплуатационных и лабораторных опытов показывают, что угол внутреннего трения для большинства трещин в массиве породы варьируется в пределах 27° - 47°. Примерные значения угла внутреннего трения  $\varphi$  и сцепления  $c$  для пород на основании классификации -рейтинга горных пород **RMR** представлены в следующей таблице:

Класс породы	I	II	III	IV	V
<b>RMR</b>	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
<b>Угол внутреннего трения <math>\varphi</math> [°]</b>	> 45	35 - 45	25 - 45	15 - 25	< 15
<b>Сцепление <math>c</math> [кПа]</b>	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100

## Хоек - Браун

Модифицированное условие Хоека-Брауна описывает разрушение массива породы на основании анализов сотен подземных выработок и скальных откосов следующим образом:

$$\sigma_{1,ef} = \sigma_{3,ef} + \sigma_c \left( \frac{m_b \cdot \sigma_{3,ef}}{\sigma_c} + s \right)^a$$

где:

- $\sigma_{1,ef}$  - большее главное напряжение во время обрушения породы
- $\sigma_{3,ef}$  - меньшее главное напряжение во время обрушения породы
- $\sigma_c$  - прочность породы при простом сжатии
- $\sigma_{ci}$  - одноосная прочность на сжатие неразрушенных массивов породы
- $m_b$  - нелинейные параметры, зависящие от свойств породы
- $a$  - параметр трещиноватости породы

Основные параметры модифицированного условия Гука-Брауна в идеале следует получать в измерениях in-situ и лабораторных измерениях. Для быстрой ориентировки приводится **диапазон параметров**. Если известна классификация **массива породы по GSI**, в программу можно задать **вычисление параметров** условия Гука-Брауна.

Для самого расчёта устойчивости параметры Хоека-Брауна преобразуются в параметры **Мора-Кулона**, и процедура расчёта аналогична вычислению Мора-Кулона условия сопротивления сдвигу.

For conversion of Hoek-Brown parameters is used solution according to Hoek, Carranza-Torres and Corkum (2002) in case of the analysis of **rock slope stability**:

Angle of internal friction  $\varphi$ :

$$\varphi' = \arcsin \left[ \frac{6 a m_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6 a m_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

Cohesion (shear strength)  $c$ :

$$c' = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n}] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + (6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}) / ((1+a)(2+a))}}$$

where:

$$\sigma'_{3n} = \frac{\sigma'_{3\max}}{\sigma_{ci}}$$

The maximum value of a smaller principal stress  $\sigma'_{3\max}$  is given by:

$$\frac{\sigma'_{3\max}}{\sigma'_c} = 0,72 \left( \frac{\sigma'_c}{\gamma H} \right)^{-0,91}$$

where:

- $\gamma$  - unit weight of rock
- $H$  - height of rock slope
- $\sigma_c$  - прочность неповрежденной породы при простом сжатии

#### Literature:

*Stability analysis of rock slopes with a modified Hoek-Brown failure criterion, ANG Xiao-Li ; LIANG LI ; YIN Jian-Hua International journal for numerical and analytical methods in geomechanics. ISSN 0363-9061, 2004, vol. 28, no2, pp. 181-190.*

*Hoek E, Carranza-Torres CT, Corkum B.: Hoek-Brown failure criterion—2002 edition. Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium, Toronto, Canada, vol. 1, 2002, pp. 267 – 273.*

## Параметры Гука-Брауна

### Параметр трещиноватости породы $a$

Параметр является величиной, принимающей значения от 0,5 до 0,65 (для оригинального условия Гука-Брауна он равен 0,5) и зависит от степени трещиноватости породы.

### Нелинейные параметры $m_b = m, s$ для $a = 0,5$

(показатель  $r$  означает остаточные значения)

	Карбонатные породы с хорошей сланцеватостью - доломит, известняк, мрамор	Аргиллиты - уплотнённые глинистые породы, сланцеватые глины, филлит, алевроит, сланцы, пелиты	Песчаные породы – псаммиты, песчаники, кварциты	Мелкозернистые полиминеральные вулканические кристаллические породы – диабаз андезит, долерит, базальт, риолит	Крупнозернистые полиминеральные вулканические метаморфические породы, Кристаллические сланцы, габбро, гнейс, амфиболит, кварцевый диорит
Ненарушенные образцы породы, Лабораторные образцы: на них нет поверхностей с разрывами $RMR = 100$ $Q = 500$	$m = 7.00$ $s = 1.00$ $m_r = 7.00$ $s_r = 1.0$	$m = 10.00$ $s = 1.00$ $m_r = 10.00$ $s_r = 1.00$	$m = 15.00$ $s = 1.00$ $m_r = 15.00$ $s = 1.00$	$m = 17.00$ $s = 1.00$ $m_r = 17.00$ $s = 1.00$	$m = 25.00$ $s = 1.00$ $m_r = 25.00$ $s = 1.00$
Породный массив очень хорошего качества Блокам и не нарушенная порода с невыветренным и трещинами $RMR = 85$ $Q = 100$	$m = 2.40$ $s = 0.082$ $m_r = 4.10$ $s_r = 0.189$	$m = 3.43$ $s = 0.082$ $m_r = 5.85$ $s_r = 0.189$	$m = 5.14$ $s = 0.082$ $m_r = 8.78$ $s_r = 0.189$	$m = 5.82$ $s = 0.082$ $m_r = 9.95$ $s_r = 0.189$	$m = 8.56$ $s = 0.082$ $m_r = 14.63$ $s_r = 0.189$
Породный массив хорошего качества, Незначительные разрушения породы с невыветренными трещинами на	$m = 0.575$ $s = 0.00293$ $m_r = 2.006$	$m = 0.821$ $s = 0.00293$ $m_r = 2.865$	$m = 1.231$ $s = 0.00293$ $m_r = 4.298$	$m = 1.395$ $s = 0.00293$ $m_r = 4.871$	$m = 2.052$ $s = 0.00293$ $m_r = 7.163$

расстояниях друг от друга $l - 3 \text{ м}$ $RMR = 65$ $Q = 10$	$s_r = 0.0205$	$s_r = 0.0205$	$s_r = 0.0205$	$s_r = 0.0205$	$s_r = 0.0205$
Породный массив удовлетворит. качества, Частично выветренные трещины, расстояние друг от друга $0,3 - 1 \text{ м}$ $RMR = 44$ $Q = 1$	$m = 0.128$ $s = 0.00009$ $m_r = 0.947$ $s_r = 0.00198$	$m = 0.183$ $s = 0.00009$ $m_r = 1.353$ $s_r = 0.00198$	$m = 0.275$ $s = 0.00009$ $m_r = 2.030$ $s_r = 0.00198$	$m = 0.311$ $s = 0.00009$ $m_r = 2.301$ $s_r = 0.00198$	$m = 0.458$ $s = 0.00009$ $m_r = 3.383$ $s_r = 0.00198$
Породный массив низкого качества, Многочисленные выветренные трещины на расстояниях $30 - 500 \text{ мм}$ $RMR = 23$ $Q = 0,1$	$m = 0.029$ $s = 0.000003$ $m_r = 0.447$ $s_r = 0.00019$	$m = 0.041$ $s = 0.000003$ $m_r = 0.639$ $s_r = 0.00019$	$m = 0.061$ $s = 0.000003$ $m_r = 0.959$ $s_r = 0.00019$	$m = 0.069$ $s = 0.000003$ $m_r = 1.087$ $s_r = 0.00019$	$m = 0.102$ $s = 0.000003$ $m_r = 1.598$ $s_r = 0.00019$
Породный массив чрезвычайно низкого качества, Многочисленные сильно выветренные трещины с заполнением на расстояниях менее, чем $50 \text{ мм}$ , мелкозернистая пустая порода $RMR = 3$ $Q = 0,01$	$m = 0.007$ $s = 0.0000001$ $m_r = 0.219$ $s_r = 0.00002$	$m = 0.010$ $s = 0.0000001$ $m_r = 0.313$ $s_r = 0.00002$	$m = 0.015$ $s = 0.0000001$ $m_r = 0.469$ $s_r = 0.00002$	$m = 0.017$ $s = 0.0000001$ $m_r = 0.532$ $s_r = 0.00002$	$m = 0.025$ $s = 0.0000001$ $m_r = 0.782$ $s_r = 0.00002$



**Прочность породы при простом сжатии  $\sigma_c$ , коэффициент Пуассона  $\nu$  и объемный вес породы  $\gamma$**

Прочно сть породы	Типы породы (примеры)	Прочно сть $\sigma_c$ [МПа]	Коэффициент Пуассона $\nu$	Объемный вес породы $\gamma$ [кН/м <sup>3</sup> ]
Монолитная порода	самая твердая порода, ненарушенная, плотная кварцевая порода и базальты, а также другие породы исключительной твердости	>150	0,1	28,00 - 30,00
Очень твердая порода	очень твердые гранитные породы, кварцевый порфир, очень твердый гранит, кварцевый сланец, менее твердые кварциты, наиболее твердые песчаники и известняки	100 - 150	0,15	26,00 - 27,00
Твердые породы	гранит, очень твердые песчаники и известняки, кварцевые рудные жилы, твердый конгломерат, очень твердые железные руды, твердые известняки, менее твердые граниты, плотные песчаники, мраморы, доломиты, пириты	80 - 100	0,20	25,00 - 26,00
Достаточно твердые горные породы	обыкновенный песчаник, железные руды средней твердости, песчаные сланцы, слюдяные песчаники	50 - 80	0,25	24,00
Породы средней твердости	Твердые глинистые сланцы, менее твердый песчаник и известняк, мягкий конгломерат, разнообразные сланцы небольшой твердости, плотный мергель	20 - 50	0,25 - 0,30	23 - 24,00
Достаточно мягкие породы	мягкие сланцы, мягкий известняк, мел, каменная соль, мерзлый грунт, антрацит, обыкновенный мергель, песчаник с нарушенной структурой, мягкий конгломерат, смесь ила и породы	5 - 20	0,3 - 0,35	22,00 - 26,00
Неустойчивый	Плотная глина, грунтовый	0,5 - 5	0,35 - 0,40	20,00 - 22,0

грунт	элювий, черный уголь			18,00 - 20,00
-------	----------------------	--	--	---------------

## Расчет параметров Гука-Брауна

Если известна классификация породного массива скального откоса по GSI (показатель геологической структуры), то программе можно задать вычисление параметров Гука-Брауна по следующим формулам:

$$m_b = m_i \cdot e^{(GSI-100 / 28 - 14 \cdot D)}$$

$$s = e^{(GSI-100 / 9 - 3 \cdot D)}$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{(-GSI / 15)} - e^{(-20 / 3)} \right)$$

где:

- $GSI$  - показатель геологической структуры
- $D$  - коэффициент разрушения массива породы
- $m_i$  - постоянная сопротивления ненарушенной породы для верховых условий

### Значения коэффициента разрушения $D$ для скального откоса

<b>Описание разработки скального откоса</b>	<b>Предполагаемое значение коэффициента <math>D</math></b>
Взрывные работы небольшого объёма на скальных уклонах с местным разрушением при условии управляемого подрыва. Тем не менее, будет разрушена порода на лицевой стороне откоса (при хорошем качестве взрывных работ).	0,7
Взрывные работы небольшого объёма на скальных уклонах с местным разрушением при условии управляемого подрыва. Тем не менее, будет разрушена порода на лицевой стороне откоса (при плохом качестве взрывных работ).	1
Очень большие открытые откосы карьеров или открытых разработок с нарушениями от воздействия масштабных взрывных работ и перераспределения напряжения при разгрузке породы (применение только взрывчатого вещества).	1
В условиях участков более мягких пород крупных шахт или карьеров разработка может проводиться без подрывочных работ – т.е. с в меньшей степени нарушены откосы (механическая разработка породы).	0,7

**Примерные значения постоянной сопротивления ненарушенной породы  $m_i$**  (по Гуку)

Тип пород	Примеры пород	$m_i$ [-]
Известняковые породы с хорошей кристаллической сланцеватостью	Доломит, кальцит, мрамор	$\approx 7$
Уплотненные глинистые породы	Аргиллит, илистый сланец, аспидный сланец, алевроит	$\approx 10$
Песчаные породы с твердыми кристаллами и плохой кристаллической сланцеватостью	Песчаник, кварцит	$\approx 15$
Мелкозернистые вулканические кристаллические породы	Андезит, долерит, диабаз, риолит	$\approx 17$
Крупнозернистые и метаморфические породы	Амфиболит, габбро, гнейс, гранит, диорит	$\approx 25$

## Бартон - Бэндис

Критерий сопротивления сдвигу по Бартону-Брандису для массива пород имеет следующую форму:

$$\tau = \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \left[ \varphi_b + JRC \cdot \log_{10} \left( \frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right]$$

где:

- $JRC$  - коэффициент шероховатости поверхности скольжения
- $\sigma_n$  - нормальная сила, действующая на поверхность стыка породы
- $JCS$  - сопротивление поверхности стыка сжатию
- $\varphi_b$  - базовый угол внутреннего трения поверхности скольжения

По возможности параметры прочности должны определяться в ходе эксплуатационных измерений.

Примерный диапазон параметров критерия разрушения по Бартону-Брандису приводится [здесь](#).

## Параметры Бартона-Брандиса

### Коэффициент шероховатости поверхности скольжения JRC

Если значение коэффициента  $JRC$  нельзя определить непосредственным измерением на поверхности трещины, его можно получить из графика Бартона (см. Рис.), на котором вынесена зависимость коэффициента  $JRC$  от длины профиля и глубины шероховатости.

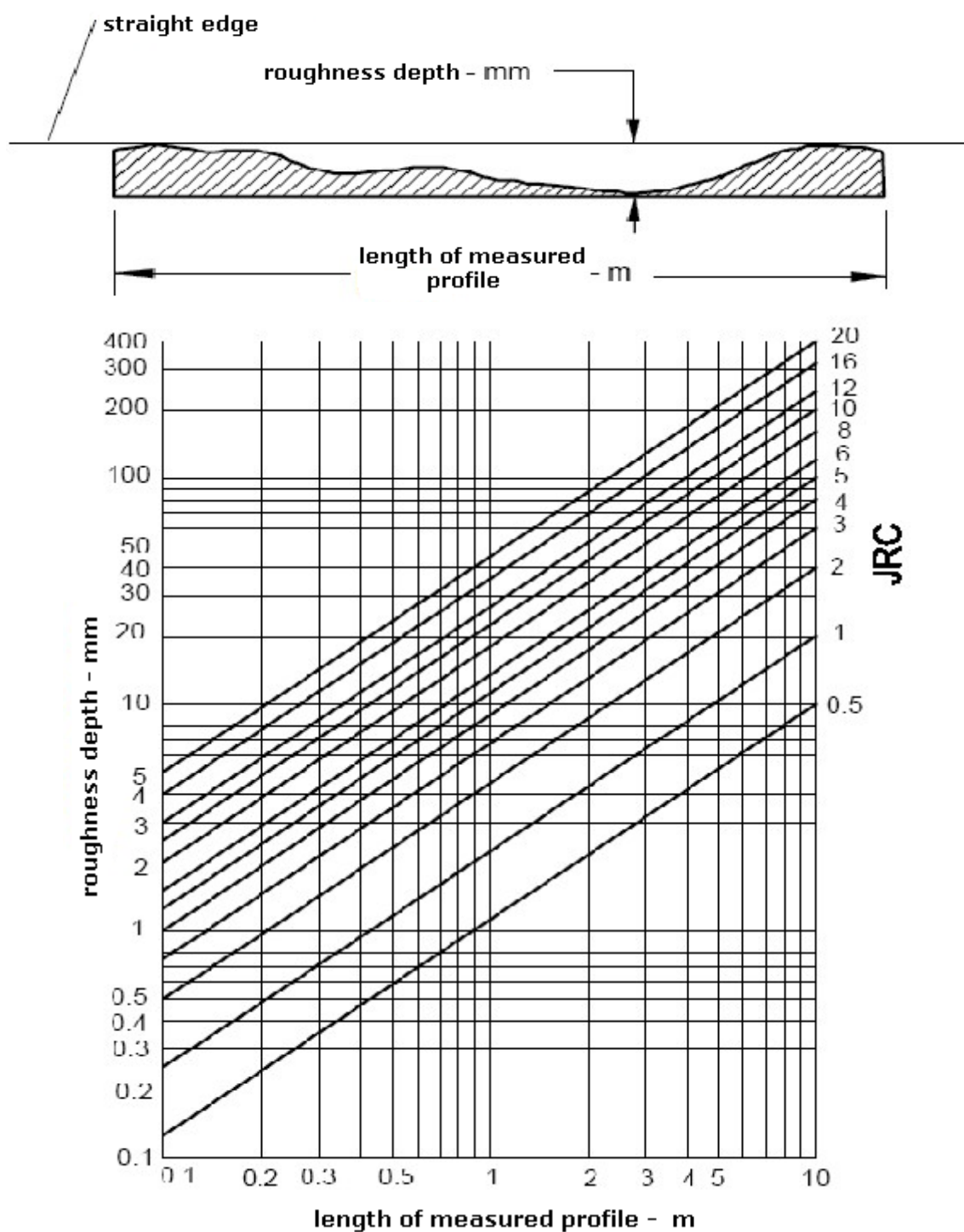
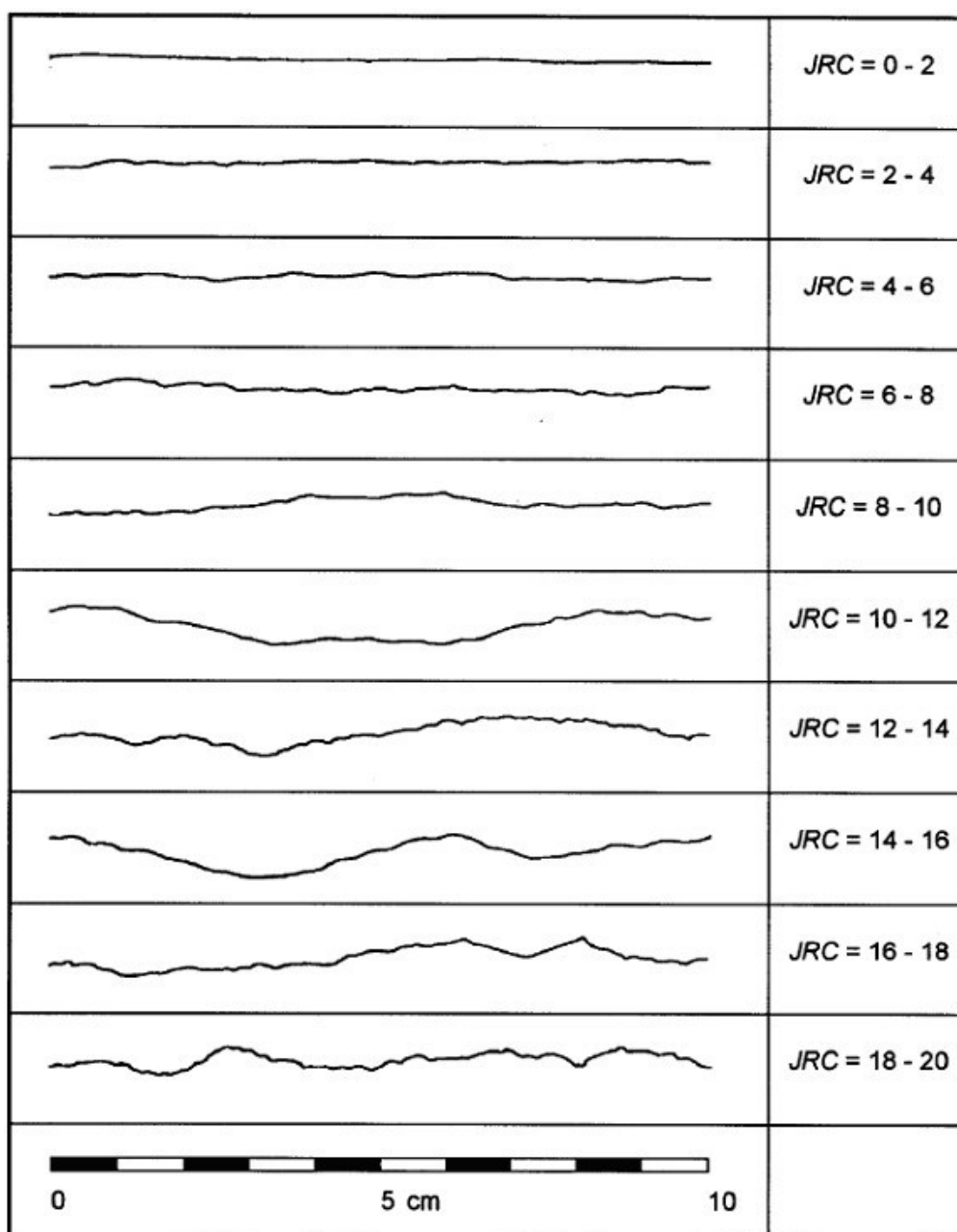


Диаграмма для определения коэффициента шероховатости стыка JRC (по Бартону)  
 Профили шероховатости стыков породы с характерными пределами коэффициента JRC  
 представлены ниже.

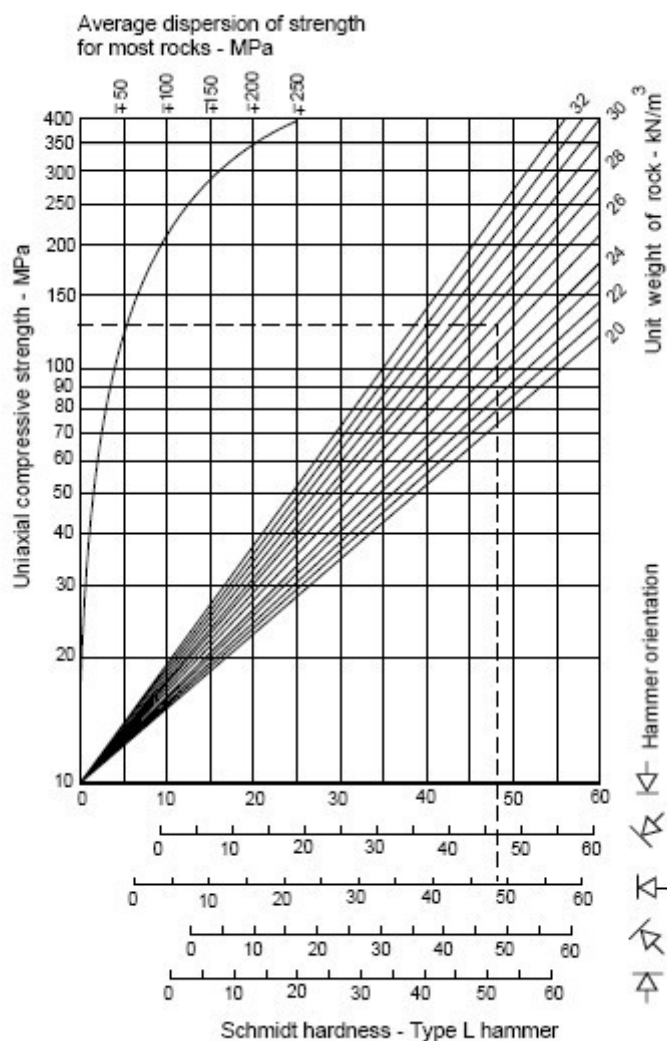


*Профили шероховатостей и соответствующие значения коэффициента JRC (Barton & Chubey 1977)*

### **Сопротивление сжатию поверхности отдельности JCS**

Методы определения значения прочности поверхности ослабления в сжатии (поверхности скольжения) рекомендованы Обществом по механике горных пород ISRM. На следующем изображении показан график Дира-Миллера (Deer, Miller) для считывания значения JCS в зависимости от прочности породы, измеренная молотком Шмидта.





### Базовый угол внутреннего трения на поверхности скольжения $\phi_b$

Базовое значение угла внутреннего трения на поверхности скольжения примерно равняется остаточному значению  $\phi_r$ , тем не менее, его можно измерить в лабораторных условиях приборами для измерения сдвига (площадь образца 50x50 мм). Базовый угол внутреннего  $\phi_b$  трения для невыветренных поверхностей пород варьирует от 25° до 35°.

## Объемная масса породы

Объемная масса породы  $\gamma$

<b>Прочно сть породы</b>	<b>Типы породы (примеры)</b>	<b>Объемная масса породы <math>\gamma</math> [кН/м<sup>3</sup>]</b>
Монолитная порода	Самая твердая порода, ненарушенная, плотная кварцевая порода и базальт, иные очень твердые породы	28,00 - 30,00
Крайне твердая порода	Очень твердая гранитная порода, кварцевый порфир, очень твердый гранит, твердый кремнистый сланец, кварцит, очень твердая песчаная порода и очень твердый кальцит	26,00 - 27,00
Твердая порода	Гранит, очень твердый песчаник и кальцит, залежи кварцита, твердый конгломерат, очень твердая руда, твердый известняк, мрамор, доломит, пирит	25,00 - 26,00
Горная порода	Песчаник, руда, средне песчаный сланец, слюдянистый песчаник	24,00
Порода средней твердости	Твердый аргиллит, более мягкая песчаная порода и кальцит, мергель	23 - 24,00
Мягкая порода	Сланец, мягкий известняк, мел, соляная порода, мерзлый грунт, антрацит, мергель, песчаник с нарушенной структурой, мягкий конгломерат	22,00 - 26,00
Неустойчивый грунт	Плотная глина, грунтовый элювий, черный уголь	20,00 - 22,0  18,00 - 20,00

## Влияние сейсмических воздействий

Программа позволяет рассчитывать воздействия землетрясения при помощи двух переменных: фактора горизонтального ускорения  $K_h$  и фактора вертикального ускорения

$K_v$ .

Фактор ускорения - безразмерное число, показывающее сейсмическое ускорение как частное гравитационного ускорения. Действие землетрясения вводится посредством сейсмической силы  $S$ , равной произведению коэффициента ускорения и силы тяжести тела (т.е. блока породы) подверженного сейсмическому воздействию. Если допустить, что распространение сейсмических волн происходит только в горизонтальном направлении, то сейсмическая сила принимает следующий вид:

$$S = K_h \cdot W$$

где:  $K_h$  - коэффициент горизонтального ускорения

$W$  - сила тяжести массива породы

Сейсмическая сила всегда действует в центре тяжести массива грунта. Обычно учитываются только сейсмические действия в горизонтальном направлении. Тем не менее, программа позволяет учитывать и вертикальное направление (при помощи коэффициента вертикального ускорения  $K_v$ ). В этом случае действия в обоих направлениях объединяются.

Степень по шкале MCS	Горизонтальное ускорение	Коэффициент горизонтального ускорения
(MSK-64)	$[мм/с^2]$	$K_h$
1	0,0 - 2,5	0,0 - 0,00025
2	2,5 - 5,0	0,00025 - 0,0005
3	5,0 - 10,0	0,0005 - 0,001
4	10,0 - 25,0	0,001 - 0,0025
5	25,0 - 50,0	0,0025 - 0,005
6	50,0 - 100,0	0,005 - 0,01
7	100,0 - 250,0	0,01 - 0,025
8	250,0 - 500,0	0,025 - 0,05
9	500,0 - 1000,0	0,05 - 0,1

10	1000,0 - 2500,0	0,1 - 0,25
11	2500,0 - 5000,0	0,25 - 0,5
12	> 5000,0	> 0,5

Значения коэффициента  $K_h$  соответствующие шкале интенсивности землетрясений MCS.

## Армированные насыпи

Программа выполняет следующие проверки:

### Проверка

Проверяется внешняя устойчивость так наз. **фиктивной конструкции**, которая образована лицевой стороной конструкции и кривой, которая ограничивает концевые точки элементов геормировки. Фиктивная конструкция нагружается **вычисленными силами действующими на конструкцию** и выполняется анализ на **опрокидывание и смещение** - таким же способом как у **гравитационной стенки**.

### Подбор размеров

Программа из **рассчитанных сил действующих на конструкцию** вычислит силы в рассматриваемом сечении. Принимаются в расчёт только те силы, которые находятся выше рассматриваемого шва (см. **рисунок**). Элементы армировки **участвуют стабилизирующими силами**, которые равны значению более низкой из двух несущих способностей (на выдёргивание и на разрыв). Далее выполняется собственно анализ на **опрокидывание и смещение**. Программа позволяет автоматический анализ самого неблагоприятного сечения.

### Несущая способность

Проверяется **несущая способность грунта основания** под **фиктивной конструкцией**. Постоянное напряжение в подошве фундамента выражено всеми **силами действующими на конструкцию**, вычисленными в рамке «Проверка». Если был задан фундамент, то несущую способность рассчитывают из всех сил, рассчитанных в рамке «Подбор размеров» (нужно отметить выбор «**Стена в целом**»).

### Сдвиг по геормировке

Проверяется **сдвиг армированного блока грунта** по геормировке. Армированный блок ограничен лицевой стороной стены, рассматриваемой геормировкой, отвесной линией пересекающей концевую точку геормировки и землю. На блок действуют **активное давление грунта**, стабилизирующие силы от геормировок, действие которых выходит за пределы армированного блока, и **другие силы**. Программа позволяет автоматический анализ **сдвигов** по отдельным элементам геормировки и нахождение наиболее критического результата.

### Внутренняя устойчивость

Элементы геормировки **проверяются** на **разрыв и выдёргивание** из массива грунта.

### Глобальная устойчивость

Программа позволяет анализ общей (глобальной) **устойчивости откоса** (склона) на **круглоцилиндрической поверхности** скольжения. Поверхность скольжения можно **оптимизировать**, т.е. программа автоматически выбирает проверку по наиболее критической поверхности скольжения. Собственно расчёт **устойчивости откоса** можно выполнить с помощью двух методов отсеков: метода **Spencer** (ригорозный, более точный метод) и метода **Bishop** (более консервативный, простой, легче находит решение, удовлетворяющее условиям равновесия).

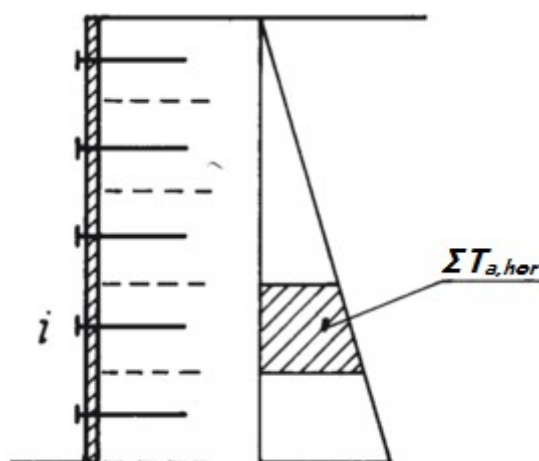
### Устойчивость откоса

Проверка **общей (глобальной) устойчивости** с помощью программы «**Устойчивость откоса**».

## Внутренняя устойчивость

### Усилие в геоармировке

Усилия в отдельных геоармировках определяются путём распределения рассчитанного давления грунта по отдельным ярусам. Каждый армирующий элемент передаёт часть активного давления, действующего на **конкретный ярус**, т.е. передаваемое усилие в армирующем элементе  $F_x = \Sigma T_{a,vod}$ .



Определение сил в отдельных армировочных элементах

**Форма поверхности скольжения** зависит от выбора стандарта по расчёту.

Способы расчёта внутренней устойчивости отличаются в зависимости от типа армировочных элементов:

- для **гибких (податливых)** -Standard (ровная поверхность скольжения), AASHTO ( Extensible), FHWA NHI-10-024)
- для **жёстких (неподатливых)** AASHTO (Inextensible), JTGD30 - 2004 Highway China Code, TB 10025 Railway China Code, BS 8006 - Coherent Gravity Method

**Давление грунта** рассчитывается как **активное** для **податливых армир.элементов**, или как комбинация давлений для **неподатливых арм.элементов**

### Сопротивление армирующего элемента разрыву

Долговременная расчётная прочность армир.элемента на разрыв  $R_t$  вычисляется из **заданных свойств** геоармировки:

$$R_t = \frac{T_{ult}}{RF_{CR} \cdot RF_D \cdot RF_{ID} \cdot FS_{UNC}}$$

где:  $R_t$  - долговременная проектная прочность армир.элемента  
 $T_{ult}$  - кратковременная характерная прочность армир.элемента  
 $RF_C$  - коэффициент редукции долговременной деформативности армир.элемента  
 $R$  (задаётся с учётом требуемого срока службы армировки)  
 $RF_D$  - коэффициент редукции долговечности армир.элемента (определён по pH  
 грунта)  
 $RF_I$  - коэффициент редукции разрушения армир.элемента при укладке в грунт  
 $D$  (определён по размеру зёрен грунта)  
 $FS_U$  - общий коэффициент неуверенности модели  
 $NC$

### Сопротивление армирующего элемента выдёргиванию

Сопротивление выдёргиванию из массива грунта рассчитывают по **заданным параметрам** геоармировки и нормальной силе, действующей перпендикулярно относительно её **поверхности**:

$$T_p = 2 \cdot L \cdot C_i \cdot \sigma_z \cdot \tan \varphi$$

где:  $T_p$  - сопротивление арм.элемента выдёргиванию  
 $L$  - длина арм.элемента (от лицевой стороны стены до конца)  
 $C_i$  - коэффициент взаимодействия грунта и геоармировки  
 $\sigma_z$  - вертикальное геостатическое напряжение  
 $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта

**Проверку** прочности армир.элемента на разрыв и выдёргивание можно выполнить или по **коэффициенту запаса** или по теории **предельных состояний**.

## Проверка - коэффициент запаса

Преимуществом этой проверки её наглядность и однозначность, т.к. свойства грунтов и действующие силы не подвергаются редукции.

### Проверка на разрыв:

$$\frac{R_t}{F_x} > SF_{st}$$

где:  $F_x$  - **сила** переданная армировкой  
 $R_t$  - долговременная проектная **прочность** армировки  
 $SF_{st}$  - коэффициент запаса на разрыв геоармировки (задается в закладке «**Расчёт стен**»)

### Проверка на выдёргивание:

$$\frac{T_p}{F_x} > SF_{po}$$

где:  $F_x$  - сила переданная армировкой  
 $T_p$  - сопротивление армировки выдёргиванию  
 $SF_{po}$  - коэффициент запаса на выдёргивание геоармировки (задаётся в рамке «Расчёт стен»)

## Проверка - предельные состояния

В зависимости от настройки в закладке «Расчёт стен» выполняется редукция параметров грунтов. В результате получаем выраженную в процентах степень использования армировки.

**Проверка на разрыв:**

$$\frac{F_x}{R_t} \cdot 100 < 100\%$$

где:  $F_x$  - сила переданная армировкой  
 $R_t$  - долговременная проектная прочность армировки на разрыв

**Check for pull-out:**

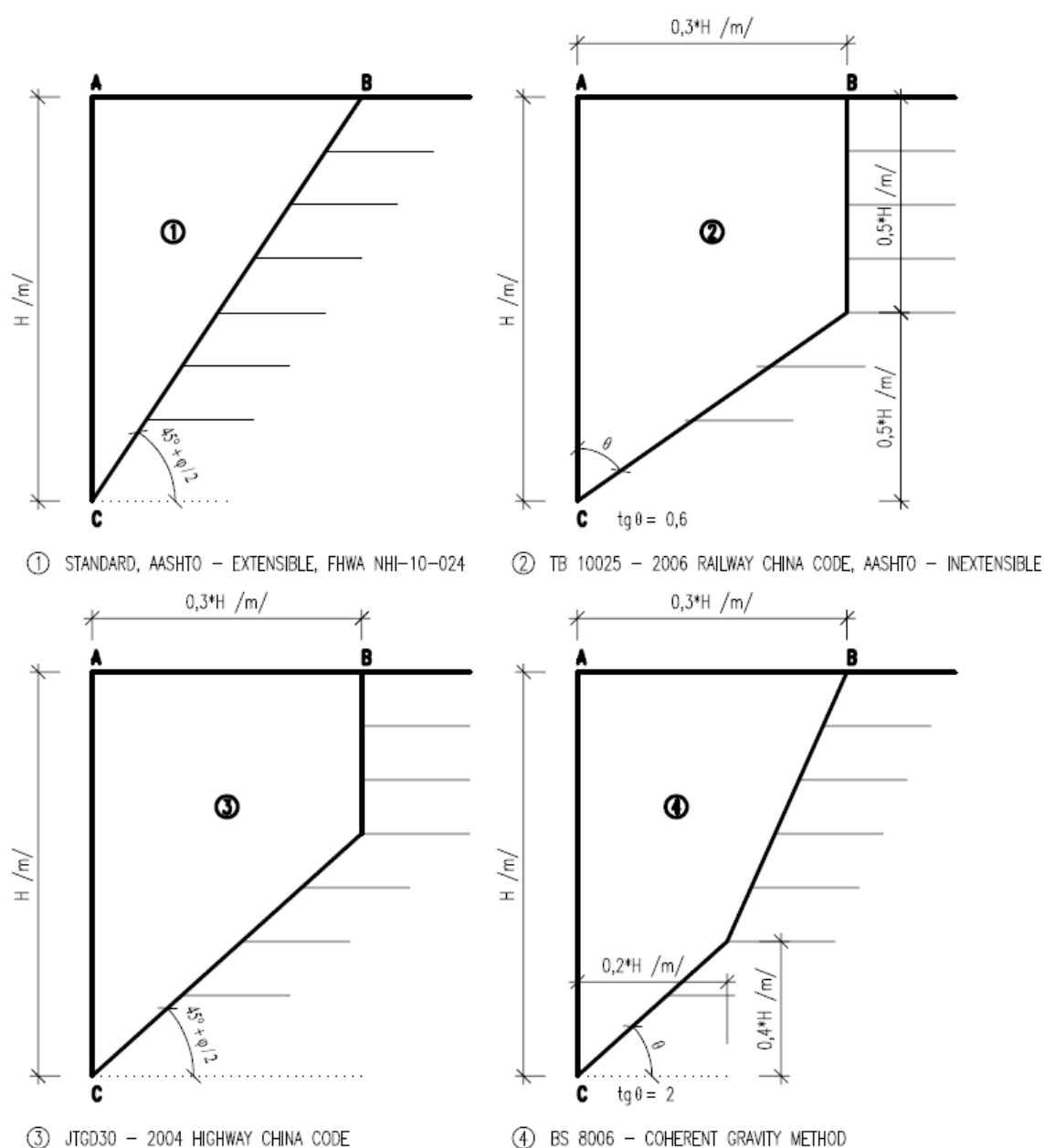
$$\frac{F_x}{T_p} \cdot 100 < 100\%$$

где:  $F_x$  - сила переданная армировкой  
 $T_p$  - сопротивление армировки выдёргиванию

## Форма поверхности скольжения

Форма поверхности скольжения может быть разной в зависимости от выбранного стандарта расчёта:

- **Ровная поверхность скольжения** - Standard, AASHTO - Extensible, FHWA NHI-10-024
- **Ломаная поверхность скольжения** - AASHTO - Inextensible, JTGD30 - 2004 Highway China Code, TB 10025 Railway China Code, BS 8006 - Coherent Gravity Method.

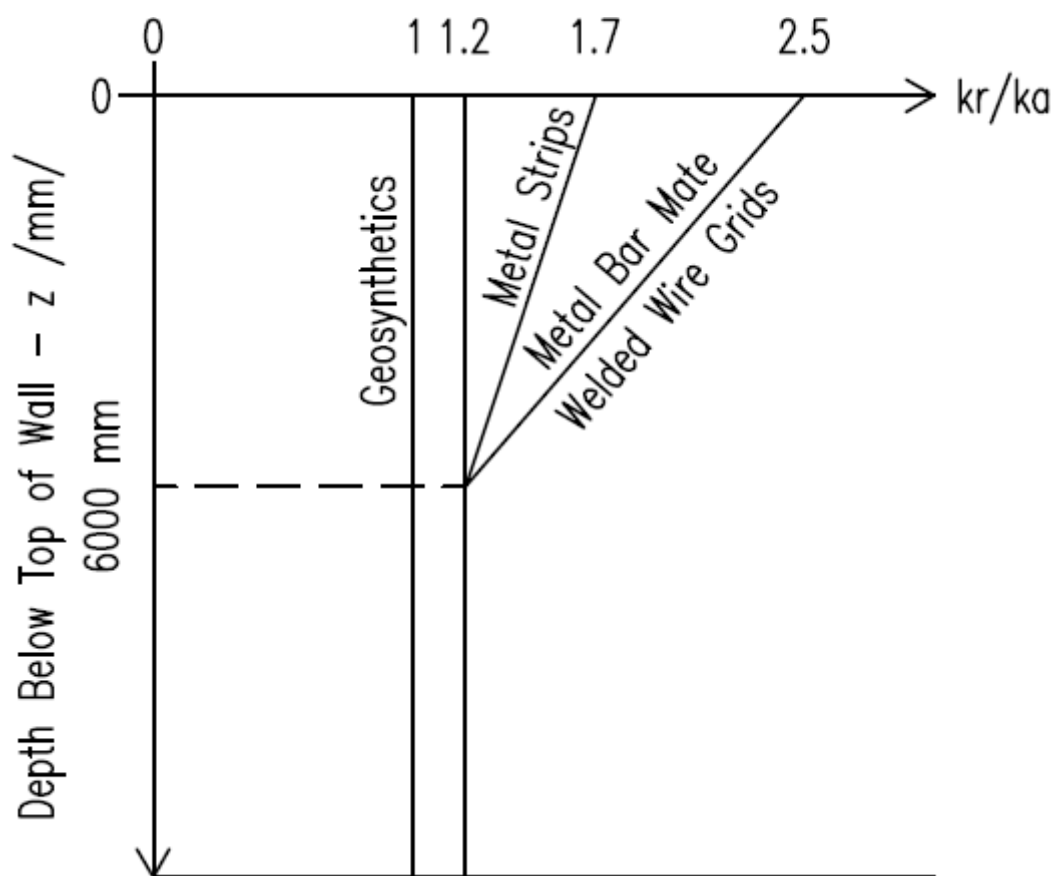


*Формы поверхностей скольжения в зависимости от выбора стандарта расчёта*

## Гибкая армировка - активное давление грунта

Для гибких армировок (Standard - **ровная поверхность скольжения**, AASHTO - Extensible, FHWA NHI-10-024) при расчёте **внутренней устойчивости** учитывают воздействие **активного давления грунта**. Программа позволяет (по стандартам AASHTO) перемножить рассчитанное **давление грунта** заданным коэффициентом  $k_r/k_a$ . Рекомендованные значения показаны на следующем изображении.





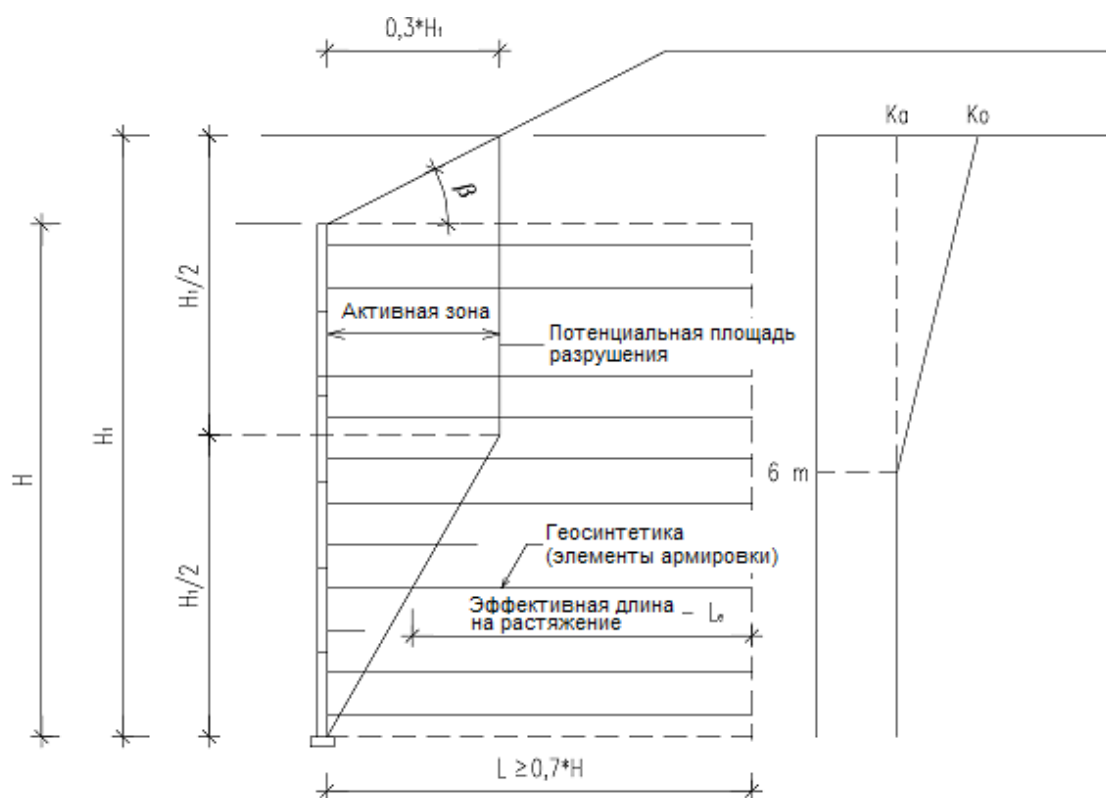
Эпюра коэффициента горизонтального напряжения  $k_r/k_a$  и глубины для гибких армировок

Literature:

AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 2004 (SI).

## Жёсткая армировка - комбинация давлений грунта

Для жёстких армировок (AASHTO - Inextensible, JTGD30 - 2004 Highway China Code, TB 10025 Railway China Code, BS 8006 - Coherent Gravity Method) при расчёте **внутренней устойчивости** учитывается комбинация воздействий **активного давления грунта** и **статическое давление грунта**.



Определение площади повреждения и эпюра коэффициента бокового давления  $K_a$ , или  $K_o$  с глубиной для жёстких армировок

Literature:

AASHTO Highway Bridges.

## Анализ несущей способности фундамента

Вертикальная несущая способность грунта основания проверяется по теории предельных состояний при помощи следующего неравенства:

$$\sigma \leq \frac{R_d}{\gamma_{RV}}$$

или на основании коэффициента надёжности:

$$\frac{R_d}{\sigma} \geq SF_v$$

- где:
- $\sigma$  - экстремальное расчётное контактное напряжение в подошве фундамента
  - $R_d$  - расчетная несущая способность грунта основания
  - $\gamma_{RV}$  - коэффициент вертикальной несущей способности основания (задаётся в закладке «Отдельные фундаменты»)
  - $SF_v$  - коэффициент надёжности-вертикальная несущая способность

Экстремальное расчётное контактное напряжение в подошве фундамента определено отношением:

$$\sigma = \frac{V}{A_{ef}}$$

где:  $V$  - экстремальная расчетная вертикальная сила  
 $A_{ef}$  - эффективная площадь фундамента

Вертикальная несущая способность грунта основания  $R_d$  определяется для 3-х типов подстилающего слоя:

- дренированный подстилающий слой
- недреннированный подстилающий слой
- скальное основание

Приведенные выше расчеты используются только для однородного грунта. Когда под подошвой фундамента находится **неоднородный грунт** (или присутствует грунтовая вода), тогда заданный профиль **меняется на однородный**.

## Устойчивость на дренированном подстилающем слое

Для оценки устойчивости основания на дренированном подгрунте используются следующие методы:

- стандартный анализ
- анализ в соответствии с CSN 731001 «Základová půda pod plošnými základy», утвержден 8.6. 1987
- анализ в соответствии с польским стандартом PN-81 B - 03020 «Grunty budowlane, Posudowanie bezpośrednie budowli, Obliczenia statyczne i projektowanie» от 1982
- анализ в соответствии с индийским стандартом IS:6403-1981 «Code of Practice for Determination of Bearing Capacity of Shallow Foundations» от 1981
- анализ в соответствии с EC 7-1 (EN 1997-1:2003) «Расчет геотехнических конструкций - Часть 1: Общие правила»
- анализ в соответствии с руководством по сегментированным опорным стенам NCMA, 2-е издание
- по китайскому стандарту GB 50007-2002
- по российскому стандарту SNiP 2.02.01-83
- по нацприложению датского стандарта DS/EN 1997-1 DK NA:2013

Все методы используют коэффициент по Бринч-Хансену (см. **стандартный анализ**) для расчета наклоненной поверхности скольжения и наклоненной нижней части основания.

Если принимаются дренируемые условия во время строительства, грунт под основанием деформируется, включая сдвиговые и объемные деформации. В этом случае прочность грунта принимается в виде действительных значений угла внутреннего трения  $\varphi_{ef}$  и действительного сцепления  $c_{ef}$ . Также принимается, что в грунте присутствует действительное напряжение, равное общему напряжению (уплотненное состояние). Действительные параметры  $\varphi_{ef}$ ,  $c_{ef}$  являются пиковыми параметрами прочности.

Поскольку выбор дренируемых условий зависит от количества коэффициентов (уровень нагрузки, водопроницаемость грунта, степени насыщенности и степень переуплотнения),

проектировщик должен сам определить, исходя из решаемой задачи, необходимость использования действительных параметров.

## Стандартный анализ

По умолчанию используется решение, предложенное Бринч-Хансенom, в котором устойчивость основания определяется из формулы:

$$R_d = c \cdot N_e \cdot s_e \cdot d_e \cdot i_e \cdot b_e \cdot g_e + q_0 \cdot N_d \cdot s_d \cdot d_d \cdot i_d \cdot b_d \cdot g_d + \frac{b}{2} \cdot \gamma \cdot N_b \cdot s_b \cdot d_b \cdot i_b \cdot b_b \cdot g_b$$

где:

коэффициенты устойчивости:

$$q_0 = \gamma_1 \cdot d$$

$$N_e = (N_d - 1) \cdot \cot g \varphi \quad \text{для: } \varphi > 0$$

$$N_e = 2 + \pi \quad \text{для: } \varphi = 0$$

$$N_d = \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \operatorname{tg} \varphi}$$

$$N_b = 1,5(N_d - 1) \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$s_e = 1 + 0,2 \cdot \frac{b}{l}$$

$$s_d = 1 + \frac{b}{l} \cdot \sin \varphi$$

$$s_b = 1 - 0,3 \cdot \frac{b}{l}$$

коэффициенты влияния глубины основания:

$$d_e = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{d}{b}}$$

$$d_d = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{d}{b} \cdot \sin 2\varphi}$$

$$d_b = 1$$

$$i_e = i_d = i_b = (1 - \operatorname{tg} \delta)^2$$

коэффициенты уклона нижней части основания:

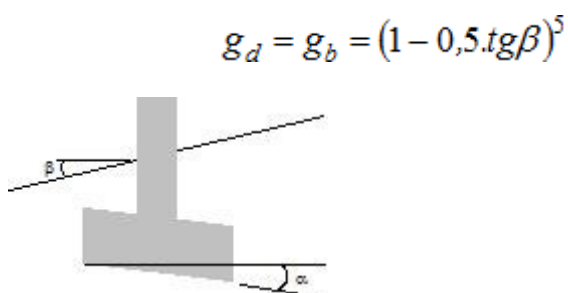
$$b_e = b_d - \frac{(1 - b_d)}{N_e} \cdot \tan \varphi$$

$$b_d = (1 - \alpha \cdot \tan \varphi)^2$$

$$b_b = b_d$$

коэффициенты влияния уклона рельефа:

$$g_e = 1 - \frac{2 \cdot \beta}{\pi + 2}$$



### Изображение углов и коэффициентов $b, g$

где:	$c$	- сцепление грунта
	$q_0$	- эквивалентная равномерная нагрузка, учитываемая для воздействия глубины основания
	$d$	- глубина нижней части основания
	$\gamma$	- удельный вес грунта над нижней частью основания
	$b$	- ширина основания
	$\gamma$	- удельный вес грунта
	$N_c, N_d, N_b$	- коэффициент устойчивости
	$s_c, s_d, s_b$	- коэффициенты формы основания
	$d_c, d_d, d_b$	- коэффициенты влияния глубины основания
	$i_c, i_d, i_b$	- коэффициенты влияния уклона нагрузки
	$g_c, g_d, g_b$	- коэффициенты влияния уклона рельефа
	$\varphi$	- угол внутреннего трения грунта
	$l$	- длина основания
	$\delta$	- угол отклонения равнодействующей силы от вертикального направления
	$\beta$	- уклон рельефа
	$\alpha$	- уклон нижней части основания

### Литература:

Brinch Hansen, J. (1970), A revised and extended formula for bearing capacity, Danish Geotechnical Institute, Bulletin 28, 5-11.

## Устойчивость на недренируемом подстилающем слое

Для оценки устойчивости основания на недренированном подгрунте используются следующие методы:

- стандартный анализ
- анализ в соответствии с CSN 731001 «Základová půda pod plošnými základy», утвержден 8.6. 1987
- анализ в соответствии с индийским стандартом IS:6403-1981 «Code of Practice for

Determination of Bearing Capacity of Shallow Foundations» от 1981

- анализ в соответствии с EC 7-1 (EN 1997-1:2003) «Расчет геотехнических конструкций - Часть 1: Общие правила»
- по нацприложению датского стандарта DS/EN 1997-1 DK NA:2013

Кроме того, используется коэффициент Бринч-Хасена для расчета наклоненной нижней части основания (см. [стандартный анализ](#)).

При недренируемых условиях принимается, что во время строительства основание испытывает мгновенное оседание, сопровождаемое сдвиговыми деформациями грунта при отсутствии объемных изменений. Когда конструкция закончена, грунт испытывает как первичную, так и вторичную консолидацию, сопровождаемую изменениями объема. Воздействие нейтрального напряжения появляется в уменьшении прочности грунта, которая представляется в виде общих значений угла внутреннего трения  $\phi_u$  и общего сцепления  $c_u$  (эти параметры могут рассматриваться как минимальные). В зависимости от степени консолидации, значение общего угла внутреннего трения  $\phi_u$  варьируется в пределах от 0 до  $\phi_{ef}$ , общее сцепление  $c_u$  превышает значение  $c_{ef}$ .

Поскольку выбор дренируемых условий зависит от количества коэффициентов (уровень нагрузки, водопроницаемость грунта, степени насыщенности и степень переуплотнения), проектировщик должен сам определить, исходя из решаемой задачи, необходимость использования действительных параметров. Тем не менее, для мелкозернистого грунта обычно используются общие параметры.

## Стандартный анализ

По умолчанию используется следующая формула:

$$R_d = (\pi + 2) \cdot c_u \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c + q$$

с безразмерными коэффициентами:

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{b}{l}$$

$$d_c = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{d}{b}}$$

$$i_c = (1 - \tan \delta)^2$$

$$b_c = 1 - \frac{2 \cdot \alpha}{\pi + 2}$$

где:	$c_u$	-	общее сцепление грунта
	$b$	-	ширина основания
	$l$	-	длина основания
	$d$	-	глубина основания
	$\delta$	-	угол отклонения равнодействующей силы от вертикального направления
	$\alpha$	-	уклон нижней части основания от горизонтального направления
	$q$	-	перегрузка на уровне базиса основания

## Устойчивость основания на твердой породе

Для расчета проектной устойчивости  $R_d$  основания с горизонтальной нижней частью, поддерживаемой горной породой, состоящей из горной или неустойчивой пород, используют следующие методы:

- Стандартный метод
- Решение в соответствии с CSN 73 1001
- Решение в соответствии с EC7

### Стандартный анализ

Устойчивость грунта основания, состоящего из горных или неустойчивых пород, рассчитывается из выражения, предложенного Ксиао Ли Янгом и Ин Хуа Ином<sup>1</sup>:

$$R_d = s^{0.5} \sigma_c \cdot N_s + q_0 \cdot N_q + \frac{b}{2} \cdot \gamma_2 \cdot N_\gamma$$

где:

$$s = e^{\frac{GSI - 100}{9 - 3 \cdot D}}$$

$$N_q = \frac{1}{2} \cdot \sec^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot e^{\left[ \left( \frac{2}{3} \cdot \pi - \varphi \right) \cdot \tan \varphi \right]}$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \cdot \frac{e^{\left[ \left( \frac{\pi}{2} - \varphi \right) \cdot \tan \varphi \right]}}{2 \cdot \cos \varphi}$$

где:	$s$	-	нелинейный параметр в зависимости от свойств породы (по Хёку и Брауну)
	$GSI$	-	геологический класс прочности
	$D$	-	коэффициент, отражающий разрушение массы породы
	$N_s, N_q, N_\gamma$	-	коэффициент устойчивости, зависящий от угла внутреннего трения
	$N_s$	-	коэффициент прочности породы, зависящий от геологического класса прочности и параметра прочности $m_i$
	$\varphi$	-	угол внутреннего трения породы
	$\sigma_c$	-	предел прочности породы при одноосном сжатии $> 0,5 \text{ МПа}$
	$q_0$	-	эквивалентная равномерная нагрузка, учитываемая для воздействия глубины основания
	$\gamma_2$	-	удельный вес грунта над нижней частью основания
	$b$	-	ширина основания

<sup>1</sup> Xiao-Li Yang, Jian-Hua Yin: Upper bound solution for ultimate bearing capacity with a modified Hoek-Brown failure criterion, International Journal of Rock Mechanics & Mining

*Sciences 42 (2005), str. 550-560.*

## Решение в соответствии с CSN 73 1001

Устойчивость грунта основания, состоящего из горных или неустойчивых пород, определяется статьями 97 - 99 стандарта CSN 73 1001 «**Грунт основания под отдельным фундаментом**», утвержденного 8.6. 1987.

В качестве входных параметров для анализа требуются **удельный вес грунта  $\gamma$ , предел прочности породы при одноосном сжатии  $\sigma_c$ , коэффициент Пуассона  $\nu$  и модуль деформации  $E_{def}$ .**

## Анализ в соответствии с ЕС 7-1 (EN 1997-1:2003)

Устойчивость основания  $R_d$  с горизонтальной нижней частью определяется в соответствии с проектным методом для выведения ожидаемой устойчивости отдельных фундаментов, располагающихся на твердой породе, определенной в приложении G (информативном) ЕС 7-1 (EN 1997-1:2003) «Расчет геотехнических конструкций - Часть 1: Общие правила». При низкой прочности или поврежденных породах с закрытыми переломами, включающими мел с низкой пористостью, менее 35%, выведение ожидаемой устойчивости осуществляется в соответствии с классификацией пород по группам (см. таблиц ниже). Затем для анализа необходимо ввести расположение неоднородности  $S_d$ , **удельный вес породы  $\gamma$ , коэффициент Пуассона  $\nu$  и предел прочности породы при одноосном сжатии  $\sigma_c$ .** Предполагается, что структура способна передавать оседание равно  $0,5\%$  ширины основания. Ожидаемые значения устойчивости для других оседаний можно определить с использованием прямой пропорции. для неустойчивых и поврежденных пород с открытыми или закрытыми переломами рекомендуется использовать значения ниже ожидаемых.

### Группы пород

Группа	Тип породы
1	Чистые известняки и доломиты Карбонатные песчаники низкой пористости
2	Вулканического происхождения Оолитовые и мергелистые известняки Крепко сцементированные песчаники Затвердевшие карбонатные сланцы Метаморфические породы, вкл. глиняный и аспидный сланец (плоская сланцеватость)
3	Очень мергелистые известняки Плохо сцементированные песчаники Глиняный и аспидный сланцы (наклонная сланцеватость)
4	Несцементированные сланцы



*Литература:*

*Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules*

## **Параметры для расчета устойчивости основания**

### **Параметры для расчета устойчивости основания, располагаемого на твердой породе**

Для расчета устойчивости в программе GEO5 используются следующие параметры:

- значения коэффициента  $D$ , отражающие состояние повреждения породовой массы
- значения параметра прочности  $m_i$
- прочность породы при одноосном сжатии  $\sigma_c$
- коэффициент Пуассона для горных пород  $\nu$
- объемная масса горных пород  $\gamma$

### **Оценка коэффициента смещения $D$**

Описание массива горной породы	Предполагаемое значение $D$
Массив горной породы, целая крепкая порода, экскавация при помощи подрыва или открытой тоннелепроходческой машины	0
Массив горной породы, порода плохого качества, механическая экскавация с минимальным нарушением	0
Массив горной породы, плохая горная порода, механическая экскавация, значительное поддувание почвы, временная инвертированная или горизонтальная геометрия экскавации	0,5
Массив горной породы, очень плохая порода, часто очень измененная, местами нарушенная окружающей породой (прим. 3.м)	0,8
Уклон или обнажение породы, обогащение с контролируемым подрывом	0,7
Уклон или обнажение породы, обогащение с подрывом, ведущее к появлению некоторого смещения	1,0
Открытая выработка, экскавация с подрывом	1,0
Открытая выработка, механическая экскавация	0,7

**Значения параметра прочности  $m_i$**

Тип горной породы	Примеры пород	$m_i$ [-]
Карбонатные породы с хорошо развитой сланцеватостью	Доломит, известняк и мрамор	$\approx 7$
Монолитные глинистые породы	Сланец, алевролитовая глина, аспидный сланец	$\approx 10$
Глинистые породы с сильным кристаллом и слабо развитой сланцеватостью	Песчаник и кварцит	$\approx 15$
Мелкозернистые полиминеральные вулканические кристаллические породы	Андезит, долерит, диабаз, риолит	$\approx 17$
Крупнозернистые полиминеральные вулканические и метаморфические породы	Амфиболит, габбро, гнейс, гранит и кварцевый диорит	$\approx 25$

**Предел прочности при одноосном сжатии  $\sigma_c$ , коэффициент Пуассона  $\nu$  и удельный вес породы  $\gamma$**

Прочность пород	Типы пород (примеры)	Предел прочности при одноосном сжатии $\sigma_c$ [МПа]	Коэффициент Пуассона $\nu$	удельный вес породы $\gamma$ [кН/м <sup>3</sup> ]
Крайне твердая порода	Очень твердая, неповрежденная порода Твердый кварцит, базальт и другие крайне твердые породы	>150	0,1	28,00 - 30,00
Очень твердая порода	Очень твердый гранит, кварцевый порфир, кварцевый сланец, очень твердый песчаник и известняк	100 - 150	0,15	26,00 - 27,00
Твердая порода	Твердый и плотный гранит, очень твердый песчаник и известняк, кремнистый веис, твердый пуддинговый камень, очень твердые железные руды, твердый кальцит, не очень твердый гранит, твердый песчаник, мрамор, доломит, пирит	80 - 100	0,20	25,00 - 26,00
Достаточно твердая порода	Обычный песчаник, средние твердые железные руды, песчанистый сланец, слюдяной песчаник	50 - 80	0,25	24,00
Средне твердая	Твердый сланец, не очень твердый	20 - 50	0,25 -	23 - 24,00

порода	песчаник и кальцит, мягкий слюдяной песчаник, не очень твердый сланец, плотный мергель		0,30	
Достаточно неустойчивая порода	Мягкий аспидный сланец, мягкий известняк, мел, галит, мерзлая почва, атрацит, обычный мергель, нарушенный песчаник, мягкий слюдяной песчаник и почвы со сростками минералов	5 - 20	0,3 - 0,35	22,00 - 26,00
Неустойчивая порода	Плотная глина, твердая почва (элювий с текстурой почвы)	0,5 - 5	0,35 - 0,40	22,00 - 18,0

## Горизонтальная устойчивость основания

Горизонтальная устойчивость основания проверяется по теории предельных состояний при помощи следующего неравенства:

$$H \leq \frac{R_{dh}}{\gamma_{RH}}$$

или на основании коэффициента надежности:

$$\frac{R_{dh}}{H} \leq SF$$

где:

$$R_{dh} = Q \cdot \tan \psi_d + a_d \cdot A_{ef} + S_{pd}$$

$$H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2}$$

где:

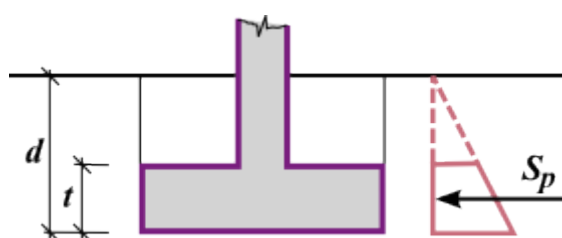
- $\psi_d$  - угол внутреннего трения между основанием и грунтом
- $a_d$  - сцепление между основанием и грунтом
- $A_{ef}$  - полезная площадь основания
- $S_{pd}$  - сопротивление грунта
- $H_x, H_y$  - компоненты горизонтальной силы
- $Q$  - крайняя расчетная вертикальная сила

- $\gamma_{RH}$  - коэффициенты горизонтальной устойчивости основания (вводятся в закладке «Отдельные фундаменты»)
- $SF$  - коэффициент надежности

При использовании анализа в соответствии с EN 1997, для дренируемых условий из анализа исключается сцепление ( $ad.A_{ef}$ ), а для недренируемых условий исключается трением между основанием и грунтом ( $Q.tan\psi_d$ ).

Анализ зависит от расчетного угла внутреннего трения под нижней частью основания  $\varphi_d$ , расчетного значения сцепления под нижней частью основания  $c_d$  и расчетного значения сопротивления грунта  $S_{pd}$ . Если внутренний угол и сцепление между грунтом и основанием меньше значений грунта под нижней частью основания, следует использовать меньшие значения.

Сопротивление грунта принято как на рис.:



Сопротивление грунта

Сопротивление грунта  $S_{pd}$  находят с помощью сокращения пассивного давления грунта или статического давления, используя коэффициенты влияния:

$$S_{pd} = \frac{S_p}{\gamma_{mR}}$$

- где:  $S_p$  - пассивное давление грунта, статическое давление или приведенное пассивное давление
- $\gamma_{mR}$  - поправочный коэффициент сопротивления грунта (вводится в закладке «Отдельные фундаменты») - для анализа в соответствии с CSN принимается значение  $\gamma_{mR} = 1,5$  для пассивного давления,  $\gamma_{mR} = 1,3$  для статического давления

**Коэффициенты давлений грунта** рассчитываются по следующим формулам:

для пассивного давления:

$$K_p = \tan(45 + 0,5 \cdot \varphi_d)$$

для статического давления в дренируемых грунтах:

$$K_0 = 1 - \sin \varphi_d$$

для статического давления в иных типах грунта:

$$K_0 = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

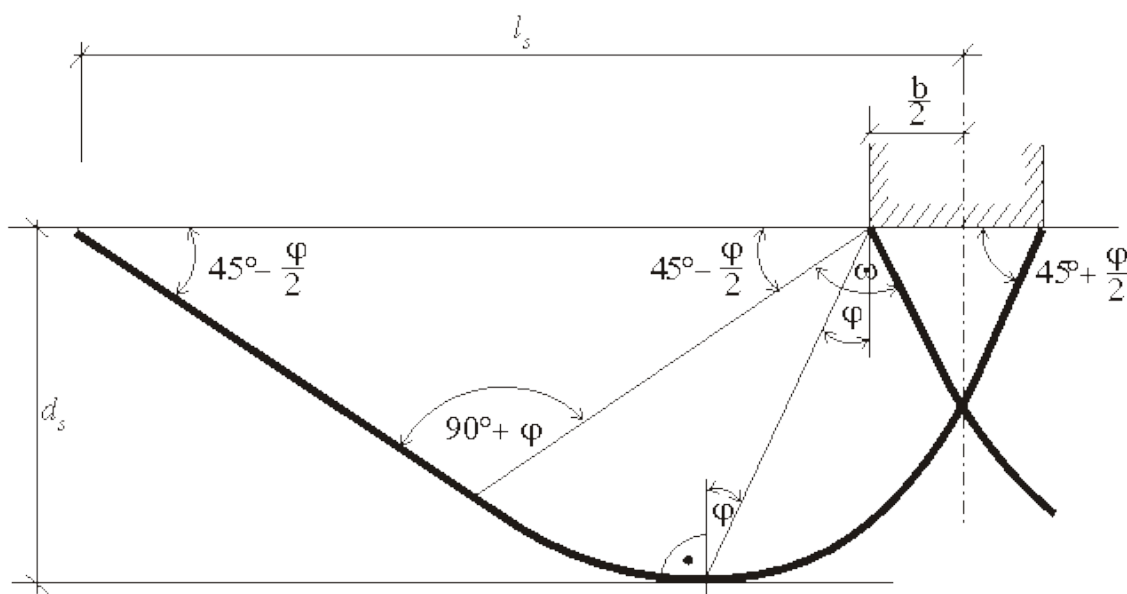
При определении **приведенного пассивного давления** равнодействующая сила включает воздействия в результате действия пассивного и статического давления.

Пассивное давление рассматривается, если деформация, необходимая для его активации,

не вызывает неприемлемых напряжений или деформаций в верхней конструкции.

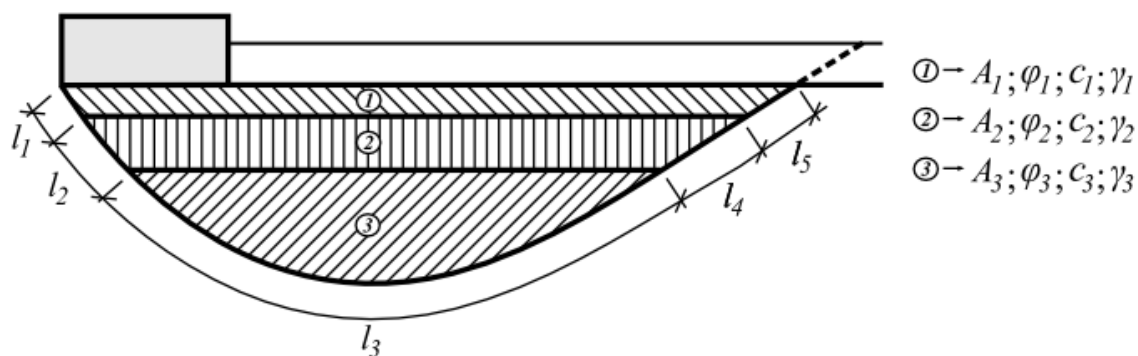
## Гомогенизация слоистого подгрунта

Если грунт под нижней частью основания неоднороден (или там присутствует вода), введенный профиль трансформируется в однородный грунт на основании поверхности скольжения Прандля (см. Рис), которая представляет тип и положение разрушения основания.



Поверхность скольжения Прандля

Эквивалентные значения  $\varphi$  (угла внутреннего трения),  $c$  (сцепления грунта),  $\gamma$  (удельного веса грунта под нижней частью основания) рассчитываются по следующим формулам. Удельный вес грунта над основанием рассчитывается аналогично.



Процедура расчета вспомогательных значений

где:

$$\varphi = \frac{\varphi_1 \cdot (l_1 + l_5) + \varphi_2 \cdot (l_2 + l_4) + \varphi_3 \cdot l_3}{\sum_{i=1}^3 l_i}$$

$$c = \frac{c_1 \cdot (l_1 + l_5) + c_2 \cdot (l_2 + l_4) + c_3 \cdot l_3}{\sum_{i=1}^5 l_i}$$

$$\gamma = \frac{\gamma_1 \cdot A_1 + \gamma_2 \cdot A_2 + \gamma_3 \cdot A_3}{\sum_{i=1}^3 A_i}$$

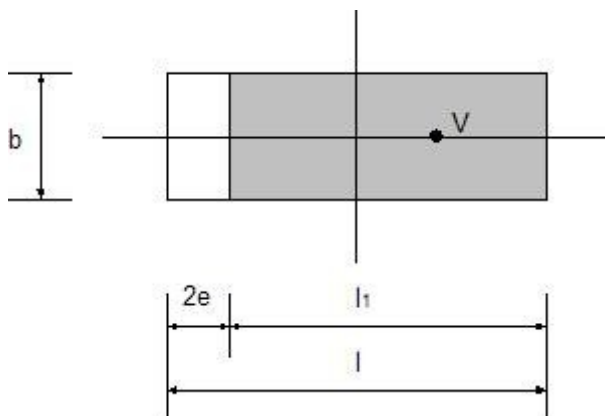
## Полезная площадь

Для решения задачи внецентренно нагруженных оснований программа предлагает две опции для определения эффективной величины площади основания:

- принимается прямоугольная форма полезной площади
- принимается общая конфигурация полезной площади

### Прямоугольная форма

В подобных случаях используется упрощенное решение. В случае осевой внецентренности (момент изгиба действует только в одной плоскости) анализ принимает равномерное распределение контактного напряжения  $\sigma$ , приложенного только на часть основания  $l_1$ , которая меньше в 2 раза внецентренности  $e$  по сравнению с общей длиной  $l$ .



Определение полезной площади при осевой внецентренности

Полезная площадь ( $b \cdot l_1$ ) принимается для расчета контактного напряжения:

$$\sigma = \frac{V}{b \cdot (l - 2 \cdot e)}$$

При общей внецентренной нагрузке (основание нагружено вертикальной силой  $V$  и моментами изгиба  $M_1$  и  $M_2$ ) нагрузка заменяется единичной силой с данными внецентренностями:

$$e_1 = \frac{M_1}{V}$$



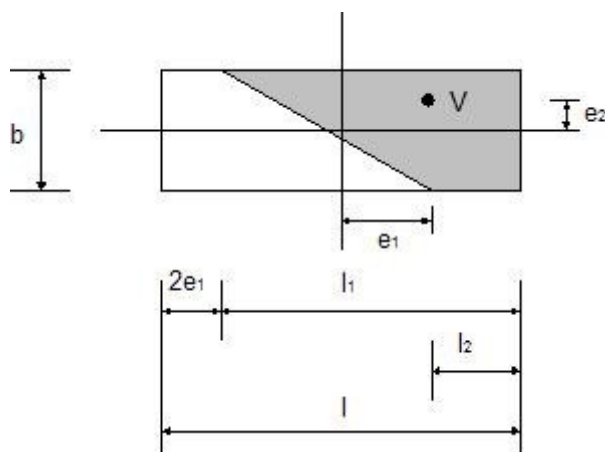
$$e_2 = \frac{M_2}{V}$$

Размеры полезной площади рассчитываются из условия, что сила  $V$  должна действовать внецентренно:

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot l_{ef} = (b - 2 \cdot e_2) \cdot (l - 2 \cdot e_1)$$

### Общая конфигурация контактного напряжения

В случае внецентренного напряжения полезная площадь определяется из допущения, что равнодействующая сила  $V$  должна действовать в центре тяжести площади сжатия. Теоретически правильное решение представлено на Рис.



Определение контактного напряжения для общей вне-центренности: общая конфигурация

Ввиду значительной сложности при определении точного расположения нейтральной оси, которая, в свою очередь, имеет решающее значение при расчете полезной площади, программа GEO 5 использует решение, предложенное Хайтером и Андерсом<sup>1</sup>), в котором полезные площади определяются при помощи графиков.

<sup>1</sup> Highter, W.H. - Anders, J.C.: *Dimensioning Footings Subjected to Eccentric Loads* Journal of Geotechnical Engineering. ASCE, Vol. 111, No GT5, pp 659 - 665

## Определение перекрестных внутренних сил

**Продольное армирование основания** проверяется на нагрузку вследствие момента изгиба и сдвиговой силы. Напряжение в нижней части основания принимается **линейным**. Напряжения в отдельных направлениях  $x, y$  определяются по-отдельности.

При анализе **линейного распределения** напряжения в нижней части основания распределение стресса вдоль пересечения рассчитывается следующим образом:

$$\sigma_1 = \frac{N}{d^2} \cdot \left( 4 \cdot d - 6 \cdot \left( \frac{d}{2} - e \right) \right)$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{d^2} \cdot \left( -2 \cdot d + 6 \cdot \left( \frac{d}{2} - e \right) \right)$$

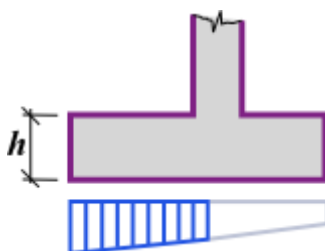
или при исключении натяжения:

$$\sigma = \frac{2.N}{3.\left(\frac{d}{2} - e\right)}$$

где:

- $e$  - вне-центренность стандартной силы  $N$
- $d$  - ширина основания
- $N$  - стандартная сила, действующая на нижнюю часть основания

Момент изгиба и сила сдвига определяются как реакция, развиваемая на консольной балке, как показано на рисунке:



*Внутренние сил, действующие на переход стены*

Внутренние силы на пересечении, соответствующие **постоянному распределению напряжений**, рассчитываются следующим образом:

$$\begin{aligned} M &= d_v^2 \cdot \sigma \\ Q &= d_v \cdot \sigma \\ \sigma &= \frac{N}{d - 2.e} \end{aligned}$$

где:

- $\sigma$  - максимальное напряжение в нижней части конструкции
- $d_v$  - длина перехода
- $e$  - вне-центренность стандартной силы  $N$
- $d$  - ширина основания
- $N$  - стандартная сила, действующая на нижнюю часть основания

## Проверка внецентренности фундамента

Проверка внецентренности фундамента выполняется для расчёта 1. ПС (**несущая способность фундамента**) и 2. ПС (**осадка фундамента**).

В процессе расчёта программа выполняет проверку для следующих случаев:

- максимальная внецентренность в направлении длины отд.ф-та:  $e_x \leq e_{alw}$
- максимальная внецентренность в направлении ширины отд.ф-та:  $e_y \leq e_{alw}$
- максимальная пространственная внецентренность:  $e_t \leq e_{alw}$

Значение максимально-допустимой внецентренности фундамента  $e_{alw}$  задают в рамку **«Установка»** в закладке **«Отдельные фундаменты»**.

Величину пространственной внецентренности  $e_t$  определяют по формуле:

$$e_t = \sqrt{e_x^2 + e_y^2}$$

где:  $e_x$  - максимальная внецентренность в направлении длины фундамента  
 $e_y$  - максимальная внецентренность в направлении ширины фундамента

Для определения эффективной площади внецентренно нагруженного фундамента процедура расчёта описана [здесь](#).

Для фундамента мелкого заложения на скальном основании, или для заложения на бетонной плите следует в некоторых случаях использовать другие значения предельных внецентренностей.

## Проверка растянутого отдельного фундамента

Расчёт растянутого отд. фундамента выполняют тогда, когда нагрузка была задана от приложения вертикальной силы  $N$  с отрицательным знаком (сила действует вверх). Проверка растянутого отд. фундамента выполняется по соответствующей [методике проверки](#). Программа сопоставляет максимальную растягивающую силу  $N_{t,max}$  с сопротивлением крену  $R_t$ . В программе приняты 3 метода расчёта несущей способности растянутого фундамента (сопротивления крену)  $R_t$ :

- [стандартный метод](#)
- [конусный метод](#)
- [DL/T 5219-2005](#)

## Стандартный метод

Сопротивление крену  $R_t$  представляет собой собственная сила тяжести кровли грунта и плоского фундамента, далее учитывается трение вдоль стен фундамента + фиктивного блока грунта над фундаментом. В рамку «**1. ПС**» в диалоговом окне «**Проверка растянутого отдельного фундамента**» задают проектный угол внутреннего трения кровли грунта  $\varphi_d$  и проектное сцепление кровли грунта  $c_d$ .

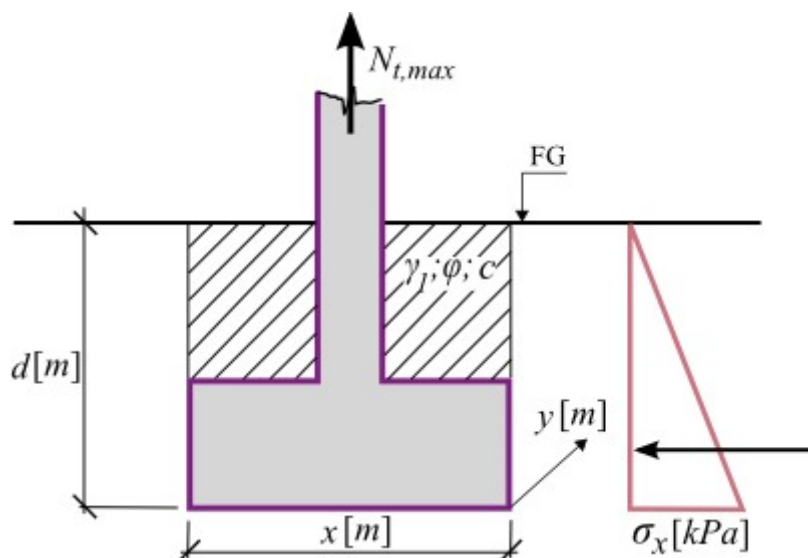
Диалоговое окно «Проверка растянутого отдельного фундамента» - стандартный метод

Несущую способность растянутого отдельного фундамента (сопротивление крену) определяют по формуле:

$$R_t = (\sigma_x \operatorname{tg} \varphi_d + c_d) d p + G_p$$

где:  $\sigma_x$  - [статическое давление](#) от кровли грунта  
 $\varphi_d$  - проектный угол внутреннего трения кровли грунта

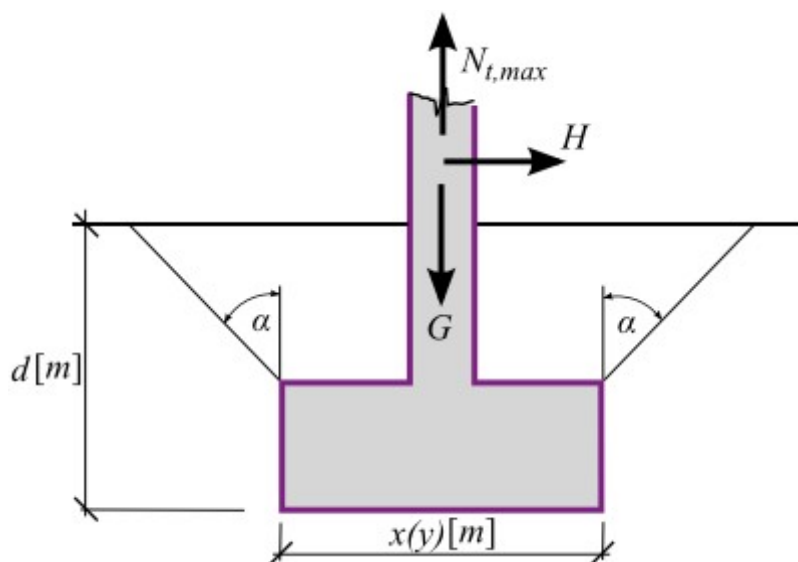
- $c_d$  - проектное сцепление кровли грунта
- $d$  - глубина подошвы фундамента
- $p$  - периметр отдельного фундамента
- $G_p$  - собственная сила тяжести фундамента



Проверка растянутого отдельного фундамента – стандартный метод

## Конусный метод

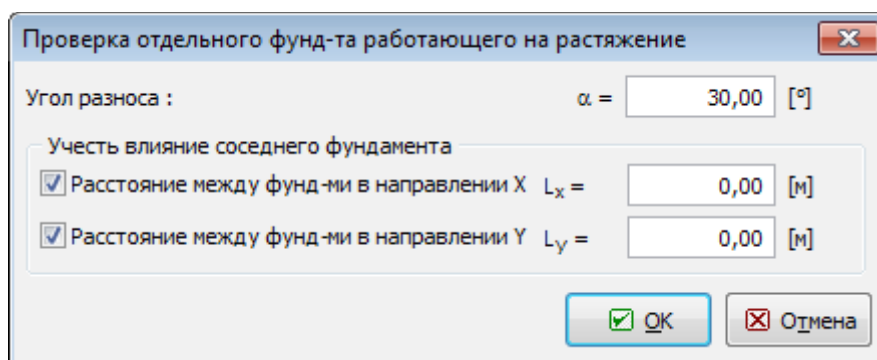
Сопротивление крену  $R_t$  представляет собственная сила тяжести фундамента и собственная сила тяжести кровли грунта конусной формы, как очевидно на следующем рисунке.



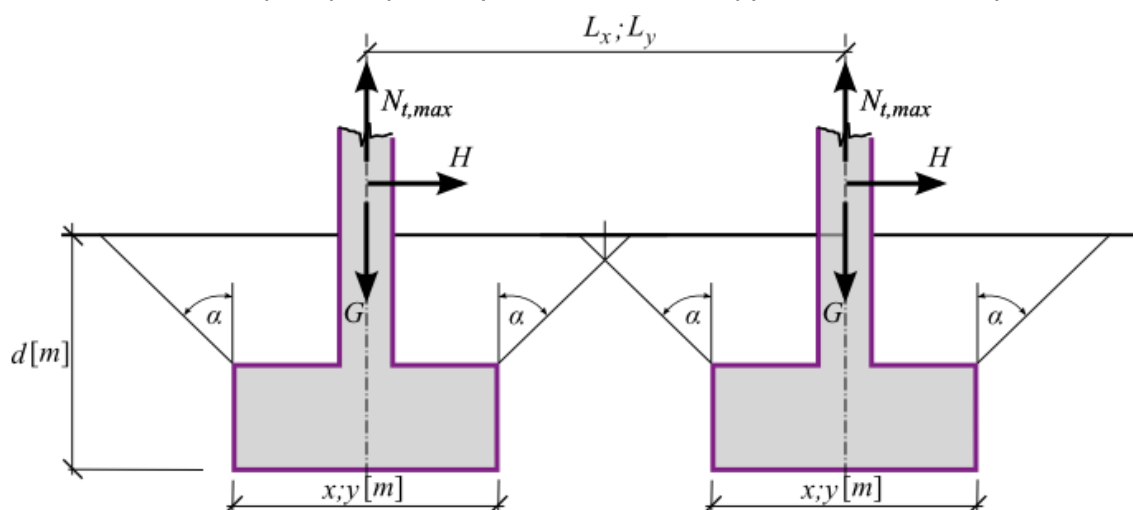
Basis of the cone method

В рамку «1. ПС» в диалоговом окне «Проверка растянутого отдельного фундамента» задают угол разноса  $\alpha$ . При расчёте сопротивления  $R_t$  можно принимать во внимание в

одном или обоих направлениях также влияние соседнего фундамента, который уменьшает объём конуса грунта.



Диалоговое окно «Проверка растянутого отдельного фундамента» - конусный метод



Влияние соседнего фундамента

## DL/T 5219 - 2005

В основе данного способа проверки лежит китайский стандарт **DL/T 5219 - 2005**. В отличие от **конусного** и **стандартного** методов он вводит критическую глубину  $h_c$ , которая зависит от типа грунта и формы фундамента. В диалоговом окне «**Проверка растянутого отдельного фундамента**» значение критической глубины  $h_c$  можно задать, либо её вычисляет программа в зависимости от заданного типа грунта и формы фундамента по таблице **6.3.1-1 - Критическая глубина  $h_c$** .

**Таблица 6.3.1-1 значений критической глубины в соответствии с китайским стандартом DL/T 5219-2005**

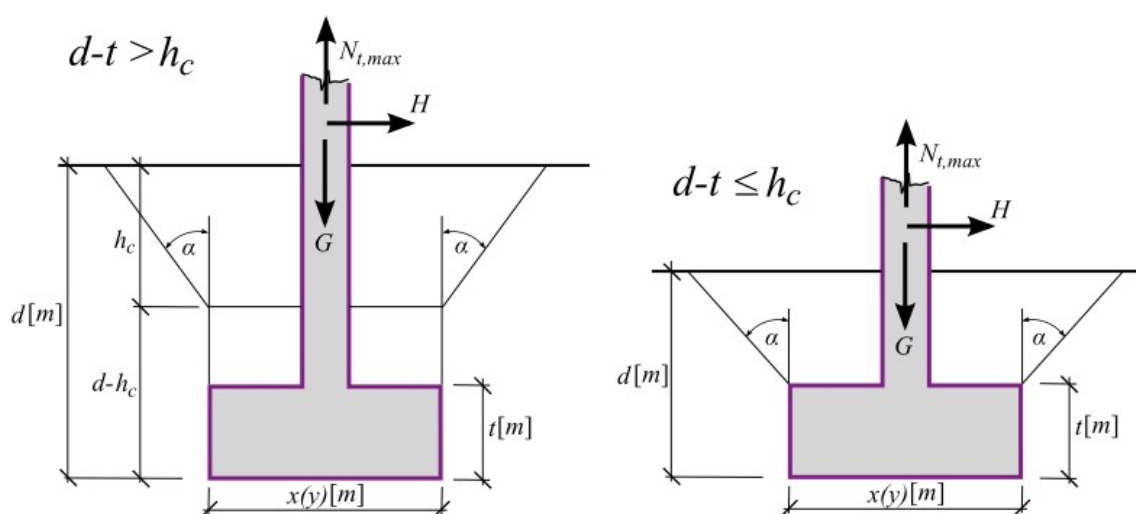
Тип грунта	Состояние грунта (плотность, консистенция)	Критическая глубина $h_c$ для растянутого фундамента	
		Ф-т круглый в плане	Ф-т квадратный в плане
Песок, ил	Плотный ~ среднеплотный	$2,5D$	$3,0B$
Глина	Полутвёрдый ~ твёрдый	$2,0D$	$2,5B$
	Пластический	$1,5D$	$2,0B$
	Мягкий	$1,2D$	$1,5B$

Примечание 1: В случае, что у прямоугольного фундамента соотношение между его длиной  $L'$  и шириной  $B$  меньше, чем 3, то критическая глубина  $h_c$  определяется как у круглого фундамента по формуле  $D = 0,6 \cdot (B + L')$ .

Примечание 2: Принимается грунт в естественном залегании.

В рамку «**1. ПС**» в диалоговом окне «**Проверка растянутого отдельного фундамента**» в качестве входного параметра для расчёта ещё вводят угол разноса  $\alpha$ . Влияние соседнего фундамента описано в **конусном методе**. Отклонение колонны  $\theta$  никак не сказывается на расчёте несущей способности растянутого фундамента (сопротивление крену).

Диалоговое окно «Проверка растянутого отдельного фундамента» - DL/T 5219-2005



Проверка растянутого отдельного фундамента по DL/T 5219-2005

## Анализ свай

Анализы, представленные в программе «Сваи», можно разделить на 3 основные группы:

- анализ вертикальной устойчивости
- осадка свай
- анализ горизонтальной устойчивости

## Вертикальная устойчивость

Расчёт вертикальной устойчивости свай можно выполнить:

- с помощью аналитического метода
- с помощью метода пружины

## Аналитические методы

Аналитические методы допускают, что общая несущая способность свай  $R_c$  - это сумма несущей способности нижнего конца (пяты) свай  $R_b$  и несущей способности боковой поверхности свай  $R_s$  (созданной трением окружающего грунта на её боковой поверхности). В программу вошли следующие обычно используемые методы расчёта:

- NAVFAC DM 7.2
- метод Томлисона
- метод эффективных напряжений
- CSN 73 1002

Для указанных методов можно выбрать одну из следующих методик проверки:

- классический способ
- EN 1997-1

При расчёте **свай работающей на сжатие** собственный вес свай вводится в зависимости

от настройки в закладке «Нагрузка». У **свай работающей на растяжение** её собственный вес принимается в расчет автоматически всегда. В соответствии с заданным видом нагрузки программа сама выполнит проверку **сжатой или растянутой свай**.

## NAVFAC DM 7.2

Расчет вертикального сопротивления свай осуществляется в соответствии с изданием: NAVFAC DM 7.2, Основания и земляные конструкции, Министерство ВМС США, 1984, в котором все методы описываются подробно. В результате расчёта получаем **несущую способность пяты свай**  $R_b$  и **несущую способность боковой поверхности свай**  $R_s$ .

Для несвязных грунтов программа принимает в учёт **критическую глубину**.

### Несущая способность пяты свай

Несущая способность нижнего конца свай в **несвязных грунтах** определена выражением:

$$R_b = \sigma_{efb} \cdot N_q \cdot A_b$$

где:  $\sigma_{efb}$  - эффективное напряжение в месте пяты свай  
 $N_q$  - **коэффициент несущей способности**  
 $A_b$  - площадь пяты свай

**Коэффициент несущей способности**  $N_q$  рассчитывается в программе путем обратных вычислений; однако, его значения можно изменить вручную.

Для **связных грунтов** справедливо выражение:

$$R_b = 9 \cdot c_u \cdot A_b$$

где:  $c_u$  - **тотальное сцепление** грунта на пите свай  
 $A_b$  - площадь пяты свай

### Несущая способность боковой поверхности свай

Несущая способность боковой поверхности свай в **несвязных грунтах** определена выражением:

$$R_s = \sum_{j=1}^n K_j \cdot \sigma_{ef,j} \cdot \tan \delta_j \cdot A_{s,j}$$

где:  $K_j$  - **коэффициент бокового давления грунта** в  $j$ -ом слое  
 $\sigma_{ef,j}$  - эффективное напряжение грунта в середине  $j$ -ого слоя  
 $\delta_j$  - **угол трения боковой поверхности свай** (между материалом свай и окружающим несвязным грунтом в  $j$ -ом слое)  
 $A_{s,j}$  - площадь боковой поверхности свай в пределах  $j$ -ого слоя

**Коэффициент сопутствующего давления грунта**  $K$  рассчитывается в программе путем обратных вычислений; однако, его значения можно изменить вручную в диалоговом окне



«Добавление новых грунтов».

Для **связных грунтов** справедливо выражение:

$$R_s = \sum_{j=1}^n \alpha_j \cdot c_{u,j} \cdot A_{s,j}$$

где:  $\alpha_j$  - коэффициент адгезии в пределах  $j$ -ого слоя  
 $c_{u,j}$  - тотальное сцепление в  $j$ -ом слое  
 $A_{sj}$  - площадь боковой поверхности сваи в  $j$ -ом слое

## Коэффициент несущей способности $N_q$

В таблице приводятся эталонные значения коэффициента устойчивости  $N_q$ . Если при возведении сваи используется струйная технология, максимальный угол внутреннего трения равняется  $28^\circ$ .

**Коэффициент несущей способности  $N_q$**

Угол внутреннего трения $\varphi[^\circ]$	26	28	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Коэффициент несущей способности $N_q$ для забивных свай	10	15	21	24	29	35	42	50	62	77	86	120	145
Коэффициент несущей способности $N_q$ для буронабивных свай	5	8	10	12	14	17	21	25	30	38	43	60	72

Литература:

NAVFAC DM 7.2, *Foundation and Earth Structures*, U.S. Department of the Navy, 1984.

## Коэффициент бокового давления грунта $K$

Грунт вокруг забиваемой сваи в процессе забивания уплотняется, а горизонтальное давление грунта действующее на поверхность сваи больше, чем статическое давление (выражено коэффициентом  $K_0$ ) и меньше, чем значение максимального давления грунта (пассивного сопротивления грунта), выраженное коэффициентом  $K_p$ :

$$K_0 < K < K_p$$

Эталонные значения коэффициента бокового давления грунта  $K$  приводятся ниже в таблице. Величина коэффициента бокового давления грунта  $K$  аппроксимируется с помощью следующего выражения:

$$K = \frac{K_a + K_p + K_0}{3}$$

где:  $K_0$  - коэффициент статического давления грунта

$$K_0 = 1 - \sin \varphi$$

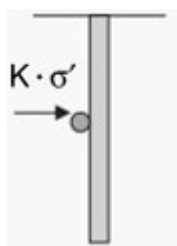
$\varphi$  - угол внутреннего трения грунта

$K_p$  - коэффициент пассивного давления грунта

$$K_p = \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

$K_a$  - коэффициент активного давления грунта

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$



Давление на сваю

#### Ориентировочные значения коэффициента бокового давления грунта $K$

Тип сваи	$K$ для сваи в сжатии	$K$ для растянуто - поднятых свай
Забивные H-образные сваи	0,5 - 1,0	0,3 - 0,5
Забивные сваи (круглого и квадратного сечений)	1,0 - 1,5	0,6 - 1,0
Забивные конические сваи	1,5 - 2,0	1,0 - 1,3
Сваи, забиваемые с подмывом	0,4 - 0,9	0,3 - 0,6
Буровые сваи (менее 70 см)	0,7	0,4

Литература:

NAVFAC DM 7.2, *Foundation and Earth Structures*, U.S. Department of the Navy, 1984.

#### Угол трения на боковой поверхности сваи

Ориентировочные значения угла трения между материалом на боковой поверхности сваи и окружающим несвязным грунтом приведены в таблице:

**Угол на боковой поверхности сваи  $\delta$  [°]**

Материал сваи	$\delta$ [°]
Стальные сваи	20
Деревянные сваи	$0,75\varphi$
Железобетонные сваи	$0,75\varphi$

где:  $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта

Литература:

NAVFAC DM 7.2, *Foundation and Earth Structures*, U.S. Department of the Navy, 1984.

## Коэффициент сцепления

В следующей таблице представлены ориентировочные значения коэффициента сцепления  $\alpha$ :

**Коэффициент сцепления  $\alpha$**

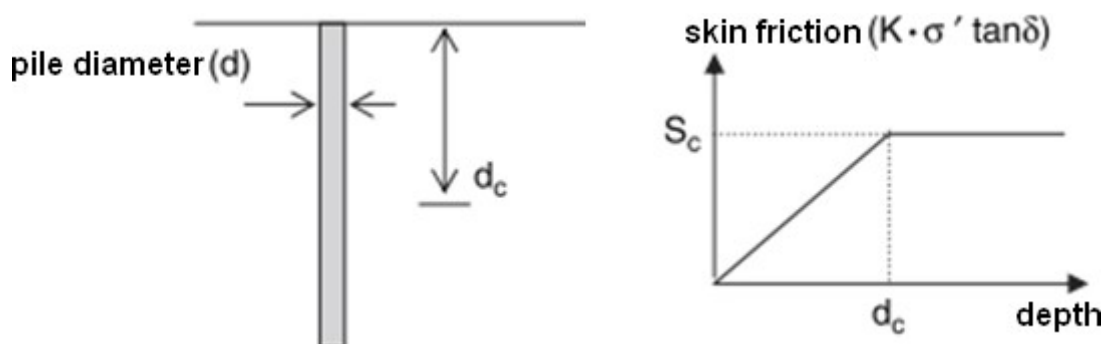
Материал сваи	Консистенция грунта	Интервал когезии $c_u$ [кН/м <sup>2</sup> ]	Коэффициент сцепления $\alpha$ [-]
Деревянные и бетонные сваи	Очень мягкий	0 - 12	0,00 - 1,00
	Мягкий	12 - 24	1,00 - 0,96
	Средней жесткости	24 - 48	0,96 - 0,75
	Жесткий	48 - 96	0,75 - 0,48
	Очень жесткий	96 - 192	0,48 - 0,33
Стальные сваи	Очень мягкий	0 - 12	0,00 - 1,00
	Мягкий	12 - 24	1,00 - 0,92
	Средней твёрдости	24 - 48	0,92 - 0,70
	Полутвёрдый	48 - 96	0,70 - 0,36
	Твёрдый	96 - 192	0,36 - 0,19

Литература:

NAVFAC DM 7.2, *Foundation and Earth Structures*, U.S. Department of the Navy, 1984.

## Критическая глубина

У **несвязного грунта** трение на боковой поверхности сваи не увеличивается по мере увеличения глубины до бесконечности, как, например, **эффективное напряжение**, а после прохождения определенной, т.наз. **критической глубины** приобретает постоянное значение: см. Рис., где  $d_c$  - критическая глубина,  $S_c$  - трение на боковой поверхности сваи на критической глубине,  $d$  - диаметр сваи. Это же правило действует при определении несущей способности на нижнем конце сваи в несвязных грунтах, где для упрощения процедуры используются те же значения критической глубины  $d_c$ .



Критическая глубина

Ориентировочные значения критической глубины для рыхлого песка составляет  $10d$  ( $d$  - диаметр сваи или ее ширина), для средне плотного и плотного песка это значение составляет  $15d$  и  $20d$ , соответственно.

**Коэффициент расчёта критической глубины**  $k_{dc}$  может быть установлен в закладке «Вертикальная несущая способность - аналитическое решение». Критическая глубина рассчитывается по формуле:

$$d_c = k_{dc} \cdot d$$

где:  $k_{dc}$  - коэффициент расчёта критической глубины  
 $d$  - диаметр сваи

## Метод Томлисона

Этот широко используемый метод при расчёте несущей способности учитывает параметры недренированного сопротивления сдвигу и кроме этого, допускает, что сопротивление на боковой поверхности сваи не зависит от напряжения от пригрузки кровлей.

**Несущая способность боковой поверхности сваи** определена выражением:

$$R_s = \sum_{j=1}^n c_{a,j} \cdot A_{s,j} = \sum_{j=1}^n \alpha_j \cdot c_{u,j} \cdot A_{s,j}$$

где:  $c_{a,j}$  - **сцепление** в  $j$ -ом слое (напряжения сдвига между поверхностью сваи и окружающим грунтом)  
 $A_{s,j}$  - площадь боковой поверхности сваи в пределах в  $j$ -ого слоя  
 $\alpha_j$  - **эмпирический коэффициент сцепления** (зависит от вида грунта, типа сваи и т.д.) в  $j$ -ом слое  
 $c_{u,j}$  - недренируемая когезия в  $j$ -ом слое (недренированное сопротивление

сдвигу)

Эмпирический коэффициент сцепления  $\alpha$  программа дополнительно вычисляет, но его значения можно ввести также вручную в диалоговом окне «Добавление новых грунтов».

**Несущая способность нижнего конца (пяты) сваи** рассчитывается по формуле:

$$R_b = q_b \cdot A_b = 9 \cdot c_u \cdot A_b$$

где:

- $q_b$  - удельное сопротивление пяты сваи
- $A_b$  - площадь пяты сваи
- $c_u$  - недренированное сопротивление сдвигу

## Коэффициент сцепления

Эмпирический коэффициент сцепления  $\alpha$  учитывает поведение грунта вокруг поверхности сваи и зависит от материала сваи, качества поверхности сваи и типа окружающего грунта. Значения этого коэффициента вводятся в программу на основании следующего графика, взятого из книги: М.Дж. Томлинсон Расчет сваи и практика строительства.

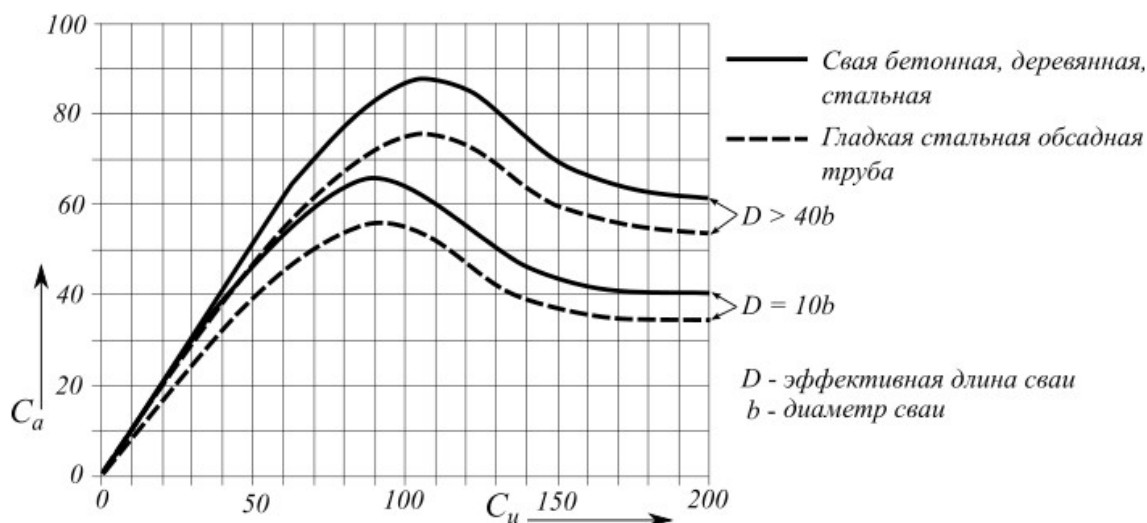


График для определения коэффициента сцепления

## Эффективная длина

Эффективная длина  $D$  определяет длину сваи, при которой нагрузка от сваи передается в грунт трением боковой поверхности. Если вся свая расположена в сопротивляющемся грунте, в котором нагрузка передается трением боковой поверхности сваи, эффективная длина соответствует длине сваи под землей (см. Рис.А). В случае расположения в слоистом грунте слои с высокой сжимаемостью (в котором нагрузка не передается трением поверхности сваи) и слои сверху в эффективную длину  $D$  не включаются (см. Рис. Б). Введение эффективной длины в анализ и ее значение устанавливаются в закладке «Вертикальная несущая способность - аналитическое решение».

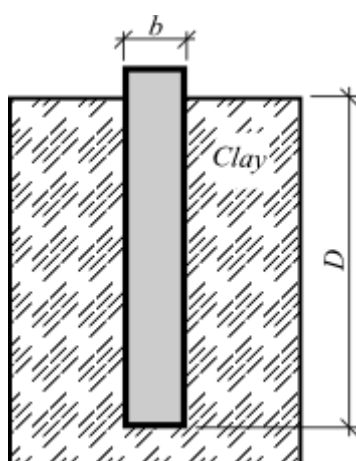


Рис. А Эффективная длина в сопротивляющемся грунте

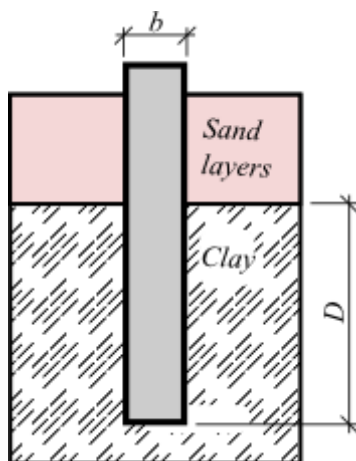


Рис. Б Эффективная длина в слоистом грунте

## Метод эффективного напряжения

Метод эффективных напряжений позволяет рассчитать вертикальную несущую способность одиночной сваи в связных и несвязных грунтах. Этот метод подходит для условий дренированного сопротивления сдвигу, т.е. условий после достаточного промежутка времени прошедшего от возведения сваи.

**Несущая способность боковой поверхности сваи** определена отношением:

$$R_s = \sum_{j=1}^n q_{s,j} \cdot A_{s,j} = \sum_{j=1}^n \beta_{p,j} \cdot \sigma_{0,j} \cdot A_{s,j}$$

где:

- $q_{s,j}$  - сопротивление тела в  $j$ -ом слое
- $\beta_{p,j}$  - коэффициенты по теории Бьерума и Бурланда в  $j$ -ом слое
- $\sigma_{0,j}$  - среднее действительное напряжение вследствие перегрузки, действующей вдоль сваи, в  $j$ -ом слое
- $A_{s,j}$  - площадь тела сваи в  $j$ -ом слое

**Несущая способность пяты сваи** определена отношением:

$$R_b = q_p \cdot A_b = N_p \cdot \sigma_p \cdot A_b$$

где:

- $q_p$  - удельная несущая способность пяты сваи
- $A_b$  - площадь пяты сваи
- $N_p$  - коэффициент несущей способности пяты сваи (по Феллениусу)
- $\sigma_p$  - эффективное напряжение от кровли в пяте сваи

## Коэффициенты несущей способности сваи

В следующей таблице приводятся рекомендуемые пределы значений коэффициентов несущей способности пяты сваи  $N_p$  и коэффициента  $\beta$ . Коэффициент  $\beta$  обычно находится в данных пределах, превышая значение 1,0 только в редких случаях.

**Пределы коэффициентов  $N_p$  и  $\beta$  (Феллениус, 1991)**

Тип грунта	$\varphi_{ef}$	$N_p$	$\beta$
Глина	25 - 30	3 - 30	0,23 - 0,40
Ил	28 - 34	20 - 40	0,27 - 0,50
Песок	32 - 40	30 - 150	0,30 - 0,60
Гравий	35 - 45	60 - 300	0,35 - 0,80

Литература:

*Fellenius, B.H.: Foundation Engineering Handbook, Editor H.S. Fang, Van Nostrand Reinhold Publisher, New York, 1991, 511 - 536.*

## CSN 73 1002

В программе используются два метода для расчета вертикальной несущей способности сваи в соответствии с комментариями к стандарту **CSN 73 1002 «Основание сваи»**:

- **Анализ в соответствии с теорией первой группы предельных состояний**

Порядок решения описан в Комментариях к стандарту CSN 73 1002 «Свайные фундаменты» в главе 3 «Проектирование», часть В - общее решение в соответствии с теорией первой группы предельных состояний (с.15). Все методы расчета основываются на представленных здесь формулах. Исходное геостатическое напряжение  $\sigma_0$  принимается от уровня спланированного земли. Коэффициент условий поведения грунта основания считается для глубины  $z$  (измеряется от спланированной земли).

$$z \leq 1 \Rightarrow \gamma_{r2} = 1,3$$

$$1 < z \leq 2 \Rightarrow \gamma_{r2} = 1,2$$

$$2 < z \leq 3 \Rightarrow \gamma_{r2} = 1,1$$

$$3 < z \Rightarrow \gamma_{r2} = 1,0$$

Эффективная длина сваи, используемая для расчета несущей способности боковой поверхности сваи, уменьшается на сегмент:

$$l_p = \frac{d \cdot N_d^{2/3}}{4}$$

где:  $d$  - диаметр сваи

#### • Расчёт сваи, опирающейся на несжимаемое грунтовое основание

Расчёт сваи, опирающейся на несжимаемый грунт (горные породы класса R1, R2) основан на разделе G - «Анализ несущей способности сваи по вертикальной нагрузке  $R_c$ » по CSN 73 1004, Комментарий к CSN 73 1002 «Свайные фундаменты». Описание метода начинается на стр. 27- «Сваи, опирающиеся на несжимаемый грунт». Расчёты в программе полностью соответствуют приводимым здесь. Коэффициент влияния осадки  $I_{wp}$  интерполирован из таблицы 16, встроенной в программу.

При выборе «**расчёт по CSN 73 1002**» - ставим флажок в окне «Сваи»- и анализ будет выполнен только в соответствии с CSN 73 1002 и остальные расчётные коэффициенты не принимаются во внимание. Если не сделан такой выбор, то анализ будет выполняться по выбранной методике проверки с соответствующими коэффициентами.

*Литература:*

*Československá státní norma ČSN 73 1002 Pilotové základy, Normalizační institut, Praha, 1987.*

*Československá státní norma ČSN 73 1004 Velkopřůměrové piloty, Normalizační institut, Praha, 1981.*

## Проверка

Собственно проверка **несущей способности сваи** выполняется в соответствии с методикой проверки установленной в закладке «Сваи»:

- проверка по коэффициенту запаса
- проверка по предельным состояниям
- проверка по EN1997

Сами расчёты (напр., определение несущей способности на пяте сваи) одинаковы для обеих опций проверки - их различие заключается только в вводе коэффициентов расчёта, комбинаций и в способе доказывания безопасности конструкции. Коэффициенты расчёта (параметры анализа) задают в закладке «Сваи».

В случае выбора метода расчёта вертикальной несущей способности сваи **по CSN 73 1002**, проверка сваи выполняется только по Комментарию к CSN 73 1002.

## Проверка в соответствии с теорией предельных состояний

При проверке по предельным состояниям можно в настройку расчёта вводить значения расчётных коэффициентов.

Программа проверит сваи, работающие на сжатие:

$$R_c = \frac{R_b}{\gamma_b} + \frac{R_s}{\gamma_s} \geq V_d + W_p$$

где:  $R_c$  - вертикальная несущая способность сжимаемой сваи



$R_b$	- несущая способность сваи в пяте
$R_s$	- сопротивление боковой поверхности сваи
$\gamma_b$	- коэффициент редукции сопротивления на пяте сваи
$\gamma_s$	- коэффициент редукции сопротивления на боковой поверхности
$V_d$	- экстремальная вертикальная сила
$W_p$	- собственный вес сваи

For **tension pile** the following verification applies:

$$R_{sdt} = \frac{R_s}{\gamma_{st}} \geq V_d + W_p$$

где:	$R_{sdt}$	- несущая способность сваи при растяжении
	$R_s$	- несущая способность боковой поверхности сваи
	$\gamma_{st}$	- коэффициент редукции несущей способности растягиваемой сваи
	$V_d$	- экстремальная растягивающая сила
	$W_p$	- собственный вес сваи

## Расчетные коэффициенты

В закладку «Сваи» задают две группы частных коэффициентов:

### Коэффициенты редукции параметров грунтов

$\gamma_{m\varphi}$	- Коэффициент редукции угла внутреннего трения
$\gamma_{mc}$	- Коэффициент редукции когезии
$\gamma_{m\gamma}$	- Коэффициент редукции удельного вес грунта

Выбрать можно и редукцию  $tg\varphi$ .

### Коэффициенты редукции несущей способности (сопротивления) сваи

$\gamma_b$	- коэффициент редукции сопротивления на пяте
$\gamma_s$	- коэффициент редукции сопротивления на боковой поверхности
$\gamma_t$	- коэффициент редукции общей вертикальной несущей способности
$\gamma_{st}$	- коэффициент редукции несущей способности растягиваемой сваи

Значения отдельных коэффициентов приведены в соответствующих стандартах.

## Проверка на соответствие с коэффициентом запаса

При проверке по **коэффициенту запаса** можно в закладке «Сваи» задать требуемое значение коэффициента запаса  $SF$  для вертикальной несущей способности.

Программа выполняет проверку вертикальной несущей способности **сжимаемой сваи**:

$$\frac{R_c}{V_d + W_p} > SF_{\varphi}$$

где:

- $V_d$  - экстремальная вертикальная сила
- $R_c$  - вертикальная несущая способность сжимаемой сваи
- $W_p$  - собственный вес сваи (вводится в расчёт по настройке в рамке «Нагрузка»)

и проверку **растягиваемой сваи**:

$$\frac{R_{std}}{V_d + W_p} > SF_{\varphi}$$

где:

- $V_d$  - экстремальная растягивающая сила
- $R_{std}$  - несущая способность растягиваемой сваи
- $W_p$  - собственный вес сваи

## Вертикальная устойчивость: метод пружины

Программный модуль «Свая - метод пружины» включен в программу «Свая» и назначен для расчёта вертикальной несущей способности сваи, расположенной в слоистой среде общего вида. В результате расчёта получаем **кривую предельного нагружения** и эпюры важных силовых и деформационных величин вдоль сваи.

Основным преимуществом модуля является доступность входных параметров грунтов (пород) вокруг сваи: пользователь задаёт **угол внутреннего трения, сцепление, удельный вес и модуль деформации** данного грунта.

Решение основывается на полуаналитическом методе. Свая представляется стандартными балочными элементами. Поведение окружающего грунта следует из хорошо известного решения слоистого грунтового основания - обобщения модели Винклера-Пастернака. Упруго-жесткое пластичное поведение при сдвиге принимается вдоль стыка свая-грунт в соответствии с критерием разрушения Мора-Кулона. Стандартное напряжение, действующее на сваю, определяется из **геостатического напряжения** и статического давления грунта (бетонной смеси).

**Влияние грунтовой воды** в районе сваи учтено в расчёте сопротивления сдвигу **боковой поверхности сваи**, а также влияет на **глубину зоны деформации** под пятой сваи.

В случае, когда свая проходит до уровня **несжимаемого грунта** - метод пружины нельзя применить.

На осадку сваи может оказывать влияние просадка окружающего грунта. Грунт около сваи проседает и тем самым уменьшает несущую способность сваи. Осадка сваи продолжает увеличиваться без увеличения её нагрузки. Это явление моделируется в программе как т.н. **негативное трение на боковой поверхности сваи**.

В расчёт несущей способности сваи тоже можно ввести **влияние технологии выполнения сваи** на жёсткость свайного фундамента.

Процесс решения состоит из 3 основных этапов:

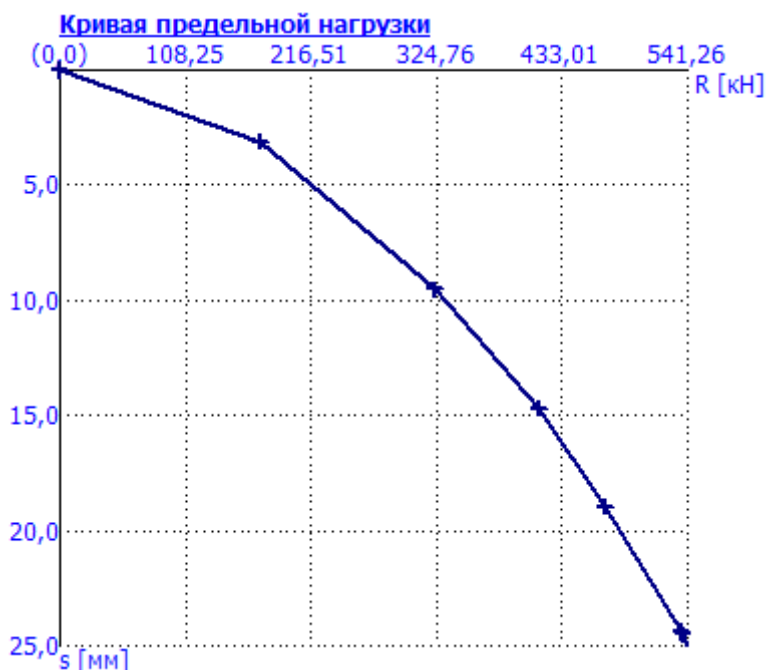
1. Сваю разбиваем на несколько сегментов. Разделение сваи на сегменты удовлетворяет условию, что отношение длины сегмента к диаметру сваи должно быть равным примерно 2,5, при количестве сегментов - 10, минимально.

2. Каждый участок в расчёте характеризуется пружиной. Жесткость пружины моделирует, во-первых, **сопротивление сдвигу на боковой поверхности сваи**, а у пяты сваи тоже **жёсткость подстилающего слоя под пятой сваи**.
3. Для каждого сегмента сваи **определяется предельное значение силы сдвига, передаваемой поверхностью  $T_{lim}$** .
4. На сваю сверху приложена постепенно приращиваемая вертикальная нагрузка. При каждом увеличении нагрузки определяют величину усилия в пружине на каждом участке сваи. Усилие пружины на каждом сегменте может равняться не больше, чем предельному значению трения на боковой поверхности сваи  $T_{lim}$ . Очевидно, что при определённом уровне нагружения все пружины утрачивают способность увеличивать действующие в них усилия и свая при продолжающемся наращивании нагрузки опирается только пружиной в пяте, у которой передача сил не имеет никаких ограничений.
5. Результаты расчёта представлены в виде **кривой предельной нагрузки, эпюра нагружения вдоль сваи и графа зависимости сдвига от деформации** в данном месте сваи.

## Кривая предельной нагрузки

Кривая предельной нагрузки описывает изменение вертикальной нагрузки  $Q$  как функцию осадки сваи.

По умолчанию программа предлагает построение данной кривой для максимальной величины осадки в 25 мм. До начала расчёта это значение можно менять до 100 мм. На рисунке представлен пример типичной формы кривой предельной нагрузки.



Предельная кривая нагружения одиночной сваи

## Прочность боковой поверхности на сдвиг

Для каждого сегмента сваи определяется предельное значение силы, которая может быть

передана боковой поверхностью сваи на данном сегменте. Это значение определяется с помощью геостатического напряжения  $\sigma_z$ , на глубине нахождения каждого из сегментов.

$$\sigma_z = \sum \gamma \cdot h$$

где:  $\gamma$  - удельный вес грунта  
 $h$  - глубина под поверхностью земли

Знак сложения означает, что  $\sigma_z$  суммируется по отдельным слоям грунта.

Допустимое напряжение при сдвиге рассчитывается следующим образом:

$$\tau = \sigma_z \cdot k \cdot \operatorname{tg} \varphi + c$$

где:  $c$  - сцепление грунта в месте расположения стержня  
 $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта в месте расположения стержня  
 $k$  - коэффициент увеличения допустимого трения поверхности в зависимости от технологии

Если стержень находится ниже уровня грунтовых вод, допустимое трение поверхности уменьшается для получения вида:

$$\tau = (\sigma_z - u) \cdot k \cdot \operatorname{tg} \varphi + c$$

где:  $u$  - поровое давление ниже уровня грунтовых вод

Допустимая сила сдвига рассчитывается по формуле:

$$T_{lim} = O \cdot l \cdot \tau$$

где:  $O$  - длина периметра поверхности сваи  
 $l$  - длина балки сваи

## Коэффициент увеличения предельного трения боковой поверхности сваи

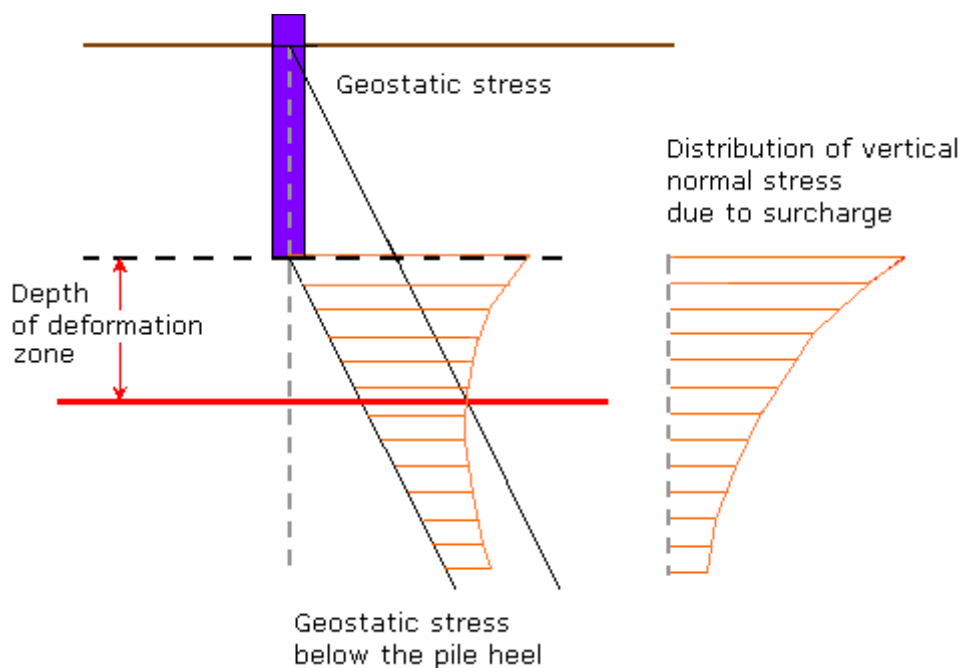
Специальным входным параметром является коэффициент увеличения допустимого трения поверхности  $k$  в зависимости от используемых технологий. По умолчанию значение данного коэффициента устанавливается равным 1. В стандарте рекомендации по этому специальному значению отсутствуют, его установка зависит исключительно от навыков и опыта проектировщика. В ходе эксплуатационных измерений на реальных сваях было установлено, что значение  $k$  обычно превышает 1 и может достигать до 1,5. Теоретически, однако, оно может быть и меньше 1.

## Глубина зоны деформации

Принимаемая глубина воздействия является переменной, которая оказывает значительное влияние на жесткость грунта под основанием сваи. Это один из входных параметров для определения параметров  $C_1$  и  $C_2$  модели Винклера-Пастернака. Чем глубже зона воздействия, тем ниже жесткость основания дгрунта. Когда глубина зоны влияния достигает предельного 0, жесткость основания дгрунта стремится к бесконечности.

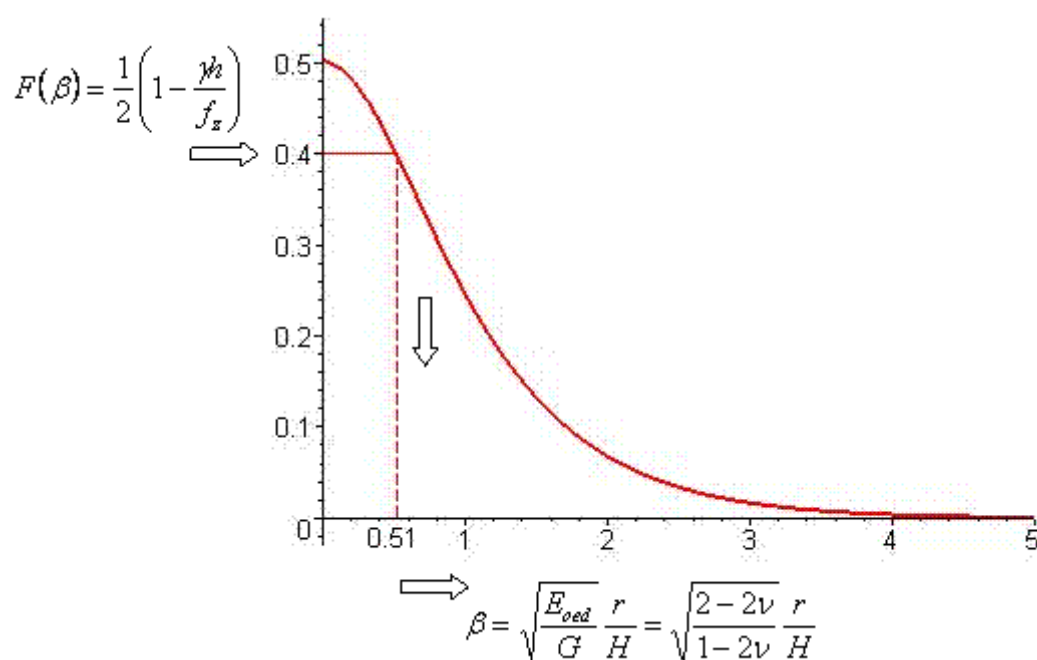
Глубина зоны деформации зависит от параметров грунта основания и величины прикладываемой нагрузки, т.е. от напряжения под пятой сваи. Программа допускает, что

глубина зоны деформации определена местом, где напряжение в ней равно геостатическому напряжению. Такой вариант представлен на следующем рисунке:



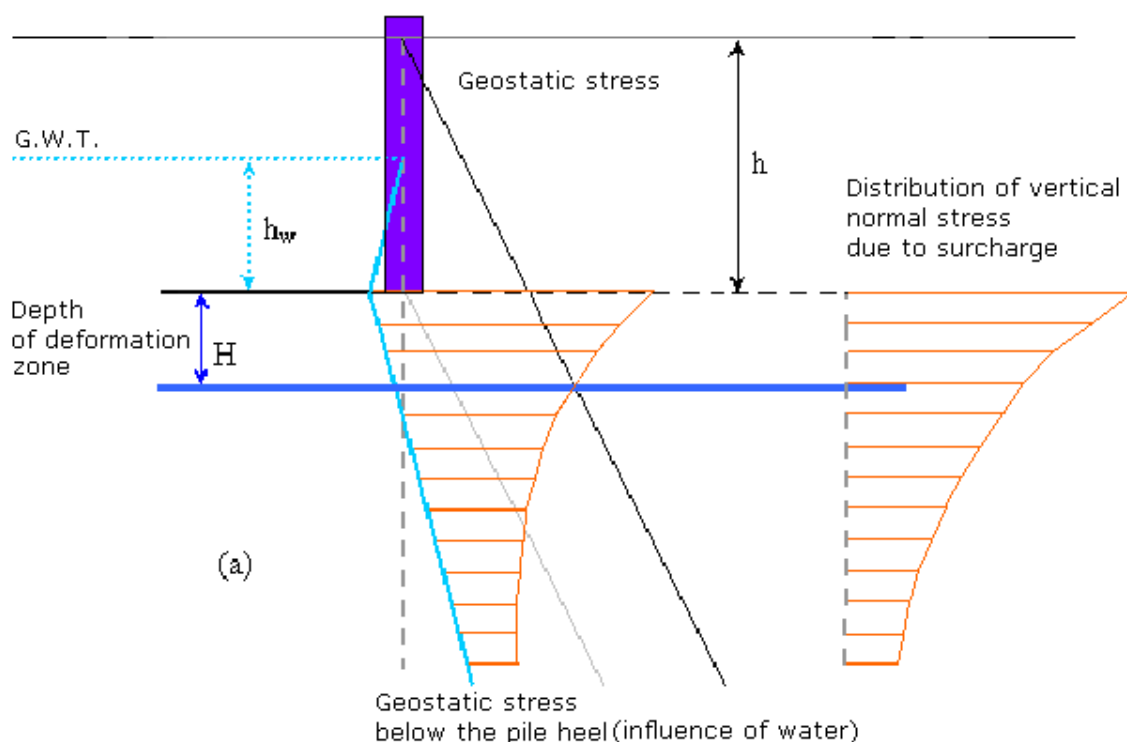
#### *Определение глубины зоны деформации под пятой сваи*

Для численного определения глубины зоны воздействия  $H$  используется функция  $F(\beta)$ . Ее распределение показано на рисунке. Эта функция выводится при помощи указанных выше допущений и в программе представлена в виде таблицы. Ее применение становится ясным из следующих шагов. Значения  $F(\beta)$  определяются для текущего значения напряжения  $f_z$  под пятой сваи и для исходного геостатического напряжения  $\gamma_h$ . Для этого значения  $F(\beta)$  определяется параметр  $\beta$ , который служит для определения действительного значения коэффициента Пуассона  $\nu$ , диаметра сваи  $r$ , соответствующей глубины зоны воздействия  $H$ .



#### Изменение функции $F(\beta)$

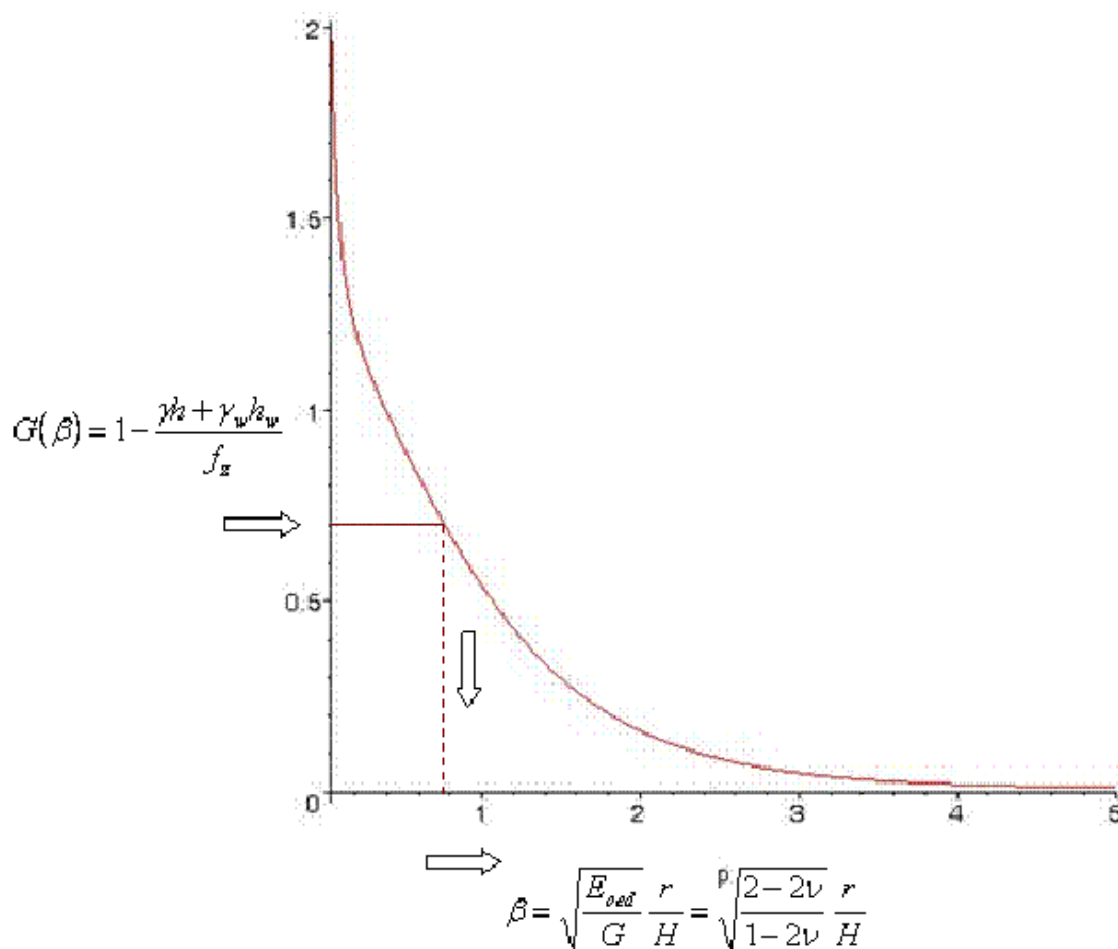
На глубину зоны воздействия может повлиять уровень грунтовых вод. Определение глубины в таком случае представлено на рисунке:



#### Определение глубины зоны деформации под пятой сваи с учетом воды

Для цифрового определения глубины зоны воздействия  $H$  используется функция  $G(\beta)$ . Ее распределение показано на рисунке. В анализе эта функция используется так же, как и функция  $F(\beta)$ . Единственное отличие при определении значения  $G(\beta)$  состоит в

использовании гидростатического давления  $\gamma_w \cdot h_w$ .



Изменение функции  $G(\beta)$

## Несжимаемое основание (подстилающий слой)

На определенной глубине под поверхностью земли можно задавать несжимаемое основание. Если свая доходит до этого заданного уровня, то метод пружины здесь неприменим, т.к. свая рассматривается как жёсткий элемент и в окружающей её среде не могут возникать деформации. Если уровень несжимаемого основания лежит под пятой, но не глубже **глубины зоны деформации** под пятой, то глубину зоны деформации для расчёта жёсткости уменьшают так, чтобы она доходила именно к несжимаемому грунту. Таким образом несжимаемый грунт под уровнем пяты увеличивает жесткость и, соответственно, несущую способность пяты сваи. Если несжимаемый грунт расположен ниже зоны деформации под пятой, то на анализируемую свая он не оказывает никакого влияния.

## Отрицательное трение на боковой поверхности

Явление отрицательного трения на боковой поверхности сваи возникает в результате просадки грунта около сваи. Грунт, деформирующийся вокруг сваи, стремится опускать сваю вниз, тем самым уменьшая устойчивость сваи к осадке.

Входными параметрами для расчёта влияния отрицательного трения боковой поверхности является просадка поверхности земли  $w$  и глубина зоны влияния этой деформации  $h$ . При

равномерно распределённой нагрузке вокруг сваи значение  $w$  следует измерять на расстоянии примерно трёхкратного диаметра сваи от её внешней лицевой поверхности. Значение  $h$  показывает глубину, до которой сказывается влияние просадки поверхности грунта и ниже которой грунт больше не сжимается.

Расчет отрицательного трения поверхности проводится в начале при определении предельных сдвиговых сил, передаваемых боковой поверхностью сваи  $T_{lim}$ . Решение допускает, что осадка грунта снижается линейно с глубиной от значения  $w$  на поверхности земли до 0 на глубине  $h$ . Каждому уровню под поверхностью до глубины  $h$ , следовательно соответствует конкретное значение сжатия грунта. В пружинах отдельных сегментов, на которые свая разделена, дополнительно вычисляем силы, которые в них развиваются под влиянием этого сжатия. Эти силы затем вычитаем из значений  $T_{lim}$ , т.е. уменьшаем несущую способность боковой поверхности сваи а счёт трения.

Из представленной теории очевидно, что при большой осадке  $w$  или большой глубине влияния осадки  $h$ , могут некоторые силы  $T_{lim}$  упасть до 0. В крайних случаях отрицательное трение на боковой поверхности может полностью отменить влияние несущей способности боковой поверхности сваи и свая в таком случае опирается только на упругое основание под пятой.

## Влияние технологии изготовления

Несущая способность сваи в большой степени обусловлена и технологией её изготовления. Модуль «Свая - метод пружины» позволяет задавать технологию изготовления сваи. Для каждой из технологий с помощью поправочных коэффициентов выполняется редукция сдвига на боковой поверхности сваи и сопротивления на нижнем конце сваи. Значения коэффициентов основываются на нидерландском стандарте NEN 6743 Pile foundation.

Помимо предлагаемых программой технологий и соответствующих им коэффициентов редукции можно задавать коэффициентам свои, пользовательские значения и таким способом включать в расчёт информацию из третьих источников или отражать собственный практический опыт.

## Сопротивление сдвигу на боковой поверхности

Сопротивление сдвигу на боковой поверхности сваи в расчёте представлено жесткостью пружин, поддерживающих отдельные сегменты сваи. Жесткость пружин рассчитана при помощи параметров упругого основания  $C_1$  и  $C_2$  Винклера-Пастернака. Значения  $C_1$  и  $C_2$  определяются из параметра  $E_{def}$ . Они зависят от глубины зоны деформации, которая не является постоянной и меняется с деформацией (осадкой) сваи. Варьирование зоны деформации определяется в анализе таким образом, чтобы для нулевой деформации ее значение достигало 1х диаметр сваи, а для деформации в момент превышения несущей способности -  $kx$  диаметра сваи где  $k$  - заданное значение, или 2,5.

Решающим параметром для определения значений  $C_1$  и  $C_2$  является модуль деформации. При определении значения  $E_{def}$  из свойств деформации грунта по стандартам необходимо быть крайне внимательными. В частности, в случае длинных свай мы имеем дело с фундаментом глубокого заложения, а грунты у пяты сваи несомненно более твёрдые, чем указано в стандарте фундаментов мелкого заложения. Особенно это касается связных грунтов. Наиболее достоверные данные получаем тогда, когда располагаем модулями непосредственных измерений на каждой глубине.

Приводимые ниже формулы служат для определения жесткости пружин, представляющих



сопротивление поверхности свай при сдвиге как функцию рассчитанных параметров упругого основания. Они зависят от формы сечения, и для сечений использованных в программе принимают следующий вид:

**Круг:**

$$k = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sqrt{C_1 C_2} \cdot \frac{K_1(\alpha \cdot r)}{K_2(\alpha \cdot r)}$$

где:  $r$  - радиус сечения свай  
 $C_1, C_2$  - параметры грунтового основания  
 $K_1(\alpha r), K_2(\alpha r)$  - значения модифицированных функций Бесселя

Параметр  $\alpha$  принимает значение:

$$\alpha = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}$$

**Прямоугольник:**

$$k = [2 \cdot (a + b) \cdot \sqrt{C_1 C_2} + 3 \cdot C_2] \cdot k_{red}$$

где  $a, b$  - длины сторон прямоугольника;  $C_1, C_2$  - параметры грунтового основания;  $k_{red}$  - поправочный коэффициент, понижающий жесткость с учётом вытянутой формы прямоугольника.

Коэффициент принимает значения:

$$k_{red} = 0,6 + 0,4 \cdot e^{0,5 \cdot \left(1 - \frac{b}{a}\right)} \quad H \geq 3 \cdot a$$

$$k_{red} = 1 - \frac{1 - 0,6 + 0,4 \cdot e^{0,5 \cdot \left(1 - \frac{b}{a}\right)}}{3 \cdot a} \cdot H \quad H < 3 \cdot a$$

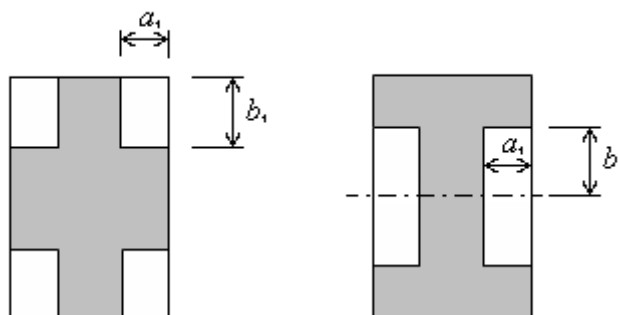
где  $a$  - длина более короткой стороны прямоугольника, и  $H$  - глубина зоны воздействия.

**Крест, «I-сечение»:**

Для этих профилей поперечных сечений жесткость выводится из жесткости прямоугольного сечения, уменьшенного на величину жёсткости четырех «удаленных» частей сечения.

$$k = [2 \cdot (a + b) \cdot \sqrt{C_1 C_2} + 3 \cdot C_2] \cdot k_{red} - 4 \cdot \left(1 - e^{-e \cdot \sqrt{a_1^2 + b_1^2}}\right) \cdot \left[ C_1 \cdot \frac{a_1 \cdot b_1}{9} + C_2 \cdot \left( \frac{a_1}{3 \cdot b_1} + \frac{b_1}{3 \cdot a_1} \right) \right]$$

$a_1, b_1$  - выводятся из следующего рисунка



## Жесткость грунтового основания под пятой сваи

Жесткость грунта под пятой сваи выводится из значения жесткости  $C_I$  модели основания Винклера. Значение  $C_I$  определяется для параметров грунта  $E_{def}$  и  $\nu$  в месте расположения пяты сваи. Значение  $C_I$  также зависит от **глубины зоны деформации под пятой**.

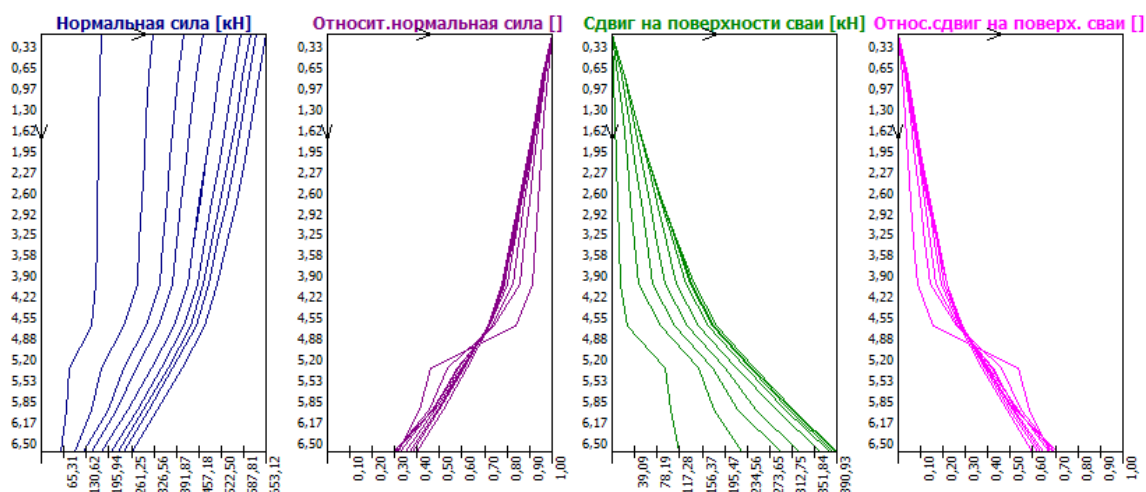
Жесткость пружины, вставленной в пяту сваи задана отношением:

$$k_r = C_I \cdot A$$

где:  $A$  - площадь поперечного сечения сваи в пяте

## Распределение сил, действующих на сваи

Помимо кривой предельного нагружения можно проследить изменения нормальной силы вдоль сваи и изменения силы сдвига на боковой поверхности сваи. Нормальная сила уменьшается сверху вниз, по мере постепенного перехода в сдвигающие силы на боковой поверхности сваи, а сдвигающие силы на боковой поверхности сваи следовательно сверху вниз увеличиваются. Обе силы рассчитываются в относительных значениях, отнесённых к величине вертикальной нагрузки.

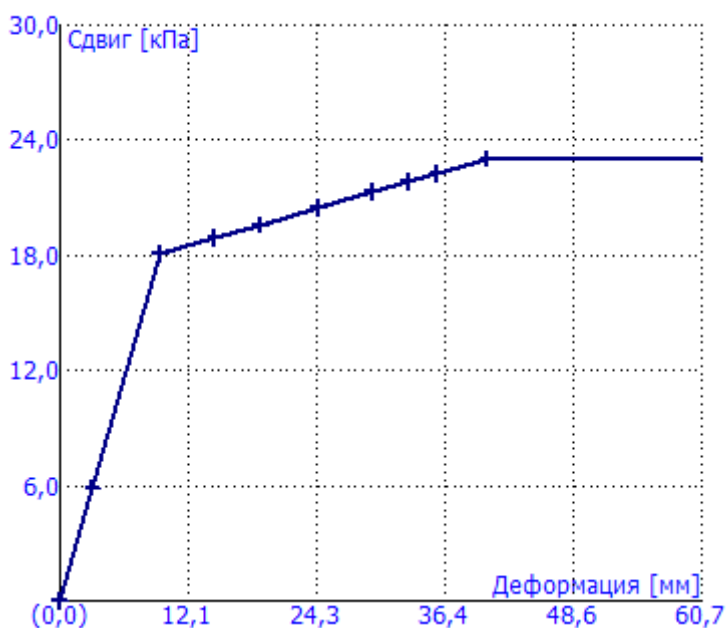


Эпюры напряжённого состояния вдоль сваи - внутренние силы

## Зависимость сдвига от деформации

На произвольно выбранной глубине можно проследить изменения зависимости сдвига на боковой поверхности сваи от деформации (осадки) конкретной точки на свае. Эта зависимость показывает процесс уменьшения и постепенного подавления жесткости сдвига боковой поверхности сваи до 0 по мере возрастания деформации. Сперва зависимость имеет линейный характер, в частности на этапе, когда сила в пружине не превышает значения  $T_{lim}$ . Затем жесткость пружины начинает уменьшаться и кривая постепенно принимает горизонтальное направление.

Зависимость сдвига от деформации (на глубине 4,00 м)



*Зависимость сдвига от деформации, или осадки сваи*

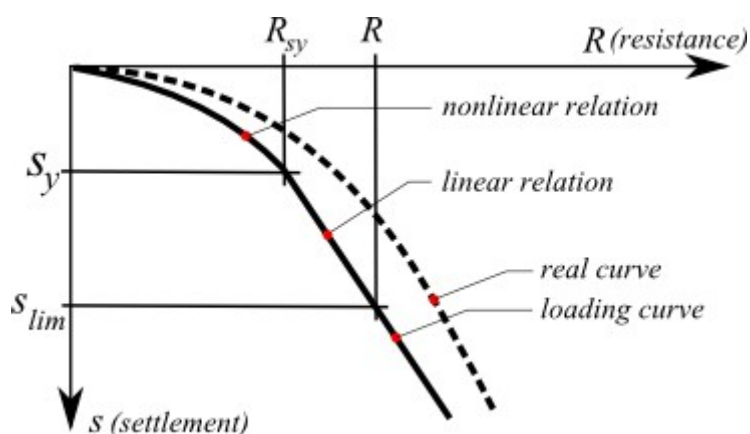
## Осадка сваи

Анализ осадки сваи можно выполнять по двум теориям:

- **нелинейная теория (Масопуст)**
- **линейная теория (Поулос)**

## Нелинейная теория (Масопуст)

Нелинейная теория строит кривую нагружения (кривая нагрузка - осадка), допуская, что развитие осадки как функции сопротивления до полной активации трения на боковой поверхности сваи можно представить в виде параболы второго порядка, а затем отношение примет линейный характер, как показано на рисунке. Этот метод был выведен из уравнений кривых регрессий, построенных на основании статистического анализа результатов испытаний свай на нагрузку, для определения вертикальной устойчивости в котором используются **коэффициенты регрессии**. Дополнительная информация представлена [здесь](#).



Кривая нагрузки сваи

Литература:

Masopust, J.: Vrtane piloty. 1<sup>st</sup> edition, Prague, Cenek a Jezek, 1994, 263 p.

Masopust, J., Glisnikova, V.: Zakladani staveb Modul M01. 1<sup>st</sup> edition, Brno, AN CERM, 2007, 182 p., ISBN 978-80-7204-538-9.

## Метод по Масопусту

Кривая нагрузки одиночной сваи строится следующим образом:

**1) Предельное сопротивление тела сваи  $q_s$  определяется следующим образом:**

$$q_s = a - \frac{b}{v_i / d_i}$$

где:

- $a, b$  - коэффициенты регрессии удельного трения на боковой поверхности сваи
- $v_i$  - глубина от поверхности земли до середины  $i$ -ого слоя [м]
- $d_i$  - диаметр сваи в  $i$ -ом слое [м]

и несущую способность боковой поверхности сваи:

$$R_s = m_1 \cdot m_2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^n d_i \cdot h_i \cdot q_{si}$$

где:

- $m_1$  - коэффициент типа нагрузки
- $m_2$  - коэффициент влияния защиты поверхности
- $d_i$  - диаметр сваи в  $i$ -ом слое [м]
- $h_i$  - толщина  $i$ -ого слоя [м]
- $q_{si}$  - предельная сила трения на боковой поверхности сваи в  $i$ -ом слое [МПа]

**2) Напряжение на пите сваи  $q_b$  вычисляем по формуле:**

$$q_b = e - \frac{f}{D/d_b}$$

где:  $e, f$  - коэффициенты регрессии под пятой сваи  
 $D$  - длина сваи в грунтах [м]  
 $d_b$  - диаметр пяты сваи [м]

**3) Вычисляем коэффициент передачи нагрузки в нижнюю часть сваи [пята]  $\beta$ :**

$$\beta = \frac{q_b}{q_b + 4 \cdot \bar{q}_s \cdot D/d_b}$$

где:  $q_b$  - напряжение на пяте сваи [МПа]  
 $\bar{q}_s$  - средневзвешенное значение предельного трения на боковой поверхности сваи [МПа]  
 $D$  - длина сваи в грунтах [м]  
 $d_b$  - диаметр пяты сваи [м]

И определяем **нагрузку для активации трения на боковой поверхности  $R_{sy}$** :

$$R_{sy} = \frac{R_s}{1 - \beta}$$

где:  $R_s$  - несущая способность на боковой поверхности сваи [Н]  
 $\beta$  - коэффициент передачи нагрузки в нижнюю часть сваи (пята) [-]

**4) Вычисляем осадку, соответствующую нагрузке, активирующей силы трения на боковой поверхности  $R_{sy}$ :**

$$s_y = I_s \cdot \frac{R_{sy}}{0,7 \cdot d \cdot E_s}$$

где:  $I_s$  - коэффициент осадки  
 $R_{sy}$  - нагрузка для активации сил трения на боковой поверхности сваи [Н]  
 $d$  - диаметр сваи [м]  
 $E_s$  - секущий модуль деформации окружающего грунта [МПа]

**5) Вычисляем нагрузку в пяте сваи для заданной осадки (предельной осадки в 25 мм) по формуле:**

$$R_{b,lim} = \beta \cdot R_{sy} \cdot \frac{s_{lim}}{s_y}$$

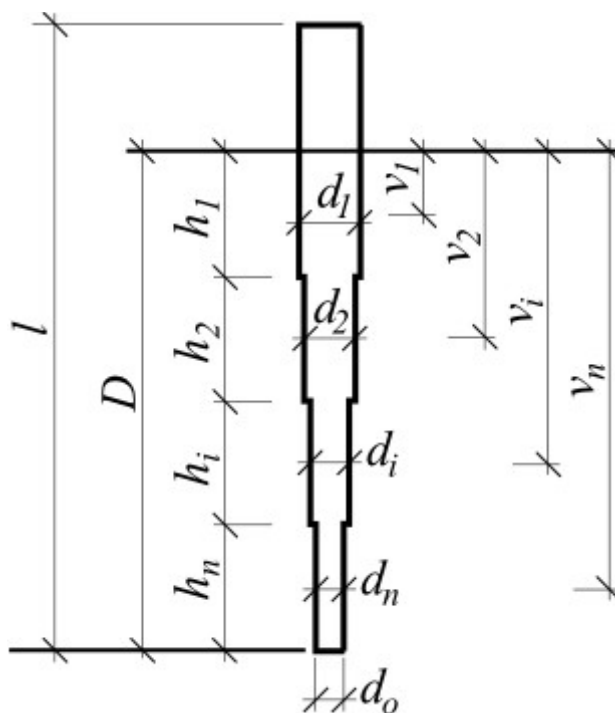
где:  $\beta$  - коэффициент передачи нагрузки в пяту сваи  
 $R_{sy}$  - нагрузка на активирование трения на боковой поверхности сваи

- $s_{lim}$  - предельная (нормативная) осадка (обычно 25 мм) [м]  
 $s_y$  - осадка, соответствующая нагрузке при активировании трения на боковой поверхности сваи [м]

и вычисляем несущую способность сваи для данной **предельной осадки**  $s_{lim}$ :

$$R_c = R_{b,lim} + R_s$$

- где:  $R_{b,lim}$  - нагрузка в пяте сваи для заданной осадки [Н]  
 $R_s$  - несущая способность на боковой поверхности сваи [Н]



Метод по Масопусту

#### Литература:

Masopust, J.: Vrtane piloty. 1<sup>st</sup> edition, Prague, Cenek a Jezek, 1994, 263 p.

Masopust, J., Glisnikova, V.: Zakladani staveb Modul M01. 1<sup>st</sup> edition, Brno, AN CERM, 2007, 182 p., ISBN 978-80-7204-538-9.

## Коэффициенты регрессии

Удельное трение боковой поверхности зависит от коэффициентов регрессии  $a, b$ . Напряжение на пяте сваи (при активации полного сопротивления боковой поверхности сваи) зависит от коэффициентов регрессии  $e, f$ . Значения этих коэффициентов регрессии были выведены из уравнений кривых регрессий, построенных на основании статистического анализа результатов примерно 350 испытаний свай на статическую нагрузку.

Диалоговое окно для ввода коэффициентов регрессии вызывается в закладке «Осадка - нелинейная кривая нагружения (Masopust)» при нажатии на кнопки «Правка  $a, b$ » и «Правка  $e, f$ ». При редактировании в диалоговом окне отображаются рекомендуемые

значения коэффициентов регрессии для разных типов грунта и пород.

**Задание для кривой нагрузки**

Параметры слоя

Задание параметра в слой № : 1

Присвоенный грунт : Глина с гравием, консистенция полутвёрдая

Начало слоя от планир.террит. : 0,00м

Конец слоя от планир.террит. : 7,00м, мощность слоя: 7,00м

Справка о параметрах слоя

Задание коэффициентов регрессии a,b [-]:

Грунты	a	b
Класс R3 .....	246	225
Класс R4 .....	169	139
Класс R5 .....	131	94
Класс R6 .....	97	108

**Несвяз.грунты**  
(Id = относит.плотность)

	a	b
Id = 0,5 .....	62	16
Id = 0,7 .....	91	48
Id = 1,0 .....	154	115

**Связные грунты**  
(Ic = индекс консистенции)

	a	b
Ic = 0,5 .....	46	20
Ic > 1 .....	97	108

a = 20,00 [-]

b = 20,00 [-]

OK Отмена

OK + [up arrow] OK + [down arrow]

Диалоговое окно «Ввод для кривой нагрузки»: ввод коэффициентов регрессии  $a$ ,  $b$  ( $e$ ,  $f$ )

## Коэффициенты $m_1$ , $m_2$

**Коэффициент типа нагрузки  $m_1$  :**

- для рабочей нагрузки 0,7
- для экстремальной нагрузки 1,0

**Коэффициент защиты тела сваи  $m_2$  :**

- для бетонирования сухой скважины или под водой 1,0
- для бетонирования бентонитовым раствором 0,9
- для защиты сваи с помощью фольги ПВХ (толщина более 0,7 мм) 0,7
- для защиты сваи с помощью фольги и сетки В- системы 0,5
- для защиты стального шпунта 0,15

Литература:

Masopust, J., Glisnikova, V.: *Zakladani staveb Modul M01*. 1<sup>st</sup> edition, Brno, AN CERM, 2007, 182 p., ISBN 978-80-7204-538-9.

## Секущий модуль деформации $E_s$

Секущий модуль деформации  $E_s$  зависит от диаметра сваи  $d$  и толщи отдельных слоёв грунтов  $h_i$ . Значения этого модуля желательно получать в статических испытаниях сваи.

Значение секущего модуля для несвязных грунтов зависит также от индекса относительной плотности  $I_d$ , и для связных грунтов от индекса консистенции  $I_c$ . Значение секущего модуля деформации  $E_s$  увеличивается по мере увеличения глубины (толщи слоя грунта).

В ст. 60 в [2] указано, что кумулятивное значение этого модуля (относящееся ко всем грунтам вдоль боковой стены сваи и под нижним концом (пятой) сваи большого диаметра) можно определить с помощью формулы:

$$E_s = I_s \frac{Q}{s d}$$

где:  $I_s$  - коэффициент влияния осадки сваи [-]  
 $d$  - диаметр сваи [м]  
 $Q$  - соответствующее значение нагрузки (силы), замеренное при испытании сваи на нагрузку [Н]  
 $s$  - соответствующее значение осадки сваи, замеренное при статическом испытании нагружением [м]

Величины секущих модулей деформации  $E_{si}$  для различных типов грунтов и различные профили и глубины свай приведены в следующих таблицах [3]. Промежуточные значения секущего модуля деформации  $E_s$  поддаются линейной интерполяции.

### Секущий модуль деформации $E_s$ для свай установленных в скальных и полускальных грунтах (породах)

$h$ (м)	$d$ (м)								
	0,6			1,0			1,5		
	R3	R4	R5	R3	R4	R5	R3	R4	R5
1,5	50,3	28,2	20,2	72,3	35,0	24,7	85,5	33,5	22,3
3,0	64,5	43,1	30,8	105,5	57,3	41,0	138,3	58,8	41,2
5,0	-	58,2	41,3	-	75,3	54,8	-	87,9	63,7
10,0	-	87,5	61,6	-	114,5	83,2	-	133,0	97,0

### Секущий модуль деформации $E_s$ для свай установленных в несвязных грунтах

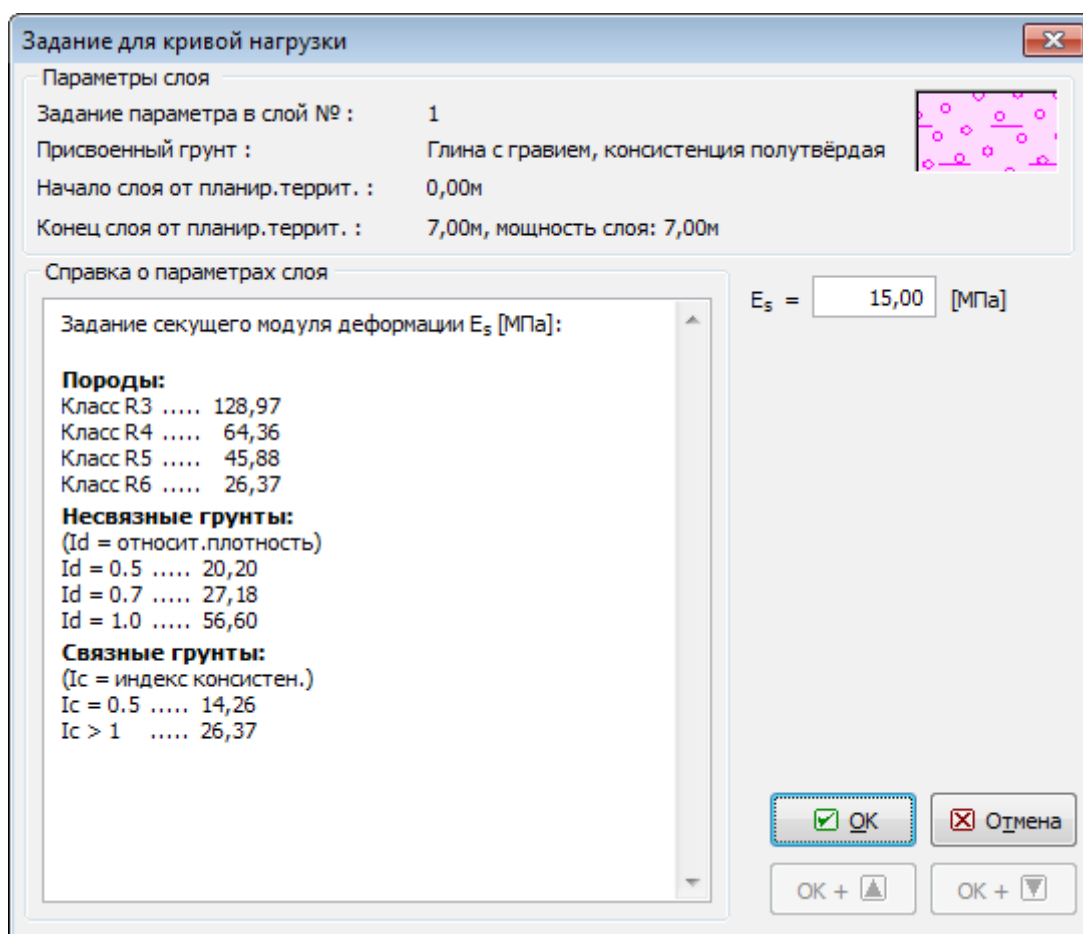


$h$ (m)	$d$ (m)								
	0,6			1,0			1,5		
	$I_d$								
	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9
1,5	11,0	13,7	28,3	12,8	15,8	30,6	13,0	15,3	29,0
3,0	15,5	20,2	44,5	18,4	25,0	47,8	19,4	24,5	52,5
5,0	18,8	26,6	56,1	22,8	32,5	69,1	24,5	36,0	78,2
10,0	23,8	36,6	72,1	29,8	47,8	93,4	32,6	54,0	107,3

**Секущий модуль деформации  $E_s$  для свай установленных в связных грунтах**

$h$ (m)	$d$ (m)					
	0,6		1,0		1,5	
	$I_c$					
	0,5	$\geq 1,0$	0,5	$\geq 1,0$	0,5	$\geq 1,0$
1,5	6,9	13,2	7,9	13,4	8,6	12,3
3,0	10,0	22,0	12,5	23,9	13,7	23,0
5,0	12,5	31,2	15,9	35,4	18,4	36,7
10,0	15,5	44,3	21,3	51,3	24,6	57,4

Диалоговое окно для задания секущего модуля деформации  $E_s$  можно вызвать в рамке «Осадка» с помощью кнопки «Правка  $E_s$ ». Во время редактирования в диалоговом окне отображаются рекомендованные значения секущего модуля деформации  $E_s$ .



Диалоговое окно «Задание кривой нагружения» - Секущий модуль деформации  $E_s$  [МПа]

Литература:

[1] CSN 73 1002: Pilotové zaklady. Praha, UNM, 1988, 28 p.

[2] CSN 73 1004: Velkopruerové piloty. Praha, UNM, 1981, 56 p.

[3] Masopust, J., Glisnikova, V.: Zakladani staveb Modul M01. 1<sup>st</sup> edition, Brno, AN CERM, 2007, 182 p., ISBN 978-80-7204-538-9.

[4] Pochman, R., Simek, J.: Pilotové zaklady - Komentar k CSN 73 1002. 1<sup>st</sup> edition, Prague, Vydavatelství norem, 1989, 80 p.

## Коэффициент влияния осадки $I_s$

Коэффициент влияния осадки  $I_s$  зависит от соотношения глубины нижнего конца (пяты) сваи под поверхностью несущего слоя  $D$  и диаметра сваи  $d$ . Коэффициент влияния осадки сваи  $I_s$  определён отношением:

$$I_s = I_0 \cdot R_k \cdot R_h$$

где:

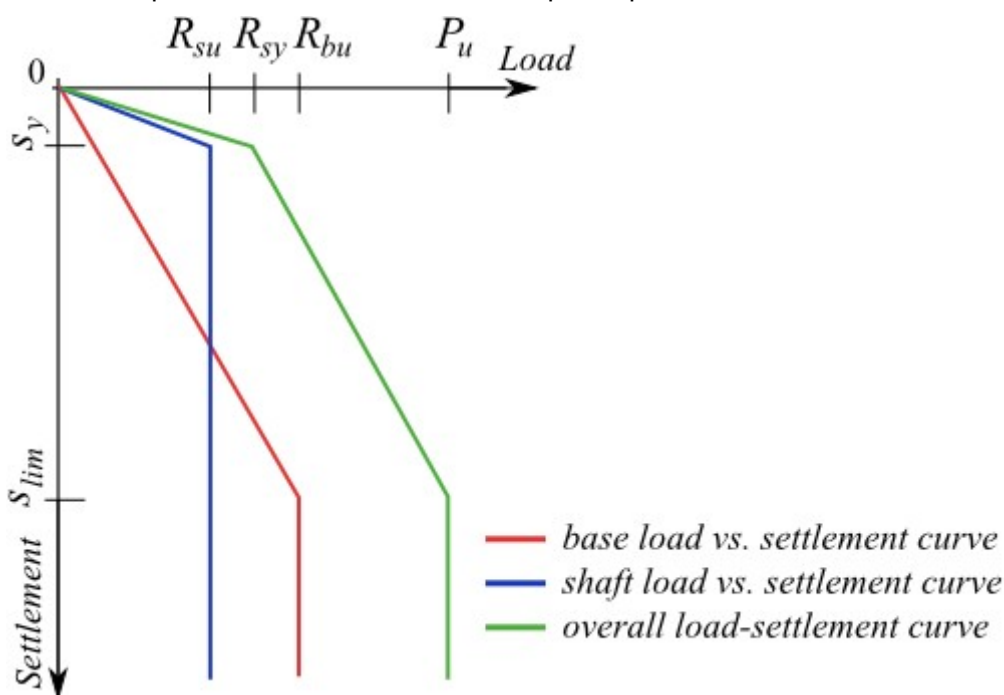
- $I_0$  - основной коэффициент влияния осадки
- $R_k$  - поправочный коэффициент жёсткости сваи
- $R_h$  - коэффициент влияния несжимаемого грунта под пятой

## Линейная теория (Поулос)

Расчёт кривой предельной нагрузки **одиночной сваи** или **куста свай** основывается на решении, описанном в книге **Pile Foundations Analysis and Design** (H. G. Poulos et. E. H. Davis, 1980) и в его основу легла теория упругого полупространства и модификация на основании измерений in-situ. Грунт основания следовательно описан модулем упругости  $E$  и коэффициентом Пуассона  $\nu$ . Этот метод позволяет определить предельную кривую нагружения для **свайных фундаментов** (одиночная свая, куст свай).

Исходные данные вводимые в расчёт : несущая способность сваи на её нижнем конце (пяте)  $R_{bu}$  и несущая способность сваи на боковой поверхности сваи  $R_{su}$ . Предельную несущую способность, или предельную нагрузку можно описать выражением  $P_u = R_{su} + R_{bu}$ . Эти значения программа получает после расчёта вертикальной несущей способности **одиночной сваи**, или **куста свай**, в зависимости от заданного метода расчёта. Все частные коэффициенты расчёта принимаются = 1.0, следовательно, в результате получаем сопротивление больше, чем в расчёте вертикальной несущей способности.

При расчёте осадки **одиночной сваи**, или **куста свай** по Поулусу (1980) программа не принимает в расчёт **влияние упругого сокращения ствола сваи - собственной деформацией** материала сваи следовательно пренебрегается.



Кривая предельного нагружения свайного фундамента по Поулусу

Литература:

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: *Pile Foundations Analysis and Design*. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5, pp. 71 - 108.

## Сваи, расположенные на жестком основании (подстилающем слое)

Базовым допущение анализа является определение нагрузки при активировании сопротивления тела сваи  $R_{sy}$ . В этой точке сопротивление тела сваи больше не

увеличивается. Далее нагрузка принимается только основной сваи:

$$R_{sy} = \frac{R_s}{1 - \beta}$$

где:  $R_s$  – сопротивление тела сваи [H]  
 $\beta$  – коэффициент нагрузки, передаваемой нижнему концу (пяте) сваи [-]

**Коэффициент нагрузки, передаваемой нижнему концу (пяте) сваи  $\beta$**   
 рассчитывается по формуле:

$$\beta = \beta_0 \cdot C_k \cdot C_b \cdot C_v$$

где:  $\beta_0$  – величина нагрузки на конце консоли для несжимаемой сваи  
 $C_k$  – корректирующий коэффициент для сжимаемости сваи  
 $C_v$  – корректирующий коэффициент для влияния коэффициента грунта Пуассона  
 $C_b$  – корректирующий коэффициент для жесткости слоя грунта

Соответствующая **осадка при активировании сопротивления тела сваи  $s_y$**   
 определяется по формуле:

$$s_y = \frac{I \cdot R_{sy}}{d \cdot E_s}$$

где:  $I$  – коэффициент влияния осадки [-]  
 $E_s$  – усреднённое значение **секущего модуля деформации** грунта вдоль тела сваи [МПа]  
 $d$  – диаметр сваи [м]  
 $R_{sy}$  – нагрузка при активировании сопротивления тела сваи [H]

**Коэффициент влияния осадки  $I$**  записывается следующим образом:

$$I = I_0 \cdot R_k \cdot R_b \cdot R_v$$

где:  $I_0$  – коэффициент влияния осадки пяты  
 $R_k$  – поправочный коэффициент сжимаемости сваи  
 $R_b$  – поправочный коэффициент жесткости слоя грунта  
 $R_v$  – поправочный коэффициент коэффициента Пуассона для грунта

**Общая предельная осадка  $s_{lim}$**  вычисляется по формуле:

$$s_{lim} = \frac{I \cdot R_{bu}}{\beta \cdot d \cdot E_s}$$

где:  $I$  – коэффициент влияния осадки сваи [-]  
 $R_{bu}$  – величина максимальной силы (предельная несущая способность) передаваемая пятой сваи [H]  
 $\beta$  – коэффициент передачи нагрузки на пяту сваи [-]

$d$  - диаметр сваи [м]

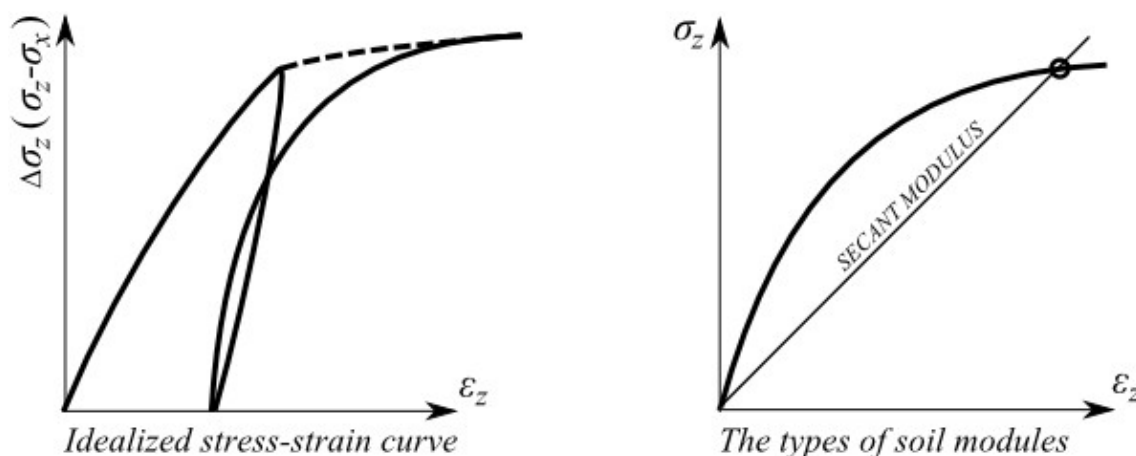
$E_s$  усреднённое значение **секущего модуля деформации** грунта вдоль тела сваи [МПа]

## Секущий модуль деформации $E_s$

научной литературе используются два названия модуля  $E_s$ . Авторы Poulos et. Davis (1980) называют этот параметр грунта **модулем упругости грунта (Young's modulus)**, между тем как Briaud (2001) и Gopal Ranjan (2000) говорят о **секущем модуле деформации грунта**. Оба названия модуля  $E_s$  имеют практически тот же смысл. Но тем не менее, упругое поведение грунта встречается только в категории небольших деформаций (в общем случае это касается гетерогенного материала), следовательно всё же предпочитается название **секущий модуль деформации грунта  $E_s$** .

**Модуль упругости грунта  $E$**  получают из кривой деформации грунта с помощью девиатора напряжения-нагрузки. Недренированный модуль упругости грунта  $E_u$  получаем из недренированного 3-осевого испытания, между тем, как дренированный модуль упругости грунта  $E_d$  получаем в испытании при дренированных условиях.

В своём начале кривой деформации зависимость имеет почти линейный характер, тем не менее, упругая деформация грунтов очень небольшая относительно к общей величине деформации. Различаем **касательный модуль деформации, секущий модуль деформации** и **начальный касательный модуль деформации**. Ввод этого упрощающего допущения позволяет использовать теорию упругости при исследовании напряженно-деформированного состояния в грунтах.



Эпюра идеализированной кривой деформации грунта и выведение отдельных типов модулей

**Секущий модуль деформации  $E_s$**  определяется как отношение разностей в девиаторе напряжения к соответствующей осевой деформации, согласно выражению:

$$E_s = \frac{\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)}{\Delta \varepsilon_E}$$

Lambe et. Whitman (1969) приводят, что обычно модулем упругости грунта считается секущий модуль деформации от нулевого девиатора напряжения к девиатору напряжения равному от одной половины до одной трети верхнего девиатора напряжений.

Секущий модуль деформации  $E_s$  уменьшается по мере возрастания уровня напряжения,

потому что кривая деформации изгибается вниз. Имеются три возможности как получить этот параметр грунта:

- лабораторные опыты в триаксиале (путём расчёта на основе касательного модуля деформации)
- статические нагружающее испытание сваи
- эмпирические корреляционные отношения на основе предыдущего опыта

Типичные значения секущего модуля деформации  $E_s$  pro для некоторых типов грунта - значения получены в полевых испытаниях на основе истории нагружения, объёма воды, степени уплотнения, или консистенции грунтов (Gopal Ranjan et. Rao, 2000):

Тип грунта	Консистенция, или плотность грунта	Модуль $E_s$ [МПа]
Суглинок мелкопесчаный	Очень мягкий, кашеобразный	0.2 - 2
Глина	Очень мягкий, кашеобразный	2 - 15
	Мягкий	5 - 25
	Полутвёрдый	15 - 50
	Твёрдый	50 - 100
	Песчанистая глина	25 - 250
Суглинок грубопесчаный	Супесь, глинистый песок	7 - 21
	Рыхлый	10 - 24
	Плотный	48 - 80
Песок и гравий	Рыхлый	50 - 145
	Плотный	100 - 190

#### Литература:

Briaud, J.-L.: *Introduction to Soil Moduli*. Geotechnical News, June 2001, BiTech Publishers Ltd, Richmond, B.C., Canada.

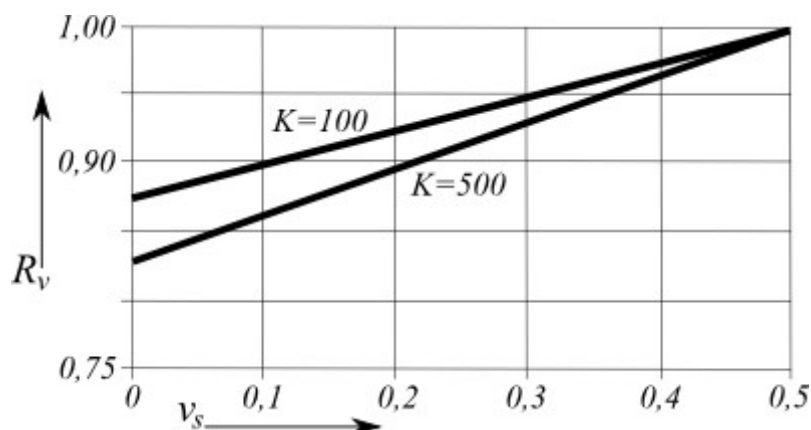
Gopal Ranjan et. A. S. R. Rao: *Basic and Applied Soil Mechanics*. New Age International, 2000, chapter 10.11, pp. 328 - 330. ISBN: 8122412238, 9788122412239.

Lambe, T. W. et. Whitman, V. R.: *Soil Mechanics*. New York: John Wiley and Sons, 1969, 576 p. ISBN: 978-0-471-51192-2.

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: *Pile Foundations Analysis and Design*. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.5, pp. 101 - 104.

## Поправочный коэффициент коэффициента Пуассона $R_v$ по грунту

Коэффициент влияния коэффициента Пуассона  $R_v$  принимает во внимание влияние понижения коэффициента Пуассона  $\nu$  в окружающем сваю грунте понижение значений осадки сваи при постоянном модуле упругости окружающего грунта. Значения обычно в общем представлены как функция коэффициента Пуассона окружающего грунта  $\nu_s$  и коэффициентов жёсткости сваи  $K$ . В программе графики имплементированы в численном формате.



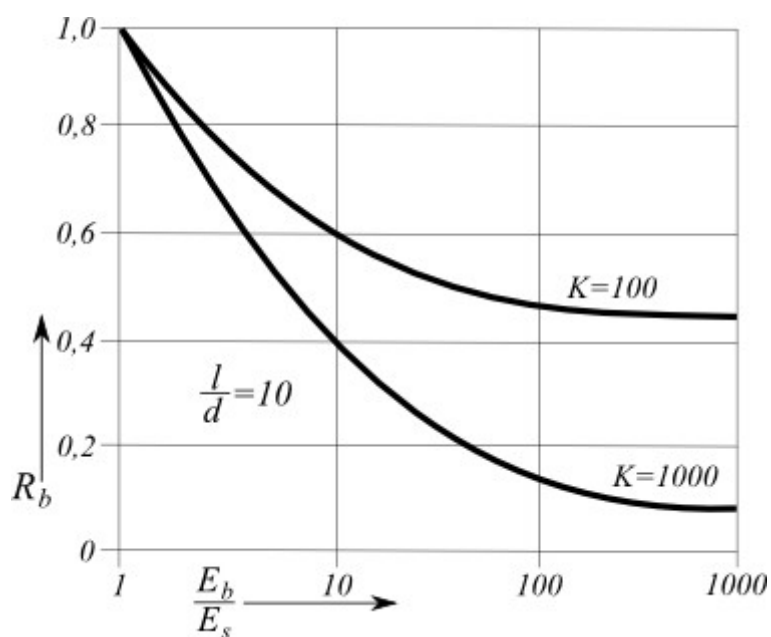
Поправочный коэффициент влияния числа Пуассона  $R_v$

Литература:

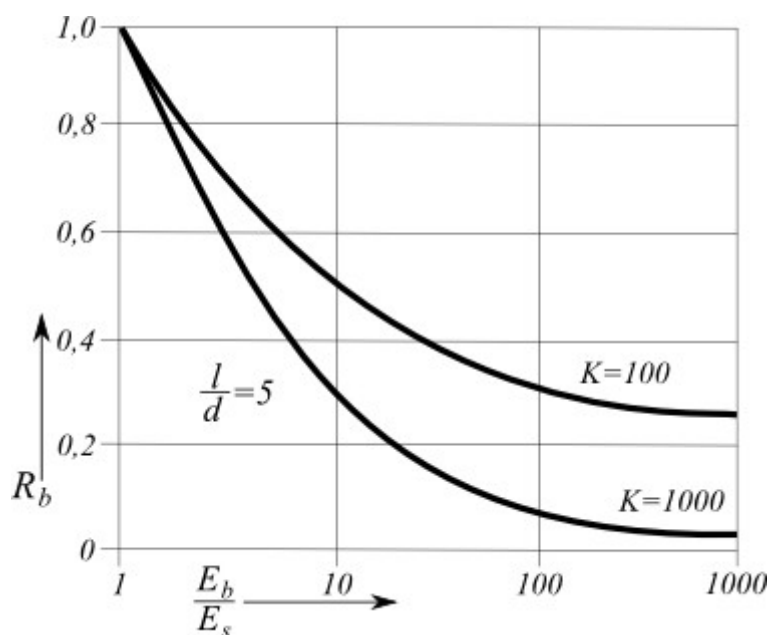
Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: *Pile Foundations Analysis and Design*. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.3.3, pp. 89 (figure 5.21).

## Поправочный коэффициент для жесткости слоя грунта $R_b$

Значения этого коэффициента  $R_b$  обычно представлены в виде функции отношения модулей упругости сваи и **секущего модуля деформации** грунта под сваей и окружающего грунта ( $E_b/E_s$ ) к **коэффициенту жёсткости сваи**  $K$  для разных отношений длины сваи и диаметра сваи ( $l/d$ ). В программу графики имплементированы в численном виде.



Поправочный коэффициент жёсткости несущего грунта  $R_b$  ( $L/d = 10$ )



Поправочный коэффициент для жесткости слоя грунта  $R_b$

#### Литература:

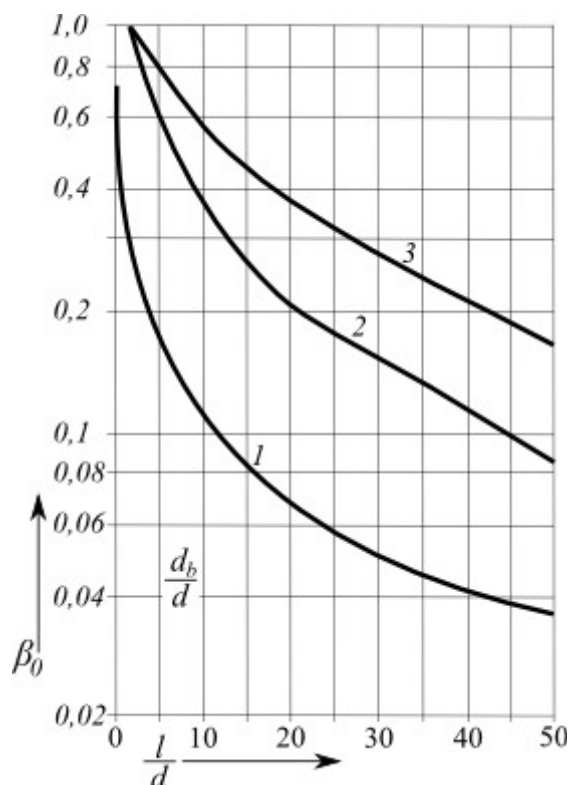
Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: *Pile Foundations Analysis and Design*. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.3.3, pp. 90 (figure 5.22).

## Коэффициент передачи нагрузки несжимаемой сваи $\beta_0$

Коэффициент передачи нагрузки несжимаемой сваи  $\beta_0$  в упругое полупространство выражает влияние сжатия упругого полупространства, которое принимает нагрузку от



сваи из абсолютно жёсткого материала. Значения этого коэффициента обычно представлены как зависимость отношения длины сваи и диаметра сваи ( $l/d$ ), а также отношения диаметра сваи в пяте и диаметра сваи ( $d_b/d$ ). В программе график реализован в численном виде.



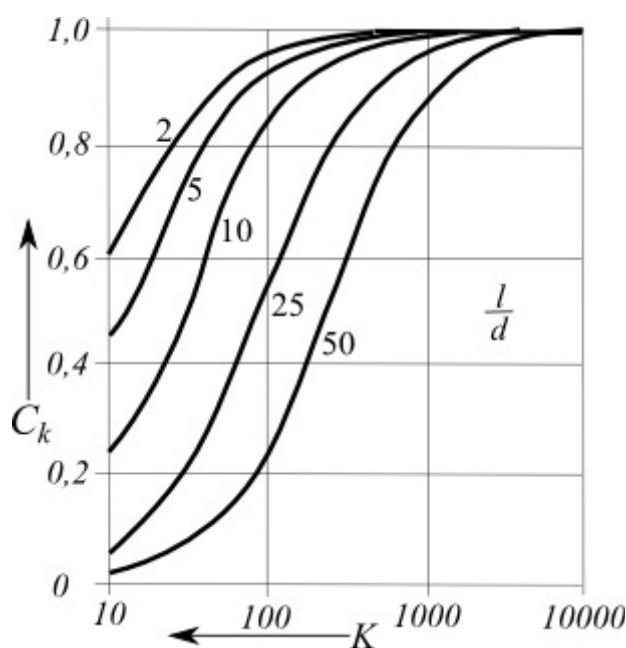
Коэффициент передачи нагрузки несжимаемой сваи  $\beta_0$

Литература:

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: *Pile Foundations Analysis and Design*. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.3.3, pp. 86 (figure 5.11).

## Поправочный коэффициент жесткости сваи $S_k$

Значения коэффициента  $S_k$  обычно представлены в виде функции коэффициента жесткости сваи  $K$  для разных отношений длины сваи к диаметру ( $l/d$ ). В программе используются графики в цифровом формате.



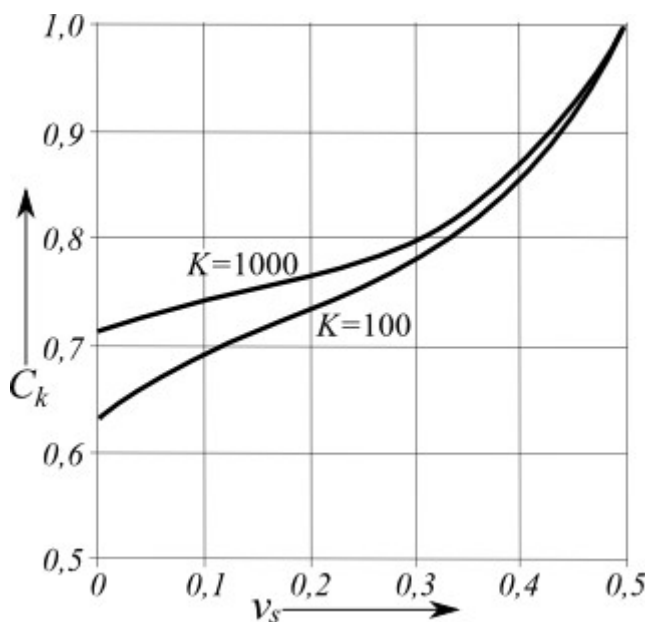
Поправочный коэффициент жесткости сваи  $C_k$

Литература:

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: *Pile Foundations Analysis and Design*. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.3.3, pp. 86 (figure 5.12).

## Поправочный коэффициент влияния коэффициента Пуассона грунта $C_v$

Значения коэффициента  $C_v$  обычно представлены в виде функции коэффициента Пуассона окружающего грунта  $\nu_s$  для различных коэффициентов жесткости сваи  $K$ . В программе используются графики в цифровом формате.



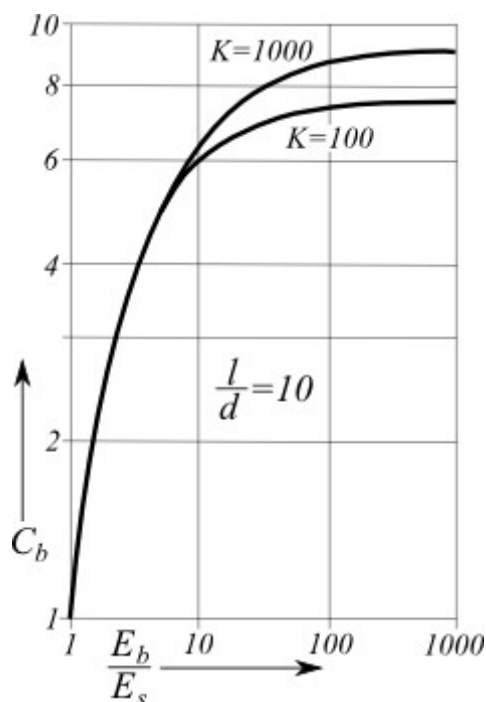
Поправочный коэффициент влияния коэффициента Пуассона грунта  $C_v$

Литература:

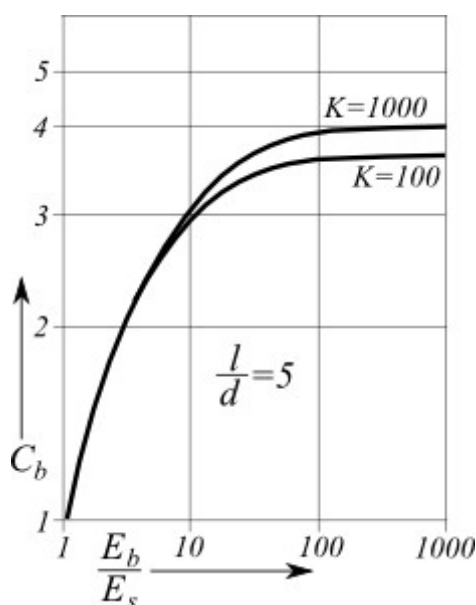
Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: *Pile Foundations Analysis and Design*. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.3.3, pp. 86 (figure 5.13).

## Поправочный коэффициент жесткости грунта $C_b$

Значения этого коэффициента  $C_b$  в общем приводятся как зависимости отношения модулей упругости сваи и **секущего модуля деформации** грунта под сваей и окружающего грунта ( $E_b/E_s$ ) к **коэффициенту жёсткости сваи**  $K$  для разных отношений длины сваи к диаметру сваи ( $l/d$ ). В программе график исполнен в численном виде.



Поправочный коэффициент жёсткости грунта  $C_b$  ( $L/d = 10$ )



Поправочный коэффициент жесткости грунта  $C_b$  ( $L/d = 5$ )

Литература:

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: *Pile Foundations Analysis and Design*. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.3.3, pp. 87 - 88 (figure 5.14).

## Коэффициент жесткости сваи K

Коэффициент жесткости сваи определяется по формуле:

$$K = \frac{E_p \cdot R_a}{E_s}$$

где:  $E_p$  - модуль упругости материала сваи [МПа]

$E_s$  - усреднённое значение **секущего модуля деформации** грунта вдоль тела сваи [МПа]

$R_a$  - отношение площади сечения сваи к площади, ограниченной внешним краем [-]

$$R_a = \frac{A_1}{A_2}$$

где:  $A_1$  - усреднённая площадь поперечного сечения сваи [м<sup>2</sup>]

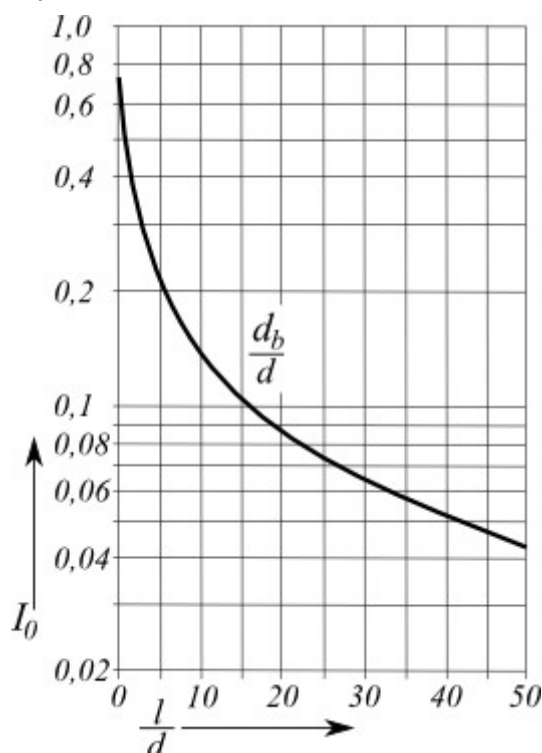
$A_2$  - площадь ствола сваи [м<sup>2</sup>]

(для жестких свай  $R_a = 1$ )

## Исходный коэффициент влияния осадки $I_o$

Базовый коэффициент воздействия осадки  $I_o$  зависит от длины сваи  $l$  и диаметра  $d$ , а значения этого коэффициента обычно представляются в виде следующего графика,

который также определяет пределы значений:



Исходный коэффициент влияния осадки  $I_0$

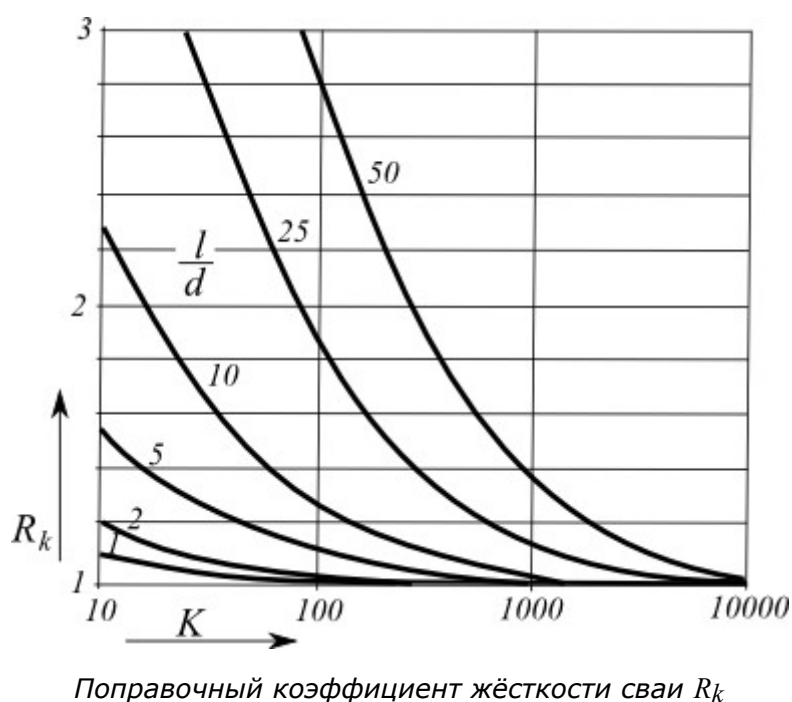
В программе используются графики в цифровом формате.

Литература:

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: *Pile Foundations Analysis and Design*. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.3.3, pp. 89 (figure 5.18).

## Поправочный коэффициент жёсткости сваи $R_k$

Данный коэффициент  $R_k$  характеризует жёсткость сваи в зависимости от коэффициента жёсткости сваи  $K$  и отношения длины сваи к диаметру сваи ( $l/d$ ). Значения коэффициента представлены в программе виде следующего графика в численном формате.

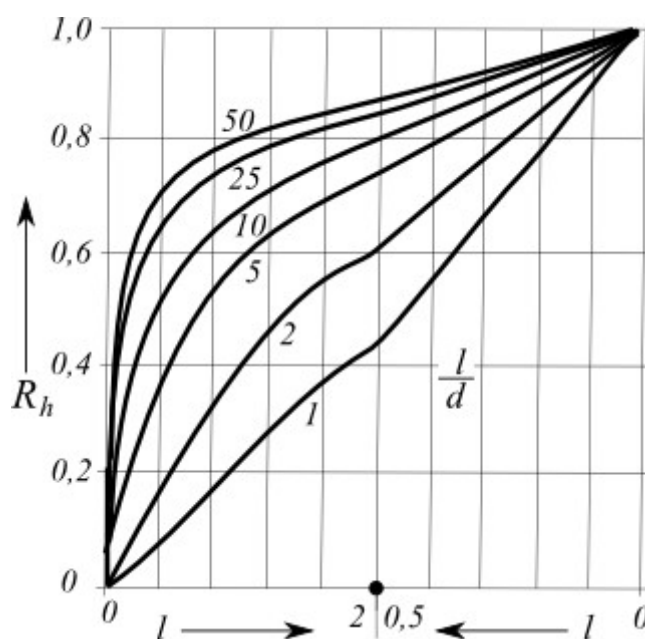


Литература:

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: *Pile Foundations Analysis and Design*. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.3.3, pp. 89 (figure 5.19).

## Поправочный коэффициент влияния несжимаемого слоя под пятой сваи $R_h$

Коэффициент влияния несжимаемого слоя  $R_h$  выражает влияние несжимаемого слоя под пятой сваи. Его значения приводятся в литературе графически как зависимость отношения длины сваи к диаметру сваи ( $l/d$ ) и отношения длины сваи к толщине сжимаемого слоя над несжимаемым слоем ( $l/h$  или  $h/l$ ). В программе графики даны в численном виде.



Коэффициент влияния несжимаемого слоя под нижним концом сваи (пятой)  $R_h$

Литература:

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: *Pile Foundations Analysis and Design*. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.3.3, pp. 89 (figure 5.20).

## Горизонтальная несущая способность сваи – упругие полупространство (p-y method)

### Горизонтальная несущая способность сваи, подбор размеров

Анализ горизонтально нагруженной сваи выполняется с помощью метода КЭ в виде балки на упругом основании Винклера. Параметры грунтов вдоль длины сваи характеризованы модулем реакции грунта основания (подстилающего слоя). По умолчанию программа сваю разбивает на 30 сегментов, в которых вычисляются значения модуля реакции основания (подстилающего слоя), значения внутренних сил и деформаций. Программа позволяет подбирать размеры **железобетонных свай** по методу, который был задан в рамке «**Настройка**» и по параметрам заданным в закладке «**Свай**».

Программа также позволяет выполнять расчёт сваи, нагруженной **заданными смещениями** (смещение, поворот головы сваи). В этом случае анализ проводится только с заданным перемещением. Введенная механическая нагрузка из анализа исключается.

В программу можно задавать **модуль реакции грунтового основания** следующими способами:

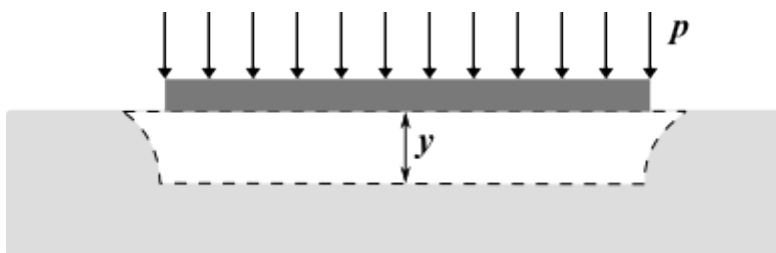
- **распределение** (задают изменения модуля реакции основания вдоль сваи)
- **постоянное распределение**
- **линейное распределение** (Боульс)
- **в соответствии с CSN 73 1004**
- **в соответствии с теорией Матлока и Риза**
- **в соответствии с теорией Весика**

В целом, модуль горизонтальной реакции грунтового основания соответствует жесткости пружины в модели Винклера. Эта модель описывает отношение между нагружением жёсткой пластины и её вдавливанием в грунтовое основание. Отношение выражено уравнением:

$$p = ky$$

где:

- $p$  - нагрузка, действующая на поверхность контакта пластины с грунтом основания
- $k$  - жесткость пружины Винклера
- $y$  - перемещение пластины в грунтовое основание



Определение модуля реакции грунтового основания

## Постоянное распределение модуля реакции грунтового основания

Модуль реакции основания (подстилающего слоя)  $i$ -го слоя вычисляется по формуле:

$$k_h = \frac{3E_{def}}{2r}$$

где:

- $E_{def}$  - модуль деформации грунта [МПа]
- $r$  - приведённая ширина сваи [м], рассчитывается по формуле:

$$r = d + 2d \tan \beta$$

где:

- $d$  - диаметр сваи [м]
- $\beta$  - угол распределения - вводится в зависимости от угла внутреннего трения грунта в пределах  $\varphi/4 \div \varphi$

Литература:

Pochman, R., Simek, J.: Pilotové zaklady - Komentář k CSN 73 1002. 1<sup>st</sup> edition, Prague, Vydavatelství norem, 1989, 80 p.

## Линейный характер модуля реакции грунтового основания

Модуль реакции основания на глубине  $z$  вычисляется по формуле:



$$k_h = k \left( 0,308 + 1,584 \frac{d}{l} \right) \frac{z}{rl}$$

где:

- $d$  - диаметр сваи [м]
- $l$  - длина сваи [м]
- $k$  - параметр грунта по Боульсу [МН/м<sup>3</sup>]
- $r$  - приведенная ширина сваи [м], рассчитанная по формуле:

$$r = d + 2d \tan \beta$$

где:

- $d$  - диаметр сваи [м]
- $\beta$  - угол распределения - вводится в зависимости от угла внутреннего трения грунта в пределах  $\varphi/4 \div \varphi$

#### Ориентировочные значения модуля $k$ по Боульсу [МН/м<sup>3</sup>]:

плотный песчаный гравий	220 - 400
гравий средней плотности	155 - 300
среднезернистый песок	110 - 280
мелкий песок	80 - 200
жесткая глина	60 - 220
насыщенная жесткая глина	30 - 110
пластическая глина	40 - 140
насыщенная пластическая глина	10 - 80
мягкая глина	2 - 40

#### Литература:

*Bowles, J. E.: Foundations Analysis and Design. 5<sup>th</sup> edition, New York: McGraw-Hill Book Company, 1997, ISBN 0-07-118844-4, chapter 16-15.2, s. 941 (table 16-4).*

*Pochman, R., Simek, J.: Pilotové zaklady - Komentář k ČSN 73 1002. 1st edition, Prague, Vydavatelství norem, 1989, 80 p.*

## Модуль реакции грунтового основания по ČSN 73 1004

Модуль реакции основания для **связных грунтов** принимает вид:

$$k_h = \frac{2 E_{def}}{3 d}$$

где:

- $E_{def}$  - модуль деформации грунта [МПа]
- $d$  - диаметр сваи [м]

Для **несвязного грунта** данный модуль представлен выражением:

$$k_h = n_h \frac{z}{d}$$

где:  $n_h$  - модуль горизонтальной сжимаемости [ $MH/m^3$ ]  
 $d$  - диаметр сваи [ $m$ ]  
 $z$  - глубина данного сегмента от спланированной земли [ $m$ ]

**Ориентировочные значения модуля горизонтальной сжимаемости  $n_h$  для несвязных грунтов:**

Грунт	$n_h$ [ $MH/m^3$ ]		
Относительная плотность $I_D$ [-]	0,3	0,5	0,9
Сухой песок и гравий	2,5	7,0	18,0
Мокрый песок и гравий	1,5	4,5	11,0

*Литература:*

*CSN 73 1004: Velkopruerove piloty. Praha, UNM, 1981, 56 p.*

*Masopust, J.: Vrtane piloty. 1<sup>st</sup> edition, Prague, Cenek a Jezek, 1994, 263 p.*

## Модуль реакции грунтового основания по теории Мэтлока и Риза

Метод можно применить для **несвязного грунта**. Модуль реакции основания вычисляется по формуле:

$$k_h = n_h \frac{z}{d}$$

где:  $n_h$  - модуль горизонтальной сжимаемости [ $MH/m^3$ ]  
 $d$  - диаметр сваи [ $m$ ]  
 $z$  - глубина данного сегмента от спланированной земли [ $m$ ]

**Ориентировочные значения модуля горизонтальной сжимаемости  $n_h$  для несвязного грунта**

Грунт	$n_h$ [МН/м <sup>3</sup> ]
- плотность	
Сухой песок и гравий	
- сыпучий	1,8 - 2,2
- средней плотности	5,5 - 7,0
- плотный	15,0 - 18,0
Мокрый песок и гравий	
- сыпучий	1,0 - 1,4
- средней плотности	3,5 - 4,5
- плотный	9,0 - 12,0

**Литература:**

Reese, L. C. et. Matlock, H.: *Non-Dimensional Solutions for Laterally Loaded Piles with Soil Modulus Assumed Proportional to Depth*. University of Texas, Austin, 1956.

Reese, L. C. et. Matlock, H.: *Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles*. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE 86, No. 5, 1960, pp. 63 - 91.

Reese, L. C. et. Matlock, H.: *Foundation analysis of offshore pile-supported structures*. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference, ISSMFE, Paris, Vol. 2, 1961, pp. 91-7.

## Модуль реакции грунтового основания по теории Весика

Модуль реакции основания вычисляется по формуле:

$$k_h = \frac{0,65}{d} \sqrt[12]{\frac{E_s d^4}{E_p I_p} \frac{E_s}{1-\nu^2}}$$

где:

- $E_p$  - модуль упругости материала сваи [МПа]
- $I_p$  - момент инерции сваи [м<sup>4</sup>]
- $E_s$  - модуль упругости грунта [МПа]
- $d$  - диаметр сваи [м]
- $\nu$  - коэффициент Пуассона [-]

**Литература:**

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: *Pile Foundations Analysis and Design*. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 8.2.3, pp. 174 (equation 8.43).

Vesic, A. S.: *Bending of Beams Resting on Isotropic Elastic Solid*. JSMFD, ASCE, vol. 87, 1961, EM 2: pp. 35 - 53.

Vesic, A.S.: *Design of Pile Foundations*. National Cooperative Highway Research Program Synthesis 42, Transportation Research Board, Washington D.C., 1977.

## Горизонтальная несущая способность сваи – метод Бромса

Расчёт горизонтальной несущей способности одиночной сваи по Бромсу основывается на данных в научной литературе (Бромс, 1964). Этот метод расчёта касается единственно и только проверки сваи в **гомогенном грунте**, следовательно в анализе сваи нет возможности учитывать влияние слоистого грунта основания. Способ расчёта горизонтальной несущей способности сваи задают в рамке «**Настройка**» в закладке «**Сваи**».

В случае вычисления горизонтальной несущей способности по методу Бромса программа пренебрегает заданными ранее слоями грунтов. Параметры грунтов вводятся в рамку «**Горизонтальная несущая способность**» в зависимости от **типа грунта** (связный, несвязный).

Исходными данными для расчёта горизонтальной несущей способности сваи являются **характеристики материала сваи** (модуль упругости, прочность данного материала), **геометрия сваи** (длина сваи  $l$ , диаметр сваи  $d$ ), а также **нагружение сваи** поперечной силой или моментом изгиба.

Коэффициент жёсткости сваи  $\beta$  в **связных грунтах** определяют по формуле:

$$\beta = \frac{k_h d}{4 E I}$$

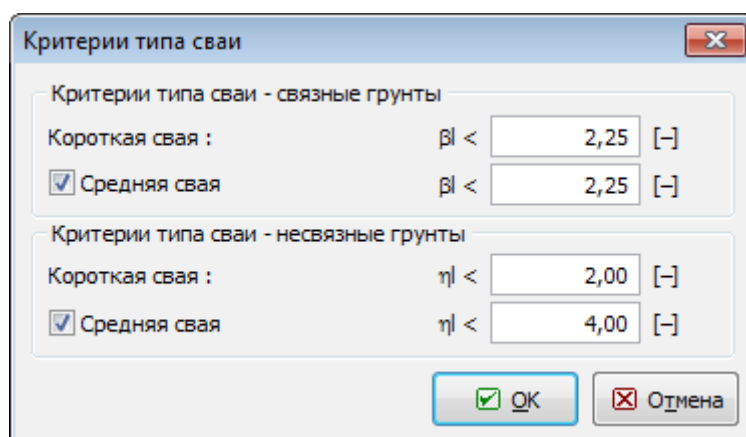
где:  $E I$  - изгибная жёсткость сваи [ $M H m^2$ ]  
 $k_h$  - модуль реакции грунтового основания (подстилающего слоя) [ $M H m^3$ ]  
 $d$  - диаметр сваи [ $m$ ] - (в случае **круглого переменного сечения** сваи для расчёта параметра  $\beta$  принимают постоянное значение диаметра сваи  $d_l$ , которое задают в рамке «**Геометрия**»).

Коэффициент жёсткости сваи  $\eta$  в **несвязных грунтах** определяют по формуле:

$$\eta = \left( \frac{n_h}{E I} \right)^{\frac{1}{5}}$$

где:  $E I$  - изгибная жёсткость сваи [ $M H m^2$ ]  
 $n_h$  - коэффициент реакции грунтового основания [ $M H m^3$ ]

Программа автоматически определяет длинную или короткую сваю в зависимости от соотношения  $\beta * l$  (для **связных грунтов**), или  $\eta * l$  (для **несвязных грунтов**). В доступной литературе приводятся различные критерии для различных типов свай, поэтому пользователь может в программу задавать свои данные. Сваю **средней длины** программа оценивает как короткую и одновременно длинную, а после автоматически выбирает результат с наиболее низким значением горизонтальной несущей способности сваи  $Q_u$ .



Диалоговое окно «Критерии типа сваи»

Критерии типа сваи (длинная, короткая, средняя) определяются по следующим условиям, для:

- **свободное опирание** : для длинных свай действительно  $\beta \cdot l > 2,5$  ; для коротких свай  $\beta \cdot l < 2,5$
- **неподвижное опирание**: для длинных свай действительно  $\beta \cdot l > 1,5$  ; для коротких свай  $\beta \cdot l < 1,5$

**Опирание головы сваи** может быть:

- **свободное** - голова сваи может без препятствия сделать поворот
- **неподвижное** - закрепление головы сваи. Как правило, эти сваи связаны с ростверком или **кустом свай**.

Следующим важным исходным параметром является **изгибная несущая способность сечения сваи**. Программа автоматически рассчитывает это значение по заданной геометрии по формуле:

$$M_u = \gamma_k f W_y$$

где:  $W_y$  - момент сопротивления сечения [ $м^3$ ]  
 $f$  - прочность материала сваи [ $МПа$ ]  
 $\gamma_k$  - коэффициент несущей способности сечения [-] - в соответствии с различными стандартами и литературой несущая способность сечения умножается на различные коэффициенты запаса; данный коэффициент позволяет подогнать программу под эти стандарты.

В случае **ж-б** сваи зависит несущая способность сваи при изгибе  $M_u$  от предложенного количества арматуры.

Коэффициент редукции несущей способности  $\gamma_{Qu}$  понижает общее значение **горизонтальной несущей способности одиночной сваи** по формуле:

$$Q_{u,red} = \frac{Q_u}{\gamma_{Qu}}$$

где:  $Q_u$  - горизонтальная несущая способность одиночной сваи [ $кН$ ]  
 $\gamma_{Qu}$  - коэффициент редукции несущей способности [-]

В результате расчёта получаем горизонтальную несущую способность одиночной сваи  $Q_{u,red}$  и деформацию сваи на уровне отметки земли  $u$ .

Литература:

[1] BROMS, BENGT. B.: *Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soils. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Vol. 90, SM2, 1964.*

[2] BROMS, BENGT. B.: *Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soils. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, vol. 90 SM3, 1964.*

## Анализ в программе Свая СРТ

Программа Свая СРТ предназначена для проверки несущей способности и осадки одиночной сваи или группы свай на основании результатов **статического пенетрационного испытания**.

Основа расчёта - определение **несущей способности сваи на пяте и боковой поверхности**. Анализ можно провести в соответствии со следующими стандартами и методами:

- EN 1997-2
- NEN 6743
- LCPC (Bustamante)
- Schmertmann

Для всех методов основными входными параметрами являются безразмерные коэффициенты, определяющие значение несущей способности или бокового трения. В разных публикациях они идут под разными символами, хотя смысл не меняется. В программе Свая СРТ они обозначены следующими символами:

$\alpha_p$  -коэффициент редукции несущей способности сваи в пяте

$\alpha_s$  -коэффициент редукции бокового трения

Эти коэффициенты автоматически рассчитываются в соответствии с выбранным методом с учётом типа сваи и окружающего её грунта. Программа однако позволяет пользователю задавать эти параметры вручную ( $\alpha_p$  можно задать в рамке «Геометрия»,  $\alpha_s$  как параметр грунта).

При анализе прямоугольных свай для уменьшения устойчивости основания вводится **коэффициент конфигурации**  $s$ . при анализе свай с расширением для определения устойчивости увеличенного основания вводится **коэффициент увеличенного основания сваи**  $\beta$ . При расчете устойчивости основания программа автоматически учитывает воздействие изменения возвышенности рельефа.

Программа позволяет рассчитать **кривую предельной нагрузки** и **усадку сваи** для данной нагрузки. Этот анализ использует значения рассчитанной устойчивости основания и ствола и соответствует стандарту NEN 6743. При расчете усадки сваи можно ввести и **отрицательное трение поверхности**.

**Проверка** устойчивости сваи зависит от метода проверки, выбранного в закладке «Свая СРТ».

## Несущая способность

Максимальная несущая способность одиночной сваи установленная по результатам  $i$ -статического пенетрационного испытания (сопротивление пенетрации  $q_c$ ) рассчитывается по формуле:

$$F_{\max,i} = F_{\max,base,i} + F_{\max,shaft,i}$$

где:

$F_{\max,i}$	максимальная несущая способность сваи по результатам $i$ -ого испытания CPT
$F_{\max,base,i}$	максимальная сила на пяте сваи по результатам $i$ -ого испытания CPT
$F_{\max,shaft,i}$	максимальная сила на боковой поверхности сваи по результатам $i$ -ого испытания CPT

При расчётах по **коэффициенту запаса** или **предельным состояниям** несущая способность сваи определяется как среднее арифметическое рассчитанных  $n$  несущих способностей

$$F_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n F_{\max,i}}{n}$$

При расчёте по стандарту **EN 1997-2**, несущая способность определяется **в зависимости от коэффициентов корреляции  $\xi_3$  и  $\xi_4$** .

При расчёте по стандарту **NEN 6743**, метод для большего количества испытаний CPT несколько иной и соответствует стандарту NEN 6743 (пункт 5.3.2.2).

**Максимальная сила на пяте сваи**  $F_{\max,base}$  определяется в общем по формуле:

$$F_{\max,base} = A_{base} p_{\max,base}$$

где:

$A_{base}$	площадь поперечного сечения пяты сваи
$p_{\max,base}$	максимальное давление в пяте сваи по результатам испытания CPT

**Максимальная сила на боковой поверхности сваи**  $F_{\max,shaft}$  определяется в общем по формуле:

$$F_{\max,shaft} = O_p \int_0^{\Delta L} p_{\max,shaft} dz$$

где:

$O_p$	периметр сваи в несущем грунте
$p_{\max,shaft}$	максимальная сила на боковой поверхности сваи (трение) по результатам испытания CPT
$\Delta L$	длина сваи, на которой активируется боковое трение или длина уширенной пяты
$z$	вертикальная ордината вдоль оси сваи

Собственно расчет максимального давления в пяте сваи  $p_{\max,base}$  и максимальной величины силы на боковой поверхности сваи  $p_{\max,shaft}$  выполнен по выбранному методу

анализа в закладке «Сваи CPT».

## EN 1997-2

Стандарт EN 1997-2 определяет максимальное давление у основания сваи (максимальное сопротивление)  $p_{max, base}$  соответствующего  $i$ -ого теста на проникающую способность по формуле:

$$p_{max, base} = 0,5 \alpha_p \beta s \left( \frac{q_{c, I, mean} + q_{c, II, mean}}{2} + q_{c, III, mean} \right)$$

где:	$q_{c, I, mean}$	среднее от значений $q_{c, I}$ (см. Приложение D.7 в EN 1997-2)
	$q_{c, II, mean}$	среднее минимального сопротивления на конусе острия сваи $q_{c, II}$ (см. Приложение B4 в EN 1997-3)
	$q_{c, III, mean}$	среднее сопротивления на конусе острия сваи $q_{c, III}$ (см. Приложение B4 в EN 1997-3)
	$\alpha_p$	коэффициент основания сваи (коэффициент класса сваи)
	$s$	коэффициент конфигурации сваи
	$\beta$	коэффициент увеличенного основания сваи

**Максимальное значение давления проникновения**  $q_c$  ограничено значением 15 МПа. В несвязно грунте анализ учитывает влияние переуплотнения ( $OCR$ ).

**Максимальное трение ствола** (сопротивление)  $p_{max, shaft}$  рассчитывается по формуле:

$$p_{max, shaft} = \alpha_s q_{c, z, a}$$

где:	$\alpha_s$	коэффициент трения ствола
	$q_{c, z, a}$	сопротивление на острие сваи на глубине $h$

Литература:

EN 1997-2 Geotechnical design. Ground investigation and testing.

## NEN 6743

Стандарт NEN 6743 «Сваевые основания» определяет **максимальное давление у основания сваи**  $p_{max, base}$  соответствующего  $i$ -ого теста на проникающую способность по формуле:

$$p_{max, base} = 0,5 \alpha_p \beta s \left( \frac{q_{c, I, mean} + q_{c, II, mean}}{2} + q_{c, III, mean} \right)$$

где:	$q_{c, I, mean}$	среднее от значений $q_{c, I}$ (см. пункт 5.3.3.3 в стандарте NEN 6743)
	$q_{c, II, mean}$	среднее минимального сопротивления на конусе острия сваи $q_{c, II}$ (см. пункт 5.3.3.3 в стандарте NEN 6743)
	$q_{c, III, mean}$	среднее сопротивления на конусе острия сваи $q_{c, III}$ (см. пункт 5.3.3.3 в стандарте NEN 6743)



$\alpha_p$	коэффициент основания сваи
$s$	коэффициент конфигурации сваи
$\beta$	коэффициент увеличенного основания сваи

**Максимальное значение давления проникновения**  $q_c$  ограничено значением 15 МПа. В несвязном грунте анализ учитывает влияние переуплотнения (OCR).

**Максимальное трение ствола**  $p_{max, shaft}$  рассчитывается по формуле:

$$P_{max, shaft} = \alpha_s q_{c, z, a}$$

где:	$\alpha_s$	коэффициент трения ствола
	$q_{c, z, a}$	сопротивление на острие сваи на глубине $h$

Литература:

NEN 6743:1991/A1:1997, *Geotechniek - Berekeningsmethode voor funderingen op palen - Drukpalen*.

## LCPC (Bustamante)

Метод LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chausees), также известный как метод Бустаманто, основанный на работах Бустамантео и Гианезелиио, определяет **максимальное давление у основания сваи**  $p_{max, base}$  по формуле:

$$P_{max, base} = \alpha_p q_{c, eq}$$

где:	$\alpha_p$	коэффициент основания сваи
	$q_{c, eq}$	эквивалентное среднее сопротивление на конусе острия сваи

**Максимальное трение ствола**  $p_{max, shaft}$  рассчитывается по формуле:

$$P_{max, shaft} = \alpha_s q_{c, z, a}$$

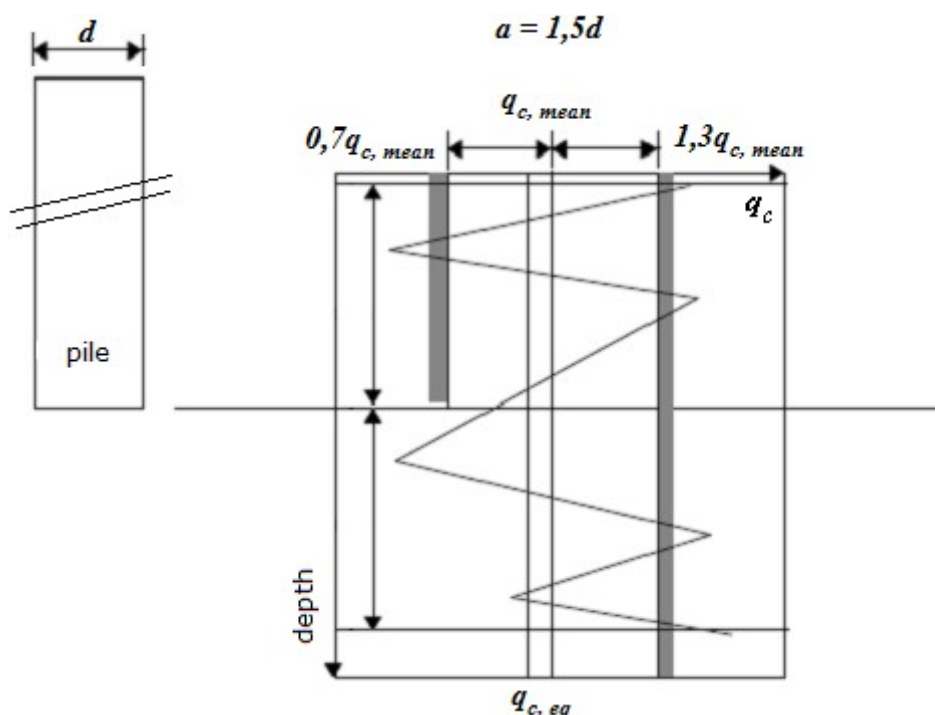
где:	$\alpha_s$	коэффициент трения ствола
	$q_{c, z, a}$	сопротивление на острие сваи

## Определение эквивалентного среднего сопротивления на конусе острия сваи

Эквивалентное среднее сопротивление на конусе острия сваи определяется следующим образом:

- 1) рассчитать среднее сопротивление на острие сваи  $q_{c, m}$  посредством приведения к среднему  $q_c$  значений над зоной в пределах от  $1,5d$  под острием сваи до  $1,5d$  над острием сваи ( $d$  - диаметр сваи)
- 2) удалить  $q_c$  значения в зоне, которые превышают  $1,3 \times$  среднее сопротивления на конусе острия сваи  $q_{c, mean}$ , и те, которые меньше  $0,7 \times$  среднее сопротивления на конусе острия сваи  $q_{c, mean}$ , как показано на рисунке
- 3) рассчитать эквивалентное среднее сопротивление на конусе острия сваи  $q_{c, eq}$  посредством приведения к среднему оставшихся значений сопротивления на конусе

острия сваи ( $q_c$ ) над той же зоной, которые не были удалены (т.е. значений в пределах  $0,7$  до  $1,3$   $\times$  среднее сопротивление на конусе острия сваи  $q_{c, mean}$ )



Определение эквивалентного среднего сопротивления на конусе острия сваи  $q_{c, eq}$

Литература:

Tom Lunne, Peter K. Robertson, John J.M. Powell: *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*, Spon Press, 1997, London.

## Шмертманн

Метод Шмертмана определяет **максимальное напряжение в пяте сваи**  $p_{max, toe}$  по формуле:

$$P_{max, toe} = \alpha_p \cdot q_{upr}$$

где:  $\alpha_p$  коэффициент редукции несущей способности сваи в пяте  
 $q_{upr}$  скорректированное сопротивление пенетрации

$$q_{upr} = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2}$$

где:  $q_{c1}, q_{c2}$  минимальное значение среднего сопротивления пенетрации

В несвязном грунте учитываем влияние переуплотнения (OCR).

**Максимальное трение на боковой поверхности сваи**  $p_{max, shaft}$  определяем по формулам:

- для несвязного грунта:

$$P_{max, shaft} = K \left[ 0,5 \cdot (\bar{f}_s \cdot A_s)_{0-8d} + (\bar{f}_s \cdot A_s)_{8d-D} \right]$$

где:	$K$	коэффициент корреляции трения на боковой поверхности
	$\bar{f}_s$	среднее значение удельного местного трения на боковой поверхности $f_s$ в пределах, заданных индексной скобкой
	$A_s$	площадь боковой поверхности сваи в данном интервале
	$d$	диаметр сваи
	$D$	длина заделки сваи

• для связного грунта:

$$P_{max,shaft} = \sum_i \alpha_{s,i} \cdot \bar{f}_{s,i} \cdot A_{s,i}$$

где:	$\alpha_{s,i}$	коэффициент редукции по Томлинсону в i-ом слое
	$\bar{f}_{s,i}$	среднее значение удельного местного трения на боковой поверхности $f_s$ в i-ом слое
	$A_{s,i}$	площадь боковой поверхности сваи в i-ом слое

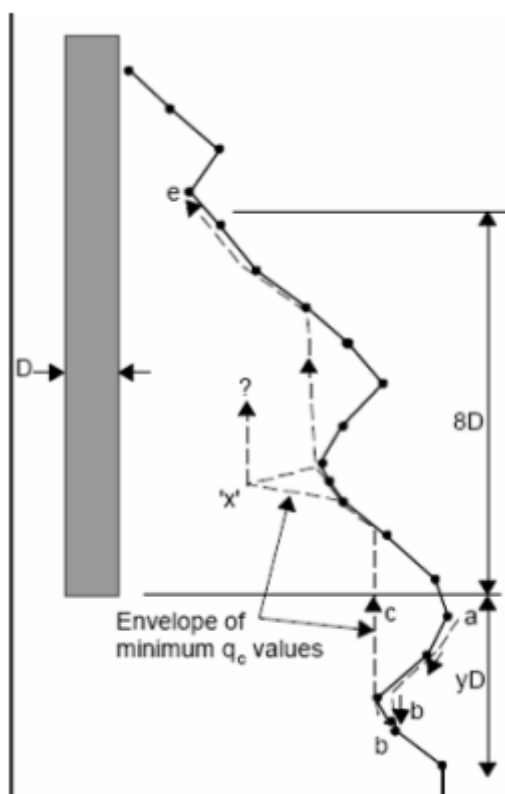
Литература:

Schmertmann J.H.: *Guidelines for Cone Penetration Test, Performance and design*, U.S. Departments of Transportation, report No. FHWA-TS-78-209, Washington, D.C., 1978.

## Определение среднего сопротивления на конусе острия сваи

Минимальное среднее значение сопротивления на конусе острия сваи  $q_c$  определяется посредством минимального значения среднего сопротивления на конусе острия сваи  $q_c$  на зоне влияния в пределах от  $0,7d$ , до  $4d$  ниже основания сваи ( $d$  - диаметр сваи). Минимальное среднее значение сопротивления на конусе острия сваи  $q_{c2}$  определяется на зоне влияния от  $8d$  над основанием сваи ( $d$  - диаметр сваи). Процесс получения среднего значения сопротивления на конусе острия сваи  $q_{c1}$ ,  $q_{c2}$  имеет следующий вид (см. Рис):

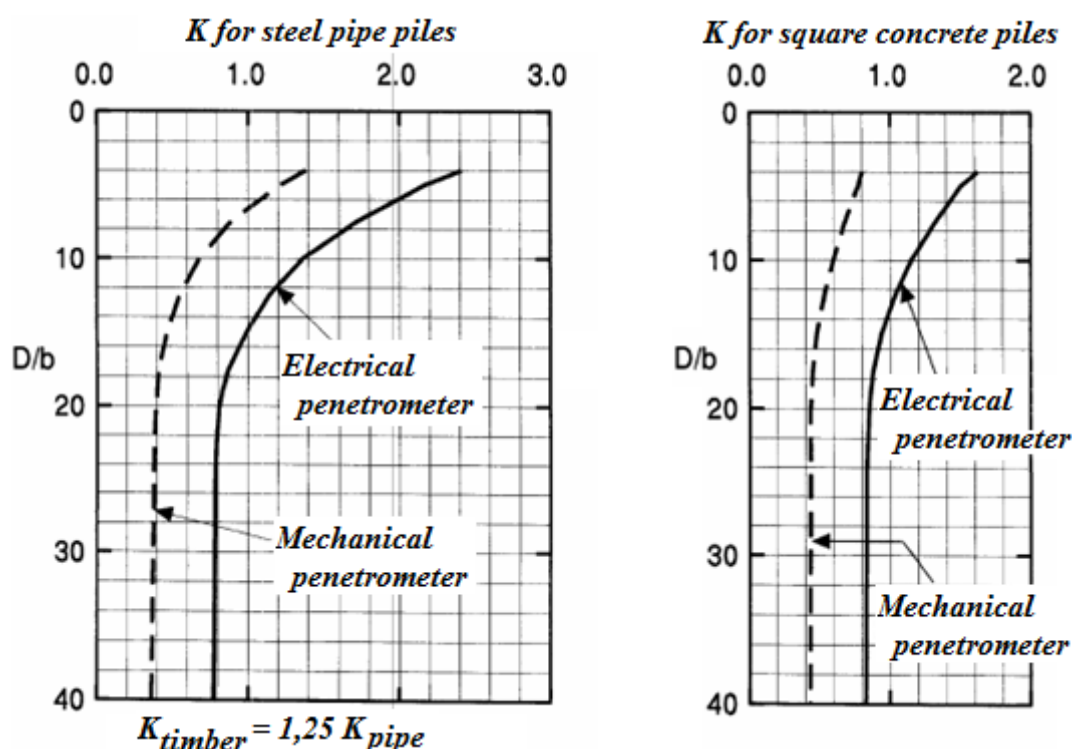
- 1) Определить два средних значения конусного напряжения в зоне под основанием сваи, одно для зоны глубиной  $0,7d$  и одно для  $0,4d$  вдоль траектории «a» через «b». Меньшее из полученных значений оставляем. (Высота зоны  $0,7d$  используется в случаях, когда конусное напряжение увеличивается с глубиной под основанием сваи).
- 2) Определить наименьшее конусное напряжение в зоне, используемой в шаге 1.
- 3) Определить среднее значение двух значений для шагов 1 и 2. Шаг 4 определяет среднее конусное напряжение в зоне.
- 4) Определить среднее конусное напряжение в зоне  $8d$  над основанием сваи, которое и есть значение  $q_c$ . Затем определяются средние значения шагов 3 и 4.



Определение среднего сопротивления на конусе острия сваи  $q_{c1}$ ,  $q_{c2}$

## Корректирующий коэффициент K

Корректирующий коэффициент трения поверхности  $K$  вводится в закладке «Сваи СРТ». Значение этого коэффициента равно отношению единицы сопротивления ствола сваи и единицы местного трения рукава пенетрометра. Корректирующий коэффициент  $K$  можно выразить функцией длины вмурованной сваи - см. следующие графики.



Функция вмурованной сваи ( $D$  - длина вмурованной сваи,  $b$  - ширина сваи или диаметр)

Литература:

FHWA HI 97-013: Design and Construction of Driven Pile Foundations, Workshop manual - Volume 1, National Highway institute.

## Отрицательное трение поверхности

Отрицательное трение поверхности появляется в результате появляется в результате усадки грунта в области сваи. Грунт, деформирующийся вокруг сваи, стремится опустить сваю вниз, тем самым уменьшая устойчивость для усадки данной сваи. В крайних случаях оно может полностью исключить влияние трения ствола. В этом случае свая поддерживается только упругим подгрунтом под основанием сваи.

**Отрицательное трение поверхности**  $F_{s,nk,rep}$  выражается формулой:

$$F_{s,nk,rep} = O_p \cdot \sum_{i=1}^n h_i \cdot K_{0,i,rep} \cdot \tan(\delta_{i,rep}) \cdot \frac{\sigma_{v,i-1,rep} + \sigma_{v,i,rep}}{2} + p_{i,a,rep} - \Delta\sigma_{i,v,w,rep}$$

где:

- $O_p$  периферия сваи
- $n$  количество слоев в зоне отрицательного трения
- $h_i$  глубина  $i$ -ого слоя
- $K_{0,i,rep}$  характерное значение коэффициента статического давления грунта
- $\delta_{i,rep}$  трение между грунтом и свайей в  $i$ -ом слое  
 $\delta_{i,rep} = 0.75 \cdot \varphi_{i,rep}$
- $\varphi_{i,rep}$  характерное значения угла внутреннего трения в  $i$ -ом слое

$\sigma_{v,i-1,rep}$  горизонтальное напряжение в i-ом слое

$\sigma_{v,l,rep}$  горизонтальное напряжение в грунте в i-ом слое

$p_{i,a,rep}$  нагрузка в i-ом слое

$\Delta\sigma_{i,v,w,rep}$  изменение вертикального напряжения  $\sigma_v$  в i-ом слое

Получается следующее отношение:

$$K_{0,i,rep} \cdot \tan(\delta_{i,rep}) > 0,25$$

Если поверхность скольжения определена, значение отрицательного трения  $F_{s,nk,rep}$  имеет вид:

$$F_{s,nk,rep} = O_p \cdot \sum_{i=1}^n h_i \cdot c_{i,rep}$$

где:  $O_p$  периферия сваи

$h_i$  глубина i-ого слоя

$c_{i,rep}$  характерное сцепление поверхности скольжения

- для битума  $10 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$

- для бетонита  $20 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$

- для синтетического материала  $50 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$

Значение характерного сцепления вдоль поверхности скольжения может ввести сам пользователь.

## Коэффициент трения ствола ALFA $\alpha_s$

Коэффициент сокращения трения ствола  $\alpha_s$  различается в зависимости от используемого метода и типа грунта. В программу встроены следующие значения:

- в соответствии с **EN 1997-2** и **NEN 6743**

Значения для **песков и песков с гравием** представлены в следующей таблице:

Сваи	$\alpha_s$ [-]
Сборные забивные или стальные сваи	0,01 0
Свая Франки	0,01 4
Забивная деревянная свая	0,01 2
Вибрирующая	0,01 2
Бетонируемая на месте винтовая свая	0,00

	9
Сборная винтовая свая	0,00 9
Бетонируемые на месте винтовые сваи с дополнительной цементацией	0,00 6
Сборная винтовая свая с дополнительной цементацией	0,00 6
Стальная свая-оболочка	0,00 75
Буроинъекционные сваи (CFA)	0,00 6
Буронабивные сваи или сваи, покрытые бентонитовым раствором	0,00 6
Буронабивные сваи стальном корпусе	0,00 5

Для **очень крупнозернистых песков** и **гравия** указанные выше значения сокращаются в обоих методах при помощи поправочного коэффициента (крупнозернистый песок 0,75, гравий 0,5).

Для **выработки** принимается значение  $\alpha_s = 0$ .

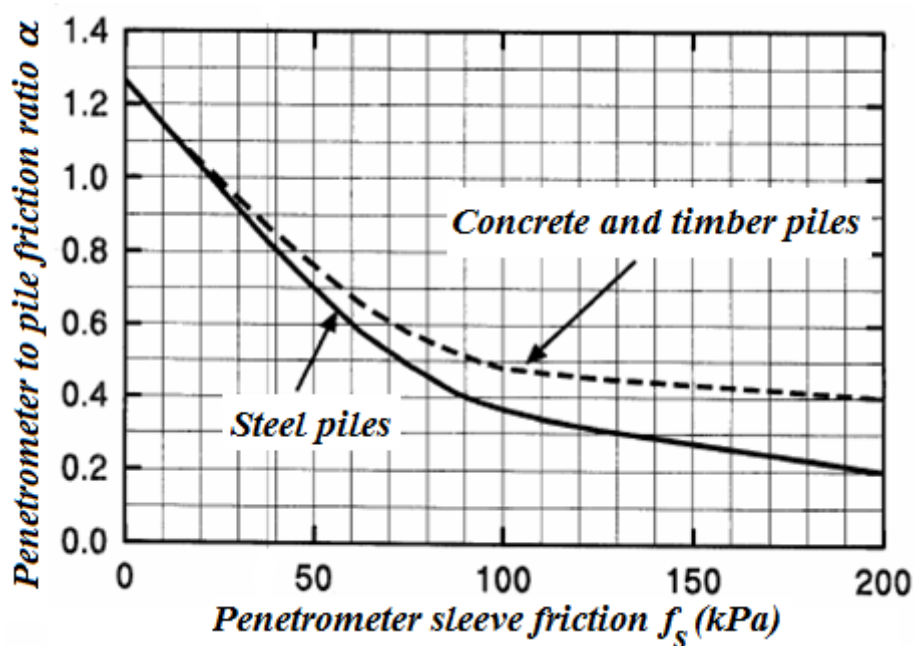
Для **глины** и **ила** значения  $\alpha_s$  берут из стандарта **EN 1997-2**.

При использовании метода **LCPC (Bustamante)** принимается коэффициент трения ствола  $\alpha_s$  в зависимости от сопротивления на острие сваи  $q_c$  (примерные значения представлены в следующей таблице).

**Примерные значения коэффициента трения ствола  $\alpha_s$  в зависимости от сопротивления на конусе острия сваи  $q_c$**

LCPC (Bustamante) Тип грунта	Конусное напряжение (сопротивление на острие сваи) $q_c$ [МПа]	$\alpha_s$ As для буронабивных свай	$\alpha_s$ As для забивных свай	Максималь ное сопротивле ние ствола [кПа]
глина	$< 1$	0,011	0,033	15
	$1 < q_c < 5$	0,025	0,011	35
	$5 < q_c$	0,017	0,008	35
песок	$q_c < 5$	0,017	0,008	35
	$5 < q_c < 12$	0,010	0,005	80
	$12 < q_c$	0,007	0,005	120

При использовании метода **Шмертманна** учитывается коэффициент  $\alpha_s$ , сокращающий трение свола по Томлинсону. Значения, используемые в программе, взяты из графика в публикации М. Дж. Томлинсон Проект свай и строительство.



Литература:

Tomlinson M. J.: *Pile Design and Construction Practice*, 4<sup>th</sup> edition, Taylor and Francis, 1994, ISBN 0 419 18450 3.

## Влияние переуплотнения (OCR)

Для песка и гравия максимальное давление у основания сваи  $p_{max,toe}$  (определяется по типу анализа, выбранного в закладке «Сваи СРТ») сокращается в зависимости от значения переуплотнения OCR (определяется как параметр грунта в рамке «Грунты»)

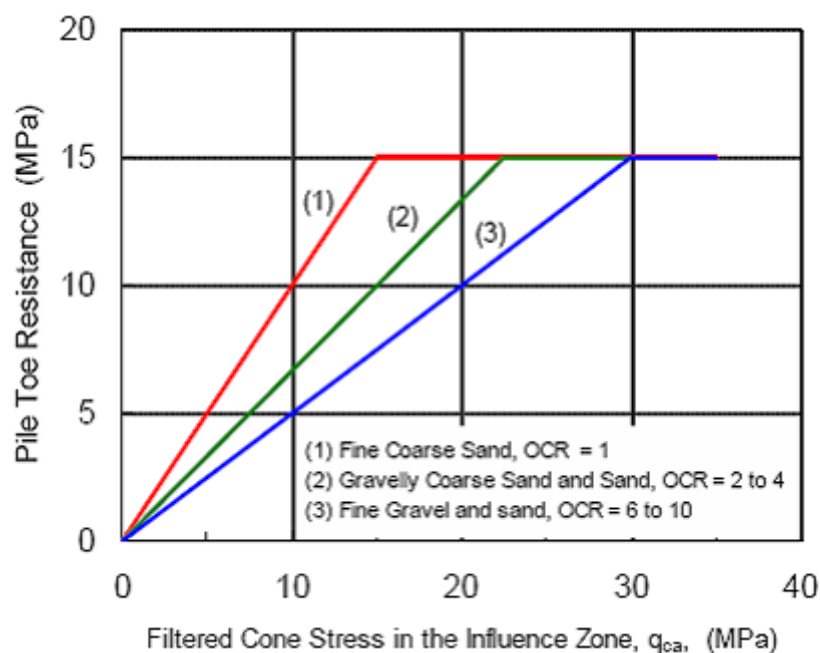


следующим образом:

#### Анализ по стандарту ЕС 7-3, NEN 6743:

- для всех несвязных грунтов максимальное давление у основания сваи  $p_{max,toe}$  составляет 15 МПа
- для  $OCR \leq 2$  не сокращается
- для  $2 < OCR \leq 4$  максимальное давление у основания сваи  $p_{max,toe}$  умножается на 0,67
- для  $OCR > 4$  максимальное давление у основания сваи  $p_{max,toe}$  умножается на 0,50

При использовании метода Шмертманна сокращение производится в соответствии со следующим графиком:



Сокращение эквивалентного среднего сопротивления на конусе острия сваи в соответствии с переуплотнением (по Шмертманну)

## Коэффициент конфигурации сваи $s$

Этот коэффициент отражает влияние **прямоугольной** сваи, в частности соотношение  $b/a$ . Его значение определяется по следующему графику (функция  $b/a$ ):

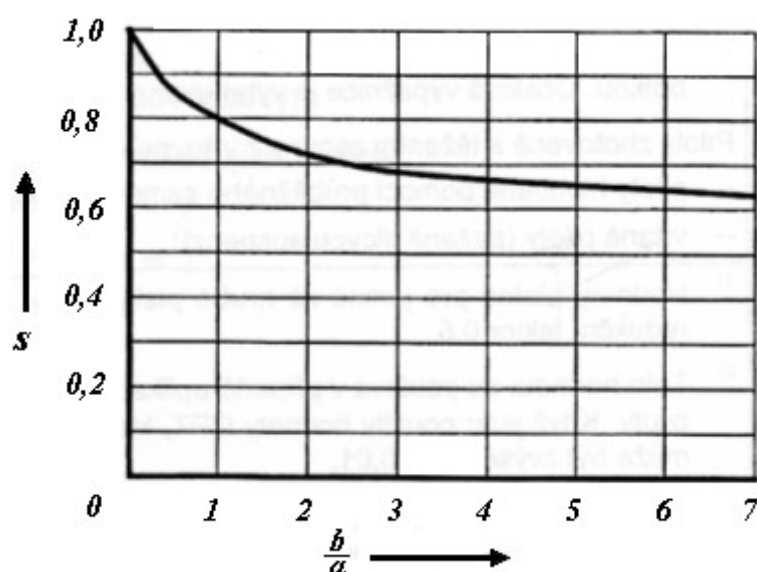


График для определения коэффициента конфигурации сваи  $s$  ( $a$  - длина меньшей стороны,  $b$  - большая сторона)

## Коэффициент увеличенного основания сваи БЭТА

Этот коэффициент обозначается как  $\beta$  и отражает влияние увеличенного основания сваи. Его значение определяется по следующему рисунку:

(как функция  $\frac{D_{eq}^2}{d_{eq}^2}$  от  $\frac{H}{D_{eq}}$ )

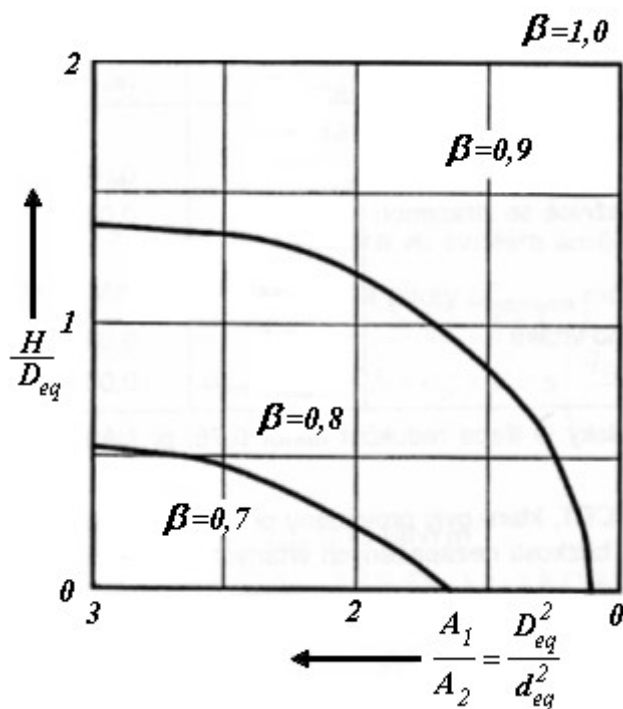


График для определения коэффициента  $\beta$

где:	$H$	длина сваи
	$D_{eq}$	эквивалентный диаметр сваи
	$d_{eq}$	эквивалентный диаметр основания сваи

## Коэффициент основания сваи $\alpha_p$

Коэффициент основания сваи для сокращения устойчивости  $\alpha_p$  определяет тип сваи. Его значения определяются посредством одного из имеющихся расчетных методов или могут быть введены пользователем самостоятельно. Для стандартов **NEN 6743** и **ЕС 1997-2** имеются следующие встроенные в программу значения коэффициента  $\alpha_p$ :

Сваи	$\alpha_p$ [-]
Сборные забивные или стальные сваи	1,0
Свая Франки	1,0
Забивная деревянная свая	1,0
Вибрирующая	1,0
Бетонируемая на месте винтовая свая	0,9
Сборная винтовая свая	0,8
Бетонируемые на месте винтовые сваи с дополнительной цементацией	0,9
Сборная винтовая свая с дополнительной цементацией	0,8
Стальная свая-оболочка	1,0
Буроинъекционные сваи (CFA)	0,8
Буронабивные сваи или сваи, покрытые бентонитовым раствором	0,5
Буронабивные сваи стальном корпусе	0,5

Для методов LCPC и Шмертмана коэффициент рассчитывается при помощи обратных вычислений на основании значения сопротивления проникновению  $q_c$  (значения представлены в следующей таблице):

**Примерные значения коэффициента основания сваи  $\alpha_s$  в зависимости от сопротивления на конусе острия сваи  $q_c$**

LCPC (Bustamante) Тип грунта	Конусное напряжение (сопротивление на острие сваи) $q_c$ [МПа]	$\alpha_p$ As для буронабивных свай	$\alpha_p$ As для забивных свай
глина	$< 1$	0,04	0,50
	$1 < q_c < 5$	0,35	0,45
	$5 < q_c$	0,45	0,55
песок	$q_c < 12$	0,40	0,50
	$13 < q_c$	0,30	0,40

## Группа свай

Анализ группы свай зависит от **конструктивной жесткости**. Основное допущение состоит в том, что при жесткой конструкции все сваи испытывают одинаковую усадку, а при деформируемой конструкции каждая свая деформируется отдельно - взаимодействие отсутствует.

**Максимальная устойчивость жесткого свайного основания** определяется по формуле:

$$F_{r,found,max} = M \cdot F_{r,max,rep}$$

где:  $M$  — количество свай в свайном фундаменте  
 $F_{r,max,rep}$  — устойчивость одной сваи в свайном фундаменте

При использовании стандарта NEN6743 в анализ вводится справочный коэффициент  $\zeta$ , зависящий от количества свай  $M$  и числа проведенных испытаний на проникающую способность (пункт 5.3.2.1). Максимальная **устойчивость деформируемого свайного основания** определяется в соответствии с устойчивостью самой напряженной сваи в группе по формуле:

$$F_{r,found,max} = \max(F_{r,i})$$

где:  $F_{r,i}$  — устойчивость полностью напряженной сваи в группе

## Расчет осадки основания сваи

Значение осадки головки сваи  $w_{l,d}$  определяется следующим образом:

$$w_{l,d} = w_{toe,d} + w_{el,d}$$

где:  $w_{toe,d}$  — осадка подошвы сваи вследствие действующей силы

$$w_{toe,d} = w_{toe,d,1} + w_{toe,d,2}$$

$w_{toe,d,1}$  осадка подошвы сваи вследствие силы, действующей на основание

$w_{toe,d,2}$  осадка подошвы сваи вследствие силы, действующей на ствол

$w_{el,d}$  осадка подошвы сваи вследствие упругого сжатия

Значения осадки  $w_{toe,d,1}$  и  $w_{toe,d,2}$  определяется из **встроенных графиков** в соответствии со стандартом NEN6743. Значения  $w_{el,d}$  рассчитываются:

$$w_{el,d} = \frac{L \cdot F_{mean,d}}{A_{plat} \cdot E_{p,mat,d}}$$

где:

$L$	длина сваи
$F_{mean,d}$	среднее силы, действующей на сваю
$A_{plat}$	площадь поперечного сечения основания сваи
$E_{p,mat,d}$	модуль упругости материала сваи

## Графики для расчета осадки

Графики для расчета усадки взяты из стандарта NEN6743 (пункт 6.2.1) и позволяют определить:

- усадку сваи вследствие вертикальной силы (усадка сваи в процентном отношении эквивалентного диаметра сваи, представленная в виде функции вертикальной силы основания в процентном отношении максимального сопротивления основания  $F_{max,toe}$ )
- усадку сваи вследствие усиления ствола сваи (усадка сваи в мм, представленная в виде функции усиления ствола в процентном отношении максимального сопротивления ствола  $F_{max,shaft}$ )

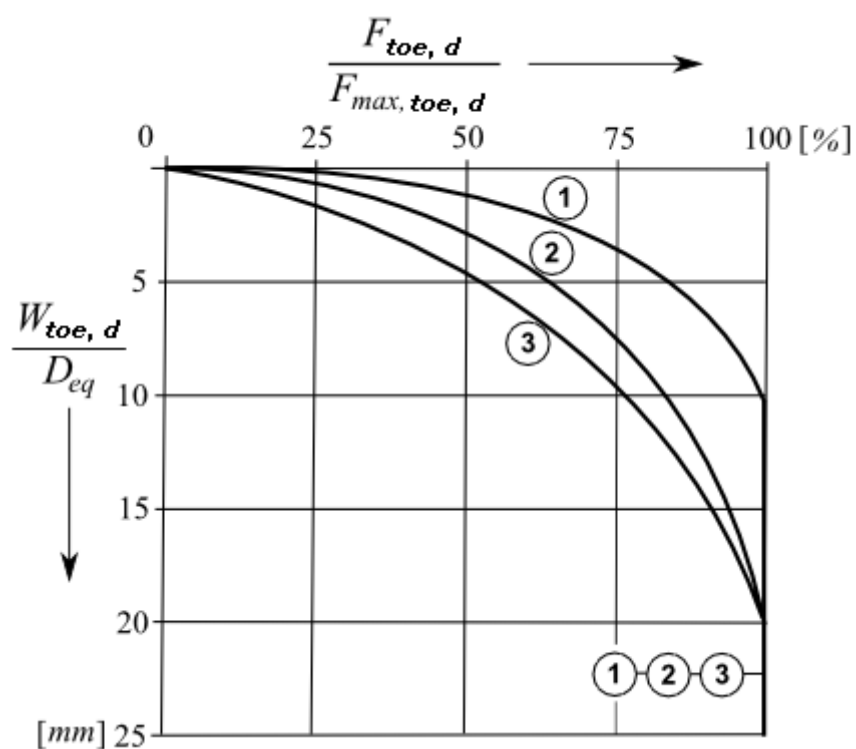


График для определения  $w_{toe,d,1}$  (1 - забивная свая, 2 - буроинъекционная свая, 3 - буронабивная свая)

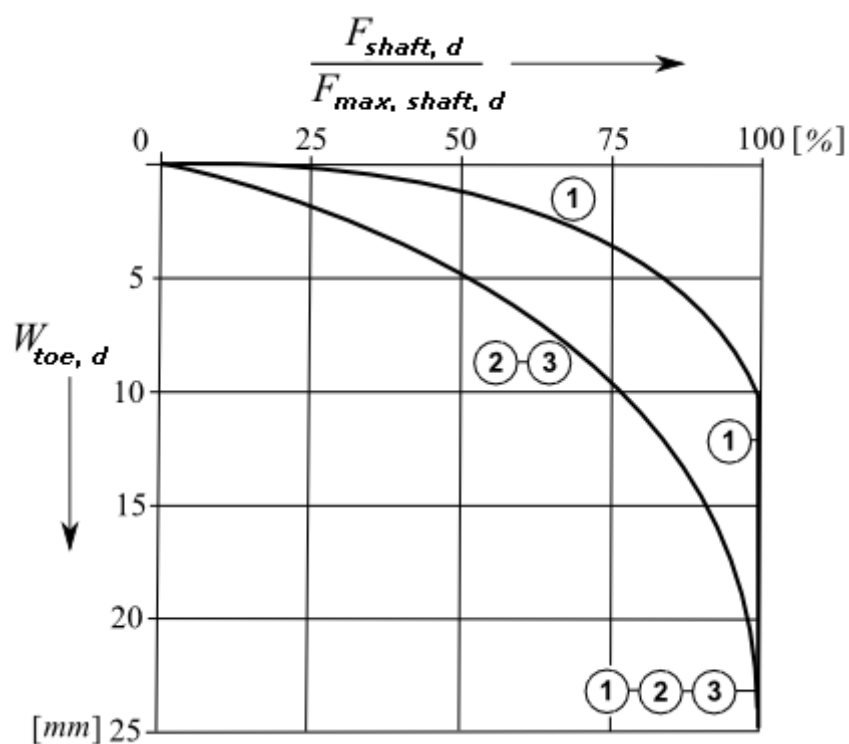
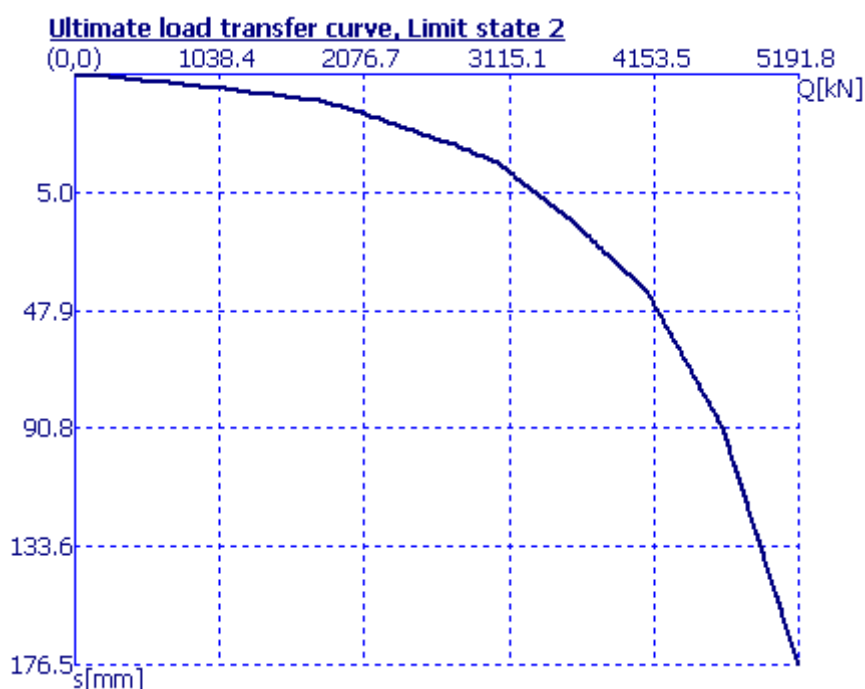


График для определения  $w_{toe,d,2}$  (1 - забивная свая, 2 - буроинъекционная свая, 3 - буронабивная свая)

## Расчет кривой предельной нагрузки

Программа создает диаграмму нагрузки вертикально нагруженной сваи - **кривую предельной нагрузки**, которая представляет вертикальную усадку сваи в виде функции приложенной нагрузки.

Кривая предельной нагрузки определяется как сумма усадок вследствие сил у основания и ствола сваи, выведенные из **графиков для расчета** усадки сваи. На рисунке представлен пример кривой предельной нагрузки.



Кривая предельной нагрузки

## Проверка

Проверка **устойчивости** сваи (группы свай) зависит от метода анализа, выбранного в закладке «Сваи СРТ»:

**EN 1997-2**

классический способ (по **коэффициенту надежности** или **теории предельных состояний**)

**NEN 6743**

При расчете **усадки** можно использовать либо **кривую предельной нагрузки**, либо **кривую нагрузки - смещения** при выборе стандарта NEN 6743.

## Проверка по EN 1997-2

Прежде всего программа рассчитывает собственно **несущую способность на подошве и боковой поверхности** для отдельных испытаний. Результатом является  $n$ -ое количество значений общей устойчивости для  $n$ -ого количества испытаний СРТ.

$$R_{c,i} = R_{b,i} + R_{s,i}$$

$$R_{cd,i} = \frac{R_{b,i}}{\gamma_b} + \frac{R_{s,i}}{\gamma_s}$$

где:	$R_{c,i}$	-общая несущая способность в i-ом испытании СРТ
	$R_{cd,i}$	проектная несущая способность в i-ом испытании СРТ
	$R_{b,i}$	-несущая способность на подошве сваи в i-ом испытании СРТ
	$R_{s,i}$	-несущая способность боковой поверхности в i-ом испытании СРТ
	$\gamma_b$	коэффициент редукции сопротивления на подошве (задавать в закладке «Сваи СРТ»)
	$\gamma_s$	коэффициент редукции сопротивления на боковой поверхности (задавать в закладке «Сваи СРТ»)

Общую несущую способность определяют из отношений:

$$R_c = \min \left( \frac{R_{c,min}}{\xi_4} ; \frac{R_{c,mean}}{\xi_3} \right) \frac{1}{\gamma_{cal}}$$

x

$$R_{cd} = \min \left( \frac{R_{cd,min}}{\xi_4} ; \frac{R_{cd,mean}}{\xi_3} \right) \frac{1}{\gamma_{cal}}$$

где:	$R_{c,min}$	-минимальная общая несущая способность
	$R_{c,mean}$	-среднее значение несущей способности совокупности всех испытаний

Коэффициент неопределённости для модели  $\gamma_{cal}$  задаёт пользователь в рамке «Настройка». Стандартная величина коэффициента равна 1.

**Коэффициенты корреляции**  $\xi_3$  а  $\xi_4$  определяются или автоматически в зависимости от количества испытаний СРТ, или их задают в рамку «Настройка». Поведение достаточно жёстких и прочных конструкций можно учесть редукцией коэффициентов корреляции значением 1,1 (в результате коэффициент после деления не может быть меньше 1,0).

Проверка сваи на несущую способность выполняется по формуле:

$$F_{s,d} < R_{c,d}$$

где:	$F_{s,d}$	-проектная нагрузка
	$R_{c,d}$	-проектная несущая способность сваи

## Корреляционные коэффициенты для оценки стандартных значений устойчивости

**Корреляционные коэффициенты  $\xi$  для оценки стандартных значений устойчивости по результатам исследования грунта** ( $n$  - количество испытаний на проникающую способность)



$\xi$ для $n=$	1	2	3	4	5	7	10
$\xi_3$	1,4 0	1,3 5	1,3 3	1,3 1	1,2 9	1,2 7	1,2 5
$\xi_4$	1,4 0	1,2 7	1,2 3	1,2 0	1,1 5	1,1 2	1,0 8

## Проверка по коэффициенту запаса

Проверку по коэффициенту запаса выбираем в закладке «Сваи СРТ», туда же задаём требуемый коэффициент запаса по несущей способности. Проверка свай приобретает следующий вид:

$$\frac{F_{r,d}}{F_{s,d}} > SF_b$$

где:  $F_{s,d}$  — нагружение свай  
 $SF_b$  — коэффициент запаса по несущей способности  
 $F_{r,d}$  — несущая способность свай

## Проверка по теории предельных состояний

Проверку по теории предельных состояний выбираем в закладке «Сваи СРТ», там же задаём и поправочный коэффициент несущей способности свай. Проверка свай по **первому предельному состоянию** осуществляется по формуле:

$$F_{s,d} < \frac{F_{r,d}}{\gamma_t}$$

где:  $F_{s,d}$  — расчетная нагрузка свай  
 $\gamma_t$  — коэффициент редукции несущей способности  
 $F_{r,d}$  — расчетная несущая способность свай

## Отдельные фундаменты СРТ

Программа предназначена для проектирования и проверки фундаментов мелкого заложения на основании результатов **статических пенетрационных испытаний (СРТ)** и **стандартных пенетрационных испытаний (SPT)**.

Программа выполняет расчёт:

- **вертикальной несущей способности**
- **осадки**
- **для подбора размеров арматуры**

## Несущая способность

Несущую способность грунта основания можно рассчитать по результатам испытаний **CPT** или **SPT**.

**Несущая способность определена на основании испытаний CPT:**

- Метод «**Meyerhof**»
- Метод «**Schmertmann**»
- Метод «**Skempton**»

**Несущая способность определена на основании испытаний SPT:**

- Метод «**Meyerhof**»

## Метод Мейерхофа (CPT)

Данное решение для **несвязных грунтов** основано на теории **Мейерхофа (Meyerhof)**, которая **несущую способность грунта основания** определяет отношением:

$$R_d = q_c \cdot \frac{b_{ef}}{40} \cdot \left( C_{w1} + C_{w2} \cdot \frac{d}{b_{ef}} \right) \cdot R_i$$

**При определении несущей способности грунта по этому методу рекомендуется применить коэффициент запаса  $FS = 3$ .**

Где:	$R_d$	- несущая способность грунта под подошвой фундамента
	$q_c$	- усреднённое сопротивление пенетрации от подошвы фундамента до глубины $1,5 \cdot b_{ef}$
	$b_{ef}$	- эффективная ширина фундамента
	$C_{w1}, C_{w2}$	- коэффициенты влияния грунтовой воды
	$d$	- глубина подошвы фундамента
	$R_i$	- коэффициент влияния наклона нагрузки

Формула основана на дюймах [*tsf, ft*] - программа автоматически выполняет перевод в единицы, которые использует программа.

**Коэффициенты влияния грунтовой воды  $C_{w1}$  and  $C_{w2}$  определены следующим образом:**

$h_{GWT} = 0$  (вода на уровне земли) ->  $C_{w1} = C_{w2} = 0,5$

$h_{GWT} = d$  (вода на уровне подошвы фундамента) ->  $C_{w1} = 0,5$ ;  $C_{w2} = 1$

$h_{GWT} > d + 1,5 \cdot b_{ef}$  ->  $C_{w1} = C_{w2} = 1$

где:  $h_{GWT}$  - глубина уровня грунтовой воды от земли

Промежуточные значения  $C_{w1}$ ,  $C_{w2}$  интерполируются.

**Коэффициент влияния наклона нагрузки**  $R_i$  интерполирован в соответствии с таблицей:

H/V	$R_i$		
	$d/b_{ef} = 0$	$d/b_{ef} = 1$	$d/b_{ef} = 5$
0,1	0,75	0,8	0,85
0,15	0,65	0,75	0,8
0,2	0,55	0,65	0,7
0,25	0,5	0,55	0,65
0,3	0,4	0,5	0,55
0,35	0,35	0,45	0,5
0,4	0,3	0,35	0,45
0,45	0,25	0,3	0,4
0,5	0,2	0,25	0,3
0,55	0,15	0,2	0,25
0,6	0,1	0,15	0,2

Где:  $H$  - горизонтальная составляющая результирующей нагрузки  
 $V$  - вертикальная составляющая результирующей нагрузки

Метод не стоит применять для отношения  $H/V > 0,6$ .

**Влияние наклона рельефа и подошвы фундамента** учитывается одинаково как у метода Шмертмана.

Литература:

*FHWA-SA-91-043: THE CONE PENETROMETER TEST*

*Bridge Engineering Handbook (Wai-Fah Chen, Lian Duan, 1999)*

## Метод Шмертмана (CPT)

Данное решение для **несвязных грунтов** основано на теории **Шмертмана (Schmertmann)**, которая **несущую способность грунта основания** определяет отношением:

$$R_d = K_q \cdot \gamma \cdot d \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot K_\gamma \cdot \gamma \cdot b_{ef} \cdot N_\gamma$$

**При определении несущей способности грунта данным способом рекомендуется применить коэффициент запаса  $FS = 3$ .**

Where:  $R_d$  - несущая способность грунта под подошвой фундамента  
 $K_q, K_\gamma$  - коррекционные коэффициенты  
 $\gamma$  - удельный вес грунта в подошве фундамента  
 $b_{ef}$  - эффективная ширина фундамента  
 $N_q, N_\gamma$  - коэффициенты несущей способности

$d$  - глубина подошвы фундамента

Формула выведена в дюймах [ $tsf$ ,  $pcf$ ,  $ft$ ] - программа автоматически выполняет перевод в единицы, которые использует программа.

При этом:

$$N_q = N_\gamma = 1,25 \cdot \sqrt{q_{c1} \cdot q_{c2}}$$

Где:  $q_{c1}$  - усреднённое сопротивление пенетрации от подошвы фундамента до глубины  $0,5 \cdot b_{ef}$

$q_{c2}$  - усреднённое сопротивление пенетрации от глубины  $0,5 \cdot b_{ef}$  до глубины  $1,5 \cdot b_{ef}$  под подошвой фундамента

$$K_q = i_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot b_q \cdot g_q$$

$$K_\gamma = i_\gamma \cdot s_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

Где:  $i_q, i_\gamma$  - коэффициенты влияния наклона нагрузки

$s_q, s_\gamma$  - коэффициенты влияния формы фундамента

$d_q$  - коэффициенты влияния глубины заложения

$b_q, b_\gamma$  - коэффициенты влияния наклона подошвы фундамента

$g_q, g_\gamma$  - коэффициенты влияния наклона рельефа

**Коэффициенты влияния наклона нагрузки**  $i_q, i_\gamma$  определены следующим способом:

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V}\right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V}\right)^{m-1}$$

$$m = m_i \cos^2 \theta + m_b \sin^2 \theta$$

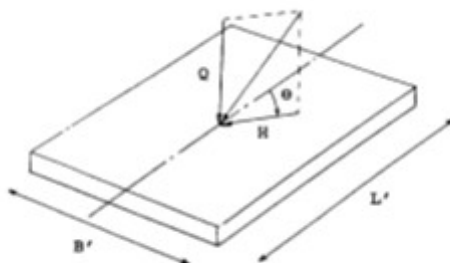
$$m_i = \frac{2 + \frac{l_{ef}}{b_{ef}}}{1 + \frac{l_{ef}}{b_{ef}}}$$

$$m_b = \frac{2 + \frac{b_{ef}}{l_{ef}}}{1 + \frac{b_{ef}}{l_{ef}}}$$

Где:  $H$  - горизонтальная составляющая результирующей нагрузки

$V$  - вертикальная составляющая результирующей нагрузки

- $l_{ef}$  - эффективная длина фундамента
- $\theta$  - угол между горизонтальной составляющей результирующей нагрузки  $H$  и осью симметрии фундамента по направлению эффективной длины  $l_{ef}$



#### Определение угла $\theta$

Метод не стоит применять для отношения  $H/V > 0,4$ .

**Коэффициенты влияния формы фундамента**  $s_q$  и  $s_\gamma$  определены следующим образом:

$$s_q = 1 + \left( \frac{b_{ef}}{l_{ef}} \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot \frac{b_{ef}}{l_{ef}}$$

Где:  $\varphi$  - угол трения грунта в подошве фундамента

**Коэффициент влияния глубины заложения**  $d_q$  определён следующим образом:

$$d_q = 1 + 2 \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot (1 - \sin \varphi)^2 \cdot \frac{d}{b_{ef}}$$

**Коэффициенты влияния наклона подошвы фундамента**  $b_q$  и  $b_\gamma$  определены следующим образом:

$$b_q = b_\gamma = (1 - \eta \cdot \operatorname{tg} \varphi)^2$$

Где:  $\eta$  - угол наклона фундамента

**Коэффициенты влияния наклона рельефа**  $g_q$  and  $g_\gamma$  определены следующим образом:

$$g_q = g_\gamma = (1 - \operatorname{tg} \beta)^2$$

Где:  $\beta$  - угол наклона рельефа

Литература:

FHWA-SA-91-043: THE CONE PENETROMETER TEST

*Bridge Engineering Handbook (Wai-Fah Chen, Lian Duan, 1999)*

## Метод Скемптона (CPT)

Данное решение для **связных грунтов** основано на теории **Скемптона (Skempton)**, который определяет **несущую способность грунта основания** в соответствии с формулой:

$$R_d = K_c \cdot N_c \cdot S_u + \gamma \cdot d$$

**При определении несущей способности грунта данным способом рекомендуется применить коэффициент запаса  $FS = 3$ .**

Где:	$R_d$	-	несущая способность грунта под подошвой фундамента
	$K_c$	-	коэффициент влияния наклона нагрузки
	$N_c$	-	коэффициент несущей способности грунта Skempton
	$S_u$	-	недренированное сопротивление сдвигу
	$\gamma$	-	удельный вес грунта в подошве фундамента
	$d$	-	глубина подошвы фундамента

Формула выведена в дюймах [*tsf, tcf, ft*] - программа автоматически выполняет перевод в единицы, которые использует программа.

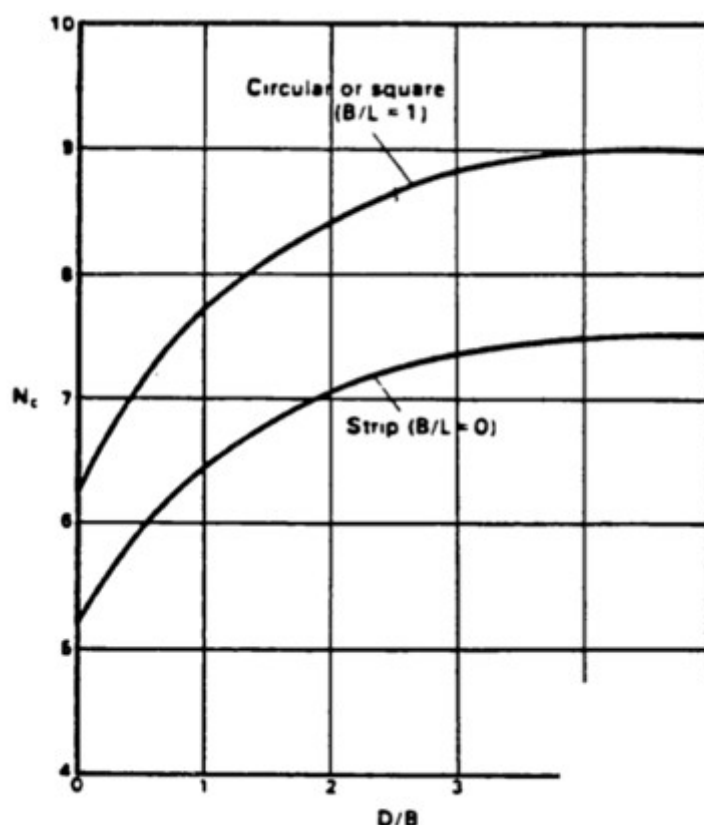
При этом:

$$K_c = \left(1 - 1,3 \cdot \frac{H}{V}\right)$$

где:	$H$	-	горизонтальная составляющая равнодействующей нагрузки
	$V$	-	вертикальная составляющая равнодействующей нагрузки

Метод не стоит применять для отношения  $H/V > 0,4$ .

**Skempton коэффициент несущей способности грунта  $N_c$**  зависит от отношения эффективной ширины  $b_{ef}$  и длины фундамента  $l_{ef}$  и отношения глубины подошвы фундамента  $d$  и эффективной ширины  $b_{ef}$ . Значение коэффициента определяется по следующему графу:



Определение коэффициента  $N_c$  (Принято из *Peck, Hanson и Thornburn, 1974*)

**Недренированное сопротивление сдвигу  $S_u$**  определена следующей формулой:

Где :  $q_c$  - усреднённое сопротивление пенетрации  $\sigma_{v0}$  усреднённое вертикальное напряжение от подошвы фундамента до глубины  $1,5.b_{ef}$  под подошвой фундамента

$N_k$  - коэффициент пенетрационного конуса (в диапазоне  $<10;20>$ )

При этом

$$q_c = \sqrt{q_{c1} \cdot q_{c2}}$$

Где:  $q_{c1}$  - усреднённое значение сопротивления пенетрации от подошвы фундамента до глубины  $0,5.b_{ef}$

$q_{c2}$  - усреднённое значение сопротивления пенетрации от глубины  $0,5.b_{ef}$  до глубины  $1,5.b_{ef}$  под подошвой фундамента

**Влияние наклона рельефа и подошвы фундамента** учитывается одинаковым способом как у [метода Шмермана](#).

Литература:

*FHWA-SA-91-043: THE CONE PENETROMETER TEST*

*Bridge Engineering Handbook (Wai-Fah Chen, Lian Duan, 1999)*

## Метод Мейерхофа (SPT)

Данное решение для **связных и несвязных грунтов** основано на теории **Мейерхофа (Meyerhof)**, которая определяет **несущую способность грунта основания** в соответствии с формулой:

$$R_d = N \cdot \frac{b_{ef}}{10} \cdot \left( C_{w1} + C_{w2} \cdot \frac{d}{b_{ef}} \right) \cdot R_i$$

**При определении несущей способности грунта данным способом рекомендуется применить коэффициент запаса  $FS = 3$ .**

Where: $R_d$	- несущая способность грунта под подошвой фундамента
$N$	- усреднённое количество ударов в диапазоне от подошвы фундамента до глубины $1,5 \cdot b_{ef}$ под подошвой фундамента
$b_{ef}$	- эффективная ширина фундамента
$C_{w1}, C_{w2}$	- коэффициенты влияния грунтовой воды
$d$	- глубина подошвы фундамента
$R_i$	- коэффициент влияния наклона нагрузки

Формула выведена в дюймах [*tsf, ft*] - программа автоматически выполняет перевод в единицы, которые использует программа.

В случае, что на данном участке находятся полностью водонасыщенные тонкозернистые пески или насыщенные пылеватые пески, то перед расчётом  $N$  для каждого замеренного значения количества ударов  $N_i > 15$  необходимо выполнить следующую корреляцию:

$$N_{cor,i} = 15 + 0,5 \cdot (N_i - 15)$$

Программа позволяет выполнить эту корреляцию автоматически в рамке «Расчёт».

**Коэффициенты влияния грунтовой воды  $C_{w1}$  and  $C_{w2}$**  определены следующим образом:

$h_{GWT} = 0$  (вода на уровне земли)  $\rightarrow C_{w1} = C_{w2} = 0,5$

$h_{GWT} = d$  (вода на уровне подошвы фундамента)  $\rightarrow C_{w1} = 0,5; C_{w2} = 1$

$h_{GWT} > d + 1,5 \cdot b_{ef} \rightarrow C_{w1} = C_{w2} = 1$

Где:  $h_{GWT}$  - глубина зеркала грунтовой воды от земли the terrain

Промежуточные значения  $C_{w1}$ ,  $C_{w2}$  интерполируются.

**Коэффициенты влияния наклона нагрузки  $R_i$**  интерполируются в соответствии с таблицей:



H/V	R <sub>i</sub>		
	d/b <sub>ef</sub> = 0	d/b <sub>ef</sub> = 1	d/b <sub>ef</sub> = 5
0,1	0,75	0,8	0,85
0,15	0,65	0,75	0,8
0,2	0,55	0,65	0,7
0,25	0,5	0,55	0,65
0,3	0,4	0,5	0,55
0,35	0,35	0,45	0,5
0,4	0,3	0,35	0,45
0,45	0,25	0,3	0,4
0,5	0,2	0,25	0,3
0,55	0,15	0,2	0,25
0,6	0,1	0,15	0,2

Где:  $H$  - горизонтальная составляющая результирующей нагрузки  
 $V$  - вертикальная составляющая результирующей нагрузки

Метод не стоит применять для отношения  $H/V > 0,6$ .

**Влияние наклона рельефа (земли) и подошвы фундамента** рассматривается одинаковым способом как у [метода Шмертмана](#).

*Литература:*

*Bridge Engineering Handbook (Wai-Fah Chen, Lian Duan, 1999)*

## Расчёт осадки

Осадку отдельного фундамента можно рассчитать по результатам испытаний [CPT](#) или [SPT](#).

**Осадка определена на основании испытаний CPT:**

- Метод «[Schmertmann](#)»

**Осадка определена на основании испытаний SPT:**

- Метод «[NAVFAC DM7](#)»

## Метод Шмертмана (CPT)

Это решение для расчёта **осадки фундамента мелкого заложения** на основе [статических пенетрационных испытаний \(CPT\)](#) основано на методе **Шмертмана (Schmertmann)** и выражено формулой:

$$s = C_1 \cdot C_2 \cdot \sigma_{oi} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{I_{zi} \cdot h_i}{x \cdot q_{ci}}$$

где:  $s$  - осадка фундамента

$C_1$	-	поправочный коэффициент глубины заложения
$C_2$	-	поправочный коэффициент для вторичной осадки
$\sigma_{ol}$	-	пригрузка подошвы фундамента
$I_{zi}$	-	коэффициент деформации в середине i-слоя
$h_i$	-	толщина i-го слоя
$\chi$	-	модульный коэффициент
$q_{ci}$	-	усреднённое сопротивление пенетрации в i-слое

Формула выведена в дюймах  $[tsf, ft]$  - программа автоматически переводит все в единицы, которые использует программа.

**Корректирующий коэффициент глубины заложения**  $C_1$  определён следующим образом:

$$C_1 = 1 - 0,5 \cdot \left( \frac{\sigma_{or}}{\sigma_{ol}} \right)$$

где:  $\sigma_{or}$  - эффективное напряжение в подошве фундамента

**Корректирующий коэффициент вторичной осадки**  $C_2$  оределён следующим образом:

$$C_2 = 1 + 0,2 \cdot \log_{10} \left( \frac{t_{YR}}{0,1} \right)$$

Где:  $t_{yr}$  - продолжительность действия нагрузки, гг.

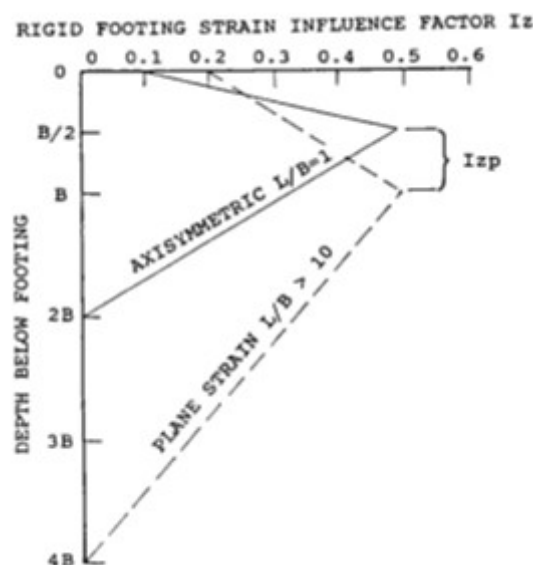
**Модульный коэффициент**  $\chi$  зависит от отношения длины  $l$  и ширины  $b$  фундамента и определён следующим образом:

$$l/b = 1 \rightarrow \chi = 2,5$$

$$l/b = 10 \rightarrow \chi = 3,5$$

Промежуточные значения коэффициента  $\chi$  интерполируются.

**Коэффициент влияния деформации**  $I_z$  считываем на горизонтальной оси следующего графа. На вертикальную ось вынесена глубина под подошвой фундамента.



#### Определение коэффициента $I_z$ (Schmertmann, 1978)

Диаграмма коэффициента деформации  $I_z$  отличается в зависимости от отношения длины  $l$  и ширины фундамента  $b$ .

Для отношения  $l/b = 1$  максимальное значение коэффициента деформации  $I_{zp}$  получаем на глубине  $b/2$  под подошвой фундамента, а осадку рассчитываем до глубины  $2b$  под подошвой фундамента.

Для отношения  $l/b = 10$  получем максимальное значение коэффициента деформации  $I_{zp}$  на глубине  $b$  ниже подошвы фундамента, а осадку рассчитываем до глубины  $4b$  ниже подошвы фундамента.

Максимальное значение коэффициента деформации  $I_{zp}$  определяет отношение:

$$I_{zp} = 0,5 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{ol}}{\sigma_{zp}}}$$

Где:  $\sigma_{zp}$  - эффективное напряжение на глубине  $b/2$  (для отношения  $l/b = 1$ ) или  $b$  ( $l/b = 10$ ) под подошвой фундамента.

Для промежуточных значений отношения  $l/b$  ( $1 < l/b < 10$ ) коэффициент  $I_z$  интерполируется.

Литература:

Schmertmann, J.H. (1970). Static cone to compute static settlement over sand. *ASCE Journal of Soil Mechanics & Foundations Division*, 96 (3), 1011-1043.

Schmertmann, J.H., Hartmann, J.P. and Brown, P.R. (1978). Improved strain influence factor diagrams, *ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 104 (GT8), 113

## Метод NAVFAC DM7 (SPT)

Это решение для расчёта **осадки фундамента мелкого заложения** на основе **стандартных пенетрационных испытаний (SPT)** основано на методе **NAVFAC DM7** и

выражено формулой:

$$s = \frac{C \cdot \sigma}{K_v} \cdot \left(\frac{b}{b+1}\right)^2 \cdot C_w$$

где:

$s$	-	осадка фундамента
$C$	-	коэффициент ширины фундамента
$\sigma$	-	напряжение в подошве фундамента
$K_v$	-	модуль реакции подстилающего слоя
$b$	-	ширина фундамента
$C_w$	-	коэффициент влияния грунтовой воды

Формула выведена в дюймовых единицах  $[tsf, tcf, ft]$  - программа автоматически переводит все в единицы, которые использует программа.

**Коэффициент ширины фундамента  $C$**  определён следующим способом:

$$b < 20 \text{ ft} \rightarrow C = 4$$

$$b > 40 \text{ ft} \rightarrow C = 2$$

Промежуточные значения коэффициента  $C$  интерполируются.

**Коэффициент влияния грунтовой воды  $C_w$**  определён следующим способом:

Уровень грунтовой воды находится в интервале между рельефом и глубиной  $1,5 \cdot b_{ef}$  под подошвой фундамента:

$$C_w = 2,0 - \frac{h_{HPV} - d}{1,5 \cdot b}$$

$$C_w \leq 2,0$$

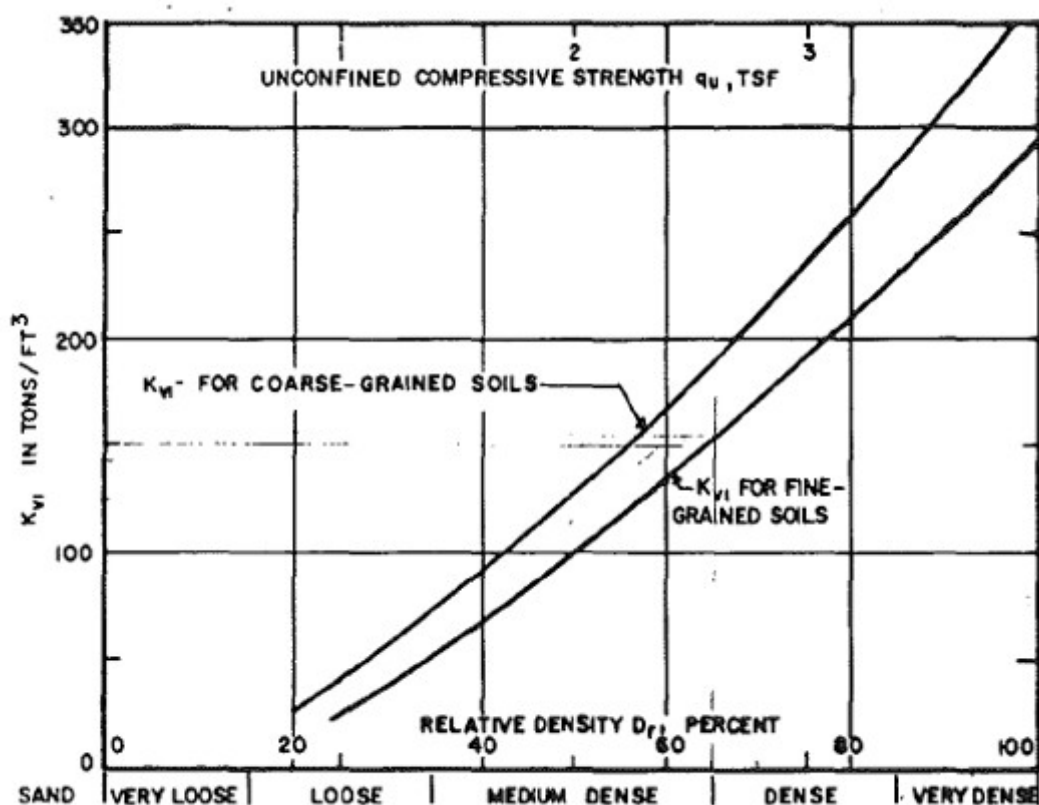
Уровень грунтовой воды находится под глубиной  $1,5 \cdot b_{ef}$  под подошвой фундамента:

$$C_w = 1,0$$

где:

$h_{GWT}$	-	глубина уровня грунтовой воды от рельефа
$d$	-	глубина подошвы фундамента

**Модуль реакции подстилающего слоя  $K_v$**  считывается из следующего графа на основе коэффициента относительной плотности  $I_D$ :



Граф определения модуля реакции подстилающего слоя (Взято в Navfac, 1982)

**Коэффициент относительной плотности  $I_D$**  определён следующим образом:

для  $\sigma_{zp} \leq 1,5 \text{ ksf}$ :

$$I_D = \sqrt{\frac{N}{20} \cdot (1 + 2 \cdot \sigma_{zp})}$$

для  $\sigma_{zp} > 1,5 \text{ ksf}$ :

$$I_D = \sqrt{\frac{N}{20} \cdot (3,25 + 0,5 \cdot \sigma_{zp})}$$

Где:

- $N$  - нескорректированное количество ударов на глубине  $b/2$  под подошвой фундамента
- $\sigma_{zp}$  - эффективное напряжение на глубине  $b/2$  под подошвой фундамента

Формула выведена в дюймовых единицах [ksf] - программа автоматически переводит все в единицы, которые использует программа.

Литература:

Navfac, 1982

## Куст свай

Расчёты в программе «**Куст свай**» можно разделить на две главные группы:

- **Аналитические решения** - расчёт вертикальной несущей способности куста свай для **связного** и **несвязного** грунта, и расчёт **осадки**.
- Расчёт куста свай с помощью **метода пружин** и подбора размеров **арматуры** для свай.

## Аналитическое решение

Расчёт вертикальной несущей способности куста свай для:

- **несвязного грунта** (расчёт для обезвоженных условий)
- **связного грунта** (расчёт для необезвоженных условий)

Собственно проверку проводят по теории **предельных состояний** или **коэффициента запаса**.

Проверка выполняется только для **вертикальной нагрузки**, не принимается во внимание нагрузка моментом или сдвигающей силой. Для расчёта горизонтальных воздействий куста свай нужно выбрать в рамке «**Настройка**» **метод пружины**.

Для аналитических методов можно также определить **осадку куста свай**.

## Несвязный грунт (расчёт для обезвоженных условий)

Для расчёта вертикальной несущей способности куста свай в несвязном грунте использованы такие же методы как для расчёта вертикальной несущей способности одиночной сваи:

- **NAVFAC DM 7.2**
- **Эффективное напряжение**
- **CSN 73 1002**

Вертикальная несущая способность куста свай рассчитывается по выражению:

$$R_{\Sigma} = \sum R_c = nR_c\eta_{\Sigma}$$

где:

$n$	-	число свай в кусте
$R_c$	-	вертикальная несущая способность одиночной сваи
$\eta_{\Sigma}$	-	<b>эффективность куста свай</b>

Собственно проверку проводят по теории **предельных состояний** или **коэффициента запаса**.

## Коэффициент полезного действия (КПД) куста свай

**UFC 3-220-01A**

- $\eta_{\Sigma} \approx 0,7$  для межсоевального расстояния свай в кусте:  $3d$

- $\eta_{\varepsilon} \approx 1,0$  для межосевого расстояния свай в кусте:  $6d$

### La Barré (CSN 73 1002)

$$\eta_{\varepsilon} = 1 - \psi \left[ \frac{(n_x - 1)n_y + (n_y - 1)n_x}{90n_x n_y} \right]$$

$$\psi = \arctg \frac{d}{s}$$

где:  $n_x$  - число свай в направлении оси  $x$   
 $n_y$  - число свай в направлении оси  $y$   
 $\psi$  - численно равно углу, у которого  $\operatorname{tg} \psi = d/s$ , выражен в градусах  
 $s$  - межосевое расстояние свай  
 $d$  - диаметр свай

### формула Seiler-Keeney:

$$\eta_{\varepsilon} = \left[ 1 - 0,479 \left( \frac{s}{s^2 - 0,093} \right) \left( \frac{n_x + n_y - 2}{n_x + n_y - 1} \right) \right] + \frac{0,3}{n_x + n_y}$$

где:  $n_x$  - число свай в направлении оси  $x$   
 $n_y$  - число свай в направлении оси  $y$   
 $s$  - межосевое расстояние свай

### Задать показатель эффективности

Пользовательское задание показателя эффективности в интервале 0,5 - 1,0.

Литература:

*Pochman, R.; Simek, J.: Pilotové zaklady - Komentář CSN 73 1002. First edition, Prague, 1989.*

*Unified Facilities Criteria (UFC 3-220-01A): Design of deep foundations - Technical instructions, Chapter 5-3, 1997.*

*Venkatramiah, C.: Geotechnical Engineering. Second edition, New Delhi (India): New Age International Publishers, 1995.*

## Связный грунт (расчёт эффективности для необезвоженных условий)

Несущая способность призмы грунта (блока) рассчитывается по выражению:

$$R_{\varepsilon} = 2 \cdot l \cdot (b_x + b_y) \cdot c_{us} + N_{\varepsilon} \cdot c_{us} \cdot b_x \cdot b_y$$

где:  $l$  - длина свай  
 $b_x, b_y$  - размеры в плане основания призмы  
 $c_{us}$  - усреднённое тотальное удельное сцепление грунта вдоль тела свай (

$c_{ub}$  -тотальное удельное сцепление грунта в подошвах свай

$N_{cg}$  -коэффициент несущей способности для кустов свай в связном грунте

$$N_{cg} = 5 \cdot \left[ \left( 1 + 0,2 \cdot \frac{b_x}{b_y} \right) \cdot \left( 1 + 0,2 \cdot \frac{l}{b_x} \right) \right] \text{ для условия: } \frac{l}{b_x} \leq 2,5$$

$$N_{cg} = 7,5 \cdot \left( 1 + 0,2 \cdot \frac{b_x}{b_y} \right) \text{ для условия: } \frac{l}{b_x} > 2,5$$

где:  $b_x$  -минимальная ширина куста свай (более короткий из размеров в плане плиты фундамента)

**Примечание:** Блок грунта представляет собой призму, основание которой образует плоскость, построенная через подошвы свай, её стены - вертикальные плоскости, находящиеся на расстоянии одного диаметра сваи вне осей крайних рядов свай. Блок грунта, к которому приложена полная нагрузка куста свай, оказывает сопротивление сдвигом вдоль стен - **трением на боковой поверхности** а также сопротивлением своего основания- **подошвы**.

Собственно проверку проводят по теории **предельных состояний** или **коэффициента запаса**.

## Расчёт по коэффициенту запаса

При расчёте по **коэффициенту запаса** программа выполняет проверку **сжимаемого куста свай**:

$$\frac{R_g}{V_d + W_p} > SF_{cp}$$

где:  $R_g$  -вертикальная несущая способность куста свай

$V_d$  -максимальная вертикальная сила (включая собственную силу тяжести плиты фундамента)

$W_p$  -собственная сила тяжести свай (только если галочкой отмечена опция «**Собственный вес свай отнести к нагрузке**»)

$SF_{cp}$  -коэффициент запаса для сжимаемого куста свай

## Расчёт по предельным состояниям

При расчёте по **предельным состояниям** программа выполняет проверку куста свай в **несвязном грунте**:

$$R_g = n \frac{R_c}{\gamma_t} \eta_g \geq V_d + W_p$$

где:  $R_g$  -вертикальная несущая способность куста свай

$n$  -число свай в кусте



$R_c$	-вертикальная несущая способность одиночной сваи ( $R_b + R_s$ )
$\gamma_t$	коэффициент редукции общей вертикальной несущей способности
$\eta_g$	-эффективность куста свай
$V_d$	-максимальная вертикальная сила (включая собственную силу тяжести плиты фундамента)
$W_p$	-собственная сила тяжести свай (только если галочкой отмечена опция « <b>Собственный вес свай отнести к нагрузке</b> »)

При расчёте по **предельным состояниям** программа выполняет проверку куста свай в **связном грунте**:

$$\frac{R_g}{\gamma_t} \geq V_d + W_p$$

где:	$R_g$	-вертикальная несущая способность куста свай
	$V_d$	-максимальная вертикальная сила (включая собственную силу тяжести плиты фундамента)
	$W_p$	-собственная сила тяжести свай (только если галочкой отмечена опция « <b>Собственный вес свай отнести к нагрузке</b> »)
	$\gamma_t$	-коэффициент редукции общей вертикальной несущей способности

При проверке по **EN 1997-1** вертикальная несущая способность куста свай в связном грунте уменьшается с помощью коэффициента редукции сопротивления на подошве ( $\gamma_t = \gamma_b$ ).

## Осадка куста свай

### Несвязный грунт

В основу расчёта осадки куста свай в несвязном грунте легла **линейная теория осадки (Poulos)**. Кривая предельной нагрузки построена для куста свай а величина общей осадки  $s_g$  увеличивается на так наз. **показатель относительной осадки свайного куста  $g_f$** .

Мгновенная осадка куста свай увеличенная за счёт показателя относительной осадки свайного куста вычисляется с помощью выражения:

$$s_g = g_f \cdot s_0$$

$$g_f = \sqrt{\frac{b_x}{d}}$$

где:	$s_g$	-осадка куста свай
	$g_f$	-показатель относительной осадки свайного куста ( group settlement factor) у несвязных грунтов (по Pile Buck Inc. 1992)
	$s_0$	-осадка одиночной сваи (определено,напр., из <b>кривой предельной нагрузки</b> )
	$d$	-диаметр свай
	$b_x$	-мин. ширина куста свай

### Связный грунт

Осадка куста свай в связном грунте рассчитывается как осадка фиктивного плоского фундамента на глубине  $0,67 \cdot L$ , шириной  $B$  и длиной  $B'$ .

Методы расчёта осадки подробнее описаны в «Расчёт осадки».

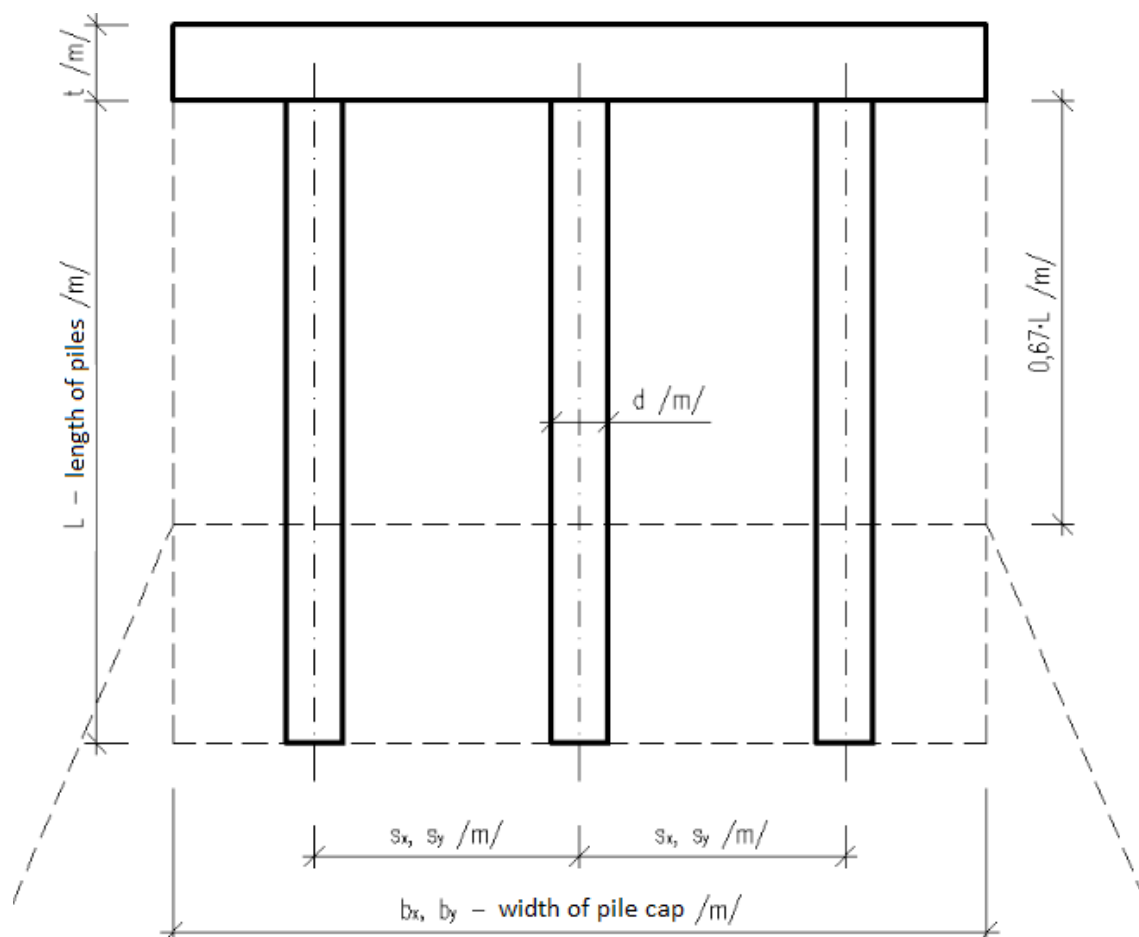
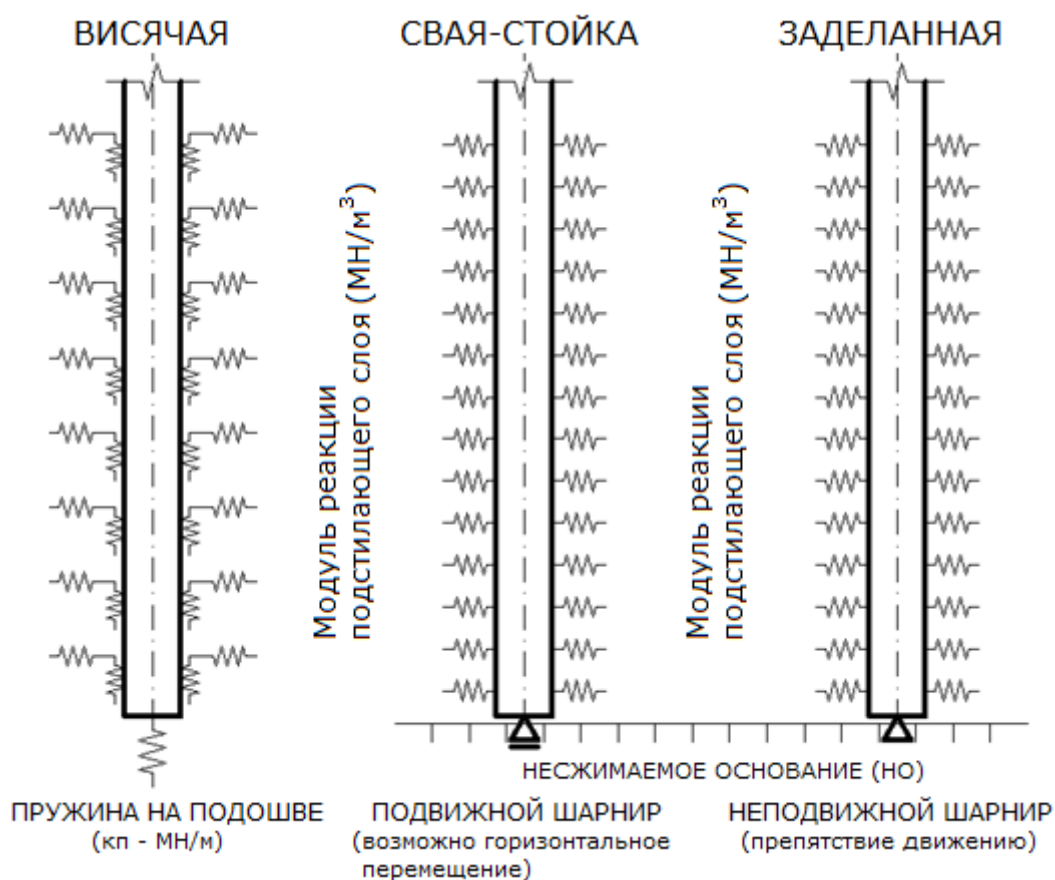


Схема фиктивного плоского фундамента - осадка куста свай в связном грунте длина свай в кусте ширина плиты фундамента

### Метод пружины

Для моделирования куста свай использован вариант деформаций МКЭ. Плита фундамента принимается бесконечно жёсткой. В общем случае нагрузку задают в центр плиты; нагрузку можно **импортировать** из любой статической программы.

Моделирование свай показано на рисунке:



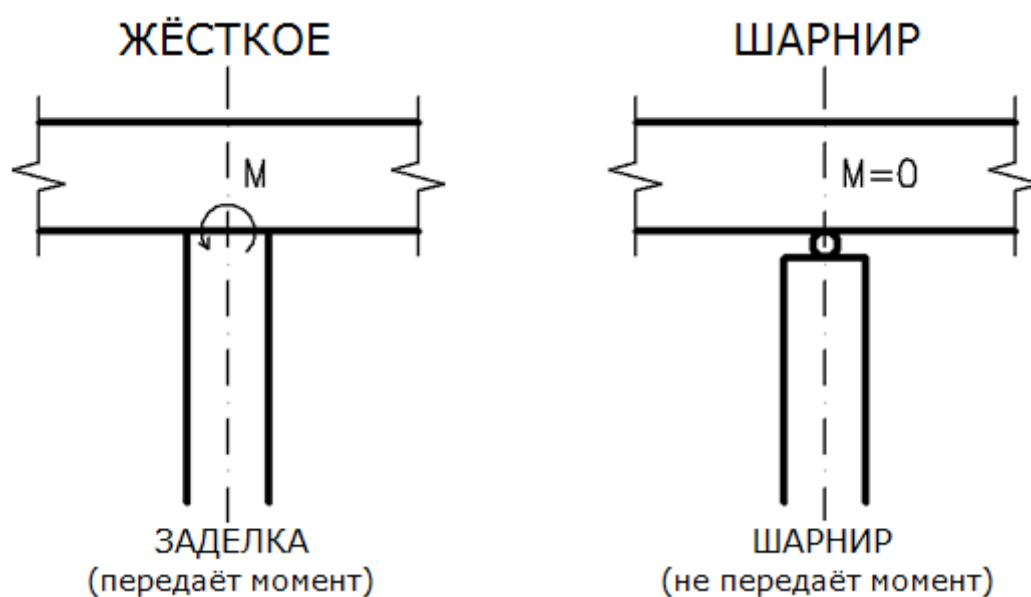
### Моделирование свай

Программа позволяет в рамке «**Настройка**» выбирать из четырёх способов моделирования свай:

1. Висячие сваи - жёсткость пружин вычислить по параметрам грунтов
2. Висячие сваи - **задать жёсткость пружин**
3. Сваи опираются на несжимаемое основание.
4. Сваи заземлённые в несжимаемом основании.

Во всех вариантах задают «**Горизонтальный модуль реакции подстилающего слоя**», который характеризует поведение сваи в поперечном направлении. У висячих свай нужно определить жёсткость пружин в вертикальном направлении. Программа позволяет **вычислить жёсткость вертикальных пружин** по характеристикам грунтов и характеристической нагрузке, или задавать их в рамку «**Вертикальные пружины**».

Соединение свай с плитой фундамента задают жёстким или шарнирным.



Соединение свай с плитой (выбираем в рамке «Настройка»)

Собственно расчёт конструкции выполнен по методу КЭ. Каждая свая разбивается на десять делений, в которых определена величина горизонтальных и вертикальных пружин. В расчёте крайних свай куста и внутренних свай уменьшается величина горизонтальной жёсткости и сдвиговая жёсткость в отличие от одиночной сваи - горизонтальная жёсткость уменьшена коэффициентом 0,5 для крайних свай, или 0,25 для внутренних свай; сдвиговая жёсткость уменьшена коэффициентом 0,5 для крайних свай, или 0,1 для внутренних свай. Такие редукции правильно характеризуют реальное поведение куста свай. Пружины на подошве сваи не подвергаются редукции.

## Вычисление жёсткости вертикальных пружин

Для вычисления жёсткости вертикальных пружин нужно задать в рамке «**Вертикальные пружины**» **типичную нагрузку**, с учётом которой будет определена жёсткость пружин. Предпочтительно задавать полезную нагрузку, которая наиболее верно характеризует поведение конструкции.

Порядок вычисления жёсткости пружин следующий:

1. Выполняется перерасчёт типичной нагрузки на отдельные сваи
2. Выполняется вычисление **сдвигающих вертикальных пружин** по свае в зависимости от параметров грунта
3. Выполняется вычисление вертикальной пружины в подошве сваи в зависимости от **жёсткости подстилающего слоя под подошвой сваи** и **глубины зоны деформации**. У растянутых свай пружина нулевая.

Таким образом вычисленные жёсткости сваи далее подвергаются редукции в зависимости от их расположения в кусте - сдвиговую жёсткость крайних и внутренних свай уменьшают коэффициентами 0,5 и 0,1 соответственно.

## Микросвая

Программа выполняет анализ микросвай (армированной стальной трубой)

- при помощи **коэффициента запаса**

- при помощи теории предельных состояний

В обоих случаях программа отдельно выполняет анализ **корневой части (корня)**, и отдельно анализ самого **тела микросваи** (сечения микросваи). В анализ тела микросваи можно ввести также анализ планового **срока службы микросваи**.

## Проверка по коэффициенту запаса

Программа проводит анализ трубы (тела) и корня микросваи:

### Проверка сечения (трубы)

Проверяются внутренняя устойчивость сечения и несущая способность сопряженного сечения.

#### 1. Внутренняя устойчивость сечения

$$\frac{N_{cr}}{N_{max}} > SF_f$$

где:

$N_{cr}$	-стандартная <b>критическая нормальная сила</b> , рассчитанная в соответствии с выбором метода в закладке « <b>Настройка расчёта</b> »
$N_{max}$	-максимальная нормальная сила, заданная в рамке « <b>Нагрузка</b> »
$SF_f$	-коэффициент запаса критической силы, заданный в закладке « <b>Микросваи</b> »

#### 2. Несущая способность сопряжённого сечения

$$\frac{R_s}{\sigma_s} > SF_s$$

где:

$R_s$	-стандартная прочность стали, заданная в рамке « <b>Материал</b> »
$\sigma_s$	-напряжение в стали, рассчитанное в соответствии со способом нагрузки (сечение нагружено только <b>осевой силой</b> или <b>моментом и осевой силой</b> )
$SF_s$	-коэффициент запаса несущей способности сечения, заданный в закладке « <b>Микросваи</b> »

### Проверка корня

$$\frac{Q}{N_{max}} > SF_r$$

где:

$Q$	-стандартная несущая способность корня микросваи, рассчитанная в зависимости от использованного метода (см. « <b>Устойчивость корневой части микросваи</b> »)
$N_{max}$	-максимальная нормальная сила, заданная в рамке « <b>Нагрузка</b> »
$SF_r$	-коэффициент запаса несущей способности корня, введенный в закладке « <b>Микросваи</b> »

## Проверка по предельным состояниям

Программа проводит анализ трубы (тела) и корня микросваи:

### Проверка сечения (тела)

Проверяются внутренняя устойчивость сечения и несущая способность сопряжённого сечения.

#### 1. Внутренняя устойчивость сечения

$$N_{\max} < N_{crd}$$

где:  $N_{\max}$  -максимальная нормальная сила, заданная в закладке «Нагрузка»  
 $N_{crd}$  -расчетная критическая нормальная сила

$$N_{crd} = \frac{N_{cr}}{\gamma_{mf}}$$

где:  $N_{cr}$  -стандартная критическая нормальная сила, рассчитанная в зависимости от метода, выбранного в закладке «Микросваи»  
 $\gamma_{mf}$  -поправочный коэффициент критической силы, заданный в закладке «Микросваи» (предельные состояния)

#### 2. Несущая способность сопряженного сечения

$$\sigma_s < R_{sd}$$

где:  $\sigma_s$  -напряжение в стали, рассчитанное в соответствии со способом нагрузки (сечение нагружено только одной осевой силой или моментом и осевой силой)  
 $R_{sd}$  -расчетная прочность стали

$$R_{sd} = \frac{R_s}{\gamma_{ss}}$$

где:  $R_s$  -стандартная прочность стали, заданная в рамке «Материал»  
 $\gamma_{ss}$  -коэффициент надежности стали, заданный в закладке «Микросваи» (предельные состояния)

### Проверка корня

$$N_{\max} < Q_{rd}$$

где:  $N_{\max}$  -максимальная нормальная сила, заданная в рамке «Нагрузка»  
 $Q_{rd}$  -расчетная несущая способность корня микросваи

$$Q_{rd} = \frac{Q}{\gamma_r}$$

где:  $Q$  -стандартная несущая способность корня, рассчитанная в зависимости от использованного метода (см. «Устойчивость корневой части микросваи»)

$\gamma_r$  - поправочный коэффициент несущей способности корня, введенный в закладке «Микросваи» (предельные состояния)

## Проверка трубы микросваи

При расчете устойчивости ствола (поперечного сечения микросваи) программа отличает микросваю растянутую или сжатую.

Для растянутой микросваи программа определяет **устойчивость спаренной части** (прочность цементного раствора на растяжение не учитывается).

Для сжатой микросваи программа анализирует **устойчивость спаренной части** и **внутреннюю устойчивость сечения**, в зависимости от метода, выбранного в закладке «Микросваи».

## Устойчивость спаренной части

При анализе устойчивости спаренной части, труба микросваи проверяется на разрушение вследствие нагрузки в результате **стандартной силы** или в **сочетании последней с моментом изгиба**.

При определении устойчивости спаренной части можно ввести воздействие предполагаемого **срока службы** микросваи.

## Срок службы микросваи

Срок службы микросваи вводится с помощью сокращения площади армирующей трубы поправочным **коэффициентом воздействия** коррозии стальной трубы  $r_e$  и коэффициентом  $F_{ut}$ , учитывающим соединение микросваи и окружающего грунта.

$$A_a = \frac{\pi}{4} \left[ (D - 2 \cdot r_e)^2 - (D - 2 \cdot t)^2 \right] F_{ut}$$

где:

$D$	- внешний диаметр армирующей трубы
$t$	- толщина стенки армирующей трубы
$F_{ut}$	- коэффициент, учитывающий соединение микросваи и окружающего грунта (0,5 až 1,0)
$r_e$	- <b>коэффициент воздействия коррозии стальной трубы</b>

Литература:

BS EN 14199:2005 Execution of special geotechnical works. Micropiles British-Adopted European Standard / 30-Mar-2005 / 52 pages ISBN: 0580457249

## Коэффициент воздействия коррозии стальной трубы

**Коэффициент воздействия коррозии стальной трубы**  $r_e$  [мм] (в соответствии с EN 14199)

Тип грунта	Требуемый срок службы микросваи [лет]				
	5	25	50	75	100
Грунт в естественном образовании	0,0	0,30	0,60	0,90	1,20
Грунт в естественном загрязненном образовании	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Органический грунт	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Рыхлый грунт	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
Особый грунт (содержит растворимые соли)	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75

Примечание: значения коэффициента воздействия коррозии стальной трубы  $r_e$  для промежуточных значений.

## Устойчивость поперечного сечения, нагруженного стандартной силой

### Стандартная сила растяжения

В случае силы растяжения напряжение в стальной части поперечного сечения рассчитывается по следующей формуле:

$$\sigma_s = \frac{N}{A_s}$$

где:

- $\sigma_s$  - напряжение в стали
- $N$  - стандартная сила, действующая в секции
- $A_s$  - площадь стальной части поперечного сечения

### Стандартная сила сжатия

Устойчивость поперечного сечения при сжатии, уменьшенная коэффициентом продольного изгиба, определяется по формуле:

$$N_{c,u} = \chi \cdot (A_s \cdot R_{sd} + A_c \cdot R_{cd})$$

где:

- $\chi$  - коэффициент продольного изгиба
- $A_s$  - площадь стальной части поперечного сечения
- $A_c$  - площадь бетонного раствора поперечного сечения микросваи
- $R_s$  - расчетная прочность стали
- $d$
- $R_c$  - расчетная прочность бетонного раствора в сжатии
- $d$



Расчетные прочности равняются стандартным значениям в анализе по коэффициенту надежности.

Расчетные прочности стали и бетонного раствора рассчитываются в анализе по теории предельных состояний по следующим формулам:

$$R_{sd} = \frac{R_s}{\gamma_{ms}}$$

$$R_{cd} = \frac{R_c}{\gamma_{mc}}$$

где:  $R_s$  - стандартная прочность стали, введенная в закладке «Материал»  
 $\gamma_{ms}$  - коэффициент надежности стали, введенный в закладке «Установки»  
 $R_c$  - стандартная прочность бетонного раствора в сжатии, введенная в закладке «Материал»  
 $\gamma_{mc}$  - коэффициент бетонного раствора, введенный в закладке «Установки»

Напряжение в стальной части поперечного сечения определяется по формуле:

$$\sigma_s = \frac{N}{N_{c,u}} \cdot R_{sd}$$

где:  $N$  - стандартная сила, действующая в секции  
 $N_{c,u}$  - устойчивость поперечного сечения в сжатии, уменьшенная коэффициентом продольного изгиба  
 $R_{sd}$  - расчетная прочность стали

## Устойчивость поперечного сечения, нагруженного стандартной силой в сочетании с моментом изгиба

Поперечное сечение, нагруженное стандартной силой в сочетании с моментом изгиба, требует определения нейтральной оси, разделяющей поперечное сечение на **растянутую** и **сжатую** часть. При определении места положения нейтральной оси учитывается влияние продольного изгиба, т.е. стандартная сила увеличивается разделением ее на коэффициент продольного изгиба  $\chi$ . Определение места положения нейтральной оси проводится по методу предельного равновесия, используемого для измерения бетонных поперечных сечений, армированных сталью. Сжатие передается частью стальной трубы и бетонного раствора. Растяжение принимается оставшейся частью трубы. Бетонный раствор в растяжении не учитывается.

Устойчивость в изгибе определяется по формуле:

$$M_u = R_{sd} \cdot (A_{s,t} \cdot t_{s,t} + A_{s,c} \cdot t_{s,c}) + R_{cd} \cdot A_{c,c} \cdot t_{c,c}$$

где:  $R_s$  - расчетная прочность стали

$d$  $A_{s,t}$  - площадь растянутой части стальной трубы микросваи $t$  $A_{s,c}$  - площадь сжатой части стальной трубы микросваи $c$  $A_{c,c}$  - площадь сжатой бетонного раствора трубы $c$  $t_{s,t}$  - место положение центра растянутой стальной части $t_{s,c}$  - место положение центра сжатой стальной части $t_{c,c}$  - место положение центра сжатой части бетонного раствора $R_c$  - расчетная прочность бетонного раствора в сжатии $d$ 

Расчетные прочности равняются стандартным значениям в анализе по коэффициенту надежности.

Расчетные прочности стали и бетонного раствора рассчитываются в анализе по теории предельных состояний по следующим формулам:

$$R_{sd} = \frac{R_s}{\gamma_{ms}}$$

$$R_{cd} = \frac{R_c}{\gamma_{mc}}$$

где:  $R_s$  - стандартная прочность стали, введенная в закладке «Материал»

$\gamma_{ms}$  - коэффициент надежности стали, введенный в закладке «Установки»

$R_c$  - стандартная прочность бетонного раствора в сжатии, введенная в закладке «Материал»

$\gamma_{mc}$  - коэффициент бетонного раствора, введенный в закладке «Установки»

 $c$ 

Напряжение в стальной части поперечного сечения определяется по формуле:

$$\sigma_s = \frac{M}{M_u} \cdot R_{sd}$$

где:  $M$  - стандартная сила, действующая в секции

$M_u$  - устойчивость при изгибе

$R_{sd}$  - расчетная прочность стали

## Влияние продольного изгиба

Перед началом анализа определяется характер идеального поперечного сечения, в котором действие поперечного сечения бетонного раствора передается стали. Гибкость

элемента определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i}$$

где:  $l_{cr}$  - длина изгиба элемента  
 $i$  - радиус вращения идеального поперечного сечения

$$l_{cr} = \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot \pi^2}{N_{cr}}}$$

где:  $E$  - модуль упругости идеального поперечного сечения  
 $I$  - момент инерции идеального поперечного сечения  
 $N_{cr}$  - **стандартная критическая рабочая сила**, рассчитанная в зависимости от метода, выбранного в закладке «**Микросваи**»

Рекомендуемая гибкость  $\lambda_p$  определяется следующим образом:

$$\lambda_p = \lambda \sqrt{\frac{R_{sd}}{210}}$$

где:  $R_{sd}$  - расчетная прочность стали (в расчете, основанном на коэффициенте надежности расчетная прочность равна стандартной)

$$R_{sd} = \frac{R_s}{\gamma_{ss}}$$

где:  $R_s$  - стандартная прочность стали, введенная в закладке «**Материал**»  
 $\gamma_{ss}$  - коэффициент надежности стали, введенный в закладке «**Микросваи**» (предельные состояния)

Коэффициент продольного изгиба  $\chi$  определяется в соответствии с гибкостью  $\lambda_p$  по следующим формулам:

$$\chi = \frac{1}{2} \left[ 1,26 + \left( \frac{93}{\lambda_p} \right)^2 \right] - \sqrt{\frac{1}{4} \left[ 1,26 + \left( \frac{93}{\lambda_p} \right)^2 \right]^2 - \left( \frac{93}{\lambda_p} \right)^2} \quad \text{for : } \lambda_p \leq 250$$

$$\chi = \left\{ \frac{1}{2} \left[ 1,26 + \left( \frac{93}{250} \right)^2 \right] - \sqrt{\frac{1}{4} \left[ 1,26 + \left( \frac{93}{250} \right)^2 \right]^2 - \left( \frac{93}{250} \right)^2} \right\} \left( \frac{250}{\lambda_p} \right)^{for : \lambda_p > 250}$$

## Внутренняя устойчивость секции

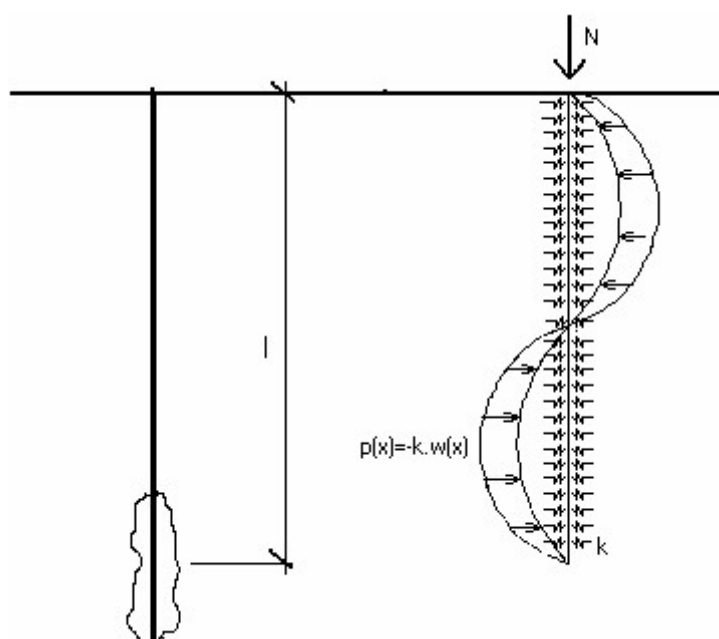
Внутренняя устойчивость секции определяет разрушение микросваи вследствие продольного изгиба в окружающем грунте. Решающим моментом при определении

внутренней устойчивости является расчет стандартной силы  $N_{cr}$ , которая зависит от длины микросваи, окружающего грунта и иных условий. Пользователь может выбрать один из методов решения в закладке «Микросваи» для расчета критической стандартной  $N_{cr}$ :

- геометрический метод (Эйлера)
- теория Саласа
- теория Вес-Суше

## Геометрический метод (Эйлера)

Грунт, окружающий микросваю, представлен в программе модулем реакции подгрунта  $E_p$  (постоянная Винклера  $k$ ), определенным пользователем в закладке «Проверка поперечного сечения». На рисунке представлена модель конструкции.



Модель конструкции

Для микросваи в сжатии предполагается, что количество полуволн зависит от геометрии и жесткости структуры окружающего грунта соответственно. Решение в этом случае следует из уравнения изгиба прямой балки.

$$w''' = -\frac{M + N \cdot w}{E \cdot I}$$

После ряда преобразований уравнение изгиба можно представить в следующем виде:

$$w_{(x)} = C_1 \cdot \cos(A \cdot x) + C_2 \cdot \sin(A \cdot x) + C_3 \cdot \cos(B \cdot x) + C_4 \cdot \sin(B \cdot x)$$

где:

$$A = \sqrt{\frac{\alpha^2}{2} + \sqrt{\frac{\alpha^4}{2} - 4 \cdot \beta^4}}$$

$$B = \sqrt{\frac{\alpha^2}{2} - \sqrt{\frac{\alpha^4}{2} - 4\beta^4}}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{N}{E \cdot I}}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4 \cdot E \cdot I}}$$

Постоянные интегрирования определяются из 4 краевых условий в зависимости от принятых опор конечных точек.

**Если на обоих концах имеются шарниры**, можно вывести следующее уравнение:

$$N_{cr} = E_i \cdot I_i \cdot \frac{\pi^2}{l_p^2} \cdot n^2 + E_p \frac{l_p^2}{\pi^2} \cdot n^{-2}$$

если количество полуволн имеет вид:

$$n^2 = \sqrt{\frac{E_p}{E_i \cdot I_i} \cdot \frac{l_p^2}{\pi^2}}$$

где:

- $E_i$  - модуль упругости идеального поперечного сечения
- $I_i$  - момент инерции идеального поперечного сечения
- $l_p$  - длина микросваи
- $E_p$  - модуль реакции подгрунта
- $n$  - количество полуволн

**Если допустить наличие шарнира на одном конце и закрепленный конец на другой стороне**, получается следующее уравнение:

$$N_{cr} = E_i \cdot I_i \frac{\pi^2}{2 \cdot l_p^2} \cdot n + E_p \frac{4 l_p^2}{\pi^2} \cdot n^{-2}$$

если количество полуволн имеет вид:

$$n^2 = \sqrt{\frac{E_p}{E_i \cdot I_i} \cdot \frac{4 l_p^2}{\pi^2}}$$

где:

- $E_i$  - модуль упругости идеального поперечного сечения

$I_i$  - момент инерции идеального поперечного сечения

$l_p$  - длина микросваи

$E_p$  - модуль реакции подгрунта

$n$  - количество полуволн

Сила  $N_{cr}$  определяется решением следующего уравнения:

$$l_{cr} = \sqrt{\frac{E_i \cdot I_i \cdot \pi^2}{N_{cr}}}$$

где:  $E_i$  - модуль упругости идеального поперечного сечения

$I_i$  - момент инерции идеального поперечного сечения

$N_{cr}$  - критическая стандартная сила

$l_{cr}$  - длина изгиба поперечного сечения микросваи в сжатии

## Теория Саласа

Критическая сила  $N_{cr}$  для базовых условий опор в головке микросваи (определяет отклонение микросваи) рассчитывается по формуле:

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{E_a \cdot I_a}{(l + l_{ef})^2} \cdot A$$

где:  $E_a I_a$  - жесткость изгиба армирующей трубы микросваи

$l$  - свободная длина длины микросваи

$l_{ef}$  - длина фиктивного закрепленного конца

$A$  - постоянная, выражающая тип опоры в головке микросваи

$$l_{ef} = 1,2 \cdot f \cdot l_e$$

где:  $f$  - коэффициент, зависящий от соотношения модуля упругости грунта в головке и основании микросваи

$l_e$  - упругая длина микросваи определяется по формуле:

$$l_e = \left( \frac{3 \cdot E_a \cdot I_a}{E_l} \right)^{\frac{1}{4}}$$

где:  $E_a I_a$  - жесткость изгиба армирующей трубы микросваи

$E_l$  - модуль упругости грунта в основании микросваи

**Литература:**

Jiménez Salas J.A. a kol: *Geotecnia y Cimientos III, Capitulo 3, Rueda, Madrid (Spanish)*.

## Постоянная $A$ , выражающая тип опоры в головке микросваи

Постоянная  $A$ , выражающая тип опоры в головке микросваи

Тип опоры в головке микросваи	$A$ [-]
Шарнир	2,045
Свободная	0,25
зафиксированная	4,0
Движущаяся горизонтально	1,0

## Коэффициент $f$

Коэффициент  $f$

$E_o / E_l^{1)}$ [-]	$f$ [-]
0	1,70
0,5	1,25
1	1,00

<sup>1)</sup>  $E_o$  - модуль упругости грунта под поверхностью земли (у головки микросваи)

$E_l$  - модуль упругости грунта у корня микросваи

## Теория Вес-Суше

Расчет силы  $N_c$  производится на основании графика, опубликованного авторами Вес и Суше (см. литературу). График для определения критической стандартной силы  $N_{cr}$  строится для безразмерных величин  $\omega, m$ :

$$\frac{N_{cr} \cdot l_p^2}{\pi^2 \cdot E_a \cdot I_a}, \omega, m = \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt[4]{\frac{E_{rd}}{E_a \cdot I_a}}$$

где:  $l_p$  - длина микросваи

$E_a I_a$  - жесткость изгиба армирующей трубы микросваи

$\omega$  - соотношение свободной длины микросваи (от начала основы) и ее длины в грунте

$E_{rd}$  - расчетное значение модуля горизонтальной реакции

$$E_{rd} = \frac{E_r}{F_w}$$

где:  $E_r$  - реакция грунта в горизонтальном направлении  
 $F_w$  - коэффициент сокращения значения  $E_r$  ( $F_w = 1,25$ )

Литература:

Véase, Souche: Étude du flambement de pieux partiellement immergés dans offrant latéralement une réaction élastique pure, Annales de l'ITBTP, No. 423, Sene Soils et Foundations, 187, mars - avril 1984, str. 38 - 60 (French).

## Модуль горизонтальной реакции подгрунта

Грунт, окружающий микросвай, можно представить при помощи горизонтальной пружины вдоль микросвай, которую характеризует постоянная Винклера  $k$ . Для продольного изгиба микросвай в грунте направление оси  $x$  можно записать:

$$p_h = k_h \cdot x = E_p \cdot x$$

где:  $p_h$  - реакция грунта, вызванная сдвигом микросвай в направлении оси  $x$  (грунт в сжатии)  
 $k_h$  - жесткость пружины Винклера (модуль реакции подгрунта  $E_p$ )  
 $x$  - сдвиг микросвай в направлении оси  $x$

Если рассматривать реакцию грунта, давящего на микросвай, из расчета на  $l$  погонный метр, получаем выражение:

$$p_h = E_r \cdot x$$

где:  $E_r$  - реакция грунта в горизонтальном направлении  
 $P_h$  - реакция грунта, вызванная сдвигом микросвай в направлении оси  $x$  из расчета на  $l$  погонный метр микросвай  
 $x$  - сдвиг микросвай в направлении оси  $x$

Вышеприведенные уравнения определяют отношение между модулем реакции подгрунта  $E_p$  [ $\kappa\text{H}/\text{м}^3$ ] и реакцией грунта в горизонтальном направлении  $E_r$  [ $\kappa\text{H}/\text{м}^2$ ] (принимая постоянную  $E_g$  в грунте):

$$E_r = k_h \cdot D = E_p \cdot D$$

где:  $D$  - диаметр микросвай  
 $k_h$  - жесткость пружины Винклера (модуль реакции подгрунта  $E_p$ )

Реакцию грунта в горизонтальном направлении  $E_r$  можно рассчитать на основании модуля  $E_m$ .



## Расчёт модуля горизонтальной реакции подстилающего слоя $E_r$

Модуль горизонтальной реакции подстилающего слоя  $E_r$  можно рассчитать при знании модуля прессиометра  $E_m$  и коэффициента  $\alpha_p$ :

$$E_r = E_m \cdot \frac{6}{\frac{4}{3}(2,65)^{\alpha_p} + \alpha_p}$$

где:  $E_m$  - модуль прессиометра (Menard) [МПа]  
 $\alpha_p$  - коэффициент типа грунта (см. таблицу ниже)

### Ориентировочные значения $E_m$ и $P_{lim}$

Грунт		$E_m$ [Мпа]	$P_{lim}$ [МПа]
несвязный	рыхлый	0 - 3,5	0 - 0,5
	средней плотности	3,5 - 12	0,5 - 1,5
	плотный	12 - 22,5	1,5 - 2,5
	Очень плотный	> 22,5	> 2,5
связный	вязкий	0 - 2,5	0 - 0,2
	мягкий	2,5 - 5	0,2 - 0,4
	жесткий	5 - 12	0,4 - 0,8
	плотный	12 - 25	0,8 - 1,6
	твердый	> 25	> 16

### Значения коэффициента типа грунта $\alpha_p$

Тип грунта	Торф	Глина, ил		Отложения		Пески		Пески и гравий	
	$\alpha_p$	$E_m / P_{lim}$	$\alpha_p$	$E_m / P_{lim}$	$\alpha_p$	$E_m / P_{lim}$	$\alpha_p$	$E_m / P_{lim}$	$\alpha_p$
переуплотнённый	1	> 16	1.0	> 14	0.67	> 12	0.5	> 10	0.33
нормально уплотнённый	1	9 - 16	0.67	8 - 14	0.5	7 - 12	0.33	6 - 10	0.25
неуплотнённый	-	7 - 9	0.5	5 - 8	0.5	5 - 7	0.5	-	0.25

Литература:

Menard, L. F.: *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montreal, Vol. 2, 1965, pp. 295 - 299 (table 2.29 a 2.30).*

## Значения модуля реакции подгрунта $E_p$

Значения модуля реакции подгрунта  $E_p = k_h [МН/м^3]$

Грунт	$E_p \text{ Min/Max } [МН/м^3]$	Среднее значение $k_h = E_p [МН/м^3]$
Мягкая глина	2,0 - 5,0	3,5
Жесткая глина	3,0 - 8,0	5,5
Твердая глина	6,0 - 16,0	11,0
Песок естественно влажный, рыхлый	6,0 - 13,0	9,5
Песок естественно влажный, средней плотности	20,0 - 40,0	30,0
Песок естественно влажный, плотный	45,0 - 90,0	67,5
Песок водосодержащий, рыхлый	4,0 - 8,0	6,0
Песок водосодержащий, средней плотности	10,0 - 20,0	15,0
Песок водосодержащий, плотный	30,0 - 60,0	45,0
Песчаная глина мягкая	3,0 - 6,0	4,5
Песчаная глина жесткая	5,0 - 9,0	7,0
Песчаная глина твердая	8,0 - 17,0	12,5
Глинистый песок влажный, рыхлый	4,0 - 9,0	6,5
Глинистый песок влажный, средней плотности	12,0 - 32,0	22,0
Глинистый песок влажный, плотный	24,0 - 44,0	34,0
Глинистый песок влажный водосодержащий, рыхлый	3,5 - 6,5	5,0

Глинистый песок влажный водосодержащий, средней плотности	7,0 - 11,0	9,0
Глинистый песок влажный водосодержащий, плотный	11,5 - 13,5	12,5

## Устойчивость корневой части микросваи

Устойчивость микросваи можно рассчитать, используя один из методов, приводимых в литературе и стандартах. Программа GEO5 «Микросвая» предлагает ряд методов, представляющих собой основные подходы к расчету устойчивости корневой части микросваи. Анализ проводится в соответствии с установками в закладке «Микросваи» при помощи одной из следующих теорий:

- Теория Лиззи - задаётся усреднённое предельное трение на поверхности корневой части
- Теория Литтлджона - задаётся давление подачи (цементного) раствора
- Теория Цвека - в основе метода геостатическое напряжение и параметры окружающего грунта
- Теория Боуля - в основе метода геостатическое напряжение и параметры окружающего грунта
- Теория Веса - задаются способ установки микросваи и параметры окружающего грунта
- Корневая часть в породе - задаются параметры окружающего грунта
- Bustamante - в основу расчёта берут результаты SPT испытаний или прессиометрических испытаний (PMT)

## Теория Лиззи

Теория Лиззи - наиболее распространённый метод. Устойчивость корневой части определяется по формуле:

$$Q = \pi \cdot d \cdot l \cdot \tau_m \cdot J$$

- где:
- $d$  - диаметр корня
  - $l$  - длина корня
  - $\tau_m$  - усреднённое предельное трение боковой поверхности
  - $J$  - коэффициент, выражающий влияние диаметра скважины

Коэффициент  $J$  выражает влияние диаметра скважины и принимает значение 1,0 для скважины до 100 мм и 0,8 для скважины больше 200 мм.

Значение среднего предельного трения на боковой поверхности корня микросваи можно найти в литературе. В программу встроены три таблицы с ориентировочными значениями предельного трения на боковой поверхности. Первая таблица создана авторами

программы на основании доступной литературы, во второй приведены значения  $\tau_m$  по DIN 4128, а в третью вошли данные опубликованные авторами Klein и Mišov («Inženýrské stavby, 1984»). В третьей таблице представлены замеренные значения трения на боковой поверхности корней анкеров для разных грунтов, диаметров корней, количества инъектажей и т.д. - использование этой таблицы даёт весьма реальные результаты.

#### Литература:

Lizzi, F. (1982). "The pali radice (root piles)". Symposium on soil and rock improvement techniques including geotextiles, reinforced earth and modern piling methods, Bangkok, D-3.

## Трение поверхности корня микросваи

**Эталонные значения предельного трения поверхности** (рекомендуемые авторами)

Грунт	Трение поверхности [kPa]
Мягкая глина	40 - 60
Жесткая глина	65 - 85
Твердая глина	130 - 170
Песок естественно влажный, рыхлый	110 - 150
Песок естественно влажный, средней плотности	140 - 180
Песок естественно влажный, плотный	170 - 230
Песок водосодержащий, рыхлый	80 - 130
Песок водосодержащий, средней плотности	120 - 160
Песок водосодержащий, плотный	160 - 200
Песчаная глина мягкая	50 - 70
Песчаная глина жесткая	75 - 95
Песчаная глина твердая	125 - 165
Глинистый песок влажный, рыхлый	90 - 135
Глинистый песок влажный, средней плотности	135 - 165
Глинистый песок влажный, плотный	150 - 170
Глинистый песок влажный водосодержащий, рыхлый	80 - 105

Глинистый песок влажный водосодержащий, средней плотности	<i>90 - 130</i>
Глинистый песок влажный водосодержащий, плотный	<i>115 - 155</i>

**Значения предельного трения поверхности по DIN 4128**

Грунт	Среднее предельное трение поверхности	
	Сваи в сжатии [kPa]	Сваи в растяжении [kPa]
Песок средне- и крупнозернистый	<i>200</i>	<i>100</i>
Песок и гравийный песок	<i>150</i>	<i>80</i>
Связный грунт	<i>100</i>	<i>50</i>

**Рекомендуемые параметры анкерных корней** (Mišove, Klein, Inženýrské stavby 5/1986)

Тип опоры микросваи в верхней части	Конечное давление цементации [МПа]	Количество цементаций	Диаметр корневой части [мм]	Длина корневой части [м]	Трение поверхности [кПа]
Основная порода	-	0	120	5 - 3	1000 - 1600
Слабо выветрившаяся основная порода	0,5 - 3,0	0 - 1	120 - 220	7 - 3	300 - 1000
гравий, инъекционный грунт	1,0	1 - 2	250 - 400	7 - 5	250 - 320
гравий, неинъекционный грунт	2,0 - 4,0	1 - 2	280 - 350	7 - 5	230
Средне- и мелкозернистый песок	1,5 - 4,0	2 - 3	220 - 350	12 - 7	150 - 180
Связный жесткий и твердый грунт	1,5 - 3,0	1 - 3	200 - 280	17 - 8	130 - 190
Связный твердый и жестко-пластичный грунт	1,0 - 2,5	2 - 3	150 - 400	20 - 9	100 - 130
Связный мягко-пластичный грунт	0,5 - 2,0	3 - 4	300 - 450	27 - 13,5	50 - 70

## Теория Литтлджона

При использовании метода Литтлджона устойчивость корня рассчитывается по формуле:

$$Q = \pi \cdot d \cdot l \cdot p_i$$

где:  $d$  - диаметр корня  
 $l$  - длина корня  
 $p_i$  - значение давления цементации

Экспериментальные измерения микросвай показывают, что их устойчивость также зависит от давления цементации (ход цементации часто определяет устойчивость самой микросвай). Устойчивость значительно повышается при повторной цементации. Давление цементации варьируется от 0,1 до 3 МПа, в некоторых случаях оно может достигать 10 МПа. Метод Литтлджона представляет устойчивость прямо пропорционально давлению цементации.

*Литература:*

LITTLEJOHN, G. S. y BRUCE, D. A. (1975).: "Rock Anchors -State of the Art. Part 1. Design".  
En Ground Engineering, Vol. 8, N° 4.

## Теория Цвека

Методы Цвека и Боуля были разработаны для анализа анкерных корней. Они зависят, прежде всего, от геостатического напряжения в месте расположения корня микросваи. Эти методы основываются на оющих принципах: значение давления сокращается при помощи коэффициента статического давления  $K_o$ .

$$Q = \pi \cdot d \cdot l \cdot \frac{1 + K_o}{2} \cdot \sigma_z \cdot \tan \varphi$$

$$K_o = 1 - \sin \varphi$$

где:

$d$	-диаметр корня
$l$	-длина корня
$K_o$	-значение статического давления
$\sigma_z$	-среднее геостатическое напряжение в корне микросваи
$\varphi$	-среднее значения угла трения в корне микросваи

## Теория Боуля

Теория Боуля позволяет включить в анализ влияние сцепления на устойчивость корня. Поэтому она более всего подходит для связных грунтов.

$$Q = \pi \cdot d \cdot l \cdot \sigma_z \cdot K_o \cdot \tan \varphi + \pi \cdot d \cdot l \cdot c$$

$$K_o = 1 - \sin \varphi$$

где:

$d$	-диаметр корня
$l$	-длина корня
$K_o$	-значение статического давления
$\sigma_z$	-среднее геостатическое напряжение в корне микросваи
$\varphi$	-среднее значения угла трения в корне микросваи

Литература:

J.E. Bowles - Foundation Analysis and Design, McGraw Hill book Company

## Теория Веса

Данная теория учитывает действие геостатического напряжения в корне микросваи и ход цементирования.

**Устойчивость корня микросваи определяется по формуле:**

$$Q = R_{bk} + R_{sk}$$

где:  $R_{bk}$  –устойчивость корня микросваи  
 $R_{sk}$  –устойчивость аоверхности корня микросваи

**Устойчивость поверхности микросваи:**

$$R_{sk} = \sum_{i=1}^n A_{si} \cdot q_{si}$$

где:  $n$  –количество слоев, пройденных корнем микросваи  
 $A_{si}$  –площадь опоры основы микросваи в i-ом слое  
 $q_{si}$  –трение поверхности в i-ом слое

**Устойчивость корня микросваи определяется по формуле:**

$$R_{bk} = 0,15 \cdot R_{sk}$$

Трение поверхности  $q_s$  на глубине  $z$  под поверхностью земли:

$$q_s(z) = \frac{c}{F_c} + \sigma_h(z) \frac{\tan \delta}{F_\varphi}$$

где:  $z$  –глубина  $z$  под поверхностью земли, на которой определяет значения трения поверхности  
 $c$  –действительное сцепление грунта на глубине  $z$   
 $\delta$  –угол трения вдоль стыка корня микросваи и грунта на глубине  $z$ :

$$\delta \in \left\langle \frac{2}{3} \varphi'; \varphi' \right\rangle$$

$\varphi'$  –действительный угол внутреннего трения грунта на глубине  $z$   
 $\sigma_h(z)$  –горизонтальный компонент геостатического напряжения на глубине  $z$ :

– для хода цементации типов IR и IRS (с проверкой давления цементации)и глубины  $z \geq 5$  м:

$$\sigma_h(z) = K_o \cdot \sigma_v(z) + \frac{P_i}{3}$$

иные случаи:

$$\sigma_h(z) = K_o \cdot \sigma_v(z)$$

$K_o$  –коэффициент статического давления грунта  
 для грунта с нормальным уплотнением:

$$K_o = 1 - \sin \varphi'$$

для переуплотненного грунта:



$$K_o = (1 - \sin \varphi) \cdot \sqrt{OCR}$$

$\sigma_v(z)$  вертикальный компонент геостатического напряжения на глубине  $z$ )

$p_i$  давление цементации при ходе цементации типа IR и IRS и глубины  $z \geq 5$  м, в иных случаях  $p_i = 0$

$F_c$ , коэффициенты типа применения микросваи

$F_\varphi$

Литература:

Véase, Souche: Étude du flambement de pieux partiellement immergés dans offrant latéralement une réaction élastique pure, Annales de l'ITBTP, No. 423, Sene Soils et Foundations, 187, mars - avril 1984, str. 38 - 60 (French).

## Коэффициенты типа применения микросваи

Коэффициенты типа применения микросваи

Тип применения микросваи	$F_c$ [-]	$F_\varphi$ [-]
Новые основания	1,50	1,50
Существующие основания	1,20	1,20

## Устойчивость корня в горной породе

Это решение подходит для анализа корня микросваи в породе с индексом  $RQD > 60$  или прочностью при простом сжатии  $\sigma_c > 20$  МПа (ISRM < III). Устойчивость корня рассчитывается по формуле:

$$Q = A_s \cdot q_{sr} + A_b \cdot q_{br}$$

где:

- $A_s$  - площадь опоры корня микросваи
- $q_{sr}$  - трение поверхности в породе
- $A_b$  - площадь корня микросваи
- $q_{br}$  - устойчивость корня микросваи в породе

Литература:

Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera, Ministerio de fomento, 2005 (Spanish).

## Трение поверхности и устойчивость корня микросваи в породе

Трение поверхности  $q_{sr}$  и устойчивость корня микросваи в породе  $q_{br}$

Тип породы	$q_{sr}$ [МПа]	$q_{br}$ [МПа] <sup>1)</sup>
отложения	0,15 - 0,40	0,07 $\sigma_c$
сланцы и илы	0,20 - 0,30	0,07 $\sigma_c$
песчаники	0,30 - 0,45	0,07 $\sigma_c$
известняки и доломиты	0,40 - 0,50	0,10 $\sigma_c$
гранит, базальт	0,40 - 0,60	0,10 $\sigma_c$

1)  $\sigma_c$  - прочность при простом сжатии [МПа]

## Метод Бустаманте (СПТ, Прессиометр РМТ)

Основой для расчёта несущей способности корневой части микросваи являются результаты стандартных пенетрационных испытаний (SPT) или прессиометрических испытаний (РМТ).

Величину напряжения на боковой поверхности корня микросваи  $q_s$  [МПа] считываем из графиков по Бустаманте, разных в зависимости от типа грунта и технологии инжестирования.

Несущую способность на боковой поверхности микросваи  $R_s$  определяем по формуле:

$$R_s = \sum \pi d_r l_r q_s$$

где:

- $d_r$  - диаметр корня микросваи
- $l_r$  - длина корня микросваи
- $q_s$  - напряжение на боковой поверхности корня микросваи (значение определяем по графику)

Несущей способностью на пяте корня микросваи  $R_b$  при расчёте или пренебрегаем или определяем как:

$$R_b = 0,15 R_s$$

где:  $R_s$  - несущая способность на боковой поверхности корня микросваи

Величину несущей способности  $R_b$  в программе можно вычислить по формуле:

$$R_b = A_p k_p p_{LM}$$

где:

- $A_p$  - площадь сечения пяты корня микросваи
- $k_p$  - фактор грунта около пяты корня микросваи

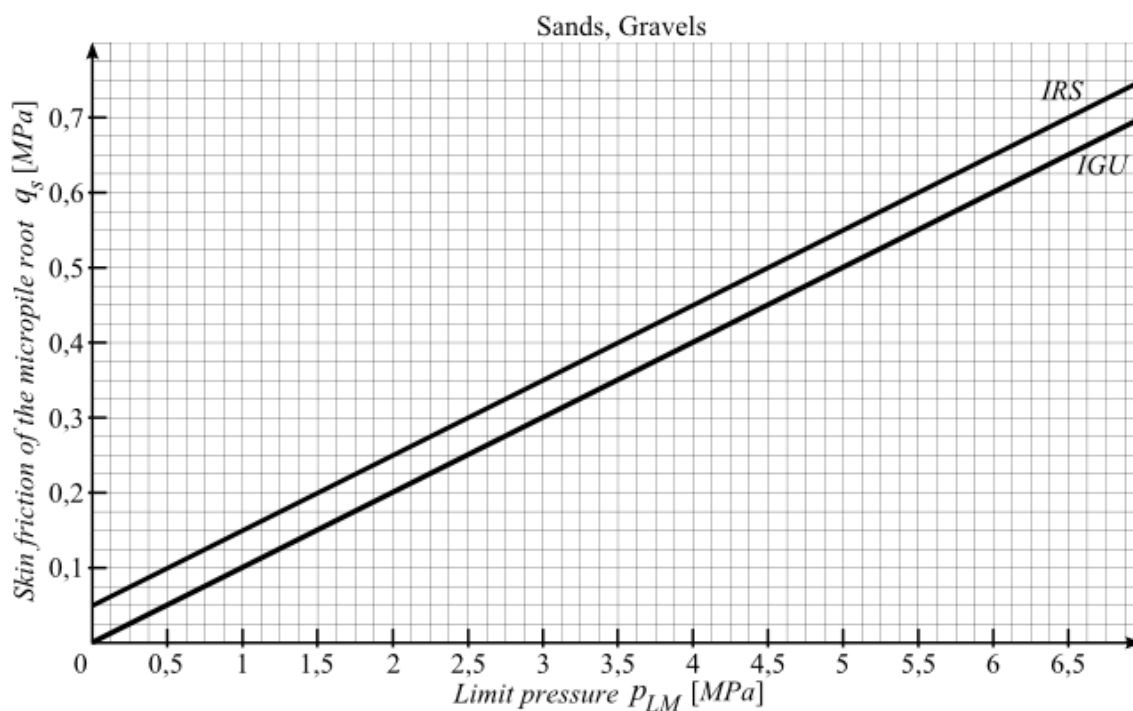
$p_{LM}$  -предельное давление грунта по Менарду

## Напряжение на боковой поверхности корня микросваи - графы

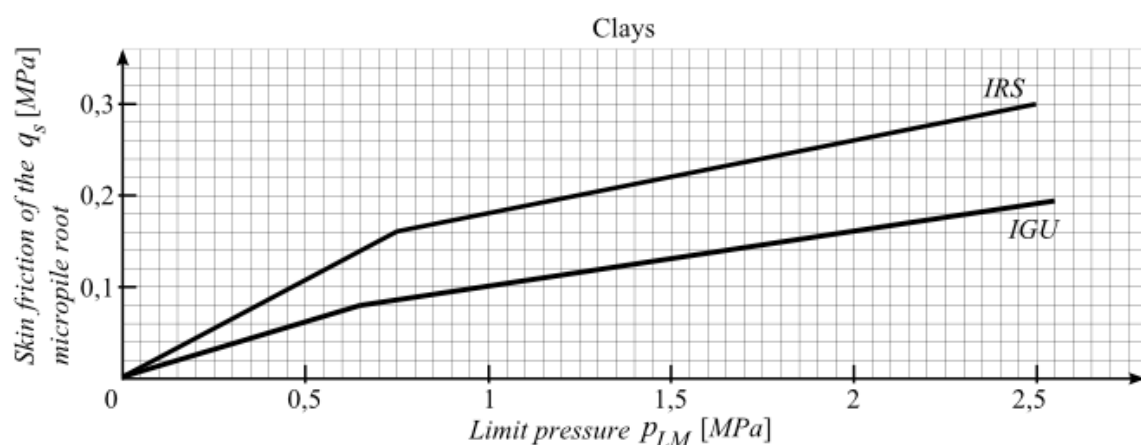
На расчёт несущей способности боковой поверхности микросваи  $R_s$  большое влияние оказывает **способ инъектировки** корня микросваи. Программа принимает во внимание следующие возможности инъектировки:

- **IRS**: повторное избирательное инъектирование корня микросваи через манжеты локальным способом (**Tube-à-Manchette**),
- **IGU**: унифицированное глобальное напорное инъектирование (**Looped Tube Systems**).

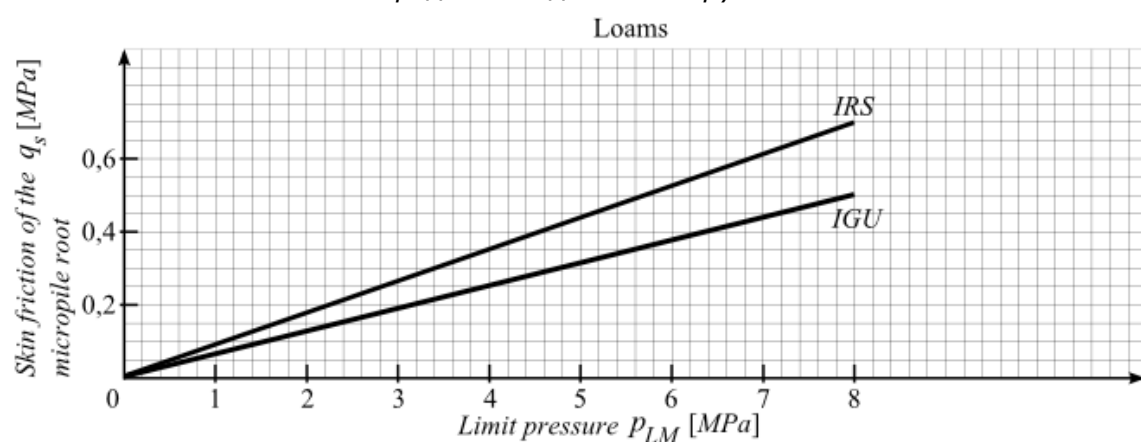
В программу встроены следующие графики для расчёта **напряжения на боковой поверхности корня микросваи**  $q_s$  [MPa]:



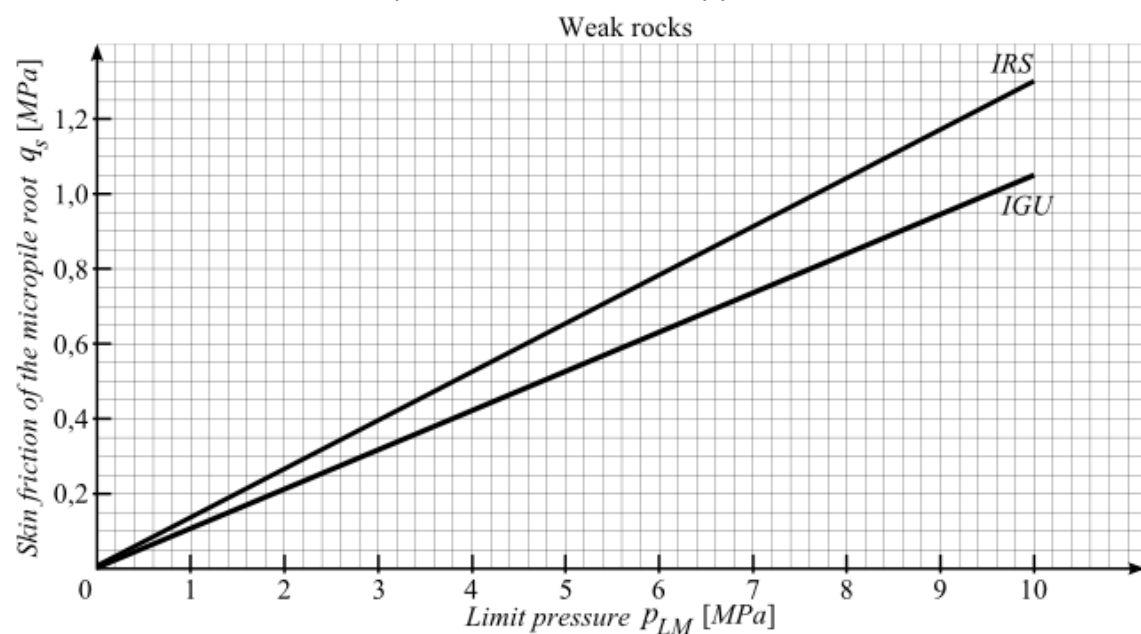
Предельное давление грунта



Предельное давление грунта



Предельное давление грунта



Предельное давление грунта

У графов на изображениях на горизонтальной оси находится предельное давление грунта

$p_{LM}$ , полученное в **прессиометрических испытаниях (PMT)** В случае **испытаний SPT** используют одинаковые графы, а предельное давление грунта  $p_{LM}$  [MPa] определяют как  **$n$ -кратное** количества ударов  $N$  для интервала глубины пенетрации  $d = 0,3 \text{ м}$ , т.е.  $SPT$  [N/0,3 м]. Для отдельных типов грунтов значения предельного давления грунта  $p_{LM}$  по Менарду представляют:

- **пески, гравий, илы и разрыхлённые породы:**  $p_{LM} = SPT / 20$ ,
- **глины:**  $p_{LM} = SPT / 15$ .

Напр., для пескосодержащего грунта и значения кратного количества ударов  $SPT = 120$  предельное давление грунта определяется как  $p_{LM} = SPT / 20 = 120 / 20 = 6,0 \text{ МПа}$ .

Ещё один пример: для глинистых грунтов и значения кратного количества ударов  $SPT = 30$  предельное давление грунта определяется как  $p_{LM} = SPT / 15 = 30 / 15 = 2,0 \text{ МПа}$ .

Далее, на вертикальной оси считываем соответствующее значение напряжения на боковой поверхности корня микросваи  $q_s$ , зависящее от величины предельного давления грунта  $p_{LM}$  и использованного способа (**IRS** или **IGU**).

## Полевые испытания

Программа «**Стратиграфия**» и некоторые другие программы GEO5 используют в качестве исходных параметров для расчёта **следующие полевые испытания**:

- **CPT - Статическое пенетрационное испытание** - программы «**Свая CPT**» и «**Отдельные фундаменты CPT**»
- **DPT - Динамическое пенетрационное испытание**
- **SPT - Стандартное пенетрационное испытание** - программы «**Микросвая**» и «**Отдельные фундаменты CPT**»
- **PMT - Прессиометрические испытания** - программы «**Ограждения котлованов - анализ**», «**Стабилизирующая свая**», «**Микросвая**»
- **DMT - Дилатометрическое испытание** - программы «**Отдельные фундаменты**», «**Ограждения котлованов - анализ**» и «**Стабилизирующая свая**»

## CPT (Статическое пенетрационное испытание)

**Статическое пенетрационное испытание (CPT, CPTu)** заключается во вдавливании пенетрационного конусного наконечника в грунт при помощи колонны пенетрационных штанг на постоянной скорости (20 - 25 мм/с) при одновременном измерении и регистрации **сопротивления грунта под наконечником  $q_c$** , (лобовое) и **локального трения на боковой поверхности  $f_s$** . Следовательно, сопротивление под наконечником - это в общем виде выраженное сопротивление грунта (основания) погружению конусного наконечника). Диаметр острия пенетрационного конуса как правило составляет 25 - 50 мм.

**Лобовое сопротивление под наконечником  $q_c$**  выражает отношение измеряемого усилия острия пенетрационного наконечника  $Q_c$  и площади перпендикулярного сечения острия  $A_c$ .

**Локальное трение на боковой поверхности  $f_s$**  выражает отношение измеряемого усилия на муфте трения  $F_s$  и площади поверхности её рубашки  $A_s$ .

Результаты статического пенетрационного испытания получены в виде эпюры, изображены с помощью графа.

Данные испытания СРТ служат исходными данными для расчётов в программах «Свая СРТ» и «Отдельные фундаменты СРТ» для моделирования грунта основания в программе «Стратиграфия».

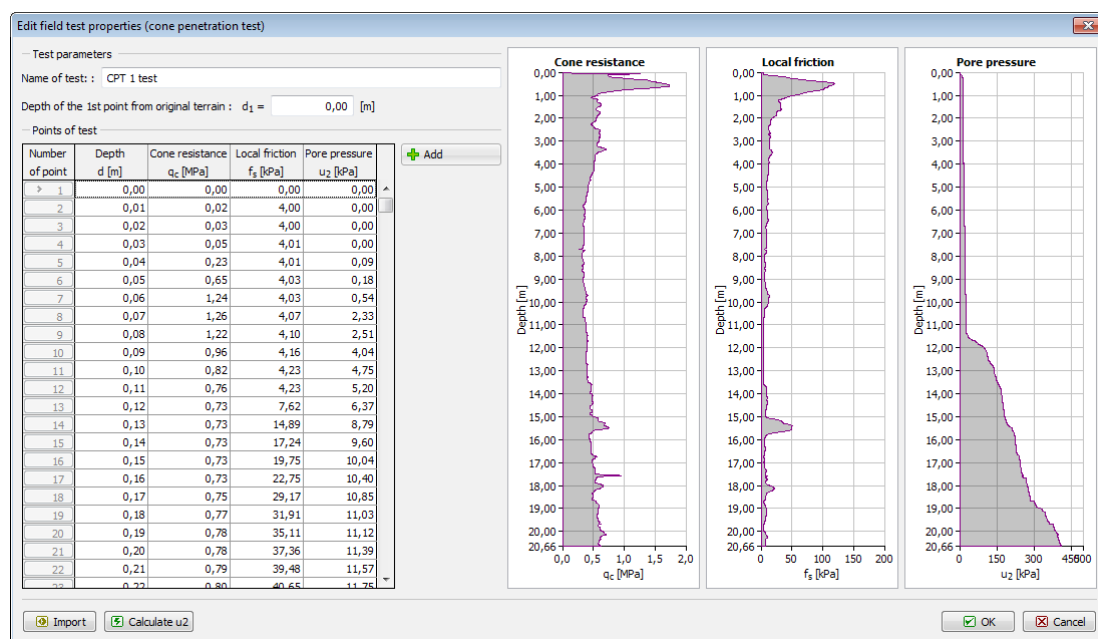
**Импорт испытаний СРТ** выполняем с помощью кнопки «**Импорт**»: вызвано диалоговое окно, в котором выбираем испытание на импорт. Общая процедура импорта табличных данных подробно описана [здесь](#).

В диалоговом окне «**Создать испытание**» задаём имя испытания и глубину первой точки испытания. В программе «**Стратиграфия**» задаём также координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

В таблицу вводим замеренные показания пенетрационного сопротивления  $q_c$  на данной глубине.

При расчёте несущей способности сваи по **методу Schmertmann** необходимо задать тоже значения локального трения на боковой поверхности  $f_s$ .

В случае **классификации грунтов** необходимо задавать значения порового давления  $u_2$ . Когда поровое давление не измерено (испытание СРТu), то его можно посчитать из заданного УГВ - нажав кнопку «**Расчёт  $u_2$** ».



Диалоговое окно «Создать испытание»

#### Литература:

EN ISO 22476-1: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test, 2013.

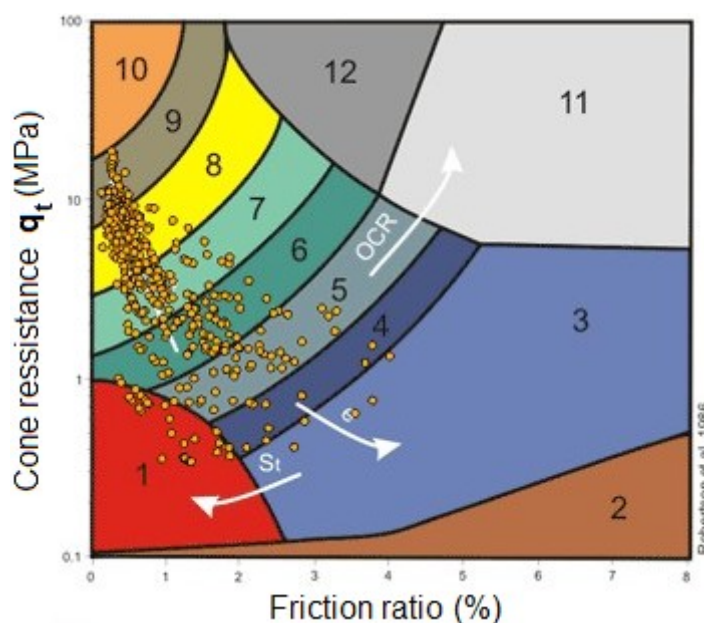
EN ISO 22476-12: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 12: Mechanical cone penetration test (CPTM), 2009.

Roy E. Hunt: Geotechnical Engineering Investigation Handbook, Second Edition (CRC Press, 2005)

## Классификация грунтов по Робертсону

При классификации грунтов по методу Robertson (1986 или 2010) нет необходимости вводить исходные параметры грунтов; этот шаг выполняет программа автоматически заодно с привязкой грунта к геологическому **профилю**. Благодаря этому **проверка** на основе выполненных **испытаний СРТ** проходит быстро и даёт однозначные результаты.

После сортировки грунтов по Robertson (1986 или 2010) в основу берут замеренные значения **сопротивления пенетрации**  $q_c$ , **локального трения на боковой поверхности**  $f_s$ , или порового давления  $u_2$ . Основываясь на **откорректированном значении сопротивления конусного наконечника**  $q_t = q_c + u_2 * (1 - a)$ , или отношении  $q_c / p_a$  процентном соотношения трения на боковой поверхности  $R_f = f_s / q_t$  программа автоматически выполняет сортировку соответствующего типа грунта по следующим графам.  $p_a$  - атмосферное давление = 100 kPa (= 1 tsf).



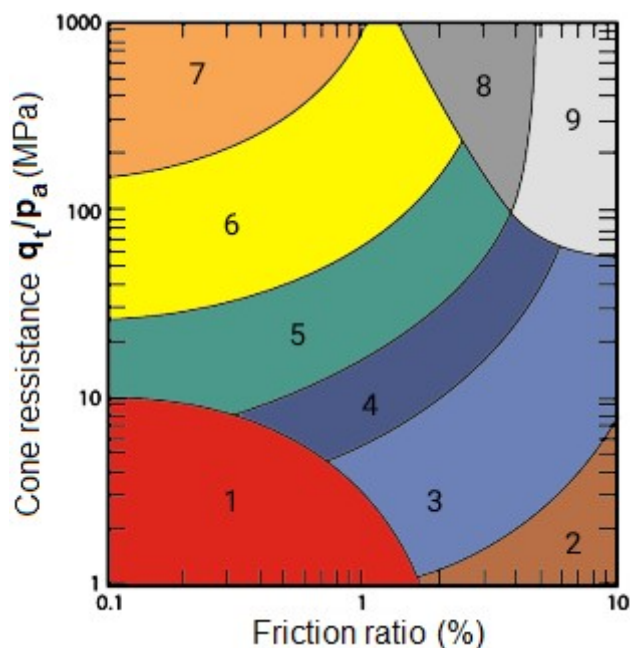
Процентная доля бокового трения

**Классификация грунта по Robertson, 1986 - отдельные типы грунтов (источник: Robertson et al., 1986)**

Область	Тип грунта (SBT)
1	Чувствительный тонкодисперсный грунт
2	Органический материал
3	Глина
4	Илистая глина - глина
5	Глинистый ил - илистая глина
6	Песчанистый ил -глинистый ил
7	Супесь - песчанистый ил

8	Песок - супесь
9	Песок
10	Гравелистый песок - песок
11	Очень твёрдый тонкодисперсный грунт *
12	Песок -глинистый песок *

\* переуплотнённый грунт



Классификация грунтов по методу Robertson, 2010 (источник: [4], рис. 21, стр. 26)

**Классификация грунтов по методу Robertson, 2010 - отдельные типы грунтов**

Область	Тип грунта (SBT)
1	Чувствительный тонкодисперсный грунт
2	Органические грунты - глины
3	Глины - илистая глина, глины
4	Суглинок - глинистый ил, илистая глина
5	Песчаная смесь - илистый песок, песчанистый ил
6	Пески - чистый песок, илистый песок
7	Гравелистый песок, плотный песок
8	Очень твёрдый песок, глинистый песок *
9	Очень твёрдый тонкодисперсный грунт *



\* переуплотнённый грунт

Более новая классификация грунтов по методу Robertson 2010 г. использует меньше классов грунтов, чем классификация 1986 г. Тем не менее, сортировка по методу Robertson 2010 г. в настоящее время является более точной и более распространённой в мире.

Если в рамке «**Классификация грунтов**» для удельного веса грунта выбрана опция «**вычислить**», то **удельный вес грунта**  $\gamma$  определяется по следующей формуле:

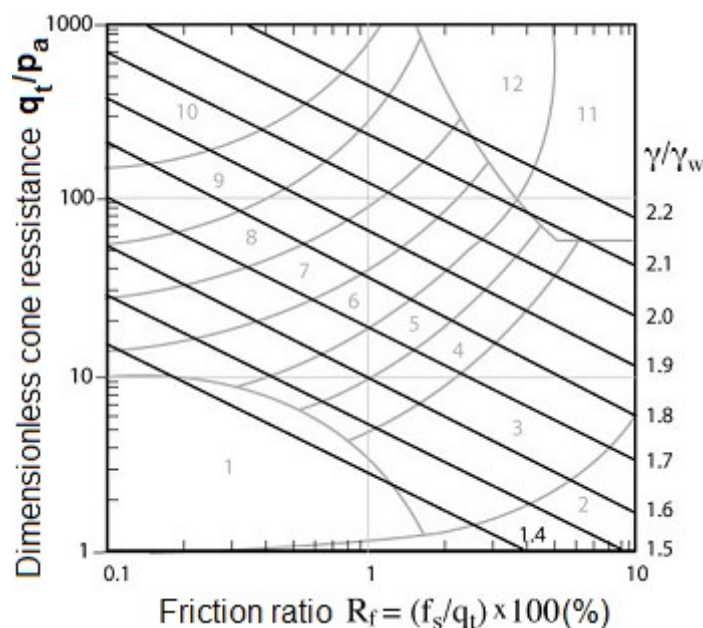
$$\frac{\gamma}{\gamma_w} = 0,27 (\log R_f) + 0,36 \left( \log \frac{q_t}{p_a} \right) + 1,236$$

κ

где:  $\gamma_w$  — удельный вес воды ( $\approx 10$ ) [ $kN/m^3$ ]  
 $p_a$  — атмосферное давление ( $\approx 100$ ) [ $kPa$ ]

$$R_f = \frac{f_s}{q_t} 100 \%$$

где:  $R_f$  — процентное соотношение между трением на боковой и сопротивлением пенетрации



Определение удельного веса грунта из отношения  $\gamma/\gamma_w$  на основании выполненных испытаний CPT (источник: [4], рис. 28, стр. 36)

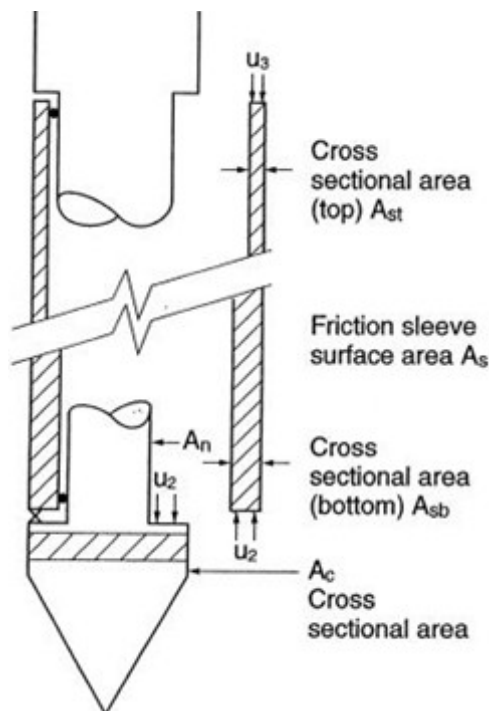
Заданная толщина слоёв грунтов влияет на величину минимальной толщины  $i$ -слоя грунта. В случае **нулевого слоя грунта** к геологическому профилю привязываются все слои грунта на основании классификации по Robertson (1986 или 2010). В случае задания **не нулевой минимальной толщины** уменьшится количество слоев грунтов в геологическом профиле. Расположение и количество слоёв в некоторой степени влияет на вертикальную несущую способность или осадку **свай, отдельного фундамента**, рассматриваемых на основе **испытания CPT**.

## Литература:

- [1] EN ISO 22476-1: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test, 2013.
- [2] EN ISO 22476-12: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 12: Mechanical cone penetration test (CPTM), 2009.
- [3] Robertson, P. K.: Interpretation of Cone Penetration Tests – a unified approach. Canadian Geotechnical Journal, 2009, No. 46, pp. 1337 – 1355.
- [4] Robertson, P. K. and Cabal, K. L.: Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering. Gregg Drilling & Testing, Inc., USA, 6<sup>th</sup> edition, 2014, 133 p.

## Коэффициент пенетрометра

**Коэффициент пенетрометра  $\alpha$  [-]** представляет отношение так наз. **чистой поверхности**, которая определяется на основании калибровки в лаборатории (с целью исключения неблагоприятных воздействий трения муфты и неровных концов конусного наконечника). Типичные значения коэффициента находятся в диапазоне от 0.7 до 0.85.



Воздействие неровных концов конусного наконечника и трения муфты (источник: [4], рис. 20, стр. 22)

## Литература:

- [1] EN ISO 22476-1: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test, 2013.
- [2] EN ISO 22476-12: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 12: Mechanical cone penetration test (CPTM), 2009.
- [3] Robertson, P. K.: Interpretation of Cone Penetration Tests – a unified approach. Canadian Geotechnical Journal, 2009, No. 46, pp. 1337 – 1355.
- [4] Robertson, P. K. and Cabal, K. L.: Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical

Engineering. Gregg Drilling & Testing, Inc., USA, 6<sup>th</sup> edition, 2014, 133 p.

## Импорт испытаний СРТ

Программы «Свая СРТ», «Отдельные фундаменты СРТ» и «Стратиграфия» позволяют импортировать результаты испытаний СРТ в форматах **GEF (\*.gef)**, **CPT (\*.cpt)**, **TXT (\*.txt)** и **AGS (\*.ags)**. В диалоговом окне «Импорт СРТ» находится таблица со списком импортированных испытаний. В выпадающих списках выбирают тип файла и систему единиц измерения.

**\*.CPT** - Текстовый файл стандартизованный прежде всего в Нидерландах (используется напр., программами Geodelft M-Serie), в который задают высоту над уровнем моря отдельных точек и величины сопротивления пенетрации (допускается наличие нескольких СРТ)

**\*.TXT** - Текстовый формат общего вида со следующим определением:

1. строка - [имя испытания] - цепочка
2. строка - [высота над уровнем моря начала испытания] - цифра (можно задать пустую строку)
3. по n-строку - [глубина точки] [сопротивление пенетрации] - цифры через пробел

**\*.GEF** - GEF (Geotechnical Exchange Format) - формат хранения и передачи геотехнических данных.

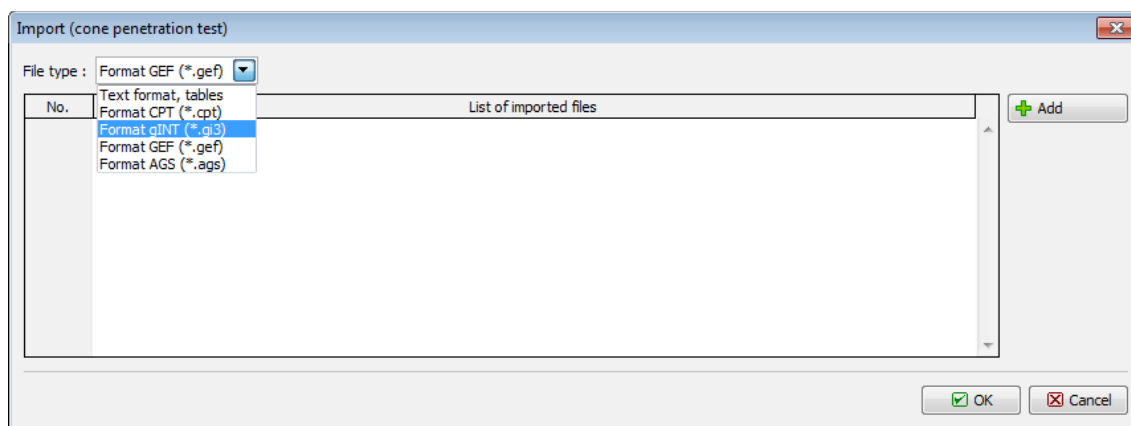
Подробнее: <https://publicwiki.deltares.nl/display/STREAM/GEF-CPT>

**\*.AGS** - формат для переноса геотехнических параметров используется в Великобритании

У **формата TXT** можно выбирать **системы единиц**, в которых будут храниться данные. При импорте программа автоматически выполнит их конвергенцию в тот формат единиц, с которым программа работает.

Для правильного расчёта необходимо испытание поместить в массив - по этой причине в окне задают **высоту над уровнем моря натурной (исходной) территории**. При импорте считывается высота над уровнем моря начала соответствующего испытания и испытание помещается в массив. Если высота над уровнем моря не была задана, то начало испытания автоматически помещается **на натурную (исходную) территорию**.

В случае, что Вы работаете со стандартом записи СРТ, не имеющим поддержку программы, обращайтесь к нам на **hotline@fine.cz** - мы обязательно его включим в следующую версию программы.



*Диалоговое окно «Импорт» (статическое пенетрационное испытание)*

## DPT - Динамическое пенетрационное испытание

Результат **динамического пенетрационного испытания (DPT)** - это количество ударов  $N$ , необходимое для пенетрации (прохождения конусного пенетрометра в грунт, или породу) на так наз. интервал глубины пенетрации.

**Интервалы глубины пенетрации** различаются между собой в зависимости от **типа динамического пенетрационного испытания**:

- **DPL** – лёгкая динамическая пенетрация
- **DPM** – средняя динамическая пенетрация
- **DPH** – тяжёлая динамическая пенетрация
- **DPSH - A** – очень тяжёлая динамическая пенетрация
- **DPSH - B** – очень тяжёлая динамическая пенетрация

Интервал глубины пенетрации для испытаний типа **DPL, DPM, DPH** составляет 100 мм, для испытаний типа **DPSH - A** или **DPSH - B** 100 или 200 мм.

Минимально после каждого 1,0 м погружения необходимо также регистрировать **момент**, необходимый для поворота на **1,5 оборота** или **достижения максимального момента**. Замеренное значение служит для исключения бокового трения. friction.

Результаты динамического пенетрационного испытания получены в виде эпюры, изображенной с помощью графа. Данные DPT испытаний служат исходными данными для моделирования грунта основания в программе «Стратиграфия». Значения динамических пенетрационных испытаний (DPT) можно **импортировать** в программу в виде табличных данных. В диалоговом окне «**Создать испытание**» задаём имя испытания и глубину первой точки испытания DPT от отметки уровня земли, а также координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Кнопка «**Добавить**» открывает диалоговое окно «**Новые точки испытания**», в которое задаём количество ударов на данной глубине, крутящий момент. Глубину можно задавать вручную или автоматически прибавлять интервал глубины пенетрации.

New field test (dynamic probing test)

— Test parameters —

Name of test:

Coordinates: x =  [m] y =  [m]

Height:  z =  [m]

Depth of the 1st point from original terrain: d<sub>1</sub> =  [m]

☒ Field test generates test profile

— DPT parameters —

Interval of the penetration depth: d<sub>int</sub> =  [m]

— Points of test —

Number of point	Depth d [m]	Blow count [n / 0,10 m]	Moment M [Nm]
1	0,00	5,0	
2	0,10	6,0	
3	0,20	8,0	
4	0,30	9,0	
5	0,40	9,0	
6	0,50	10,0	
7	0,60	10,0	
8	0,70	16,0	
9	0,80	16,0	
10	0,90	19,0	
11	1,00	16,0	240,00
12	1,10	4,0	
13	1,20	21,0	
14	1,30	25,0	
15	1,40	25,0	
16	1,50	25,0	
17	1,60	18,0	

Blow count

Depth [m]

Диалоговое окно «Создать испытание»

**Literature:**

EN ISO 22476-3: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 2: Dynamic probing test, 2005.

Roy E. Hunt: Geotechnical Engineering Investigation Handbook, Second Edition (CRC Press, 2005)

## SPT- Стандартное пенетрационное испытание

Результат **Стандартного пенетрационного испытания (SPT)** - это количество ударов  $N$ , необходимое для пенетрации (прохождения устройства отбора в грунт, или породу) на так наз. интервал глубины пенетрации 0,3 м (1 ft).

Количество ударов  $N$  замеренное при испытаниях SPT подвергается корреляции из-за влияния разных испытательных устройств и влияния тяжести кровли в песках.

**Откорректированное** (коррелированное) **количество ударов**  $N_{60}$  **рассматривается в расчётах.**

Коррелированное количество ударов  $N_{60}$  рассчитывается по формуле:

$$N_{60} = \frac{E_r}{60} C_N \lambda N$$

где:  $E_r$  - энергетический коэффициент испыт.устройства  
 $N$  - кол-во замеренных ударов при испытании SPT  
 $C_N$  - корреляция для вертикального напряжения  
 $\lambda$  - пользовательская корреляция

**Энергетический коэффициент испытательного устройства**  $E_r$  **выражает отношение реальной энергии**  $E_{meas}$  **и рассчитанной энергии**  $E_{theor}$  **молота.** Для стандартного устройства SPT (Mohr), корреляцию применять не обязательно, т.к. производительность его машины 60 % а корреляция выполняется к этому значению (используются данные замеренные в течение испытания SPT).

**Корреляция**  $C_N$  **для вертикального напряжения**  $\sigma'_V$  - выражает влияние тяжести кровли в песках. Согласно рекомендации

ЧСН EN ISO 22476-3 не следует применять значения корректирующего множителя  $C_N$  выше 1.5.

**Таблица встроенных типов корреляций**

Тип	Тип консолидации	Относительная плотность $I_p$ [%]	Поправочный фактор $C_N$
Тип 1 - EN ISO 22476-3 (Tab. A2)	Нормально уплотнённый грунт	40 до 60	$C_N = \frac{200}{100 + \sigma'_V}$
Тип 2 - EN ISO 22476-3 (Tab. A2)		60 до 80	$C_N = \frac{300}{200 + \sigma'_V}$
Тип 3 - EN ISO 22476-3 (Tab. A2)	Переуплотнённый грунт	-	$C_N = \frac{170}{70 + \sigma'_V}$
Тип 4 - EN ISO 22476-3	Нормально уплотнённые пески	-	$C_N = \sqrt{\frac{98}{\sigma'_V}}$
Тип 5 - FHWA (1998), Peck (1974)	-	-	$C_N = \left( \frac{100}{\sigma'_V} \right)^{0,4}$

где:  $\sigma'_V$  - эффективное вертикальное напряжение

**Пользовательская корреляция**  $\lambda$  [-] - выражает потерю энергии в связи с длиной

штанг, с влиянием диаметра скважины или влиянием устройства отбора проб.

Результаты стандартного пенетрационного испытания получены в виде эпюры, изображенной с помощью графа.

Данные SPT служат исходными данными для расчётов в программах «Микросвая» и «Отдельные фундаменты СРТ» и для моделирования грунта основания в программе «Стратиграфия».

Данные стандартных пенетрационных испытаний можно **импортировать** в программу в виде табличных данных.

В диалоговом окне «Создать испытание» задаём имя и параметры испытания (глубину первой точки испытания, энергетический коэффициент испытательного устройства  $E_r$ ) и корреляция замеренных значений. В программе «Стратиграфия» задаём также координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

Кнопка «Добавить» в диалоговом окне открывает следующее диалоговое окно «Новые точки испытания», в которое задаём количество ударов на данной глубине.

**New field test (standard penetration test)**

— Test parameters

Name of test : SPT 1

Height : automatically on terrain

Depth of the 1st point from original terrain :  $d_1 = 0,00$  [m]

— SPT parameters

Energetical ratio of testing machine :  $E_r = 1,00$  [-]

Correlation of vertical stress - determination  $C_N$  : not input

Other correlation : not input

— Points of test

Number of point	Depth d [m]	Number of blows [n / 0,30 m]	Sample name [-]
1	0,20	1	0,54
2	0,30	1	0,54
3	0,40	2	1,09
4	0,50	3	1,63
5	0,60	50	27,24
6	0,70	52	28,33
7	0,80	21	11,44
8	0,90	12	5,88
9	1,00	12	5,88 48 Nm
10	1,10	12	5,88
11	1,20	23	11,28
12	1,30	14	6,86
13	1,40	14	6,86
14	1,50	46	22,56
15	1,60	41	20,10

Graph: Number of blows vs Depth [m]. The graph shows a series of data points connected by lines, representing the blow count at various depths. The y-axis ranges from 0,0 to 7,0 m, and the x-axis ranges from 0 to 60 blows.

Buttons: Import, Add + Close, Add, Cancel.

Диалоговое окно «Создать испытание»

#### Литература:

EN ISO 22476-3: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 3: Standard penetration test, 2005.

Roy E. Hunt: Geotechnical Engineering Investigation Handbook, Second Edition (CRC Press, 2005)

## PMT - Прессиометрическое испытание

**Прессиометрическое испытание (PMT)** - это метод, при котором в измеряемой среде прессиометрический зонд заполняется жидкостью. Последующее расширение грунта (породы) в скважине определяется как зависимость измеряемого объема жидкости от прироста давления, которое наращивается в интервалах времени в соответствии с заданной программой.

При прессиометрическом испытании в зависимости от глубины определяют следующие параметры:

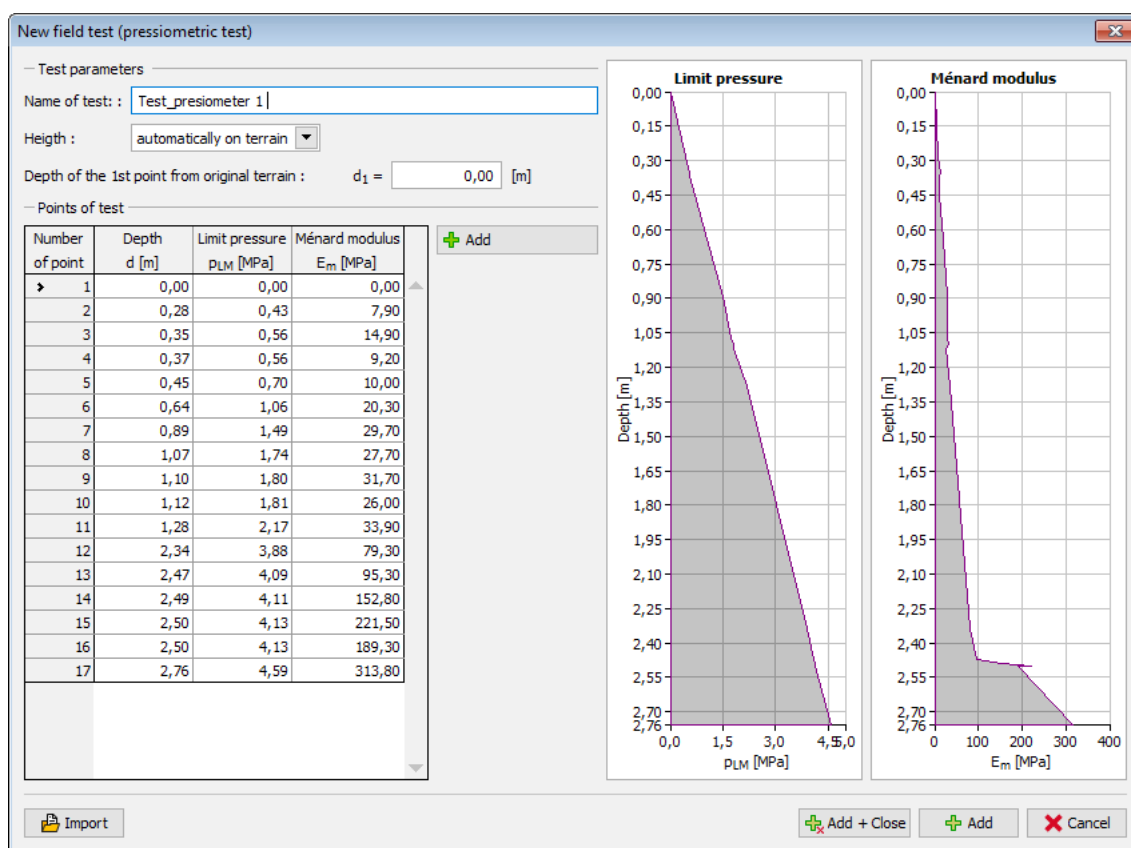
- **прессиометрический (модуль Менарда)  $E_m$**  - получают от прессиометрической кривой в зависимости от типа **рубашки зонда** (упругая муфта, щелевая обсадная труба).
- **предельное давление грунта  $p_{LM}$**  - выражает прирост давления жидкости в испытуемом зонде от изменения объема грунта (породы).

В результате прессиометрического испытания получена эпюра испытания, изображенная с помощью графа. Данные прессиометрических испытаний служат исходными данными для расчётов в программах «Микросвая» и «Ограждение котлованов-анализ», «Стабилизирующая свая» и для моделирования грунта основания в программе «Стратиграфия».

Значения прессиометрических испытаний (PMT) можно **импортировать** в программу в виде табличных данных. В диалоговом окне «**Создать испытание**» задаём имя испытания и глубину первой точки испытания. В программе Стратиграфия задаём тоже координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

Кнопка «**Добавить**» открывает диалоговое окно «**Новые точки испытания**», в которое задаём предельное давление грунта  $p_{LM}$  и модуль Менарда  $E_m$  на данной глубине.





Диалоговое окно «Создать испытание»

**Литература:**

EN ISO 22476-4: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 4: Menard pressuremeter test, 2005.

Roy E. Hunt: Geotechnical Engineering Investigation Handbook, Second Edition (CRC Press, 2005)

## DMT - Дилатометрическое испытание

**Дилатометрическое испытание (DMT)** использует дилатометр, который работает на принципе отслеживания значений деформаций с помощью индукционных датчиков (чувствительностью до 0.001 мм). Преимуществом этих испытаний является более точное описание деформации и деформируемости грунта основания.

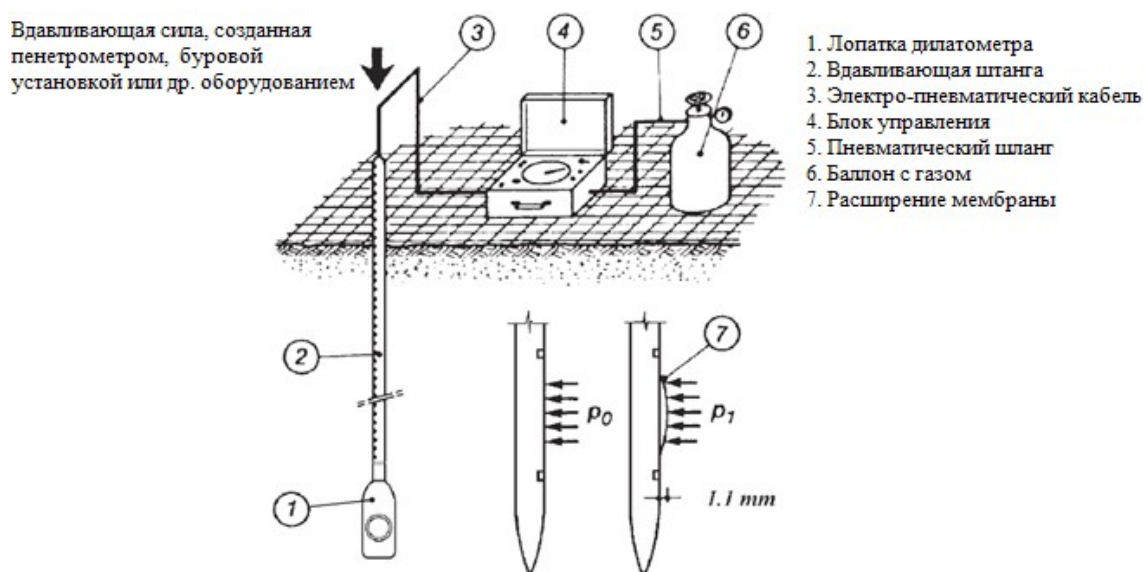


Схема принципа дилатометрического испытания (источник: [1], рисунок 2, стр.10)

В результате дилатометрического испытания получена эпюра испытания, изображенная с помощью графа.

Данные дилатометрического испытания служат исходными данными для расчётов в программах «Отдельные фундаменты» и «Ограждение котлованов-анализ», «Стабилизирующая свая» и для моделирования грунта основания в программе «Стратиграфия».

Импорт результатов дилатометрического испытания (DMT) происходит в формате **UNI** (\*.uni). Это **стандартизированный и универсальный формат**, применяемый в мире для загрузки замеренных показаний дилатометрических испытаний.

В диалоговом окне «Создать испытание» задаём имя испытания и глубину первой точки испытания PMT от отметки уровня земли. В программе «Стратиграфия» задаём координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

Кнопка «Добавить» открывает диалоговое окно "Новые точки испытания", в которое задаём замеренные значения **дилатометрического модуля**  $M_{DMT}$  на данной глубине.

**New field test (dilatometric test)**

— Test parameters

Name of test:

Height:

Depth of the 1st point from original terrain:  $d_1 =$   [m]

— Points of test

Number of point	Depth d [m]	Constrained modulus $M_{DMT}$ [MPa]
1	0,00	0,00
2	0,30	105,00
3	0,40	67,60
4	0,60	70,70
5	0,80	49,30
6	1,00	51,10
7	1,20	37,10
8	1,40	31,20
9	1,60	29,10
10	1,80	29,00
11	2,00	34,80
12	2,20	26,30
13	2,40	26,10
14	2,60	39,60
15	2,80	74,10
16	3,20	53,30
17	3,40	56,20
18	3,60	42,40
19	3,80	45,60
20	4,00	35,80
21	4,20	23,40

**Constrained modulus**

Диалоговое окно "Создать испытание"

**Литература:**

Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G. & Calabrese, M.: *The Flat Dilatometer Test (DMT) in soil investigations. A Report by the ISSMGE Committee TC16, University of L'Aquila, Italy, 2001, 48 p.*

Roy E. Hunt: *Geotechnical Engineering Investigation Handbook, Second Edition (CRC Press, 2005)*

EN ISO 22476-11: *Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 11: Flat dilatometer test*

**Усадка**

Для расчета усадки используется один из следующих методов:

- с помощью **эдометрического модуля**
- с помощью **постоянной сжатия**
- с помощью **коэффициента сжатия**
- в соответствии с **NEN (Буйсманн, Ладде)**
- используя **модель мягкого грунта**
- используя **теорию Джанбу**
- используя **дилатометра (компрессионный модуль деформации)**

Программа предлагает два способа ограничения глубины зоны воздействия:

- используя **теорию структурной прочности**
- используя процент **значения геостатического напряжения**

Для определения **напряжения в состоянии грунта** во всех методах анализа усадки используется теория упругости (теория Буссинеска).

Общие **теории усадки** служат основой во всех выше указанных методах.

При расчете усадки под нижней частью основания программа сначала рассчитывает **напряжение в основании**, а затем определяет **общую усадку и вращение основания**.

Общий подход во всех теориях основан на разделении подгрунта на слои разной толщины в зависимости от глубины под основанием или поверхностью земли. Затем рассчитывает вертикальная деформация каждого слоя: общая усадка определяется как сумма частных усадок отдельных слоев в зоне воздействия (деформации под зоной воздействия либо равно 0, либо не учитываются):

$$s = \sum \Delta s_i$$

где:

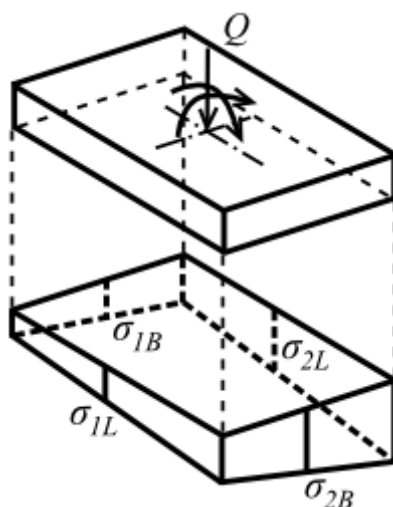
$s$	-	усадка
$s_i$	-	усадка $i$ -ого слоя

## Напряжение в нижней части основания

Напряжение в нижней части основания может приниматься как:

- **прямоугольное** (равномерное в нижней части основания)
- **общее** (трапециевидное) с разными краевыми значениями

Общее распределение напряжения следует из рисунка:



Напряжение в нижней части основания

где:

$$\sigma_{1B,z} = \frac{Q}{l \cdot b} \pm \frac{Q \cdot e_b}{W_b}$$

$$e_b = \frac{M_x + H_y \cdot t + N \cdot p_x}{Q}$$

$$W_b = \frac{1}{6} \cdot l \cdot b^2$$

$$\sigma_{1L,z} = \frac{Q}{l \cdot b} \pm \frac{Q \cdot e_t}{W_t}$$

$$e_t = \frac{-M_y + H_x \cdot t + N \cdot p_y}{Q}$$

$$W_t = \frac{1}{6} \cdot l \cdot b^2$$

где:

- $Q$  - вертикальная нагрузка основания
- $l, b$  - ширина и длина основания
- $e_b$  - вне-центренность нагрузки
- $M$  - момент, действующий на основание
- $H$  - горизонтальная сила
- $N$  - стандартная сила на внецентренном основании
- $p$  - смещение столбика оси с центра основания

Если в некоторых точках напряжение становится отрицательным, программа продолжается с установленными значениями  $b^*l$ , исключая натяжение из анализа. Перед расчетом распределения напряжения вследствие нагрузки напряжение в нижней части основания сокращается геостатическим напряжением следующим образом:

$$\sigma_{ol} = \max(\sigma_{ol} - \sigma_{or,sp}; 0)$$

В программе имеется 3 способа определить геостатическое напряжение в нижней части основания:

- **из естественной поверхности грунта** - таким образом рассматривается, свободна ли нижняя часть основания в естественной поверхности грунта от напряжения на протяжении временного отрезка, меньшего, чем необходимо для набухания грунта и последующей потери напряжения в подгрунте.
- **с законченного уровня** - используется указанное выше допущение
- **совсем не рассматривается**

## Общая усадка и вращение основания

На усадку основания в значительной мере оказывает влияние общая жесткость системы, представленная конструкцией и грунтом основания, в виде формулы:

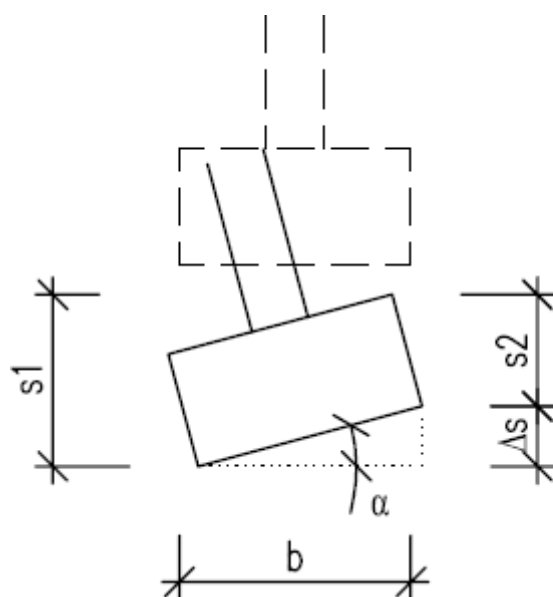
$$k = \frac{E_{basic} \cdot t^3}{E_{def, av} \cdot l^3}$$

где:	$E_{basic}$	модуль упругости основания
	$t$	толщина основания
	$E_{def, av}$	средневзвешенное значение модуля деформации до глубины зоны воздействия
	$l$	величина основания в направлении искомой жесткости

Для  $k > 1$  основание принимается жестким, и как **характерная точка** для определения усадки (на расстоянии  $0,37x$  величину основания от ее оси).

Для  $k < 1$  конструкция основания принимается деформируемой, а как характерная точка для определения усадки основания принимается **точкой центра основания**.

**Вращение основания** определяется из разницы усадки центра и отдельных краев.



$$\Delta s = s_1 - s_2$$

$$rotation = \frac{\Delta s}{b} (\tan^* 1000)$$

$$\alpha = \arctan \frac{\Delta s}{b} [\text{deg}]$$

*Rotation of spread footing - principle calculation*

## Воздействие глубины основания и несжимающегося подгрунта

При расчете усадки можно рассчитать **воздействие глубины основания**, введя поправочный коэффициент  $\kappa_I$ :

для ленточного фундамента:

$$\kappa_1 = 1 + 0,61 \cdot \arctg \frac{d}{z}$$

для отдельного фундамента:

$$\kappa_1 = 1 + 0,35 \cdot \arctg \left( 1,55 \cdot \frac{d}{z} \right)$$

где:  $d$  - глубина нижней части основания  
 $z$  - глубина под нижней частью основания

**Воздействие несжимающегося слоя** вводится в анализ поправочным коэффициентом  $\kappa_2$ :

$$\kappa_2 = 1 - e^{\left( \frac{z_{ic}}{z} \cdot \ln 0,25 + \ln 0,8 \right)}$$

где:  $z_{ic}$  - глубина жесткой основы под нижней частью основания  
 $z$  - глубина под нижней частью основания

Включение указанных выше коэффициентов позволяет **изменять** вертикальный компонент напряжения  $\sigma_z$  таким образом, что действительная глубина заменяется **замещающим значением**  $z_r$ , имеющим следующий вид:

$$z_r = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot z$$

где:  $\kappa_1$  - коэффициент глубины основания  
 $\kappa_2$  - коэффициент жесткой основы  
 $z$  - глубина под нижней частью основания

## Влияние песчано-гравийной подушки

Если под отдельным фундаментом определена песчано-гравийная подушка, параметры материала  $X$  в отдельных слоях рассчитываются следующим образом:

Для слоя  $h_{a,i}$ :

$$X_i < X_c$$

где:  $X_i$  - параметры материала в  $i$ -ом слое  
 $X_c$  - параметры материала песчано-гравийной подушки

Для слоя  $h_{b,i}$ :

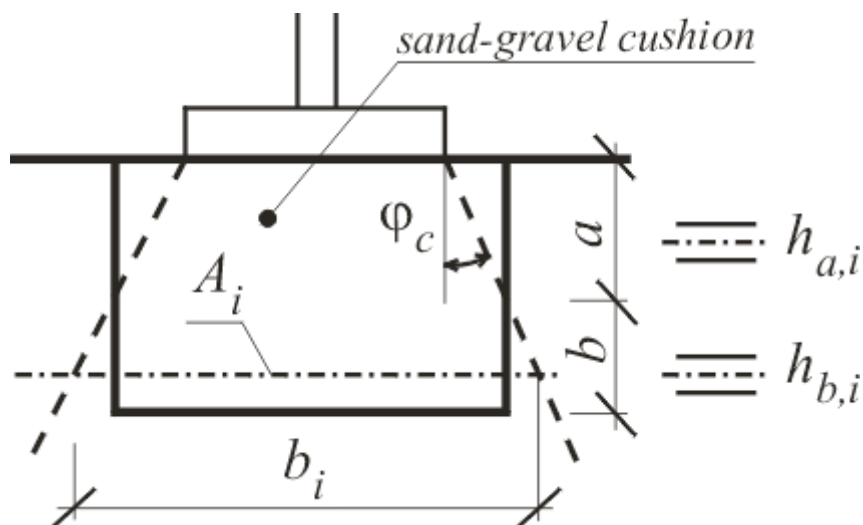
$$X_i = \frac{(A_i - A_c) \cdot X_c + A_i \cdot X_c}{A_i}$$

$$A_i = b_i \cdot l_i$$

где:  $A_c$  - площадь песчано-гравийной подушки  
 $X_c$  - параметры материала песчано-гравийной подушки  
 $X_{b,i}$  - параметры материала  $b,i$ -ого слоя

$b_i$  - ширина подушки в  $i$ -ом слое

$l_i$  - длина подушки в  $i$ -ом слое



Анализ  $X_i$  в песчано-гравийной подушке

## Анализ с использованием эдометрического модуля

Уравнение для расчета сжатия  $i$ -ого слоя грунта под основанием  $h$  выводится из определения **эдометрического модуля**  $E_{oed}$ :

$$s_i = \sum \frac{\sigma_{z,i} \cdot h_i}{E_{oed,i}}$$

где:

- $\sigma_{z,i}$  - вертикальный компонент увеличивающегося напряжения в середине  $i$ -го слоя
- $h_i$  - толщина  $i$ -ого слоя
- $E_{oed,i}$  - эдометрический модуль  $i$ -ого слоя

Эдометрический модуль  $E_{oed}$  может быть определен для каждого грунта как постоянная или с помощью **эдометрической кривой** (отношение  $\sigma_{ef}/\varepsilon$ ). При использовании эдометрической кривой программа подставит для каждого слоя значение  $E_{oed}$ , соответствующее данному диапазону исходного и конечного напряжения. Если значение эдометрического модуля  $E_{oed}$  отсутствует, можно ввести модуль деформации  $E_{def}$  и программа выполнит необходимую трансформацию.

$$E_{oed} = \frac{E_{def}}{\beta}$$

где:

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu}$$



где:  $\nu$  - коэффициент Пуассона  
 $E_{def}$  - модуль деформации

## Анализ с использованием постоянной сжатия

Уравнение для расчета сжатия  $i$ -ого слоя грунта под основанием  $h$  выводится из определения **постоянной сжатия**  $C_i$ :

$$s = \frac{h_i}{C_i} \cdot \ln \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{or,i}}$$

где:  $\sigma_{or,i}$  - вертикальный компонент исходного геостатического напряжения в середине  $i$ -ого слоя  
 $\sigma_{z,i}$  - вертикальный компонент увеличивающегося напряжения (например, напряжения вследствие нагрузки конструкции), вызывающего сжатие слоя  
 $h_i$  - толщина  $i$ -ого слоя  
 $C_i$  - постоянная сжатия в  $i$ -ом слое

Программа позволяет ввести либо постоянную сжатия  $C_i$ , либо **постоянную сжатия**  $C_{I0}$  (программа сама проводит необходимую трансформацию).

*Литература:*

Arnold Verruijt: *Soil mechanics, Delft University of Technology, 2001, 2006,*  
<http://geo.verruijt.net/>

## Анализ с использованием коэффициента сжимаемости

Уравнение усадки при использовании **коэффициента сжимаемости**  $C_c$   $i$ -ого слоя выводится из формулы:

$$s_i = C_{c,i} \frac{h_i}{1 + e_0} \cdot \log \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{or,i}}$$

где:  $\sigma_{or,i}$  - вертикальный компонент исходного геостатического напряжения в середине  $i$ -ого слоя  
 $\sigma_{z,i}$  - вертикальный компонент увеличивающегося напряжения (например, напряжения вследствие нагрузки конструкции), вызывающего сжатие слоя  
 $e_0$  - начальный коэффициент пористости  
 $h_i$  - толщина  $i$ -ого слоя  
 $C_{c,i}$  - коэффициент сжимаемости в  $i$ -ом слое

*Литература:*

Arnold Verruijt: *Soil mechanics, Delft University of Technology, 2001, 2006,*  
<http://geo.verruijt.net/>

## Анализ в соответствии с NEN (Буйсманн, Ладде)

Этот метод рассчитывает первичную и вторичную усадку. При расчете метод принимает во внимание переуплотненные грунты, когда при расчёте в общем могут иметь место два случая:

(1) Сумма текущего вертикального эффективного напряжения в грунте и напряжения от пригрузки меньше давления уплотнения, поэтому учитывается только повторная нагрузка на грунт.

(2) Сумма текущего вертикального эффективного напряжения в грунте и напряжения от пригрузки больше давления уплотнения, поэтому в грунте повторится консолидация, а первичная усадка в этом случае больше чем в первом случае.

### Первичная усадка

Первичная усадка  $i$ -ого слоя переуплотненного грунта ( $OCR > 1$ ) рассчитывается следующим образом:

для:  $\sigma_{or} + \sigma_z \leq \sigma_p$  (сумма текущего вертикального напряжения и его прироста меньше давления переуплотнения):

$$s_i = C_{r,i} \frac{h_i}{1 + e_0} \cdot \log \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{or,i}}$$

для:  $\sigma_{or} + \sigma_z > \sigma_p$  (сумма текущего вертикального напряжения и его прироста больше давления переуплотнения):

$$s_i = C_{r,i} \frac{h_i}{1 + e_0} \cdot \log \frac{\sigma_{p,i}}{\sigma_{or,i}} + C_{c,i} \frac{h_i}{1 + e_0} \cdot \log \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{p,i}}$$

- где:
- $\sigma_{or,i}$  - вертикальный компонент геостатического напряжения в середине  $i$ -ого слоя
  - $\sigma_{z,i}$  - вертикальный компонент увеличивающегося напряжения (например, напряжения от конструкции), вызывающего сжатие слоя
  - $\sigma_{p,i}$  - давление переуплотнения в  $i$ -ом слое
  - $e_0$  - начальный коэффициент пористости
  - $h_i$  - толщина  $i$ -го слоя
  - $C_{c,i}$  - коэффициент сжимаемости в  $i$ -ом слое
  - $C_{r,i}$  - коэффициент рекомпрессии в  $i$ -ом слое

Первичная усадка  $i$ -ого слоя грунта со стандартным уплотнением ( $OCR = 1$ ) имеет вид:

$$s_i = C_{c,i} \frac{h_i}{1 + e_0} \cdot \log \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{or,i}}$$

- где:
- $\sigma_{or,i}$  - вертикальный компонент геостатического напряжения в середине  $i$ -ого слоя
  - $\sigma_{z,i}$  - вертикальный компонент увеличивающегося напряжения (например, напряжения от конструкции), вызывающего сжатие слоя
  - $e_0$  - начальный коэффициент пористости

$h_i$  - толщина  $i$ -го слоя

$C_{c,i}$  - коэффициент сжимаемости в  $i$ -ом слое

### Вторичная усадка

Вторичная усадка  $i$ -ого слоя принимает вид:

для:  $\sigma_{or} + \sigma_z \leq \sigma_p$  (сумма текущего вертикального напряжения и его прироста меньше давления переуплотнения):

$$s_{i,d} = C_{cr,i} \cdot h_i \cdot \left( \log \frac{t_s}{t_p} \right)$$

для:  $\sigma_{or} + \sigma_z > \sigma_p$  (сумма текущего вертикального напряжения и его прироста больше давления переуплотнения):

$$s_{i,d} = C_{\alpha,i} \cdot h_i \cdot \left( \log \frac{t_s}{t_p} \right)$$

где:  $h_i$  - толщина  $i$ -го слоя

$C_{cr,i}$  - **вторичный коэффициент сжимаемости при переуплотнении** в  $i$ -ом слое

$C_{\alpha,i}$  - **коэффициент вторичной сжимаемости** в  $i$ -ом слое

$t_p$  - время окончания первичной консолидации

$t_s$  - время прослеживаемого периода вторичной усадки

Если задать коэффициент переуплотнения вторичной сжимаемости равным коэффициенту вторичной сжимаемости, то программа не учтёт в расчете вторичной усадки действие давления переуплотнения.

*Литература:*

*Netherlandish standard NEN6740, 1991, Geotechniek TGB1990 Basisen en belastingen, Nederlands normalisatie-Institut*

## Анализ с использованием модели грунта Софта

Анализ использует **измененный коэффициент сжатия**  $\lambda$  и основывается на упруго-пластичной модели грунта Софта, разработанную в Кембриджском университете. Деформация грунта принимает объемную деформацию линейно зависимой от изменения действительного среднего напряжения, представленного на натуральной логарифмической шкале. Усадка  $i$ -го слоя рассчитывается следующим образом:

$$s_i = \lambda_i \cdot h_i \cdot \ln \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{or,i}}$$

где:  $\sigma_{or,i}$  - вертикальный компонент геостатического напряжения в середине  $i$ -ого слоя

$\sigma_{z,i}$  - вертикальный компонент увеличивающегося напряжения (например, напряжения вследствие нагрузки конструкции), вызывающего сжатие слоя

$h_i$  - толщина  $i$ -ого слоя

$\lambda$  - измененный коэффициент сжатия в  $i$ -ом слое

Анализ требует ввода измененного коэффициента сжатия  $\lambda$ , который обычно получают при трехосных лабораторных измерениях.

Если измененный коэффициент сжатия  $\lambda$  неизвестен, можно ввести коэффициент сжимаемости  $C_c$  и среднее значение коэффициента пористости  $e$  (если среднее значение не известно, достаточно ввести начальный коэффициент пористости  $e_0$ ) и программа примерно рассчитает измененный коэффициент сжатия, используя имеющиеся данные.

*Литература:*

*Burland J.B. The yielding and dilatation of clay (correspondence), Géotechnique, 15 (2), 1965, str. 211-214*

## Анализ по теории Джанбу

Анализ основывается на принципах нелинейной упругой деформации, при которой отношение напряжение - деформирование описывается функцией двух безразмерных параметров, индивидуальных для данного грунта. Этими параметрами выступают степень  $j$  и модуль Джанбу  $m$ . Уравнения, описывающие усадку, получаются путем определения  $\varepsilon$  из определения модуля деформации  $E_t$  и последующего их объединения. Программа позволяет пользователю рассчитать усадку для следующих типов грунта:

- несвязный грунт
- крупнезернистый грунт
- песок и ил
- переуплотненный песок и ил
- связный грунт
- переуплотненный связный грунт

*Литература:*

*Method of settlement computation for various types of soils, Soil Mechanics and foundation engineering, Springer, 7 (3), 1970, str, 201-206*

## Анализ несвязного грунта по теории Джанбу

Для несвязного грунта степень напряжения не равна 0. Для слоистого подгрунта усадка равна сумме частных коэффициентов отдельных слоев:

$$s_i = \frac{h_i}{m_i \cdot j_i} \left[ \left( \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{100} \right)^j - \left( \frac{\sigma_{or,i}}{100} \right)^j \right]$$

где:  $\sigma_{or,i}$  - вертикальный компонент геостатического напряжения в середине  $i$ -ого слоя  
 $\sigma_{z,i}$  - вертикальный компонент увеличивающегося напряжения (например, напряжения вследствие нагрузки конструкции), вызывающего сжатие слоя

- $j_i$  - степень напряжения в  $i$ -ом слое  
 $m_i$  - модуль Джанбу в  $i$ -ом слое  
 $h_i$  - толщина  $i$ -ого слоя

## Анализ крупнозернистого грунта по теории Джанбу

Для плотного крупнозернистого грунта (например, ледогрунта) отношение напряжение - деформация (усадка) обычно принимается «упругой», т.е. **степень напряжения равняется  $j$** , таким образом,  $j = 1$  и эталонного напряжения  $\sigma_r = 100$  кПа усадка равна сумме частных коэффициентов отдельных слоев:

$$s_i = \frac{h_i}{100 \cdot m_i} \cdot (\sigma_{z,i})$$

- где:
- $\sigma_{z,i}$  - вертикальный компонент увеличивающегося напряжения (например, напряжения вследствие нагрузки конструкции), вызывающего сжатие слоя, т.е. изменение действительного напряжения
  - $m_i$  - **модуль Джанбу** в  $i$ -ом слое
  - $h_i$  - толщина  $i$ -ого слоя

## Анализ песка и ила по теории Джанбу

Для песка и ила **степень напряжения  $j$**  получает значение около 0,5, а для эталонного напряжения  $\sigma_r = 100$  кПа усадка равна сумме частных коэффициентов отдельных слоев и выводится из следующей формулы:

$$s_i = \frac{h_i}{5 \cdot m_i} \cdot (\sqrt{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}} - \sqrt{\sigma_{or,i}})$$

- где:
- $\sigma_{or,i}$  - вертикальный компонент геостатического напряжения в середине  $i$ -ого слоя
  - $\sigma_{z,i}$  - вертикальный компонент увеличивающегося напряжения (например, напряжения вследствие нагрузки конструкции), вызывающего сжатие слоя
  - $m_i$  - **модуль Джанбу** в  $i$ -ом слое
  - $h_i$  - толщина  $i$ -ого слоя

## Анализ переуплотненного песка и или по теории Джанбу

Если конечное напряжение в грунте превышает давление переуплотнения ( $\sigma_{or} + \sigma_z > \sigma_p$ ), усадка слоистого подгрунта рассчитывается по следующей формуле:

$$s_i = \frac{h_i}{5 \cdot m_{r,i}} \cdot (\sqrt{\sigma_{p,i}} - \sqrt{\sigma_{or,i}}) + \frac{h_i}{5 \cdot m_i} \cdot (\sqrt{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}} - \sqrt{\sigma_{p,i}})$$

- где:
- $\sigma_{or,i}$  - вертикальный компонент геостатического напряжения в середине  $i$ -

- ого слоя
- $\sigma_{p,i}$  - давление переуплотнения в  $i$ -ом слое
- $\sigma_{z,i}$  - вертикальный компонент увеличивающегося напряжения (например, напряжения вследствие нагрузки конструкции), вызывающего сжатие слоя
- $m_i$  - модуль Джанбу в  $i$ -ом слое
- $m_{r,i}$  - модуль повторного сжатия Джанбу в  $i$ -ом слое
- $h_i$  - толщина  $i$ -ого слоя

Если напряжение вследствие нагрузки не приводит к тому, что конечное напряжение превышает давление переуплотнения ( $\sigma_{or} + \sigma_z \leq \sigma_p$ ), можно принять следующие уравнения для расчета усадки слоистого песчаного или илистого подгрунта:

$$s_i = \frac{h_i}{5 \cdot m_{r,i}} \cdot \left( \sqrt{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}} - \sqrt{\sigma_{or,i}} \right)$$

- где:
- $\sigma_{or,i}$  - вертикальный компонент геостатического напряжения в середине  $i$ -ого слоя
- $\sigma_{p,i}$  - давление переуплотнения в  $i$ -ом слое
- $\sigma_{z,i}$  - вертикальный компонент увеличивающегося напряжения (например, напряжения вследствие нагрузки конструкции), вызывающего сжатие слоя
- $m_{r,i}$  - модуль повторного сжатия Джанбу в  $i$ -ом слое
- $h_i$  - толщина  $i$ -ого слоя

## Анализ связного грунта по теории Джанбу

В случае связного грунта степень напряжения равна 0. Для грунта с нормальным уплотнением степень напряжения получают из уравнения касательного модуля деформации (при изменении и последующим объединении)  $E_t$  для усадки слоистого подгрунта, сформированного связным грунтом, в следующем виде:

$$s_i = \frac{h_i}{m_i} \cdot \ln \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{or,i}}$$

- где:
- $\sigma_{or,i}$  - вертикальный компонент геостатического напряжения в середине  $i$ -ого слоя
- $\sigma_{z,i}$  - вертикальный компонент увеличивающегося напряжения (например, напряжения вследствие нагрузки конструкции), вызывающего сжатие слоя
- $m_i$  - модуль Джанбу в  $i$ -ом слое
- $h_i$  - толщина  $i$ -ого слоя

## Анализ переуплотненного связного грунта по теории Джанбу

Большинство типов связного грунта в исходном состоянии за исключением очень молодых или органических глин являются переуплотненными. Если конечное напряжение в грунте превышает напряжение переуплотнения ( $\sigma_{or} + \sigma_z > \sigma_p$ ), усадка композитов слоистого подгрунта из связного грунта рассчитываются из следующей формулы:

для:  $\sigma_{or} + \sigma_z > \sigma_p$

$$s_i = \frac{h_i}{m_{r,i}} \cdot \ln \frac{\sigma_{p,i}}{\sigma_{or,i}} + \frac{h_i}{m_i} \cdot \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{p,i}}$$

для:  $\sigma_{or} + \sigma_z \leq \sigma_p$

$$s_i = \frac{h_i}{m_{r,i}} \cdot \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{or,i}}$$

где:

- $\sigma_{or,i}$  - вертикальный компонент геостатического напряжения в середине  $i$ -ого слоя
- $\sigma_{p,i}$  - давление переуплотнения в  $i$ -ом слое
- $\sigma_{z,i}$  - вертикальный компонент увеличивающегося напряжения (например, напряжения вследствие нагрузки конструкции), вызывающего сжатие слоя
- $m_i$  - модуль Джанбу в  $i$ -ом слое
- $m_{r,i}$  - модуль повторного сжатия Джанбу в  $i$ -ом слое
- $h_i$  - толщина  $i$ -ого слоя

## Расчёт осадки с помощью дилатомера

Дилатометрический модуль  $M_{DMT}$  [МПа] определяется как тангенс зависимости объёмного напряжения в грунте  $\sigma_{vo}$  от объёмной деформации при обезвоженных условиях. Модуль получаем по результатам **дилатометрических испытаний (DMT)**.

Если значение дилатометрического модуля  $M_{DMT}$  неизвестно, программа позволяет ввести коэффициент объёмной сжимаемости  $m_V$  [ $m^2/MH$ ] полученный с помощью **эдометрического испытания**. Отношение между дилатометрическим модулем и коэффициентом объёмной сжимаемости описывает формула:

$$M_{DMT} = \frac{1}{m_V}$$

где:

- $M_{DMT}$  - дилатометрический модуль
- $m_V$  - коэффициент объёмной сжимаемости

Решение основано на теории по Марчетти, которая использует линейную упругость - осадка линейно зависит от изменения напряжения и не характеризует нелинейную зависимость между напряжением и деформацией.

Осадка  $i$ -го слоя рассчитывается по формуле:

$$s_i = \frac{\sigma_{z,i} \cdot h_i}{M_{DMT}}$$

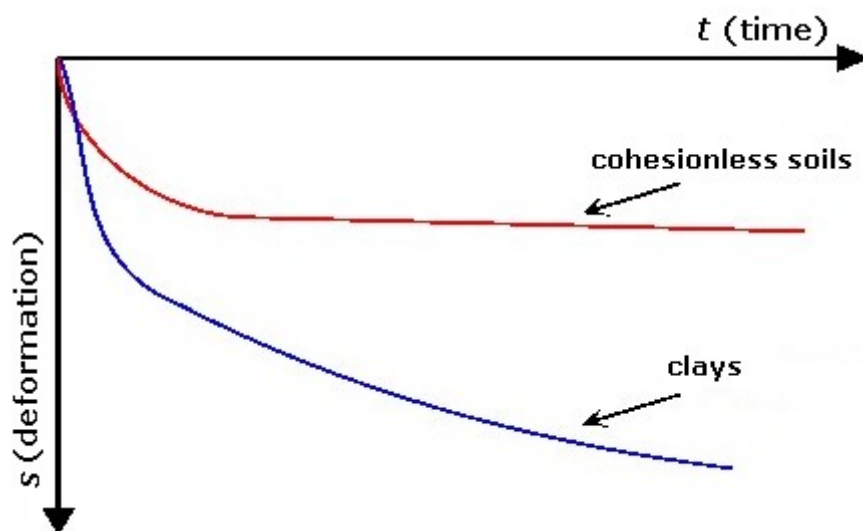
где:  $\sigma_{z,i}$  - прирост вертикального напряжения в середине  $i$ -ого слоя  
 $h_i$  - толщина  $i$ -ого слоя  
 $M_{DMT}$  - дилатометрический модуль

#### Литература:

Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G. & Calabrese, M.: *The Flat Dilatometer Test (DMT) in soil investigations. A Report by the ISSMGE Committee TC16, University of L'Aquila, Italy, 2001, 48 p.*

## Теория усадки

Если изменение напряжения в грунте и в возводимом грунтовом сооружении, вызванное напряжением поверхности грунта, известно, можно определить деформацию грунта. Деформация грунта обычно имеет наклон, а ее вертикальный компонент и является усадкой. В принципе, усадка не зависит от времени, т.е. она не появляется сразу после введения нагрузки, но скорее зависит от степени уплотнения грунта. Водопроницаемые, менее сжимающиеся типы грунта (песок, гравий) деформируются быстро, а насыщенные, глинистые типы грунта с низкой водопроницаемостью подвержены постепенной деформации, или уплотнению.



Зависимость усадки грунта от времени

Прикладываемая нагрузка вызывает усадку, которую можно разделить на три отдельных части в зависимости от временной реакции:

- мгновенная усадка (начальная)
- первичная усадка (уплотнение)
- вторичная усадка (сдвиг)

#### Мгновенная усадка



Во время мгновенной усадки грунт подвергается только сдвиговой деформации, в результате чего происходит изменение формы, но без объемной деформации. Потеря пластового давления в грунте равна 0.

### Первичная усадка

Этот этап деформации грунта характеризуется деформацией структуры вследствие движения и сжатия крупинки, что проявляется в изменении объема. Если поры заполнены водой (особенно в случае грунта с низкой водопроницаемостью), вода выходит из сдавливаемых пор в местах с наименьшим давлением (происходит уплотнение грунта). Первичная уплотняющая усадка зависит от времени и прекращается при достижении пластовым давлением нулевого значения.

### Вторичная усадка

После завершения вторичной усадки деформация структуры больше не ведет к изменению пластового давления (теоретически в бесконечности). При увеличении давления крупинки могут оказаться настолько сильно прижатыми друг к другу, что начинают деформироваться сами, и объем продолжит изменяться, т.е. имеет место деформация ползучести структуры или вторичное уплотнение (усадка). В отличие от первичной, вторичная усадка проходит под постоянным действительным напряжением. Особенно в случае с мягким пластичным или сжатым грунтом вторичное уплотнение должно обязательно учитываться. При переуплотненном грунте оно может составлять прим. 10 % общей усадки, для грунта с нормальным уплотнением - даже порядка 20 %.

## Первичная усадка

Конечная первичная усадка часто заменяется термином «усадка». Большинство методов расчета можно отнести к одной из двух групп: (линейная упругая деформация, нелинейная упругая деформация)

### Линейная упругая деформация

Линейное отношение напряжение - натяжение выводится из закона Гука:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\sigma_{ef}}{E}$$

где:  $\varepsilon$  - вызванная деформация слоя грунта  
 $\Delta\sigma_{ef}$  - вызванное изменение действительного напряжения в слое грунта  
 $E$  - модуль упругости Юнга в слое грунта  
 $\nu$  - коэффициент Пуассона

Применение модуля упругости Юнга  $E$  заменяется только в случаях, когда напряженный грунт может растягиваться в горизонтальном направлении. Это, однако, допустимо только для небольших отдельных фундаментов. При приложении нагрузки на большую площадь, напряженный грунт не может, за исключением его краев, деформироваться в стороны и испытывает поэтому только вертикальное (одномерное) натяжение, относящееся к эдометрическому модулю  $E_{oed}$ , который больше модуля упругости  $E$ .

Усадка слоя грунта определяется умножением деформации слоя грунта  $\varepsilon$  на его толщину (высоту)  $H_o$ :

$$s = \varepsilon \cdot H_o$$

где:  $\varepsilon$  - деформация слоя грунта

$H_o$  - толщина слоя грунта

В случае слоистого подгрунта общая усадка определяется сложением усадок отдельных слоев:

$$s = \sum s_i = \sum \varepsilon_i \cdot H_{oi}$$

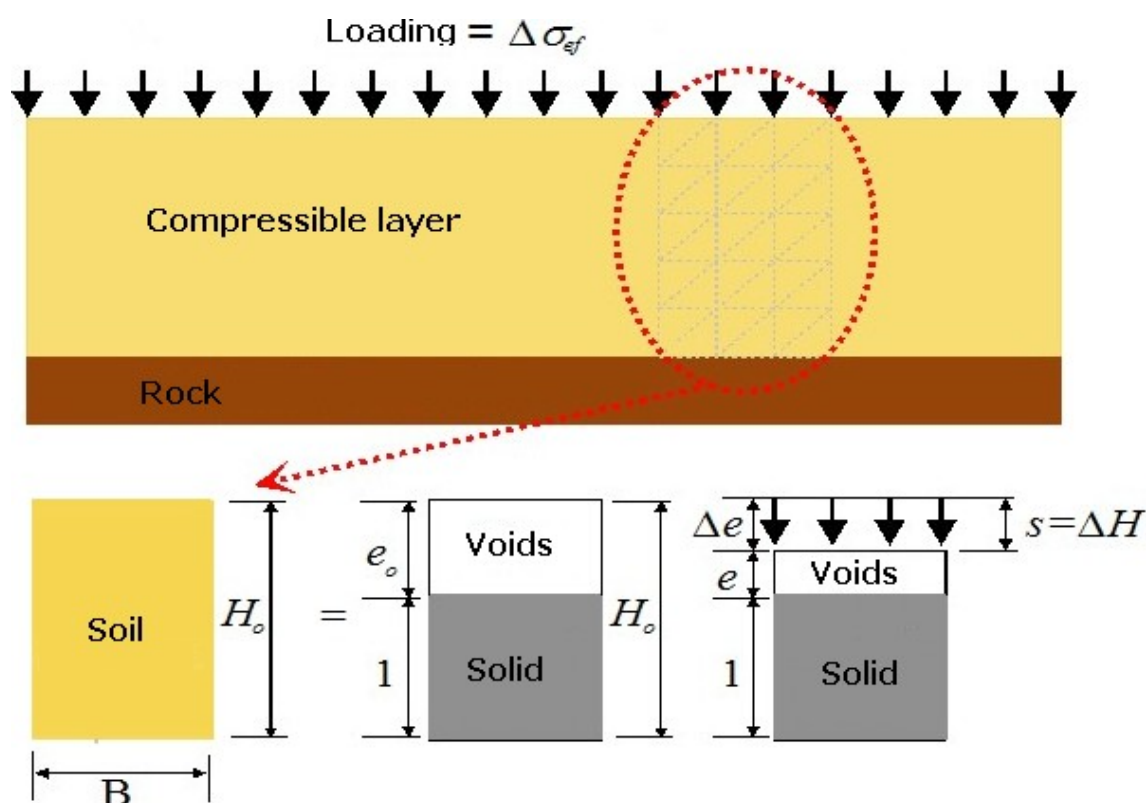
где:

- $s$  - усадка слоистого подгрунта
- $\varepsilon_i$  - деформация i-ого слоя грунта
- $H_{oi}$  - толщина i-ого слоя грунта

### Нелинейная упругая деформация

Для большинства типов грунта отношение напряжение - натяжение имеет нелинейный характер и часто определяется влиянием нагрузки. Нелинейность нельзя не учитывать, особенно при расчете усадки мелкозернистого грунта (ил, глина). Очевидно, что решение, основанное на применении модуля упругости Юнга, не всегда приемлемо. Даже при использовании зависящего от напряжения **эдометрического модуля деформации**, не возможно получить достоверную оценку поведения определенных переуплотненных типов грунта. нелинейная упругая деформация обычно моделируется при помощи **коэффициента пористости** и характеристик деформации, полученных при одномерной деформации образца грунта (например, **постоянная сжатия**, **коэффициент сжатия** и т.д.).

Расчет усадки сжимающегося насыщенного слоя грунта с использованием коэффициента пористости  $e$  описывается на следующем элементе грунта, имеющем высоту  $H_o$  и ширину  $B = 1m$ :



Анализ усадки по фазовой диаграмме

Поскольку грунт является трехфазным материалом (он содержит твердые частицы и поры,

наполненные водой и газом), твердые частицы (частицы горной породы и крупинки минералов) можно описать их объемом  $V_s$  (и принять его равным 1), а поровую фазу можно описать при помощи **коэффициента пористости**  $e$ .

Элемент грунта подвергается на верхней поверхности равномерной нагрузке  $q$ , что приводит к изменению напряжения внутри образца и вертикальному смещению  $\Delta H$ , которое, в свою очередь, вызывает сокращение пор  $V_p$  и, следовательно, коэффициента пористости (от исходного значения  $e_o$  до нового значения  $e$ ). Вертикальная деформация  $\varepsilon$  образца грунта выражается отношением  $\Delta H$  к высоте  $H_o$  исходного образца, и может быть представлена с помощью коэффициента пористости  $e$ :

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_o} = \frac{s}{H_o} = \frac{\Delta e}{1+e}$$

где:

- $\varepsilon$  - вертикальное относительное сжатие
- $\Delta H$  - вертикальная деформация
- $H_o$  - исходная высота элемента
- $s$  - усадка
- $e$  - коэффициент пористости
- $\Delta e$  - изменение коэффициента пористости

Изменяя это уравнение, получаем формулу, описывающую усадку образца с помощью коэффициента пористости:

$$s = \frac{\Delta e}{1+e} \cdot H_o = \varepsilon \cdot H_o$$

где:

- $\varepsilon$  - вертикальное относительное сжатие
- $H_o$  - исходная высота элемента
- $s$  - усадка
- $e$  - коэффициент пористости
- $\Delta e$  - изменение коэффициента пористости

## Вторичная усадка

Для описания постепенной ползучести грунта во время вторичной усадки программа использует метод Буйсмана (он включает **коэффициент вторичного уплотнения**  $C_\alpha$ , выведенный **Ладде**). По данным наблюдений Буйсманн предложил изменение  $\varepsilon$  вследствие долгосрочного напряжения в виде следующей формулы, предположив, что деформация грунта имеет линейный характер при наложении на полулогарифмическую шкалу в отношении ко времени:

$$\varepsilon = \varepsilon_p + \varepsilon_s \cdot \log\left(\frac{t}{t_o}\right)$$

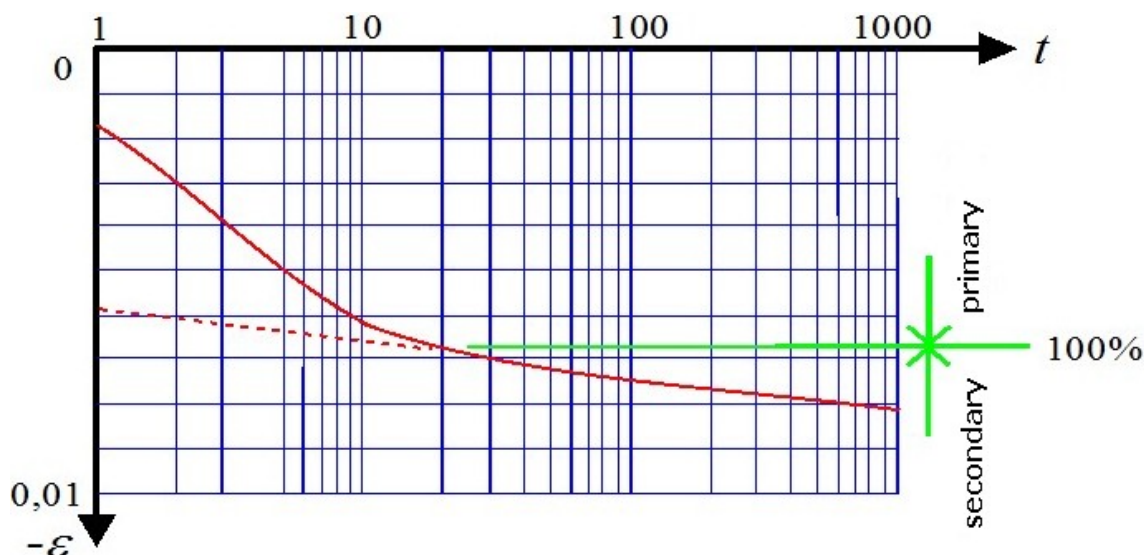
где:

- $\varepsilon$  - общая деформация
- $\varepsilon_p$  - деформация, связанная с первичным уплотнением

$\varepsilon_s$  - деформация, связанная с вторичным уплотнением

$t$  - время уплотнения

$t_0$  - начальная точка отсчета



Изменение деформации (первичная и вторичная усадки) в зависимости от времени

## Консолидация

Программа позволяет ввести в расчёт влияние консолидации - выбираем в рамке «**Настройка**». Консолидированный слой, состоящий из водонепроницаемого грунта или грунта с низкой водопроницаемостью со временем постепенно оседает. Консолидация действует также на значения порового давления. Параметры грунта, влияющие на расчёт консолидации задаём в рамке «**Грунты**», другие «**параметры консолидации**» в рамке «**Расчёт**» на отдельных этапах.

Сперва рассчитан коэффициент консолидации, (зависит от свойств грунта), по формуле:

$$c_v = \frac{E_{oed} \cdot k}{\gamma_w}$$

где:

- $E_{oed}$  - **эдометрический модуль деформации**
- $k$  - **коэффициент фильтрации**
- $\gamma_w$  - **удельный вес воды**

Если консолидированный слой образован неоднородным грунтом, то коэффициент  $c_v$  получаем как средне-взвешенное коэффициентов отдельных грунтов.

Далее, на расчёт консолидации влияют факторы времени, которые зависят от траектории оттока воды. Если отток происходит в одном направлении, траектория равна толщине консолидированного слоя, в случае оттока в двух направлениях - траектория или половине толщины слоя. Реальный фактор времени рассчитываем с помощью уравнения:

$$T_v = \frac{c_v t}{H^2}$$

где:  $c_v$  - коэффициент консолидации  
 $t$  - реальное время  
 $H$  - траектория оттока воды

Фактор времени продолжительности строительства зависит от продолжительности действия нагрузки. При вводе общей нагрузки в начале этапа, время строительства равно 0. При линейном увеличении нагрузки в течение этапа построения, время строительства равняется продолжительности этапа. Фактор времени продолжительности построения рассчитывается по формуле:

$$T_c = \frac{c_v t_c}{H^2}$$

где:  $c_v$  - коэффициент консолидации  
 $t_c$  - продолжительность строительства  
 $H$  - траектория оттока воды

Степень консолидации рассчитана по следующим формулам:

для  $T_v \leq T_c$

$$U_{av} = \frac{T_v}{T_c} \left\{ 1 - \frac{2}{T_v} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{M^4} [1 - \exp(-M^2 T_v)] \right\}$$

для  $T_v > T_c$

$$U_{av} = 1 - \frac{2}{T_c} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{M^4} [\exp(M^2 T_c) - 1] \exp(-M^2 T_v)$$

где:

$$M = (2m + 1) \frac{\pi}{2}$$

где:  $T_v$  - реальный фактор времени  
 $T_c$  - фактор времени продолжительности строительства

Конечное значение деформации в консолидированном слое на данном этапе строительства умножается на соответствующую степень консолидации  $U_{av}$ :

$$\varepsilon_{fin} = U_{av} \cdot \varepsilon$$

где:  $\varepsilon_{fin}$  - конечное значение деформации  
 $\varepsilon$  - исходное значение деформации  
 $U_{av}$  - степень консолидации

В процессе консолидации меняется величина порового давления в консолидированном слое. В момент приложения пригрузки поровое давление достигает максимальных значений, а со временем оно постепенно затухает вплоть до полного исчезновения (реальное время равно теоретически бесконечности).

Поровое давление рассчитываем:

$$\begin{aligned} \text{для } T_v \leq T_c \quad u &= \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2 \cdot u_0}{M^3 \cdot T_c} \cdot \sin \frac{M \cdot z}{H} \left[ 1 - \exp(-M^2 \cdot T_v) \right] \\ \text{для } T_v > T_c \quad u &= \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2 \cdot u_0}{M^3 \cdot T_c} \cdot \left[ \exp(M^2 \cdot T_c) - 1 \right] \sin \frac{M \cdot z}{H} \exp(-M^2 \cdot T_v) \\ \text{где:} \quad M &= (2m+1) \frac{\pi}{2} \end{aligned}$$

где:

- $T_v$  - реальный фактор времени
- $T_c$  - фактор времени продолжительности строительства
- $H$  - траектория оттока воды
- $z$  - глубина, на которой рассчитываются значения порового давления
- $u_0$  - изменение эффективного напряжения по сравнению с предыдущим этапом (пригрузка)

Литература:

*Braja M. Das. Advanced Soil Mechanics; Taylor & Francis: London, 2008. pp278 - 316*  
*Verruijt A. Soil Mechanics, Delft University of Technology, 2010, pp97-123,*  
<http://geo.verruijt.net/software/SoilMechBook.pdf>

## Определение глубины зоны воздействия

С теоретической точки зрения при приложении нагрузки на поверхность земли можно ожидать изменение напряжения в подгрунте на бесконечную глубину. Грунт, однако, деформируется только до определенной глубины - в пределах т.н. зоны воздействия.

Программа позволяет определить зону воздействия двумя способами:

- используя теорию конструктивной прочности
- определив процент первичного геостатического напряжения

## Теория конструктивной прочности

Конструктивная прочность представляет собой сопротивление грунта деформации нагрузкой в начале разрушения внутренней структуры. При уменьшении коэффициента  $m$  реакция грунта стремиться к линейности.

Если во время анализа усадки рассчитывается конструктивная прочность, то:

**1)** для зоны воздействия характерна глубина под нижней частью основания, на которой увеличение вертикального напряжения  $\sigma_z$  становится равным конструктивной прочности грунта (определяется умножением исходного геостатического напряжения  $\sigma_{or}$  на коэффициент  $m$ ):

$$\sigma_z = m \cdot \sigma_{or}$$

где:  $m$  - коэффициент конструктивной прочности

$\sigma_{or}$  - исходное геостатическое напряжение

**2)** при расчете усадки слоя, увеличение вертикального напряжения  $\sigma_z$  вследствие нагрузки и уменьшенное конструктивной прочностью грунта рассчитывается следующим образом:

$$\sigma_z = m \cdot \sigma_{or}$$

где:

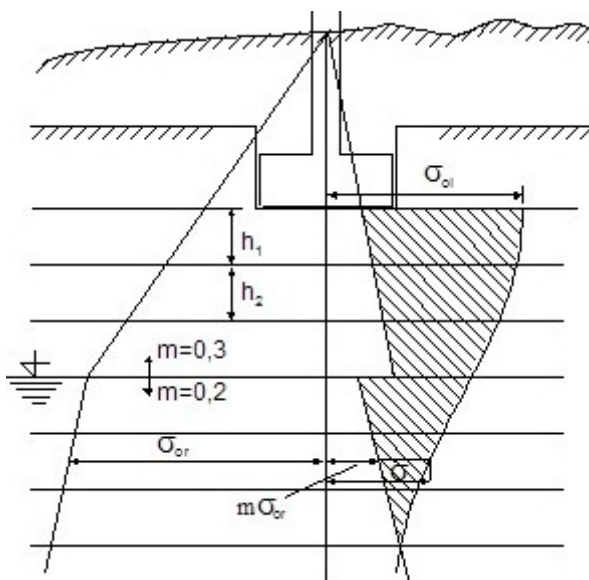
- $m$  - коэффициент конструктивной прочности
- $\sigma_{or}$  - исходное геостатическое напряжение
- $\sigma_z$  - увеличенное напряжение в среднем слое

а усадка ( $s$ ) в этом случае выводится из напряжения, заштрихованного на рисунке, и имеет следующий вид:

$$s = f(\sigma_z, m, \sigma_{or})$$

где:

- $m$  - коэффициент конструктивной прочности
- $\sigma_{or}$  - исходное геостатическое напряжение
- $\sigma_z$  - увеличенное напряжение в среднем слое



Глубина зоны воздействия на основании теории конструктивной прочности (площадь действительной нагрузки заштрихована)

## Метод ограничения значения первичного напряжения

Если допустить в анализе усадки ограничения в процентном отношении от первичного геостатического напряжения, то:

**1)** зона воздействия представлена глубиной под нижней частью основания, на которой увеличенное напряжение  $\sigma_z$  достигает определенного процента от исходного геостатического напряжения:

$$\sigma_z = x\% \cdot \sigma_{or}$$

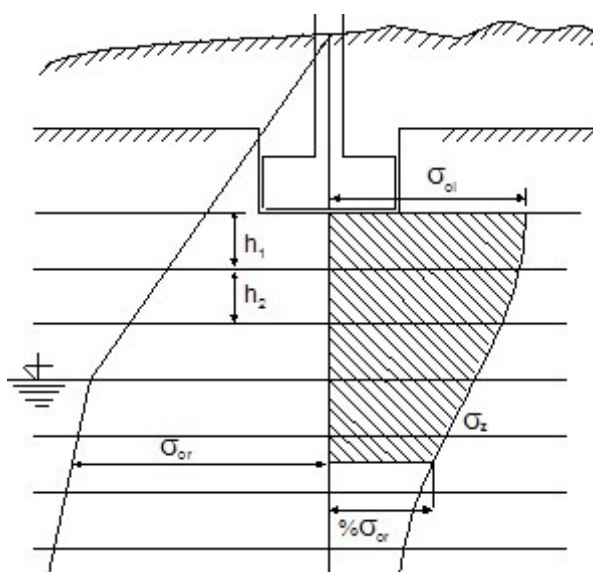


где:  $x\%$  - рассматриваемое значение геостатического напряжения  
 $\sigma_{or}$  - геостатическое напряжение

2) усадка ( $s$ ) выводится из напряжения, заштрихованного на рисунке, и имеет следующий вид:

$$s = f(\sigma_z, \sigma_{or})$$

где:  $\sigma_z$  - увеличенное напряжение  
 $\sigma_{or}$  - геостатическое напряжение



Глубина зоны воздействия, заданная ограничением значения первичного напряжения

## Характеристики расчётов осадки

В зависимости от выбранного метода расчёта программа в расчёте осадки использует следующие характеристики, которые могут взаимно отличаться по типу эксперимента, необходимого для их определения, или способом представления измеряемых величин:

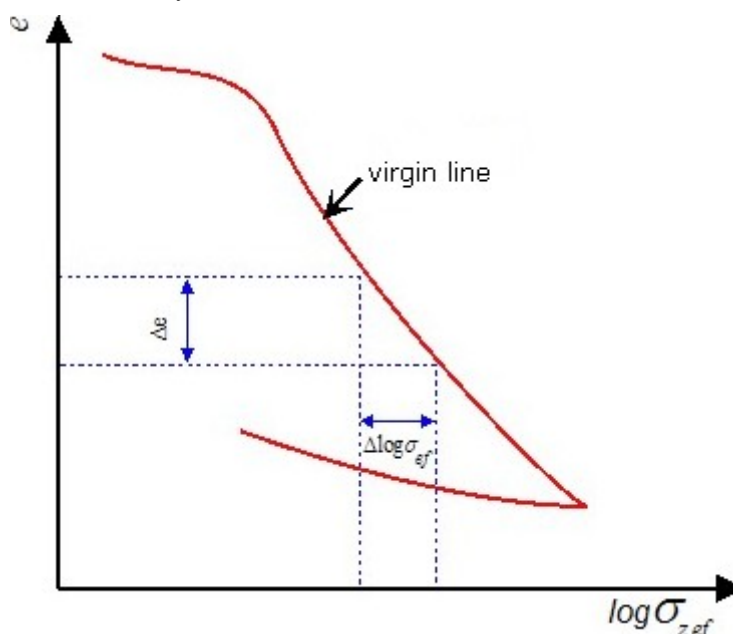
- Индекс сжимаемости  $C_c$
- Эдометрический модуль деформации  $E_{oed}$
- Модуль деформации  $E_{def}$
- Коэффициент сжимаемости  $C$
- Коэффициент сжимаемости десятичный  $C_{10}$
- Коэффициент пористости  $e$
- Коэффициент повторного сжатия  $C_r$
- Характеристики Джанбу
- Корректирующий коэффициент  $m$
- Модифицированный индекс сжимаемости  $\lambda$
- Коэффициент вторичного сжатия  $C_\alpha$



- Коэффициент переуплотнения вторичного сжатия  $C_{ar}$

## Коэффициент сжатия

Он описывает изменение коэффициента пористости ( $e$ ) как функцию изменения действительного напряжения  $\sigma_{ef}$ , наложенную на логарифмическую шкалу:



Коэффициент пористости ( $e$ ) к действительному напряжению  $\sigma_{ef}$

Таким образом, коэффициент является параметром деформации переуплотненного грунта:

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma_{ef}}$$

где:

$\Delta e$	-	изменение коэффициента пористости
$\Delta \log \sigma_{ef}$	-	изменение действительного напряжения

**Диапазон коэффициента сжатия  $C_c$**  (*Naval Facilities Engineering Command Soil Mechanics DESIGN MANUAL 7.01*)

Обычный диапазон коэффициента сжатия находится в пределах от 0,1 до 10. Примерные значения однородного песка для диапазона нагрузки в пределах от 95 kPa до 3926 kPa составляют от 0,05 до 0,06 для рыхлого состояния и 0,02 - 0,03 для плотного. Для ила это значение составляет 0,20.

**Для слегка переуплотненных глин и ила, измеренных Кауфманном и Шераманом (1964) в США, шт. Луизиана, были получены следующие значения:**

Грунт	Действительное напряжение переуплотнения $\sigma_{cef}$ [kPa]	Конечное действительное переуплотнение в грунте $\sigma_{ef}$ [kPa]	Коэффициент сжатия $C_c$ [-]
CL мягкая глина	160	200	0,34
CL твердая глина	170	250	0,44
ML ил низкой пластичности	230	350	0,16
CH глина высокой пластичности	280	350	0,84
CH мягкая глина с иловыми слоями	340	290	0,52

**Профессор Хуан М. Пестана-Нассименто (Калифорнийский университет, Беркли) предлагает следующие характерные значения коэффициента сжатия  $C_c$ :**

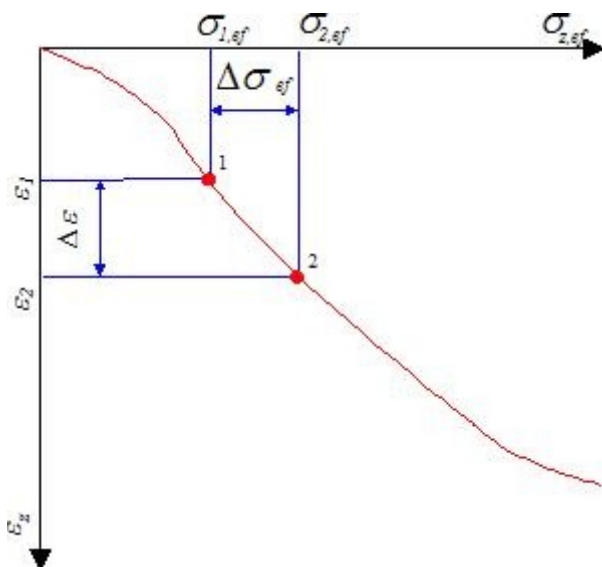
Грунт	Коэффициент сжатия $C_c$ [-]
Нормально уплотненный грунт	0,20 - 0,50
Чикагская глина с илом (CL)	0,15 - 0,30
Бостонская голубая глина (CL)	0,3 - 0,5
Викбургская глина - распадается на комочки (CH)	0,3 - 0,6
Шведская глина (CL - CH)	1 - 3
Канадская глина из Леда (CL - CH)	1 - 4
Глина Мехико (MH)	7 - 10
Органические глины (OH)	4 или более
Торф (Pt)	10 - 15
Органические глины и глинистые илы (ML - MH)	1,5 - 4,0
Сан-Францисские отложения (CL)	0,4 - 1,2
Глина в старом заливе Сан-Франсиско Clay	0,7 - 0,9
Бангкокская глина (CH)	0,4

Кроме того, существуют эмпирические выражения для определения примерных значений  $C_c$  для ила, глины, органических грунтов. Их применение, однако, определяется в той или иной мере местонахождением:

Грунт	Уравнения	Источник
Измененные глины	$C_c = 0,007(w_z - 7\%)$	Skempton 1944
Глины	$C_c = 1,15(e_0 - 0,35)$	Nishida 1956
Бразильские глины Глины Сан-Пауло	$C_c = 0,256 + 0,43(e_0 - 0,84)$ $C_c = 0,0046(w_z - 9\%)$	Cozzolino 1961
Нью-Йоркские глины	$C_c = 0,009(w_z - 10\%)$	Terzaghi a Peck 1948
Глины низкой пластичности	$C_c = 0,78(w_0 - 0,50)$	Sowers 1970
Тайбейские глины и илы	$C_c = 0,54(e_0 - 0,23)$ $C_c = 0,007(w_z - 7\%)$	Moh a kol. 1989
Глины	$C_c = 2,303 \rho_e e_0 \left[ 1 - \left( \frac{0,4}{e_0} \right)^2 \right]$ $C_c = \frac{\alpha \cdot w_z}{100} \left[ 1 - \left( \frac{20}{w_z} \right)^2 \right]$	Pestana 1994

## Эдометрический модуль

Если результаты эдометрического теста представить в виде эдометрической кривой ( $\Delta \varepsilon = f(\Delta \sigma_{ef})$ ), видно, что каждой точке на кривой соответствует разное соотношение  $\sigma_{ef} / \varepsilon$ .



### Определение эдометрического модуля $E_{oed}$

Если кривую деформации на определенном интервале двух соседних напряжений  $\sigma_{1,ef}$ - $\sigma_{2,ef}$  заменить секущей линией, то можно считать, что зависимость получаем линейной и представить сжимаемость грунта при помощи соотношения  $\Delta\sigma_{ef}/\Delta\varepsilon$  - называемым эдометрическим модулем деформации. Таким образом, эдометрический модуль деформации  $E_{oed}$  является секущим модулем, соединенным с определенным интервалом напряжения  $\sigma_{1,ef}$ - $\sigma_{2,ef}$ , на кривой деформации  $\Delta\varepsilon = (\Delta\sigma_{ef})$ :

$$E_{oed} = \frac{\Delta\sigma_{ef}}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_{2,ef} - \sigma_{1,ef}}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

В общем эдометрический модуль деформации  $E_{oed}$  стремится к увеличению своего значения по мере увеличения интервала напряжения. Поэтому следует при расчёте осадки каждого слоя принимать эдометрический модуль  $E_{oed}$ , соответствующий данному интервалу напряжения (от исходного до конечного), т.е. его значение будет разным в каждом слое. Программа позволяет это реализовать посредством ввода эдометрического модуля  $E_{oed}$  грунта, т.е. для каждого грунта задавать соответствующую эдометрическую кривую (зависимость  $\sigma_{ef}/\varepsilon$  ).

Опыт практики однако показывает (например, по глинам), что значения  $E_{oed}$ , выведенные из модуля деформации  $E_{def}$  и значения полученные в результате полевых нагрузочных испытаний расходятся в разы.

Отношение между модулем деформации  $E_{def}$  и эдометрическим модулем  $E_{oed}$  описано выражением:

$$E_{oed} = \frac{E_{def}}{\beta}$$

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}$$

где:  $\nu$  - коэф. Пуассона  
 $E_{def}$  - модуль деформации  
 $f$

**Ориентировочный диапазон эдометрического модуля деформации  $E_{oed}$  для отдельных типов грунта в диапазоне напряжений, которые наиболее часто встречаются при заложении строений ( проф. Ваничек: Механика грунтов:**

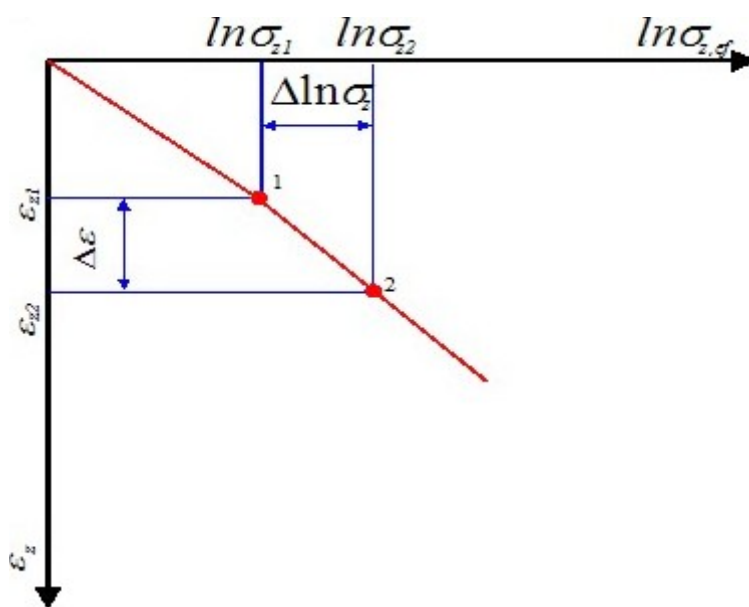
Грунт	Эдометрический модуль $E_{oed}$ [МПа]
Гравий	60 - 600
Пески средней плотности и плотные пески	7 - 130
Связный	2 - 30

Литература:

Ваничек, Й. Геомеханика 10: механика грунтов ( Vanicek, I.: Geomechanika 10: mechanika zemin). 3<sup>th</sup> edition, Prague, CTU, 2000, 229 s., ISBN 80-01-01437-1.

## Постоянная сжатия

При наложении действительного вертикального напряжения к вертикальной деформации на полу-логарифмической шкале часто имеет место линейная зависимость.



Определение постоянной сжатия  $C$

Уклон данной кривой является одним из параметров грунта, в частности при одномерной деформации и называется постоянной сжатия  $C$ :

$$C = \frac{1}{\Delta \epsilon} \cdot \ln \frac{\sigma_{2,ef}}{\sigma_{1,ef}}$$

где:  $\sigma_{1,ef}$  - исходное действительное напряжение грунта в эдометре  
 $\sigma_{2,ef}$  - конечное действительное напряжение грунта в эдометре

**Границы постоянной сжатия  $C$**  (J.Šimek: Mechanika zemin)

Грунт	Постоянная сжатия $C$ [-]
Лессовый ил	15 - 45
Глина	30 - 120
Ил	60 - 150
Песок средней плотности и плотный песок	150 - 200
Песок с гравием	> 250

## Постоянная сжатия 10

В инженерно-технической практике натуральный логарифм с основой иногда заменяется логарифмом с основой 10 при отображении напряжения  $\sigma_{ef}$ . В этом случае принято обозначать постоянную сжатия с подписью 10:  $C_{10}$ . Таким образом получаем выражение:

$$\log(x) = \frac{\ln(x)}{2,3}$$

Можно вывести отношение между постоянными сжатия  $C$  и  $C_{10}$ :

$$C_{10} = \frac{C}{2,3}$$

Арнольд Веррюйт (Arnold Verruijt) в своей «Механике грунтов» приводит следующие значения постоянной сжатия:

Грунт	$C$	$C_{10}$
Песок	50 - 500	20 - 200
Ил	25 - 125	10 - 50
Глина	10 - 100	4 - 40
Торф	2 - 25	1 - 10

## Коэффициент пористости

Коэффициент пористости ( $e$ ) описывает пористость грунта и рассчитывается по формуле:

$$e = \frac{V_p}{V_s}$$

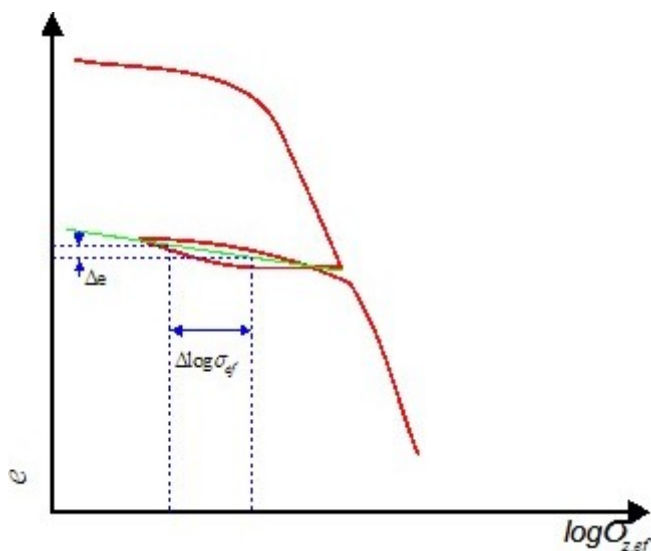
где:  $V_p$  - объем пор  
 $V_s$  - объем твердых крупинок

**Значения коэффициента пористости  $e$**  (Braja M. DAS: Principles of Foundation Engineering)

Грунт	Коэффициент пористости $e$ [-]
Плохого гранулометрического состава со свободной плотностью	0,8
Плотный песок хорошего гранулометрического состава	0,45
Песок с угловатыми частицами и со свободной плотностью	0,65
Песок с угловатыми частицами и большой плотностью	0,4
Жесткая глина	0,6
Мягкая глина	0,9 - 1,4
Лесс	0,9
Мягкая органическая глина	2,5 - 3,2
Валунная глина	0,3

## Коэффициент повторного сжатия (рекомпрессии)

Коэффициент повторного сжатия  $C_r$  определяется из графика изменения коэффициента пористости ( $e$ ) как функции действительного напряжения  $\sigma_{ef}$ , наложенного на логарифмическую шкалу для последовательности разгрузка - повторная нагрузка:



Определение коэффициента повторного сжатия  $C_r$

$$C_r = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma_{ef}}$$

где:  $\Delta e$  - изменение коэффициента пористости для кривой разгрузка - повторная нагрузка

$\Delta \log \sigma_{ef}$  - изменение действительного напряжения для кривой разгрузка - повторная нагрузка

Если отсутствуют результаты лабораторных или эксплуатационных измерений, коэффициент повторного сжатия  $C_r$  можно примерно вывести из формулы:

$$C_r \cong \frac{1}{5} \sim \frac{1}{10} C_c$$

где:  $C_c$  - постоянная сжатия

## Параметры Джанбу

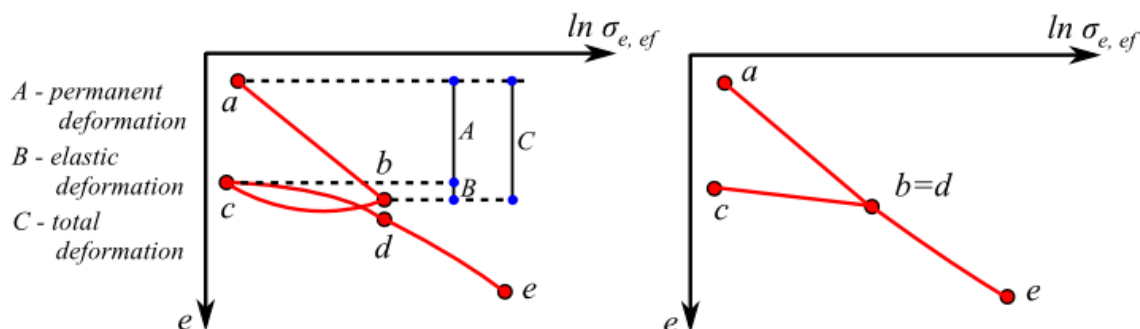
**Значения модуля Джанбу  $m$  и степени напряжения  $j$**  (according Canadian Foundation Engineering Manual 1992)

Грунт	Модуль Джанбу $m$	Коэффициент напряжения $j$
Очень плотный и плотный тилл, валунная глина	1000 - 300	1
Гравий	400 - 40	0,5
Плотный песок	400 - 250	0,5
Типичный песок	250 - 150	0,5
Рыхлый песок	150 - 100	0,5
Плотный ил	200 - 80	0,5
Типичный ил	80 - 60	0,5
Сыпучий ил	60 - 40	0,5
Твердая и очень жесткая глина	60 - 20	0
Средняя и жесткая глина	20 - 10	0
Мягкий глинистый ил	10 - 5	0
Мягкая морская глина	20 - 5	0
Органические глины	20 - 5	0
Торф	5 - 1	0



## Влияние предшествующего нагружения

Предшествующее нагружение в значительной мере влияет на распределение кривой деформации и, следовательно, на значения параметров деформации. На следующем рисунке представлена кривая деформации (диаграмма  $\Delta e = f(\Delta \sigma_{ef})$ ), выведенная из эдометрического текста нагрузки для, например, естественного плотного песчаного грунта.



Предшествующее нагружение а) Кривая деформации для глинистого грунта из эдометрического теста б) Упрощенная интерпретация кривой деформации

Образец грунта постепенно нагружался для достижения уровня напряжения  $\sigma_{bef}$ , отношение напряжение - деформация ( $\sigma_{bef} - \varepsilon$ ) носит в пределах участка  $a-b$  линейный характер и определяется как первичное или исходное (т.е. обнаруживается относительно сжатие). При превышении уровня напряжения  $\sigma_{bef}$  образец упруго разгружался, и грунт поднимался к участку  $b-c$  кривой деформации. При повторном нагружении грунт опускался до участка  $b-c$ , пока не достигал исходного напряжения  $\sigma_{bef}$ , которое было до разгрузки. При нагрузке свыше  $\sigma_{bef}$  кривая деформации асимптотически приближается в пределах  $d-e$  к первичной линии, что сопровождается жесткой деформацией образца грунта. Такую сложную кривую напряжения - деформации часто упрощают схематической кривой деформации (рис. б). Такая кривая описывает т.н. переуплотненные типы грунта, которые ранее подвергались значительным напряжениям и последующим разгрузкам. Коэффициент переуплотнения представляет собой отношение между максимальным напряжением переуплотнения, которому подвергался грунт, и текущим вертикальным напряжением. Переуплотненный грунт обычно следует по кривой, заданной точками  $c-d-e$ . Изменение в уклоне вдоль этой линии (заданной примерно точкой  $d$ ) соответствует либо вертикальному геостатическому напряжению  $\sigma_o$  (для грунта с обычным уплотнением), либо давлению переуплотнения  $\sigma_c$  (для переуплотненного грунта). Эта точка влияет на деформацию грунта, которая меньше на участке  $c-d$  по сравнению с участком  $d-e$  (где из-за большого переуплотнения увеличивается деформация грунта). Дополнительные параметры деформации: модуль деформации при разгрузке  $E_e$ , коэффициент одномерного набухания  $C_e$ , коэффициент повторного сжатия  $C_r$  и т.д. вводятся для описания столь сложного поведения грунта. В настоящее время наиболее часто используемым параметром является коэффициент повторного сжатия  $C_r$ , который хорошо подходит для расчета усадки переуплотненного грунта.

## Коэффициент $m$

Корректирующий коэффициент нагрузки вследствие конструктивной прочности  $m$  определяет конструктивную прочность грунта.

**Значения корректирующего коэффициента нагрузки  $m$**

Тип основного грунта	<i>m</i>
<p>Очень сжимающийся мелкозернистый грунт класса F1 -F8</p> <p>- с модулем деформации <math>E_{def} &lt; 4 \text{ МПа}</math></p> <p>- непереуплотненный</p> <p>- от мягкой до твердой консистенции (все 3 свойства должны выполняться), насыпка, насыпной грунт</p> <p>осадочные отложения второго и третьего порядка</p> <p>горные породы класса R1, R2</p>	0,1
<p>мелкозернистый грунт класса F1-F8, не принадлежащий коэффициенту</p> <p><math>m = 0,1</math> ни <math>0,4</math> ни <math>0,6</math></p> <p>песок и гравий класса S1, S2, G1, G2 под уровнем грунтовых вод</p> <p>горные породы класса R3, R4</p>	0,2
<p>песок и гравий класса S1, S2, G1, G2 под уровнем грунтовых вод</p> <p>песок и гравий с глиной, илом или мелкоземной примесью</p> <p>песок класса S3, S4, S5, G3, G4, G5</p> <p>горные породы класса R5, R6</p>	0,3
Элювий вулканических или метафорических горных пород	0,4

## Измененный коэффициент сжатия

Анализ с использованием модели грунта Софта строится на упруго-пластичной модели, разработанной в Кембриджском университете. Вертикальная деформация грунта  $\epsilon$  в этом случае принимает линейную зависимость от логарифмического изменения действительного напряжения в грунте. Применение этой модели требует ввода измененного коэффициента сжатия  $\lambda$ , который обычно получают в результате трехмерных тестов.

Если нет возможности получить измененный коэффициент сжатия  $\lambda$  при лабораторных измерениях, его примерное значение можно вывести из коэффициента сжатия  $C_c$ :

$$\lambda = \frac{C_c}{2,3 \cdot (1 + e)}$$

где:  $C_c$  - коэффициент сжатия

$e$  - среднее значение коэффициента пористости (при его отсутствии,

можно заменить исходным коэффициентом сжатия  $e_0$ )

## Коэффициент вторичного сжатия

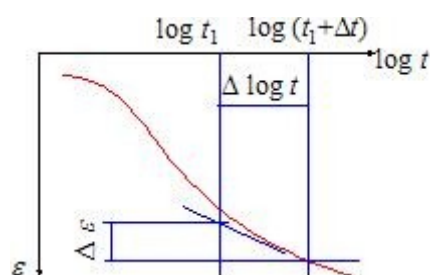
Коэффициент вторичного сжатия пропорционален логарифму времени и уклону первичного сжатия (он в значительной мере зависит от конечного действительного напряжения в грунте):

$$C_\alpha = \frac{\Delta \varepsilon}{\log t_2 - \log t_1}$$

где:

- $C_\alpha$  - коэффициент вторичного сжатия
- $\alpha$  - деформация слоя грунта
- $t_1$  - начальный временной момент периода наблюдения (измеряется с начала сжатия)
- $t_2$  - конечный временной момент периода наблюдения

Для определения значения коэффициента вторичного сжатия  $C_\alpha$  необходимы лабораторные (например, одномерные уплотнение в эдометре) или эксплуатационные измерения:



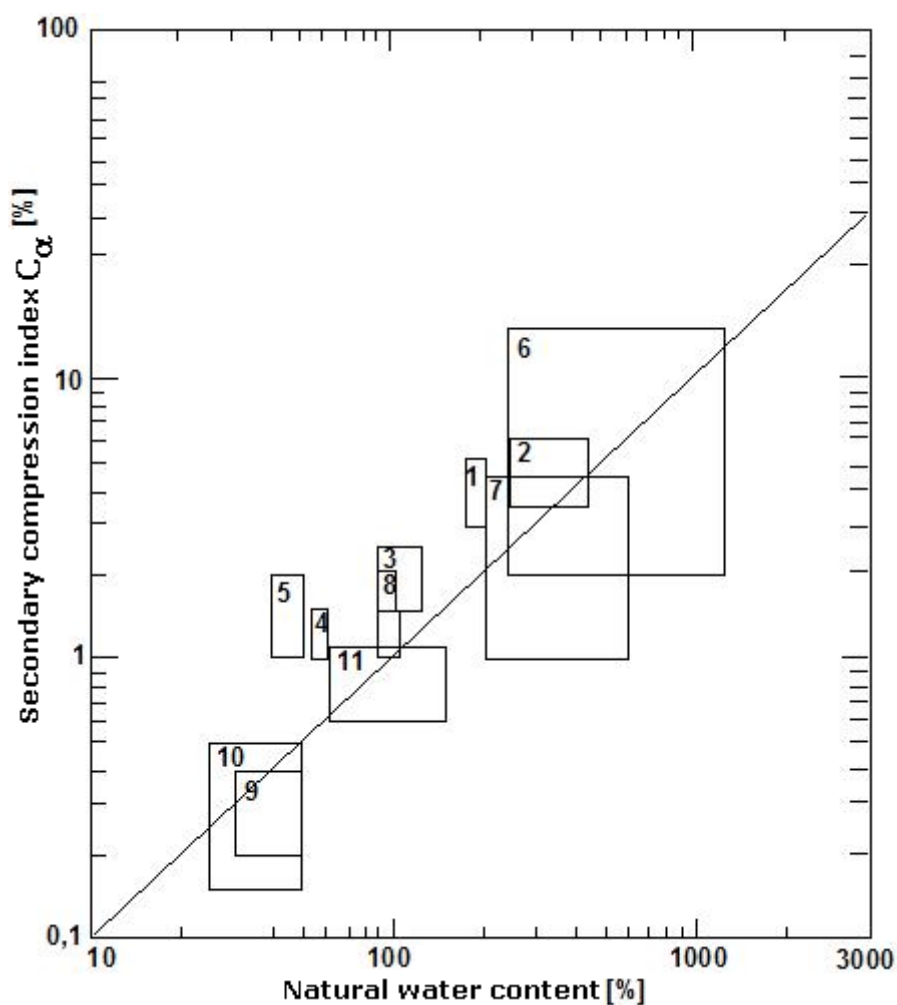
Определение коэффициента вторичного сжатия  $C_\alpha$

### Диапазон значений коэффициента вторичного сжатия $C_\alpha$

Песок	0,00003 - 0,00006
Илистый лесс	0,0004
Глина	0,01

В инженерно-технической практике отношение между коэффициентом вторичного сжатия  $C_\alpha$  и коэффициентом сжатия  $C_c$  обычно принимается постоянным для большинства глин с нормальным уплотнением для нагружения. Его среднее значение равно 0,05.

Изменение естественной влажности грунта в виде функции коэффициента вторичного сжатия  $C_\alpha$ , выведенного Месри, показано на рисунке:



*Изменение естественной влажности грунта в виде функции коэффициента вторичного сжатия  $C_\alpha$  по Месри*

- |    |                                |
|----|--------------------------------|
| 1  | Вантамиринская глина           |
| 2  | Глина Мехико                   |
| 3  | Известняковый органический ил  |
| 4  | Глина Леда                     |
| 5  | Норвежская пластичная глина    |
| 6  | Аморфный и волокнистый торф    |
| 7  | Канадский торы                 |
| 8  | Органические морские отложения |
| 9  | Бостонская голубая глина       |
| 10 | Чикагская голубая глина        |
| 11 | Органическая илистая глина     |

## Коэффициент переуплотнения вторичного сжатия

Коэффициент переуплотнения вторичного сжатия зависит от лабораторных измерений (например, одномерное уплотнение) и пропорционально логарифму времени, а уклон исходной линии уплотнения, если давление переуплотнения не было превышено:

$$C_{\alpha} = \frac{\Delta \varepsilon}{\log t_2 - \log t_1}$$

где:  $C_{\alpha}$  - коэффициент переуплотнения вторичного сжатия  
 $\varepsilon$  - деформация слоя грунта  
 $t_1$  - начальный временной момент периода наблюдения (измеряется с начала сжатия)  
 $t_2$  - конечный временной момент периода наблюдения

## Анализы в программе «Выработка»

Анализы в программе «**Выработка**» можно разделить на следующие группы:

- анализ формы мульды оседания над выработкой
- анализ разрушения зданий

Анализ разрушения зданий основывается на конфигурации мульды оседания.

## Расчёт мульды оседания

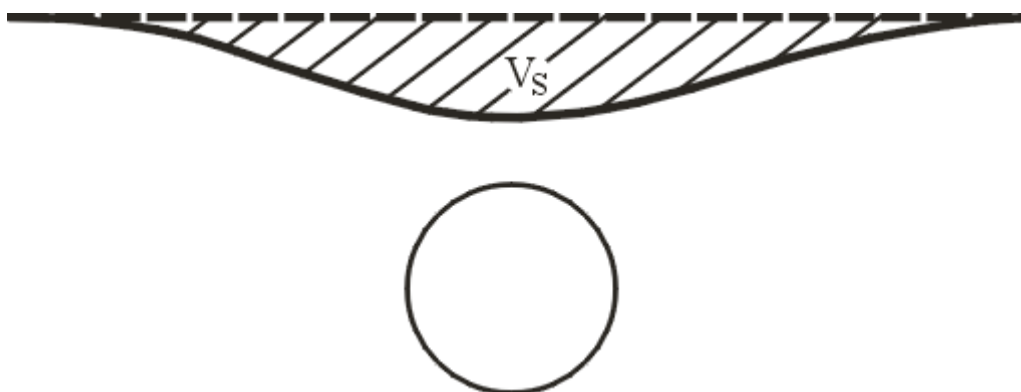
Расчёт мульды оседания состоит из нескольких последовательных шагов:

- Определение **максимальной осадки и размеров мульды оседания** для отдельных выработок
- Расчёт конфигурации мульды оседания
- Обратное исчисление конфигурации и размеров мульды оседания, при расчёте на определенной глубине под поверхностью земли
- Определение общей конфигурации мульды оседаний для при наличии нескольких выработок
- последующая вычисление других переменных (горизонтальной деформации, уклона)

Расчёт максимальной осадки и размеров мульды оседания можно выполнить по теории потери объема или по некоторой из классических теорий (Пека, Фазекаса, Лиманова).

## Потеря объема

Метод потери веса является полуэмпирическим методом, частично основанным на теории. Этот метод вводит в анализ, хотя и косвенно, основные параметры выработки (к ним относятся механические параметры материала, технологические действия выработки, подошву выработки и т.д.) с помощью 2 полных параметров (**коэффициента  $k$  для определения точки перегиба и процента потери объема  $VL$** ). Эти параметры определяют конфигурацию мульды оседания и определяются эмпирически из приобретаемого опыта.



#### Усадка, выраженная в значениях объема

Максимальная усадка  $S_{max}$  и положение точки перегиба  $L_{inf}$  определяются по следующим формулам:

$$L_{inf} = k \cdot Z$$

$$S_{max} = \frac{A \cdot VL}{100} \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot L_{inf}}}$$

где:

- $A$  - площадь выработки
- $Z$  - глубина центральной точки выработки
- $k$  - коэффициент для расчета точки перегиба (постоянная материала)
- $VL$  - процент потери объема

Деформация перекрытия  $u_a$  рассчитывается по формуле:

$$u_a = \frac{2r - \sqrt{4r^2 - \frac{4r^2 \cdot VL}{100}}}{2}$$

где:

- $r$  - радиус выработки
- $VL$  - процент потери объема

Литература:

<http://www.groundloss.com/>

## Рекомендуемые значения параметров для анализа потери объема

Данные, необходимые для определения мульды оседания с использованием метода потери объема грунта:

**Коэффициент для расчета точки перегиба  $k$**

Грунт или горная порода	$k$
Несвязный грунт	0,3
Глина с нормальным уплотнением	0,5
Переуплотненная глина	0,6 - 0,7
Глинистый сланец	0,6 - 0,8
Кварцит	0,8 - 0,9

### Процент потери объема $VL$

Технология	$VL$
Туннелепроходческая машина	0,5 - 1
Метод поэтапной выработки	0,8-1,5

Некоторые отношения также выводятся для определения значения потерянного объема  $VL$  на основании коэффициента устойчивости  $N$ , предложенного Бромсом и Беннермаркемом:

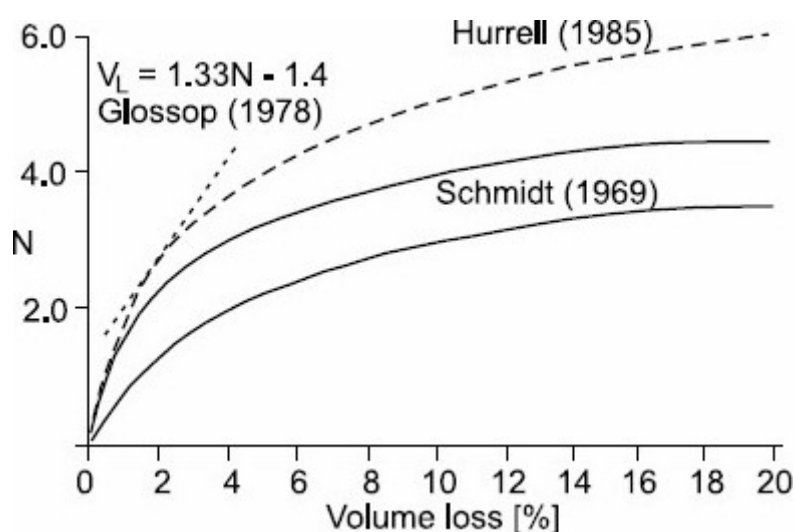
$$N = \frac{\sigma_v \cdot \sigma_t}{S_n}$$

где:  $\sigma_v$  общее напряжение вдоль оси выработки

$\sigma_t$  сопротивление подошвы выработки (если подошва установлена)

$S_n$  недренированная жесткость глины

Для  $N < 2$  грунт/порода в районе выработки принимается упругим и устойчивым. Для  $N \in < 2,4$  частные зоны пластичности начинают развиваться в районе выработки, для  $N \in < 4,6$  развивается большая зона пластичности вокруг выработки, а для  $N = 6$  происходит потеря устойчивости поверхности туннеля. На рисунке представлена зависимость коэффициента устойчивости и потери объема  $VL$ .



#### Литература:

Broms, B.B., Bennemark, H., 1967. Stability of clay at vertical openings. ASCE, Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, SMI 93, 71-94.

## Классическая теория

Анализ конвергенции выработки и расчет максимальной усадки в **однородном массиве** одинаковы для всех классических теорий. **Анализ мульты оседания** различаются в зависимости от выбранной теории (Пека, Фазекаса, Лиманова).

При расчете усадки программа сначала определяет радиальную нагрузку круговой выработки:

$$p = \sigma_z \cdot \frac{1 + K_r}{2}$$

где:  $\sigma_z$  — геостатическое напряжение в центре выработки

$z$

$K_r$  — коэффициент статического давления связного грунта

$r$

Деформации перекрытия  $u_a$  и нижней части  $u_b$  выработки определяется по формулам:

$$u_a = (1 + \nu) \cdot \frac{p}{E} \cdot r \cdot \frac{Z + (1 - 2\nu)r}{Z + r}$$

$$u_b = -(1 + \nu) \cdot \frac{p}{E} \cdot r \cdot \frac{Z + (1 - 2\nu)r}{Z + r}$$

где:  $Z$  — глубина центральной точки выработки

$r$  — радиус выработки

$E$  — модуль упругости породы/грунта в районе выработки



$\nu$  коэффициент Пуассона породы/грунта в районе выработки

Максимальная усадка земли и длина мульды оседания определяются по формулам:

$$S_{max} = (1 - \nu^2) \frac{p}{E} r \cdot \frac{4 \cdot r^2 \cdot Z}{Z^2 - r^2}$$

$$L = 2 \cdot \sqrt{Z^2 - r^2}$$

где:  $Z$  глубина центральной точки выработки

$r$  радиус выработки

$E$  модуль упругости породы/грунта в районе выработки

$\nu$  коэффициент Пуассона породы/грунта в районе выработки

Если **задается смещение перекрытия туннеля**, максимальная усадка рассчитывается по формуле:

$$S_{max} = 4 \cdot u_a \cdot \frac{Z \cdot (1 - \nu)}{(Z + r) \cdot (Z + r + 2 \cdot \nu r)}$$

где:  $Z$  глубина центральной точки выработки

$r$  радиус выработки

$u$  смещение перекрытия туннеля

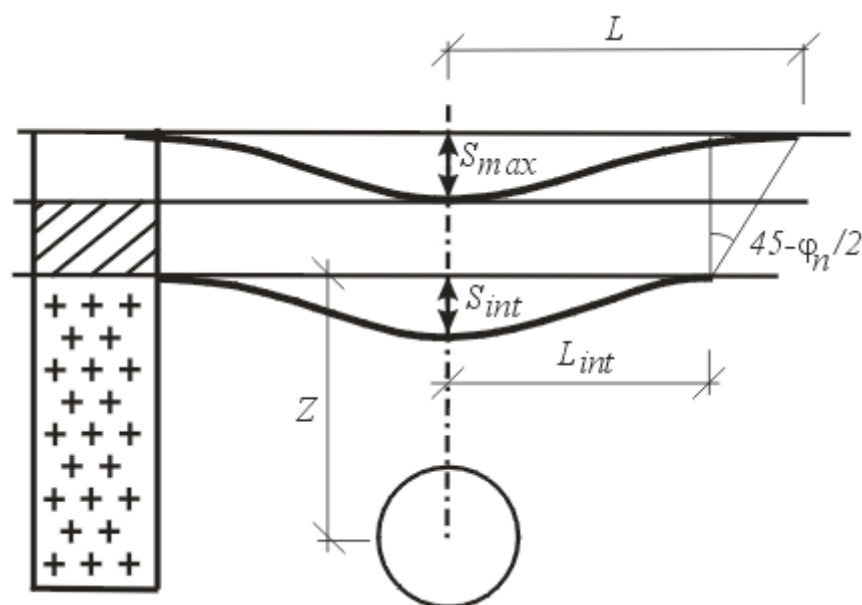
$a$

$\nu$  коэффициент Пуассона породы/грунта в районе выработки

## Анализ слоистого подгрунта

При определении усадки слоистого подгрунта программа сначала рассчитывает усадку на стыке между первым слоем над выработкой и другими слоями породы  $S_{int}$  и определяет длину мульды оседания вдоль стыков слоев. В этом случае метод соответствует методу, используемому для **однородного грунта**.

Далее (как показано на рисунке) программа определяет длину мульды оседания  $L$  на поверхности земли.



#### Анализ усадки слоистого подгрунта

Следующие расчеты зависят от выбранной теории анализа:

##### Решение по Лиманову

Лиманов описал горизонтальное смещение над выработкой с помощью площади потери  $F$ :

$$S_{max} = \frac{L}{F}$$

где:  $L$  - длина мульды оседания  
 $F$  - объем потери грунта на 1 метр погонный по формуле:

$$F = S_{int} \cdot \pi \cdot \frac{L_{int}}{2}$$

где:  $L_{int}$  - длина мульды оседания вдоль стыков над выработкой  
 $S_{int}$  - усадка соответствующего стыка

##### Решение по Фазекасу

Фазекас описал горизонтальное смещение над выработкой с помощью следующей формулы:

$$S_{max} = S_{int} \cdot \frac{L_{int}}{L}$$

где:  $L$  - длина мульды оседания  
 $L_{int}$  - длина мульды оседания вдоль стыков над выработкой  
 $S_{int}$  - усадка соответствующего стыка

##### Решение по Пеку

Пек описал горизонтальное смещение над выработкой с помощью следующей формулы:

$$S_{max} = S_{int} \cdot \frac{L_{int}}{L_{inf}}$$

где:  $L_{int}$  - длина мульды оседания вдоль стыков над выработкой  
 $S_{int}$  - усадка соответствующего стыка  
 $L_{inf}$  - расстояние точки перегиба мульды оседания от оси выработки на поверхности земли

*Литература:*

*Széchy, Károly, The art of tunnelling, Budapest : Akadémiai Kiadó, 1966*

## Конфигурация мульды оседания

Программа предлагает две определенные конфигурации мульды оседания: по Гаусса или Аверсину.

### Кривая, основанная на функции Гаусса

В США и Великобритании были проведены исследования, которые доказали, что поперечную конфигурацию мульды оседания можно примерно выразить при помощи функции Гаусса. Это допущение позволяет определить горизонтальное смещение на расстоянии  $x$  от вертикальной оси симметрии следующим образом:

$$S_i = S_{max} \cdot e^{\left( \frac{-x_i^2}{2 \cdot L_{inf}^2} \right)}$$

где:  $S_i$  - усадка в точке с координатой  $x_i$   
 $S_{max}$  - максимальная усадка грунта  
 $L_{inf}$  - расстояние **точки перегиба**

### Кривая, основанная на функции Аверсина

Аверсин вывел следующую формулу для определения конфигурации мульды оседания на основании визуальных наблюдений и измерений подземных сооружений в России:

$$S_i = S_{max} \cdot \left( 1 - \frac{x_i}{L} \right) \cdot e^{\left( \frac{4 \cdot x_i}{L} \right)}$$

где:  $S_i$  - усадка в точке с координатой  $x_i$   
 $S_{max}$  - максимальная усадка грунта  
 $L$  - длина мульды оседания

*Литература:*

*Széchy, Károly, The art of tunnelling, Budapest : Akadémiai Kiadó, 1966*

## Коэффициент расчета точки перегиба

При использовании **классических методов** введенный коэффициент  $k_{inf}$  позволяет

определить нахождение точки перегиба на основании  $L_{inf} = L / k_{inf}$ . В этом случае коэффициент  $k_{inf}$  оказывается очень важным входным параметром, влияющим на конфигурацию и уклон мульды оседания. Его значение зависит от среднего грунта / породы в пласте. В литературе приводятся значения  $k_{inf}$  в диапазоне 2,1 - 4,0.

Основываясь на ряде расчетов по методу конечных элементов, рекомендуются следующие значения коэффициента:

- гравийный песок G1-G3  $k_{inf} = 3,5$
- песок и гравийный грунт S1-S5, G4, G5, породы R5-R6  $k_{inf} = 3,0$
- мелкозернистый грунт F1-F4  $k_{inf} = 2,5$
- мелкозернистый грунт F5-F8  $k_{inf} = 2,1$

Коэффициент для расчета точки перегиба вводится в закладке «**Настройка**».

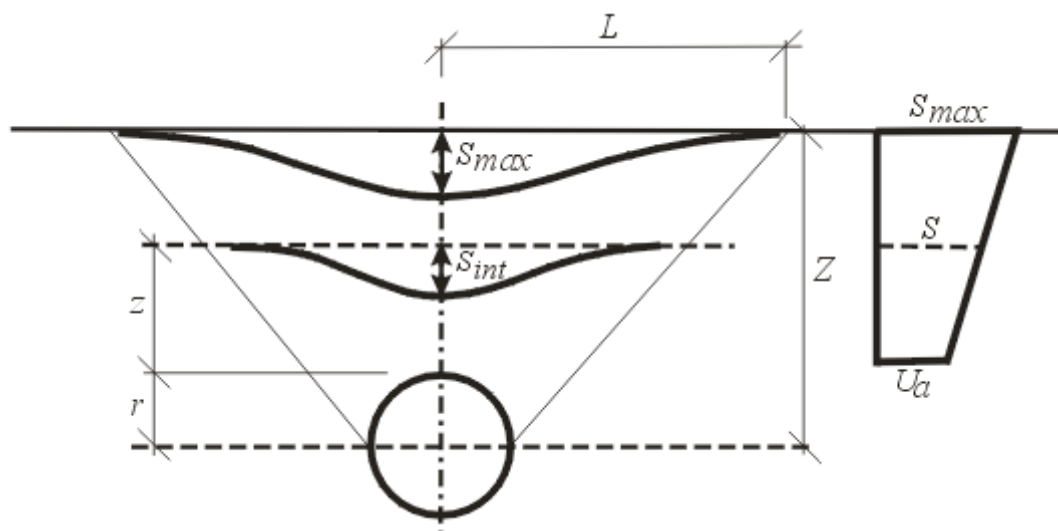
## Мульда оседания с несколькими выработками

При расчете усадки, вызванной конструктивной или многократными выработками, используется принцип наложения. Основываясь на входных параметрах, программа сначала определяет мульды оседания и горизонтальные смещения для отдельных выработок. Затем рассчитывается общая мульда оседания.

**Другие переменные**, горизонтальная деформация и градиент мульды оседания, выводятся из общей мульды оседания.

## Анализ мульды оседания на глубине

Для расчета максимальной усадки  $S$  на глубине  $h$  под поверхностью земли в однородном массиве используется линейная интерполяция между максимальным значением усадки  $S_{max}$  на поверхности земли и смещением верхней части выработки  $u_a$ .



Анализ мульды оседания на глубине

Ширина мульды оседания на породе  $l$  рассчитывается по формуле:

$$l = \frac{(L - r)(z + r)}{Z} + r$$

где:

- $L$  - длина мульды оседания на поверхности земли
- $r$  - радиус выработки
- $Z$  - глубина центральной точки выработки
- $z$  - глубина анализа

Значения  $l$  и  $S$  используются для определения конфигурации мульды оседания в породе над выработкой.

## Расчет других переменных

Вертикальная усадка сопровождается развитием горизонтальных смещений, который могут привести к разрушению соседних зданий. Горизонтальное смещение можно вывести из вертикальной усадки, если векторы смещения направлены в центр выработки. В этом случае горизонтальное смещение грунта рассчитывается по формуле:

$$S_x = -\frac{s(x)}{Z - r}$$

где:

- $x$  - расстояние точки  $x$  от оси выработки
- $s(x)$  - усадка в точке  $x$
- $Z$  - глубина центральной точки выработки
- $r$  - радиус выработки

Горизонтальные смещения определяются дифференцированно вдоль оси  $x$  и в поперечном направлении могут быть выражены при помощи следующего выражения:

$$\varepsilon_x = -\frac{s(x)}{Z - r} \cdot \left( \frac{x^2}{L_{inf}^2} - 1 \right)$$

где:

- $x$  - расстояние точки  $x$  от оси выработки
- $s(x)$  - усадка в точке  $x$
- $Z$  - глубина центральной точки выработки
- $L_{inf}$  - расстояние точки перегиба
- $r$  - радиус выработки

## Анализ разрушения зданий

Программа определяет конфигурацию и значения **мульды оседания**, а затем проводит анализ их воздействия на здания.

Программа предлагает 4 типа анализа:

- определение **трещин разрыва**
- определение **градиентного разрушения**

- определение **относительной деформации зданий** (искривление, прогиб)
- анализ **введенной секции здания**

## Трещины разрыва

Одной из причин, вызывающей разрушение зданий является **горизонтальная растягивающая деформация**. Программы выделяет отдельные части цветом, соответствующие определенному классу разрушения. Максимальное значение растягивающей деформации представлено в текстовом документе.

Программы выделяет предварительно определенные зоны разрушений каменных зданий. Эти значения можно изменить в рамке «**Настройка этапа**». Имеющийся опыт по туннелям с выработкой под застроенной территорией позволил выработать соотношение между мульдой оседания и разрушением зданий с точностью, основываясь на которой можно оценить степень компенсации для возможного разрушения, вызванного выработкой, с достоверностью, необходимой для разработки договорных документов и для подрядчиков, готовящих предложения по выработке туннелей.

Рекомендуемые значения для каменных 1-6-этажных сооружений приведены в следующей таблице.

### Горизонтальная деформация (промилле)

Пропорционально времени (промилле)	Разрушение	Описание
0,20 - 0,50	Микротрещины	Микротрещины
0,50 - 0,75	Незначительное разрушение, неглубокое	Трещины в штукатурке
0,75 - 1,00	Незначительное разрушение	Небольшие трещины в стенах
1,00 - 1,80	Разрушение средней степени, конструктивное	Трещины в стенах, проблемы с окнами и дверьми
1,80 -	Значительное разрушение	Широкие открытые трещины на несущих стенах и балках

## Градиентное разрушение

Одной из причин разрушения зданий является уклон мульды оседания. Программы выделяет отдельные части цветом, соответствующие определенному классу разрушения. Максимальное значение растягивающей деформации представлено в текстовом документе.

Программы выделяет предварительно определенные зоны разрушений каменных зданий. Эти значения можно изменить в рамке «**Настройка этапа**». Имеющийся опыт по туннелям с выработкой под застроенной территорией позволил выработать соотношение между мульдой оседания и разрушением зданий с точностью, основываясь на которой можно оценить степень компенсации для возможного разрушения, вызванного выработкой, с

достоверностью, необходимой для разработки договорных документов и для подрядчиков, готовящих предложения по выработке туннелей.

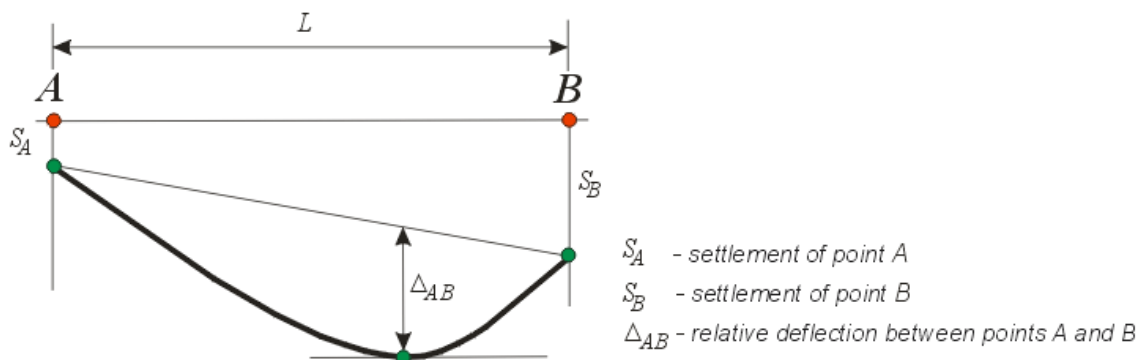
Рекомендуемые значения для каменных 1-6-этажных сооружений приведены в следующей таблице.

### Градиент

Градиент	Разрушение	Описание
1:1200 - 800	Микротрещины	Микротрещины
1:800 - 500	Незначительное разрушение, неглубокое	Трещины в штукатурке
1:500 - 300	Незначительное разрушение	Небольшие трещины в стенах
1:300 - 150	Разрушение средней степени, конструктивное	Трещины в стенах, проблемы с окнами и дверьми
1:150 - 0	Значительное разрушение	Широкие открытые трещины на несущих стенах и балках

## Относительный прогиб

Определение термина относительный прогиб очевидно из рисунка. Программа ищет на здании участки с максимальным относительным прогибом вниз или вверх. Очевидно, что с точки зрения повреждения здания самую большую опасность представляет относительный прогиб вверх, вызывающий «**раскрытие здания в результате растяжения**».



Относительный прогиб

Оценку максимального относительного прогиба должен выполнять сам пользователь. Таблица приводит рекомендацию следующих предельных значений в литературе.

Тип конструкции	Тип повреждения	Предельный относительный прогиб $\Delta/l$			
		Burland и Wroth	Meyerhof	Polshin и Tokar	ЧСН 73 1001
Неармированные несущие стены	Трещины в стенах	Для $L/H = 1$ - 0.0004 Для $L/H = 5$ - 0.0008	0,0004	0,0004	0,0015
	Трещины в несущих конструкциях	Для $L/H = 1$ - 0.0002 Для $L/H = 5$ - 0.0004	-	-	-

**Nemá zatím smysl vysazovat dokud nebudou fungovat tabulky !**

## Анализ разрушение части здания

На заданном участке программа определяет следующие величины:

- максимальная деформация от растяжения
- максимальный наклон
- максимальный относительный прогиб
- **относительный поворот** между заданными точками здания

Оценку анализируемого участка здания должен выполнять сам пользователь. Рекомендуются следующие предельные значения относительного поворота и относительного прогиба.

Тип конструкции	Тип повреждения	Предельный относительный поворот				
		Skempton	Meyerhof	Polshin a Tokar	Bjerrum	ЧСН 73 1001
Рамные конструкции и армированные несущие стены	Структурное	1/150	1/250	1/200	1/150	
	Трещины в стенах	1/300	1/500	1/500	1/500	1/500



Тип конструкции	Тип повреждения	Предельный относительный прогиб $\Delta/l$			
		Burland и Wroth	Meyerhof	Polshin и Tokar	ЧСН 73 1001
Неармированные несущие стены	Трещины в стенах	для $L/H = 1$ - 0.0004 для $L/H = 5$ - 0.0008	0,0004	0,0004	0,0015
	Трещины в несущих констр.	For $L/H = 1$ - 0.0002 For $L/H = 5$ - 0.0004			

## Измерение бетонных конструкций

Подбирать размеры железобетонных конструкций можно с использованием следующих стандартов:

- EN 1992-1-1 (EC2) или EN 1992-2
- CSN 73 1201R
- CSN 73 6206 (только для устои мостов)
- PN-B-03264 : 2002
- BS 8110 : 1997
- IS 456
- ACI 318 - 11
- AS 3600 - 2001
- SNiP 52-101 - 2003
- GB 50010 - 2002
- NZS 3101-2006
- CSA A23.3-14

## EN 1992-1-1 (EC2) или EN 1992-2

В справку по подбору размеров бетонных и железобетонных конструкций вошли следующие разделы:

- Материалы, коэффициенты, обозначения
- Стандартные значения коэффициентов
- Проверка прямоугольного сечения из неармированного бетона
- Проверка прямоугольного сечения из железобетона
- Проверка круглого ж-б сечения
- Проверка отдельного фундамента на продавливание
- Расчет продольной арматуры плит
- Расчёт срезной арматуры плит

- Проверка ширины трещин

## Материалы, коэффициенты, условные обозначения

Для параметров материала используются следующие обозначения:

- $f_{ck}$  - характерное значение цилиндрической прочности бетона в сжатии  
 $f_{cd}$  - расчетная прочность бетона в сжатии  
 $f_{cm}$  - среднее значение прочности бетона в растяжении  
 $f_{ctm}$  - среднее значение прочности бетона в растяжении  
 $f_{ctk,0.05}$  - наименьшее значение характерной прочности бетона в растяжение  
 $f_{ctd}$  - расчетная прочность бетона в растяжении  
 $f_{yk}$  - характерная прочность стали  
 $f_{yd}$  - расчетная прочность стали в растяжении

Характерная прочность бетона в сжатии - основной входной параметр, определяемый классом бетона - он служит для выведения остальных видов прочности с помощью коэффициентов надежности (Таб. 3.1).

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8$$

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot (f_{ck})^{\frac{2}{3}} \quad \text{для : } f_{ck} \leq 50 \text{ МПа}$$

$$f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln \left( 1 + \frac{f_{cm}}{10} \right) \quad \text{для : } f_{ck} > 50 \text{ МПа}$$

$$f_{ctk,0.05} = 0,7 \cdot f_{ctm}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0.05}}{\gamma_c}$$

$$E_{cm} = 22 \cdot \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

В программу встроены **стандартные значения коэффициентов**  $\alpha_{cc}$ ,  $\gamma_c$ ,  $\alpha_{ct}$ ,  $\gamma_s$  - эти значения пользователь может менять в зависимости от **выбранного Национального приложения**.

Наиболее часто используемые обозначения геометрических параметров:

- $b$  - ширина поперечного сечения

- $h$  - высота поперечного сечения  
 $d$  - эффективная высота поперечного сечения  
 $z$  - плечо внутренних сил

## Стандартные значения коэффициентов

Стандарт содержит ряд коэффициентов, которые можно менять в **Национальных приложениях**. В таблице приведены отдельные коэффициенты, их значения и № соответствующего пункта стандарта. В некоторых случаях переменное значение в формуле не имеет символа в стандарте. В этом случае приведена формула **и переменная названа  $X$** .

Коэффициент	Значение	Примечание	Пункт
$\gamma_c$	1,5		2.4.2.4
$\gamma_s$	1,15		2.4.2.4
$\alpha_{cc}$	1		3.1.6
$\alpha_{ct}$	1		3.1.6
$\alpha_{cc,pl}$	0,8		12.3.1
$\alpha_{ct,pl}$	0,8		12.3.1
$k$	1,5		12.6.3
$\rho_{min}$	0,0013		9.2.1.1
$X$	0,26	$\rho_{min} = X \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$	9.2.1.1
$\rho_{max}$	0,04		9.2.1.1
$\rho_{min}$	0,002		9.5.2
$X$	0,1	$\rho_{min} = \frac{X N_{Ed}}{f_{yd} A_s}$	9.5.2
$\rho_{max}$	0,04		9.5.2
$X$	0,18	$C_{Rd,c} = \frac{X}{\gamma_c}$	6.2.2
$\nu_{min}$	-	$0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}$	6.2.2

$X$	0,5	$v_{max} = X \cdot v \cdot f_{cd}$	6.2.2
$v$	-	$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$	6.2.2
$\cotg \theta_{min}$	1		6.2.3
$\cotg \theta_{max}$	2,5		6.2.3

**Национальное приложение, Чехия (ČSN EN 1992-1-1 - 2010)**

Коэффициент	Значение	Примечание	Пункт
$\alpha_{ct,pl}$	0,7		12.3.1

остальные значения - стандартные

**Национальное приложение, Словакия (STN EN 1992-1-1 - 2008)**

значения все стандартные

**Национальное приложение, Польша (PN EN 1992-1-1 - 2008)**

Коэффициент	Значение	Примечание	Пункт
$\gamma_c$	1,4		2.4.2.4
$\cotg \theta_{max}$	2,0		6.2.3

остальные значения - стандартные

**Национальное приложение, Норвегия (NS EN 1992-1-1 - 2004)**

Коэффициент	Значение	Примечание	Пункт
$\alpha_{cc}$	0,85		3.1.6
$\alpha_{ct}$	0,85		3.1.6

остальные значения - стандартные

**EN 1992-2 - 2007**

Коэффициент	Значение	Примечание	Пункт
$\alpha_{cc}$	0,85		3.1.6

остальные значения - стандартные

## Проверка прямоугольного сечения из неармированного бетона

Прямоугольное сечение, на которое действует изгибающий момент  $M_{sd}$ , нормальная сила  $N_{sd}$  (действует в центре тяжести сечения) и поперечная (сдвигающая) сила  $V_{sd}$ . Сопротивление сдвигу определяется по формуле (ст. 12.6.3):

$$V_{Rd} = \frac{f_{cvd} \cdot A_{cc}}{k}$$

где:  $A_{cc}$  - площадь сжатого бетона

$$f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd}^2 + \sigma_{cp} \cdot f_{ctd} - \left( \frac{\text{Max}(0; \sigma_{cp} - \sigma_{c,lim})}{2} \right)^2}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_{cc}}$$

$$\sigma_{c,lim} = f_{cd} - 2 \cdot \sqrt{f_{ctd} \cdot (f_{cd} + f_{ctd})}$$

Стандартное значение коэффициента  $k$  встроено в программу (пункт 12.6.3). Это значение в программе можно менять в зависимости от **выбранного Национального приложения**.

Сопротивление сечения, на которое действует изгибающий момент и нормальная сила рассчитывают по следующим формулам ( п.12.6.1) в зависимости от внецентренности нормальной силы  $e$ :

Как большее из значений:

$$N_{Rd} = b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd}$$

$$N_{Rd} = \text{Min} \left( \frac{b \cdot h \cdot f_{ctd}}{\frac{6 \cdot e}{h} - 1}; \frac{b \cdot h \cdot f_{cd}}{\frac{6 \cdot e}{h} + 1} \right)$$

Формула выражает сопротивление (несущую способность) при линейном распределении напряжения в сечении без трещины.

$$\eta = 1,0 - \frac{\text{Max}(f_{ck}; 50) - 50}{200}$$

$$x = h - 2 \cdot e$$

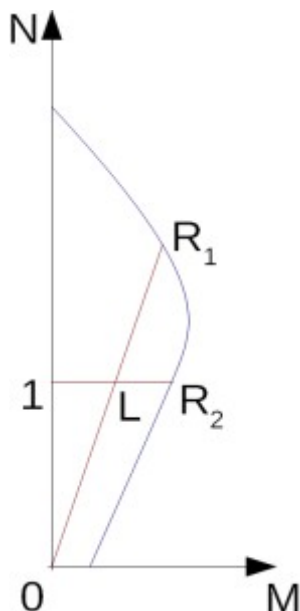
$$e = \text{Max} \left( \text{abs} \left( \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \right); \frac{h}{30}; 20 \text{mm} \right)$$

Минимальные значения внецентренности приведены в стандарте п. 6.1(3).

$$f_{cd} = \alpha_{cc,pl} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct,pl} \cdot \frac{f_{ctk,005}}{\gamma_c}$$

В программу встроены **стандартные значения коэффициентов**  $\alpha_{cc,pl}$ ,  $\alpha_{ct,pl}$ ,  $\gamma_c$  - эти значения пользователь может менять в зависимости **выбранного Национального приложения**.



Интерактивная диаграмма N-M

Коэффициент использования сечения, нагруженного изгибающим моментом и нормальной силой определяется как соотношение длин отрезков  $|OL| / |OR_1|$  или  $|IL| / |IR_2|$ , где  $L$  - нагружение,  $R_1$  сопротивление (несущая способность) при сохранении внецентренности,  $R_2$  сопротивление [несущая способность] при сохранении нормальной силы.

## Проверка прямоугольного железобетонного сечения изгибающим моментом и нормальной сжимающей силой.

Прямоугольное сечение, армировано с одной стороны, нагружено изгибающим моментом и нормальной сжимающей силой. Использован метод предельной деформативности. Максимальное относительное деформирование бетона в сжатии - 0,002 до 0,0035. Сжатая арматура в расчет не принимается. Принимается минимальная внецентренность

$$e_0 = \text{Min} \left( \frac{h}{30} ; 20 \text{ mm} \right)$$

Коэффициент армирования (степень армирования) рассчитан и проверен по формуле (п. 9.2.1.1):

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

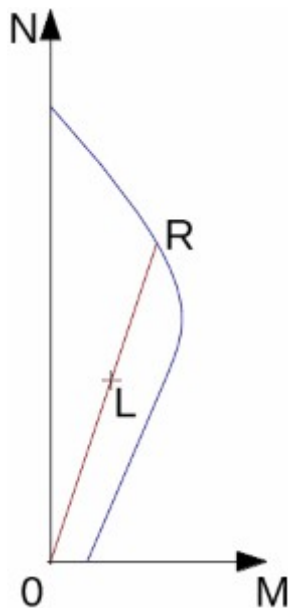
$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\rho_{min} = \text{Max} \left( 0,0013 ; 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right)$$

по

$$\rho_{max} = 0,04$$

В программу встроены стандартные значения коэффициентов  $\rho_{min}$ ,  $\rho_{max}$  - эти значения пользователь может менять в зависимости от **выбранного Национального приложения**.



Интерактивная диаграмма N-M

Коэффициент использования поперечного сечения, нагружаемого моментом и нормальной силой определяется как частное отрезков  $|OL| / |OR|$ . Где L i- нагрузка, R - несущая способность при сохранении внецентренности.

### Проверка простого изгиба

Сечение прямоугольной формы, армированное с одной стороны, нагружено игибающим моментом  $M_{Ed}$ .

Момент на пределе несущей способности для заданной площади арматуры  $A_s$  рассчитаем по формуле (ст. 6.1, Art. 3.1.7(3)):

$$M_{Rd} = \lambda \cdot x \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot \left( d - \frac{\lambda}{2} \cdot x \right)$$

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}}$$

$$\lambda = 0,8 - \frac{\text{Max}(f_{ck}; 50) - 50}{400}$$

$$\eta = 1,0 - \frac{\text{Max}(f_{ck}; 50) - 50}{200}$$

Предельное положение нейтральной оси рассчитывается по формуле (ст. 5.6.3(2)):

$$x_{max} = 0,45.d \quad \text{для бетона C40/45 и меньше}$$

$$x_{max} = 0,35.d \quad \text{для бетона C45/50 и больше}$$

### Проверка сдвига

Сперва программа рассчитает сопротивление бетона сдвигу  $V_{Rd,c}$  (п. 6.2.2(1)).

$$V_{Rd,c} = \text{Min} \left[ v_{min}; C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{\frac{2}{3}} \right] d b$$

где:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b d} \leq 0,02$$

В случае, что превышено предельное сопротивление бетона в сжатии, проверяется максимально допустимая поперечная (сдвигающая) сила  $V_{Rd,max}$  (п. 6.2.3(3)).

$$V_{Rd,max} = 0,5 z v f_{cd} b$$

Далее вычислена необходимая площадь арматуры по формуле (п. 6.2.3(3)):

$$A_{sw,l} = \frac{V_{Ed}}{f_{ywd} z} b$$

В программу встроены **стандартные значения коэффициентов**  $v$ ,  $v_{min}$  - эти значения могут быть заданы тоже пользователем в зависимости от **выбранного Национального приложения**

## Проверка круглого железобетонного сечения

Программа проверяет железобетонную сваю методом предельного деформирования. Максимальная относительная деформация бетона в сжатии - 0,002 до 0,0035. Прочность бетона  $\eta f_{cd}$  сокращается на 10% за счёт контура поперечного сечения (пункт 3.1.7).

Степень армирования проверяется по формуле:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

- **Свая** (п. 9.8.5)

$$\rho = \frac{4A_s}{\pi d^2}$$

$$A_c < 0,5m^2$$

$$\rho_{min} = 0,005$$



$$A_c > 1m^2$$

$$\rho_{min} = 0,0025$$

где:  $A_c$  - площадь сечения сваи

промежуточные значения подвергаются интерполяции

$$\rho_{max} = 0.04$$

- **Колонна** - проверка на преобладающее сжатие (п. 9.5.2)

$$\rho = \frac{4A_s}{\pi d^2}$$

$$\rho_{min} = \text{Max} \left( 0.002; \frac{0.1 N_{Ed}}{f_{yd} A_s} \right)$$

$$\rho_{max} = 0.04$$

- **Балка** - проверка на преобладающий изгиб п. 9.2.1.1)

$$\rho = 0.5 \frac{4A_s}{\pi d^2}$$

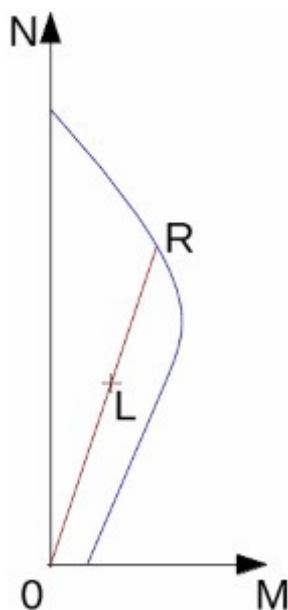
$$\rho_{min} = \text{Max} \left( 0.0013; 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right)$$

$$\rho_{max} = 0.04$$

где:  $d$  - диаметр сваи

$A_s$  - площадь арматуры

В программу встроены **стандартные значения коэффициентов**  $\rho_{min}$ ,  $\rho_{max}$  - эти значения пользователь может менять в зависимости от **выбранного Национального приложения**.



Интерактивная диаграмма N-M

Интерактивная диаграмма N-M Коэффициент использования поперечного сечения,

нагружаемого моментом и нормальной силой определяется как частное отрезков  $|0L| / |0R|$ . Где  $L$  i- нагрузка,  $R$  - несущая способность при сохранении внецентренности.

### Проверка сдвига

Сперва программа рассчитывает сопротивление бетона сдвигу  $V_{Rd,c}$  по формулам в п. 6.2.2(1)), где за ширину сечения ( $b_w$ ) подставляем  $0.88 \times d$ , а за эффективную высоту ( $d$ ) подставляем  $0.8 \times d$ .

$$V_{Rd,c} = \text{Min} \left[ \nu_{\min}; C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{\frac{2}{3}} \right] 0.704 d^2$$

где:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{0.8d}} \leq 2.0$$

$$\rho_l = 0.33 \frac{A_{sl}}{0.25 \pi d^2} \leq 0.02$$

В случае, что превышена предельная прочность бетона в сжатии, проверяется максимально допустимая поперечная (сдвигающая) сила  $V_{Rd,max}$  и несущая способность сечения с поперечной арматурой  $V_{Rd,s}$  (п.6.2.3(3)).

$$V_{Rd,max} = 0.5(0.72d) \nu f_{cd} 0.88d$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} 0.72 d f_{ywd}$$

В программу встроены **стандартные значения коэффициентов**  $\nu$ ,  $\nu_{max}$  - эти значения может пользователь менять в зависимости от **выбранного Национального приложения**.

## Проверка отдельного фундамента на продавливание

Сечение нагружено заданными моментами  $M_{Ex}$ ,  $M_{Ey}$  и силой  $V_E$ , которая определяется по формуле:

$$V_{Ed} = \frac{V A_t}{A}$$

где:

- $A$  - площадь отдельного фундамента
- $V$  - заданная вертикальная сила в колонне
- $A_t$  - заштрихованная площадь на рис.



Подбор размеров поперечной арматуры - площадь  $A_t$

Программа строит **контрольные сечения** на **расстоянии** « $a$ »  $0,5d$  до  $2d$  для **фундамента без армирования** и  $0,5d$  до  $4d$  при применении **срезной арматуры** ( $d$  - **эффективная высота фундамента**). Срезная арматура принимается на отдалении менее  $2d$  от края колонны. Контрольные сечения построены в интервалах  $0,25d$ .

В каждой контрольной сечении рассчитывается напряжение от нагрузки  $V_{Ed}$  при помощи процедуры в п. 6.4.3 (3),

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_i d}$$

$$\beta = 1 + k \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \frac{u_1}{W_1}$$

$$v_{Rd,c} = \text{Max}(C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3}; v_{min}) 2d/a$$

сопротивление неармированного фундамента  $V_{Rd,c}$  в соответствии с пунктом 6.4.4 (2),

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \rho_{ly}} \leq 0.02$$

$$C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c$$

и, при необходимости, сопротивление армированного сечения  $V_{Rd,cs}$  в соответствии с п. 6.4.5 (1).

$$v_{Rd,cs} = \text{Min}(0.75 v_{Rd,c} + 0.75 \frac{A_{sw} f_{ywd,eff}}{u d}; k_{max} v_{Rd,c})$$

$$f_{ywd,eff} = 250 + 0.25d \leq f_{ywd}$$

Далее, **проверяется сопротивление сжатого раскоса** в периметре колонны  $V_{Rd,max}$  в соответствии с п. 6.4.5 (3), которое зависит от размеров колонны и толщины отдельного фундамента.

$$v_{Rd,max} = 0.4 \nu f_{cd}$$

Для  $v_{Ed} < v_{Rd,c}$  сечение удовлетворяет без срезной арматуры.

Для  $v_{Ed} > v_{Rd,c}$  а  $v_{Ed} < v_{Rd,max}$  необходимо спроектировать срезную арматуру.

Для  $v_{Ed} > v_{Rd,max}$  срезную арматуру нельзя спроектировать и необходимо увеличить высоту сечения.

**Контрольное сечение с наиболее неблагоприятным** соотношением нагружения и сопротивления принимается как критическое и отмечается в программе.

В программу встроены **стандартные значения коэффициентов**  $\nu$ ,  $\nu_{min}$  - эти значения можно менять в зависимости от **выбранного Национального приложения**.

## Расчет продольной арматуры для плиты

Расчет арматуры выполняется для напряжения, вызванного изгибающим моментом  $M_{Ed}$ . Результат расчёта определяет необходимую величину площади растянутой или сжимаемой арматуры. Программа учитывает условия для минимальной и максимальной степени армирования в данном поперечном сечении. Сначала программа определяет местоположение нейтральной оси сечения по формуле (ст.3.1.7, ст.6.1):

$$x = \frac{d - \sqrt{d^2 - \frac{M_{Ed}}{0,5 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}}}}{\lambda}$$

Если положение нейтральной оси меньше, чем предельное допустимое ( $x < x_{max}$ ), то программа рассчитает площади растянутой арматуры  $A_{st}$  по выражению:

$$A_{st} = \frac{\lambda \cdot \eta \cdot b \cdot x \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

Если положение нейтральной оси больше, чем предельное допустимое значение ( $x > x_{max}$ ), то программа рассчитает площади сжатой  $A_{sc}$  и растянутой  $A_{st}$  арматуры по формулам:

$$A_{sc} = \frac{M - F_{c,max} (d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x_{max})}{f_{yd} \cdot Z}$$

$$A_{st} = \frac{F_{c,max} + A_{sc} \cdot f_{yd}}{f_{yd}}$$

$$F_{c,max} = \lambda \cdot \eta \cdot b \cdot x_{max} \cdot f_{cd}$$

Предельное положение нейтральной оси рассчитывается по выражению: (ст.5.6.3(2)):

$x_{max} = 0,45 \cdot d$  для бетона класса C40/45 и ниже

$x_{max} = 0,35 \cdot d$  для бетона класса C45/50 и выше

Коэффициент армирования рассчитан и проверен по выражением ( ст. 9.3.1.1):

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\rho_{min} = \text{Max} \left( 0,0013 ; 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,04$$

В программу встроены **стандартные значения коэффициентов**  $\rho_{min}$ ,  $\rho_{max}$  - эти значения можно также ввести в программу в зависимости от **выбранного Национального приложения**.

В случае того, что превышен максимальный коэффициент армирования всего сечения  $\rho_{max}$ , программа сообщает, что запрещён расчёт арматуры для сечения.

## Расчет арматуры на сдвиг для плиты

Программа позволяет определить требуемое количество сдвигающей арматуры, которую образуют хомуты, или отгибы.

Сначала программа рассчитывает предельные сдвигающие силы в данном сечении-сдвигающую силу передаваемую бетоном,  $V_{Rd,c}$  (ст.6.2.2(1)) и максимально допустимую сдвигающую силу  $V_{Rd,max}$  (Art. 6.2.3(3)).

$$V_{Rd,c} = \text{Min} \left[ v_{min} ; C_{Rd,c} \cdot k (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{2}{3}} \right] \cdot d$$

где:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b \cdot d} \leq 0,02$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot z \cdot v \cdot f_{cd}$$

Для арматуры, образованной из хомутов необходимая площадь армирования определяется по формуле (ст. 6.2.3(3)):

$$A_{sw,l} = \frac{V_{Ed}}{f_{ywd} \cdot z}$$

Для арматуры, образованной для петель необходимая площадь армирования определяется по формуле (Art. 6.2.3(4)):

$$A_{sw,l} = \frac{V_{Ed}}{f_{ywd} \cdot z \cdot \sin \alpha \cdot (1 + \cot \alpha)}$$

**Стандартные значения коэффициентов**  $v$ ,  $v_{min}$  встроены в программу - эти значения могут быть также введены пользователем в зависимости от **выбранного Национального приложения**.

## Проверка ширины трещины

Трещины проверяем с помощью прямого расчёта в соответствии со стандартом, главой 7.3.4.

Сперва на идеальном сечении определяем напряжение бетона при растяжении. В случае, что напряжение меньше, чем прочность бетона на растяжение  $f_{ctm}$  - трещины не образуются.

В случае, что это условие не удовлетворено, ширину трещины определяем по следующим формулам:

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

где

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

где  $\sigma_s$  - напряжение в растягиваемой арматуре на идеальном сечении с трещиной

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$A_{c,eff} = b \times \text{Min} (2.5(h - d), (h - x)/3, h/2)$$

$$k_t = 0.4$$

в случае, что расстояние стержней арматуры меньше  $5(c+\phi/2)$ :

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

где:

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$c$  - обшивка

$\phi$  - диаметр стержня арматуры

в случае, что расстояние стержней арматуры больше  $5(c+\phi/2)$ ,

то:

$$s_{r,max} = 1.3(h - x)$$

## CSN 73 1201 R

This help contains the following computational methods:

- [Materials, coefficients, notation](#)
- [Verification of rectangular cross-section made from plain concrete](#)

- Verification of rectangular RC cross-section
- Verification of circular RC cross-section
- Verification of spread footing for punching shear
- Design of longitudinal reinforcement for slabs
- Design of shear reinforcement for slabs

## Materials, Coefficients, Notation

The following notation for material parameters is used:

$R_{bd}$  - design strength of concrete in compression

$R_{btd}$  - design strength of concrete in tension

$\gamma_u$  - coefficient of the shape of cross-section

$z$  - lever arm (arm of internal forces)

Coefficient  $\gamma_u$  is given by equation (Art. 5.2.2):

$$\gamma_u = \text{Max} \left( 1 - \frac{20}{1000 \cdot h + 50} ; 0,85 \right)$$

The most common notation for geometrical parameters:

$b$  - cross-section width

$h$  - cross-section depth

$h_e$  - effective depth of cross-section

$z$  - lever arm (arm of internal forces)

## Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete

The cross-section is rectangular, loaded by the bending moment  $M$ , normal force  $N$  (applied in the cross-section centroid) and by the shear force  $Q$ . The cross-section bearing capacity subjected to bending moment is given by (Art. 5.2.5):

$$M_u = \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot R_{btd} \cdot \gamma_u$$

The shear strength is provided by (Art. 5.3.3, Appendix 9):

$$Q_u = \frac{1}{3} \cdot \kappa_h \cdot \kappa_n \cdot b \cdot h \cdot R_{btd}$$

$$\kappa_h = \text{Max} \left( 1 ; 1,4 - \frac{2}{3} h \right)$$

$$\kappa_n = \text{Min} \left( 2 ; 1 + 0,2 \cdot \frac{N}{b \cdot h \cdot R_{btd}} \right)$$

Strength of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is derived from the following expressions depending on the normal force eccentricity  $e$  (Art. 5.2.5):

for:

$$e < 0,9.a_{gc} \Rightarrow N_u = b.x.R_{bd}.\gamma_u$$

$$e > 0,9.a_{gc} \Rightarrow N_u = \frac{b.h.R_{btd}.\gamma_u}{\frac{6.e}{h} - 1}$$

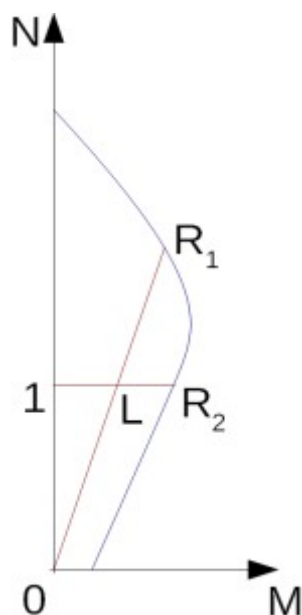
$$x_u = h - 2.e$$

$$e = \frac{abs(M)}{N}$$

$$a_{gc} = \frac{h}{2}$$

The ultimate bearing capacity is checked using the following formula (Art. 5.2.5.5):

$$N_{lim} = 0,8.b.x_u.R_{btd}.\gamma_u$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|OL|/|OR_1|$  or  $|IL|/|IR_2|$ . Where  $L$  is load,  $R_1$  is strength with prescribed eccentricity and  $R_2$  is strength with prescribed normal force.

## Verification of Rectangular RC Cross-Section

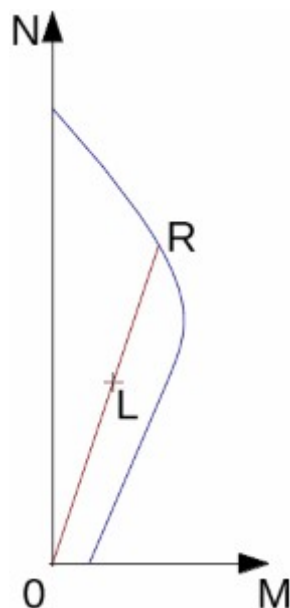
The cross-section is rectangular, unilaterally reinforced and loaded by the bending moment and normal compression force. The program verifies a reinforced concrete section using the method of limit deformation (Art. 5.2.8). The maximum allowable strain of concrete in compression is 0,0025. Compression reinforcement is not taken into account.



The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions (Art. 3.1.4.3, Art. 3.1.4.6):

$$\mu_{st,min} = \frac{R_{btd}}{3 \cdot R_{sd}} < \mu_{st} < 0,03 = \mu_{st,max}$$

$$\mu_{st} = \frac{A_s}{b \cdot h}$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|OL| / |OR|$ . Where  $L$  is load and  $R$  is strength with prescribed excentricity.

### Bending without normal force

The cross-section is rectangular, reinforced on one side and loaded by the bending moment  $M_d$ .

The ultimate moment is provided by (Art. 5.2.7):

$$M_u = b \cdot x_u \cdot R_{bd} \cdot \left( h_e - \frac{x_u}{2} \right) \cdot \gamma_u$$

$$x_u = \frac{A_s \cdot R_{sd}}{b \cdot R_{bd}}$$

The program further checks whether the location of neutral axis  $x$  is less than the limit location of neutral axis  $x_{lim}$  given by (Art. 5.2.7.1):

$$x_{lim} = \text{Min} \left( 0,533; \frac{1}{1,25 + \frac{R_{sd}}{420}} \right)$$

### Shear

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete  $Q_{bu}$  (Art. 5.3.3, Appendix 9).

$$Q_{bu} = \frac{1}{3} b h \kappa_q R_{btd}$$

$d$

where:

for: $h \geq 0,3m$	is: $\kappa_q = 1,25$
for: $h > 0,15m$	je $\kappa_q = 1,50$
for: $h < 0,15m$	je $\kappa_q = 1,60$

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength  $Q_{max}$  is checked (Art. 5.3.2.1).

$$Q_{max} = \frac{1}{3} b h \text{Min} (R_{bd} ; 18)$$

Next, the necessary reinforcement area is given by (Art. 5.3.4):

$$A_b = \frac{Q - Q_{bu}}{R_{swd} c} b$$

where (Art. 5.3.5):

$$c = \text{Max} \left( \frac{1,2 \cdot b \cdot R_{btd} \cdot h_e^2}{Q - Q_{bu}} ; z \right)$$

The magnitude of  $c$  is bounded by the following expression:

$$c < 0,18 \frac{R_{bd} \cdot h}{\kappa_q \cdot R_{btd}}$$

## Verification of Circular RC Cross-Section

The program verifies a reinforced concrete pile using the method of limit deformation (Art. 5.2.8). The maximum allowable strain of concrete in compression is 0,0025. The degree of reinforcement is checked using the formula:

- **Column** - check for dominant compression (Art. 3.1.4.3, Art. 3.1.4.6)

$$\mu_{st,min} = 0.0008 \leq \mu_{st} \leq 0.04 = \mu_{st,max}$$

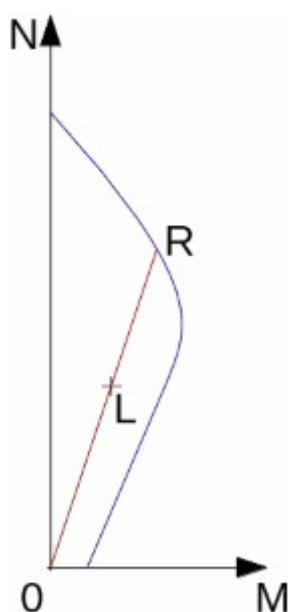
$$\mu_{st} = \frac{4A_s}{\pi d^2}$$

- **Beam** - check for dominant bending

$$\mu_{st,min} = \frac{R_{btd}}{3R_{sd}} \leq \mu_{st} \leq 0.03 = \mu_{st,max}$$

$$\mu_{st} = 0.5 \frac{4A_s}{\pi d^2}$$

where:  $d$  - pile diameter  
 $A_s$  - reinforcement area



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|OL| / |OR|$ . Where  $L$  is load and  $R$  is strength with prescribed excentricity.

### Shear

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete  $Q_{bu}$  (Art. 5.3.3, Appendix 9).

$$Q_{bu} = \frac{1}{3}(0.88d)(0.88d)\kappa_q R_{btd}$$

where:

for: $0.88d \geq 0.3m$	is: $\kappa_q = 1,25$
for: $0.88d > 0.15m$	je $\kappa_q = 1,50$
for: $0.88d < 0.15m$	je $\kappa_q = 1,60$

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength  $Q_{max}$  and strength of reinforced section  $Q_u$  are checked (Art. 5.3.2.1).

$$Q_{max} = \frac{1}{3}(0.88d)(0.88d)\text{Min}(R_{btd}, 18)$$

$$Q_u = Q_{bu} + A_b R_{swd} c$$

where (Art. 5.3.5):

$$c = \text{Max} \left( \frac{1.2(0.88d) R_{btd}(0.8d)^2}{Q - Q_{bu}}; 0.9(0.8d) \right)$$

The magnitude of  $c$  is bounded by the following expression:

$$c \leq 0.18 \frac{R_{btd}(0.88d)}{\kappa_q R_{btd}}$$

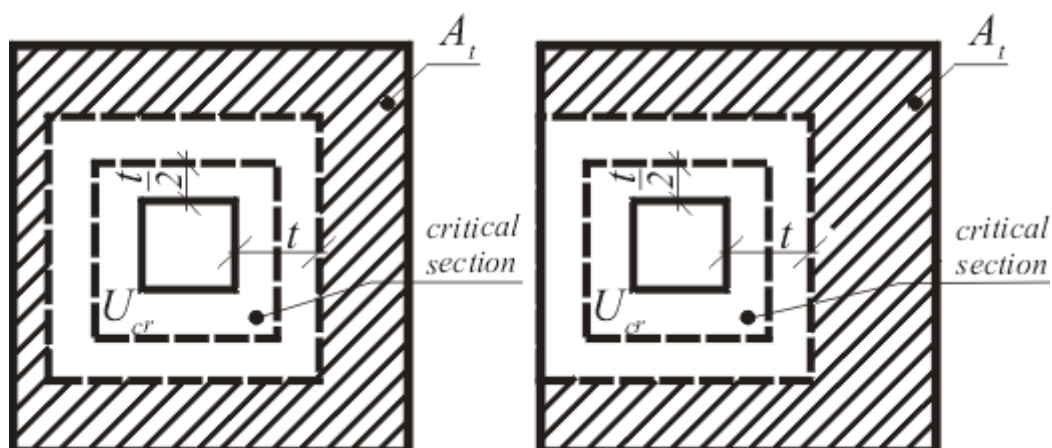
## Verification of Spread Footing for Punching Shear

The program allows to verify spread footing for punching shear or for the design of shear reinforcement. The critical section loaded in shear  $U_{cr}$  is distant from the column edge by one half of the footing thickness. It is loaded by the prescribed moments  $M_x, M_y$  and by the shear force  $Q_r$  provided by:

$$Q_{dmax} = \frac{Q \cdot A_t}{A}$$

where:

- $A$  - area of footing
- $Q$  - assigned vertical force developed in column
- $A_t$  - hatched area in fig.



Dimensioning of shear reinforcement area  $A_t$

The program computes the maximal shear force  $Q_{dmax}$  developed in the critical section, the shear force transmitted by concrete with no shear reinforcement  $Q_{bu}$ , and the maximal allowable force  $Q_{max}$ :

$$Q_{bu} = 0.42 \cdot \kappa_h \cdot \kappa_n \cdot \kappa_s \cdot t \cdot R_{btd}$$

$$Q_{max} = 2 \cdot Q_{bu}$$

where for:  $\mu_s > \mu_{min}$  is:  $\kappa_s = \text{Min}[1 + 50 \cdot (\mu_s - \mu_{min}); 1,5]$  or else:  $\kappa_s = 1$

$$\kappa_h = \text{Max}\left[1,4 - \frac{2}{3} \cdot h; 1\right]$$

$$\kappa_n = 1$$

For  $Q_{dmax} < Q_{bu}$  no shear reinforcement is needed.

For  $Q_{dmax} > Q_{bu}$  and  $Q_{dmax} < Q_{max}$  the shear reinforcement must be introduced. The ultimate shear force is given by:

$$Q_u = Q_{su} + Q_{bu}$$

$$Q_{su} = \frac{A_s \cdot R_{sd} \cdot \sin \alpha}{U_{cr}}$$

where:  $U_{cr}$  - critical cross-section span  
 $\alpha$  - is angle of crooks  
 $A_s$  - overall area of crooks in footing

For  $Q_{dmax} > Q_{max}$  the shear reinforcement cannot be designed. It is therefore necessary to increase the cross-section height.

## Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs

The design of reinforcement is performed for load caused by the bending moment  $M$ . The program provides the required area of tensile and compressive (if needed) reinforcement. It takes into account conditions for the minimum and maximum degree of reinforcement in a given cross-section. First, the program determines the location of neutral axis as:

$$x = \frac{h_e - \sqrt{h_e^2 - \frac{M}{0,5 \cdot b \cdot \gamma_u \cdot R_{bd}}}}{0,8}$$

Providing the location of neutral axis is less than the allowable one ( $x < x_{lim}$ ), the program determines the area of tensile reinforcement  $A_{st}$  from the expression:

$$A_{st} = \frac{0,8 \cdot b \cdot x \cdot R_{bd}}{R_{sd}}$$

Providing the location of neutral axis is greater than the allowable one ( $x > x_{lim}$ ), the program determines the areas of both compressive  $A_{sc}$  and tensile  $A_{st}$  reinforcement from the expressions:

$$A_{sc} = \frac{\frac{M}{\gamma_u} - N_{max}(h_e - 0,5 \cdot 0,8 \cdot x_{lim})}{R_{sd} \cdot Z}$$

$$A_{st} = \frac{N_{max} + A_{sc} \cdot R_{scd}}{R_{sd}}$$

$$N_{max} = x_{lim} \cdot 0,8 \cdot b \cdot R_{bd}$$

The limit location of neutral axis is found from:

$$x_{max} = \text{Min} \left( 0,533 ; \frac{1}{1,25 + \frac{R_{sd}}{420}} \right) \cdot h_e$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\mu_{st,min} = \frac{R_{btd}}{3 \cdot R_{sd}} < \mu_{st} < 0,03 = \mu_{st,max}$$

$$\mu_{st} = \frac{A_s}{b \cdot h}$$

If the maximum degree of tensile reinforcement ( $\mu_{st,max} = 0,03$ ) or total reinforcement ( $\mu_{max} = 0,04$ ), respectively, is exceeded, the program informs the user that the longitudinal reinforcement cannot be designed for a given cross-section.

## Design of Shear Reinforcement for Slabs

The program allows determination of the required amount of shear reinforcement form by stirrups and hooks, respectively.

First, the program computes the ultimate shear strength in a given section - the shear force transmitted by concrete  $Q_{bu}$  and the maximum allowable shear force  $Q_{max}$ .

$$Q_{bu} = \frac{1}{3} b \cdot h \cdot \kappa_q \cdot R_{btd}$$

$$Q_{max} = \frac{1}{3} b \cdot h \cdot \text{Min}(R_{bd} ; 18)$$

where:

for: $h \geq 0,3m$	is: $\kappa_q = 1,25$
for: $h > 0,15m$	je $\kappa_q = 1,50$
for: $h < 0,15m$	je $\kappa_q = 1,60$

As for stirrups the necessary reinforcement area is given by:

$$A_b = \frac{Q - Q_{bu}}{R_{swd} \cdot c}$$

As for hooks the necessary reinforcement area is given by:

$$A_b = \frac{Q - Q_{bu}}{R_{swd} (c \cdot \sin \alpha + 0,8 \cdot h_e \cdot \cos \alpha)}$$

where:

$$c = \text{Max} \left( \frac{1,2 \cdot b \cdot R_{bt,d} \cdot h_e^2}{Q - Q_{bu}} ; z \right)$$

The magnitude of  $c$  is bounded by the following expression:

$$c < 0,18 \frac{R_{bt,d} \cdot h}{\kappa_q \cdot R_{bt,d} \cdot d}$$

## Проверка по CSN 73 6206

При выборе в закладке «**Проект**» опции «**CSN 73 6206**» проверка основных стыков проводится в соответствии со стандартом CSN 73 6206 «Проектирование бетонных и железобетонных конструкций мостов» с учетом изменений а-10/1989 и Z2/1994. Программа позволяет провести анализ поперечных сечений из неармированного бетона или несимметрично армированного сталью бетона. Все расчеты, относящиеся к бетону, проводятся по **теории допустимых напряжений**.

Основное отличие от других стандартов состоит в изменении бетонных стыков, где давление грунта всегда рассчитывается **без сокращения входных параметров** вне зависимости от выбора в закладке «**Установки**».

При проведении анализа поперечного сечения из неармированного или армированного сталью бетона можно ввести **коэффициент допустимого напряжения** в соответствии с п. 47 **CSN 73 6206** для увеличения допустимого напряжения материала.

Программа проверяет следующие стыки:

**Подпора основания - основание, технологический стык** - поперечное сечение может быть из неармированного или армированного сталью бетона. Стык проверяется на нагрузку в результате действия стандартной силы и момента изгиба. Проверяется допустимое напряжение бетона, стали и бетона при коаксиальном давлении. В случае армированного бетона программа также проверяет степень армирования, а поперечные сечения из неармированного бетона проверяются на опрокидывание ( $h/2e < 1,35$ ) и смещение ( $N \cdot f < 1,5$ ; трение бетон-бетон принимается равным  $f = 0,5$ ).

**Опора перекрытия - несущий блок** - поперечное сечение проверяется на нагрузку в результате действия стандартной силы и момента изгиба. Всегда принимается армированное сталью бетонное поперечное сечение. Проверяется допустимое напряжение бетона и стали и степень армирования.

**Откосное крыло устоя-опора** - стык может быть из неармированного или армированного сталью бетона. Проверяется допустимое напряжение бетона, стали и бетона при коаксиальном давлении. В случае армированного бетона программа также проверяет степень армирования.

**Передний переход опоры основания** - передний переход опоры определяется в соответствии с его проекцией. В случае, если проекции перехода  $v < 0,5 \cdot h_z$  ( $h_z$  - высота перехода основания), программа проверяет значение напряжения в основном растяжении вследствие сил, развиваемых в стыке над основанием. Напряжение определяется по формуле:

$$\sigma = 0,15 \cdot \frac{N}{d - 2 \cdot \frac{M}{N}}$$

где:  $d$  - ширина стыка над основанием

$M, N$  - момент и стандартная сила в стыке над основанием

В случае, если проекция перехода  $v > 0,5 \cdot h_z$ , переход анализируется как консоль, изогнутая реакцией (напряжением) грунта основания. Стык может быть из неармированного или армированного сталью бетона. Проверяется допустимое напряжение бетона, стали и бетона при коаксиальном давлении. В случае армированного бетона программа также проверяет степень армирования.

## PN-B-03264 : 2002

This help contains the following computational methods:

- Materials, coefficients, notation
- Verification of rectangular cross-section made from plain concrete
- Verification of rectangular RC cross-section
- Verification of circular RC cross-section
- Verification of spread footing for punching shear
- Design of longitudinal reinforcement for slabs
- Design of shear reinforcement for slabs

## Materials, Coefficients, Notation

The following notation for material parameters is used:

$f_{ck}$	- characteristic compressive strength of concrete
$f_{cd}$	- design compressive strength of concrete
$f_{ctk}$	- characteristic tensile strength of concrete
$f_{ctd}$	- design tensile strength of concrete
$f_{yk}$	- characteristic tensile strength of steel bar
$f_{yd}$	- design tensile strength of steel bar
$f_{ctm}$	- mean tensile strength of steel bar

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot \alpha_{cc}$$

$$f_{ctd} = \frac{0,7 \cdot f_{ctm}}{\gamma_c} \cdot \alpha_{ct}$$

$$E_{cm} = 11000 \cdot (f_{ck} + 8)^{0,3}$$

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot (f_{ck})^{\frac{2}{3}}$$



where:  $\alpha_{cc} = 1$   
 $\alpha_{ct} = 1$   
 $\gamma_c = 1.5$  -for reinforced concrete structures  
 $\gamma_c = 1.8$  -for concrete structures

The most common notation for geometrical parameters:

$b$  - cross-section width  
 $h$  - cross-section depth  
 $d$  - effective depth of cross-section  
 $z$  - lever arm (arm of internal forces)

## Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete

The cross-section is rectangular, loaded by the bending moment  $M_{Sd}$ , normal force  $N_{Sd}$  (applied in the cross-section centroid) and by the shear force  $V_{Sd}$ . The cross-section bearing capacity subjected to bending moment is given by:

$$M_{Rd} = \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot f_{ctd}$$

The shear strength is provided by:

$$V_{Rd,1} = 0.35 \cdot f_{ctd} \cdot k \cdot 1.2 \cdot b \cdot d$$

where:

$$k = \text{Max}(1.6 - d ; 1)$$

Strength of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is derived from the following expressions depending on the normal force eccentricity  $e$ :

As the greater of:

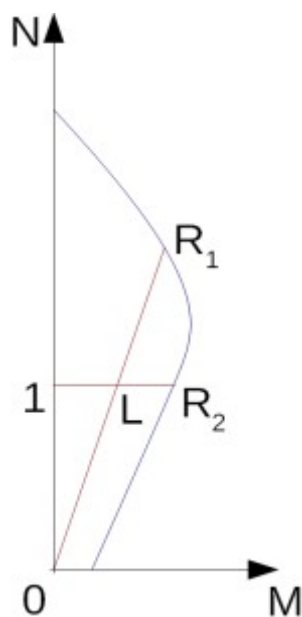
$$N_{Rd} = b \cdot x \cdot f_{cd}$$

$$N_{Rd} = \text{Min} \left( \frac{b \cdot h \cdot f_{ctd}}{\frac{6 \cdot e}{h} - 1} ; \frac{b \cdot h \cdot f_{cd}}{\frac{6 \cdot e}{h} + 1} \right)$$

where:

$$x = h - 2 \cdot e$$

$$e = \text{abs} \left( \frac{M}{N} \right)$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|OL| / |OR_1|$  or  $|IL| / |IR_2|$ . Where  $L$  is load,  $R_1$  is strength with prescribed excentricity and  $R_2$  is strength with prescribed normal force.

## Verification of Rectangular RC Cross-Section

The cross-section is rectangular, unilaterally reinforced and loaded by the bending moment and normal compression force. The program verifies a reinforced concrete section using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is 0.002 - 0.0035. Compression reinforcement is not taken into account.

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

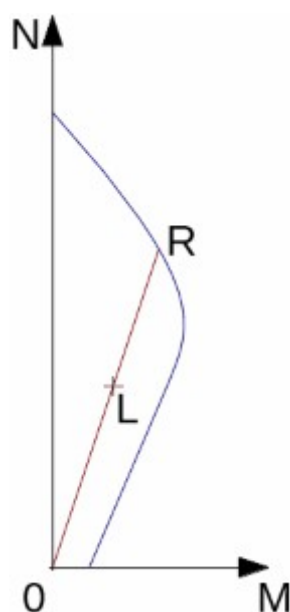
$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

where:

$$\rho = \frac{A_s}{b.d}$$

$$\rho_{min} = \text{Max} \left( 0,0013 ; 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,04$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|OL| / |OR|$ . Where  $L$  is load and  $R$  is strength with prescribed excentricity.

### Bending without normal force

The cross-section is rectangular, reinforced on one side and loaded by the bending moment  $M_{Sd}$ .

The permissible moment for a given area of reinforcements  $A_s$  reads:

$$M_{rd} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot (d - 0,4 \cdot x)$$

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}}$$

The program further checks whether the location of neutral axis  $x$  is less than the limit location of neutral axis  $x_{lim}$  given by:

$$x_{max} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} \cdot d$$

where:

$$\varepsilon_{cv} = 0,0035$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

### Shear

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete  $V_{Rd1}$ .

$$V_{Rd1} = 0,35 k f_{ctd} (1,2 + 40 \rho_L) d b$$

where:

$$k = 1,6 - d$$

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{b d} \leq 0,01$$

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength  $V_{Rd2}$  is checked.

$$V_{Rd2} = 0,5 v f_{cd} z b$$

where:

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$$

Next, the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sw1} = \frac{V_{Ed}}{f_{ywd1} z} b$$

## Verification of Circular RC Cross-Section

The program verifies a reinforced concrete pile using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is 0.002 - 0.0035. The degree of reinforcement is checked using the formula:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

- **Column** - check for dominant compression

$$\rho = \frac{4 A_s}{\pi d^2}$$

$$\rho_{min} = \text{Max} \left( 0,003 ; \frac{0,15 N_{Ed}}{f_{ydl} A_s} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,04$$

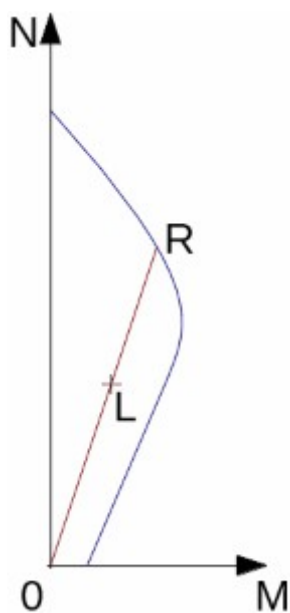
- **Beam** - check for dominant bending

$$\rho = 0,5 \frac{4 A_s}{\pi d^2}$$

$$\rho_{min} = \text{Max} \left( 0,0013 ; 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,04$$

where:  $d$  - pile diameter  
 $A_s$  - reinforcement area



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|OL| / |OR|$ . Where  $L$  is load and  $R$  is strength with prescribed excentricity.

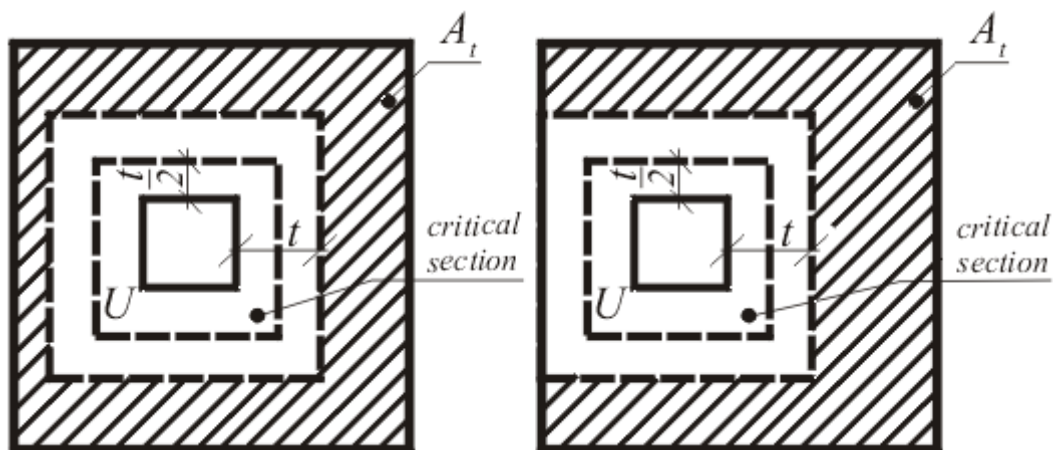
## Verification of Spread Footing for Punching Shear

The critical section loaded in shear  $u$  is distant from the column edge by one half of the footing thickness. It is loaded by the prescribed moments  $M_x, M_y$  and by the shear force  $N_{Sd}$  provided by:

$$N_{Sd} = \frac{Q \cdot A_t}{A}$$

where:

- $A$  - area of footing
- $V$  - assigned vertical force developed in column
- $A_t$  - hatched area in fig.



### Dimensioning of shear reinforcement area $A_t$

The program computes the maximal shear force  $N_{Sd}$  developed in the critical section, the shear force transmitted by concrete with no shear reinforcement  $N_{Rd1}$  and the maximal allowable force  $N_{Rd,max}$ :

$$N_{Rd} = f_{ctd} \cdot d$$

$$N_{Rd,max} = 1,4 \cdot N_{Rd}$$

For  $N_{Sd} < N_{Rd}$  no shear reinforcement is needed.

For  $N_{Sd} > N_{Rd}$  and  $N_{Sd} < N_{Rd,max}$  the shear reinforcement must be introduced. The ultimate shear force is given by:

$$N_{Rd} = \frac{\sum A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha}{u}$$

where:

$u$	-	critical cross-section span
$\alpha$	-	is angle of bends
$A_{sw}$	-	overall area of bends in footing

For  $N_{Sd} > N_{Rd,max}$  the shear reinforcement cannot be designed. It is therefore necessary to increase the cross-section height.

## Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs

The design of reinforcement is performed for load caused by the bending moment  $M_{Sd}$ . The program provides the required area of tensile and compressive (if needed) reinforcement. It takes into account conditions for the minimum and maximum degree of reinforcement in a given cross-section. First, the program determines the location of neutral axis as:

$$x = \frac{d - \sqrt{d^2 - \frac{M_{sd}}{0,5 \cdot b \cdot f_{cd}}}}{0,8}$$

Providing the location of neutral axis is less than the allowable one ( $x < x_{max}$ ), the program determines the area of tensile reinforcement  $A_{st}$  from the expression:

$$A_{st} = \frac{0,8 \cdot b \cdot x \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

Providing the location of neutral axis is greater than the allowable one ( $x > x_{max}$ ), the program determines the areas of both compressive  $A_{sc}$  and tensile  $A_{st}$  reinforcement from the expressions:

$$A_{sc} = \frac{M - F_{c,max}(d - 0,4 \cdot x_{max})}{f_{yd} \cdot Z}$$

$$A_{st} = \frac{F_{c,max} + A_{sc} \cdot f_{yd}}{f_{yd}}$$

$$F_{c,max} = 0,8 \cdot x_{max} \cdot b \cdot f_{cd}$$

The limit location of neutral axis is found from:

$$x_{max} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} \cdot d$$

where:

$$\varepsilon_{cu} = 0,0035$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

where:

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\rho_{min} = \text{Max} \left( 0,0013 ; 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,04$$

If the maximum degree of total reinforcement  $\rho_{max}$  is exceeded, the program informs the user that the longitudinal reinforcement cannot be designed for a given cross-section.

## Design of Shear Reinforcement for Slabs

The program allows determination of the required amount of shear reinforcement form by stirrups and bends, respectively.

First, the program computes the ultimate shear strength in a given section - the shear force transmitted by concrete  $V_{Rd1}$  and the maximum allowable shear force  $V_{Rd2}$ .

$$V_{Rd1} = 0,35 \cdot k \cdot f_{ctd} \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_L) \cdot d$$

where:

$$k = 1,6 - d$$

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{b \cdot d} \leq 0,01$$

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot z$$

where:

$$v = 0,6 \cdot \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$$

As for stirrups the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sw1} = \frac{V_{Ed}}{f_{ywd1} \cdot z}$$

As for bends the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sw2} = \frac{V_{Ed}}{f_{ywd2} \cdot z \cdot \sin \alpha \cdot (1 + \cot \alpha)}$$

## BS 8110 : 1997

This help contains the following computational methods:

- Materials, coefficients, notation
- Verification of rectangular cross-sections made from plain concrete
- Verification of rectangular RC cross-section
- Verification of circular RC cross-section
- Verification of spread footing for punching shear
- Design of longitudinal reinforcement for slabs
- Design of shear reinforcement for slabs

## Materials, Coefficients, Notation

The following notation for material parameters is used:

- $f_{cu}$  - characteristic cube compressive strength of concrete  
 $f_y$  - characteristic strength of reinforcement  
 $f_{yd}$  - design strength of steel in tension

$$f_{yd} = \frac{f_y}{1,05}$$

The characteristic compressive strength of concrete is the basic input parameter given by the class of concrete.

The most common notation for geometrical parameters:

- $b$  - cross-section width  
 $h$  - cross-section depth  
 $d$  - effective depth of cross-section  
 $z$  - lever arm (arm of internal forces)

All computations are carried out according to the theory of limit states.

## Verification of rectangular cross-section made of plain concrete

The cross-section is rectangular, loaded by the bending moment  $M$ , normal force  $N$  (applied in



the cross-section centroid) and by the shear force  $V$ .

Strength of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force with eccentricity  $e$  is derived from the following expressions:

$$N_u = x \cdot 0,45 \cdot f_{cu}$$

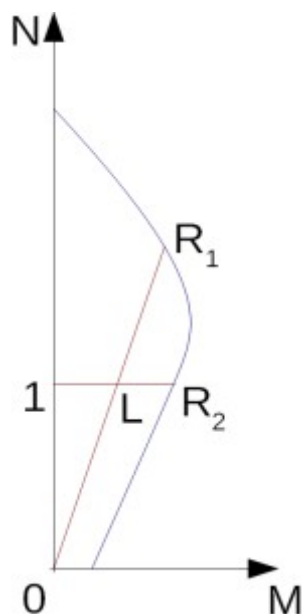
$$x = h - 2 \cdot e$$

$$e = \text{Max} \left( \frac{\text{abs}(M)}{N} ; 0,05 \cdot h ; 20 \text{ mm} \right)$$

The shear strength is provided by:

$$V_u = v_c \cdot b \cdot h$$

where:  $v_c$  - is the design value of shear stress in concrete for degree of longitudinal reinforcement  $\rho = 0$  (see [Verification of spread footing for punching shear](#))



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|OL| / |OR_1|$  or  $|IL| / |IR_2|$ . Where  $L$  is load,  $R_1$  is strength with prescribed excentricity and  $R_2$  is strength with prescribed normal force.

## Verification of Rectangular RC Cross-Section

The cross-section is rectangular, unilaterally reinforced and loaded by the bending moment and normal compression force. The program verifies a reinforced concrete section using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is  $0,002 - 0,0035$ . Compression reinforcement is not taken into account. Minimum eccentricity is applied:

$$e_0 = \text{Min}(0,05 \cdot h ; 20 \text{ mm})$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

where:

$$\rho = \frac{A_s}{b.d}$$

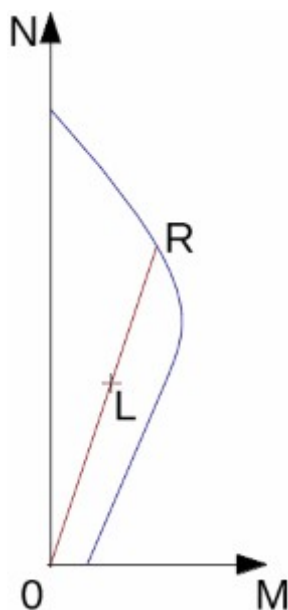
$$\rho_{max} = 0,04$$

$$\rho_{min} = 0,0013$$

- for  $f_y = 460 \text{ N/mm}^2$

$$\rho_{min} = 0,0024$$

- for  $f_y = 250 \text{ N/mm}^2$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|OL| / |OR|$ . Where  $L$  is load and  $R$  is strength with prescribed excentricity.

### Bending without normal force

The cross-section is rectangular, reinforced on one side and loaded by the bending moment  $M_u$ .

The permissible moment for a given area of reinforcements  $A_s$  reads:

$$M_u = b.F_c.(d - 0,45.x)$$

$$F_c = 0,402 f_{cu} x$$

$$x = \frac{A_s f_{yd}}{b 0,402 f_{cu}}$$

The program further checks whether the location of neutral axis  $x$  is less than the limit location of neutral axis  $x_{max}$  given by:

$$x_{max} = 0,5.d$$

### Shear

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete  $V_c$ .

$$V_c = v_c d b$$

where:

$$v_c = \frac{0,79 \left( \frac{100 A_s}{b h} \right)^{\frac{1}{3}} \left( \frac{400}{d} \right)^{\frac{1}{4}}}{1,25}$$

The  $v_c$  values are for  $f_{cu}$  above  $25 \text{ N/mm}^2$  multiplied by  $(f_{cu} / 25)^{1/3}$

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength  $V_{max}$  is checked.

$$V_{max} = \text{Min} \left( 5 ; 0,8 \sqrt{f_{cu}} \right) d b$$

Next, the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sl} = \frac{V - V_c}{0,95 f_{yv} (d - d')} b$$

where:

$$f_{yv} \leq 460 \text{ MPa}$$

## Verification of Circular RC Cross-Section

The program verifies a reinforced concrete pile using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is  $0,002 - 0,0035$ .

The degree of reinforcement is checked using the formula:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

- **Column** - check for dominant compression

$$\rho = \frac{4 A_s}{\pi d^2}$$

$$\rho_{max} = 0,04$$

$$\rho_{min} = 0,0013$$

- for  $f_y = 460 \text{ N/mm}^2$

$$\rho_{min} = 0,0024$$

- for  $f_y = 250 \text{ N/mm}^2$

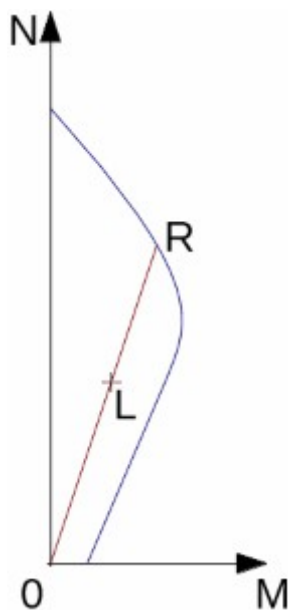
- **Beam** - check for dominant bending

$$\rho = 0,5 \frac{4 A_s}{\pi d^2}$$

$$\rho_{max} = 0,06$$

$$\rho_{min} = 0,004$$

where:  $d$  - pile diameter  
 $A_s$  - reinforcement area



*Interaction diagram N-M*

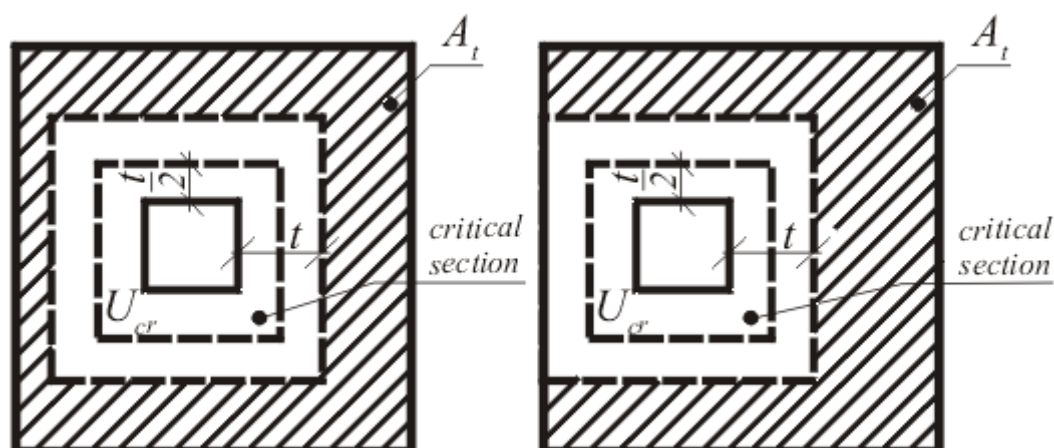
Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|OL| / |OR|$ . Where  $L$  is load and  $R$  is strength with prescribed excentricity.

## Verification of Spread Footing for Punching Shear

The critical section loaded in shear  $U_{cr}$  is distant from the column edge by one half of the footing thickness. It is loaded by the prescribed moments  $M_x, M_y$  and by the shear force  $V$  provided by:

$$V = \frac{Q \cdot A_t}{A}$$

where:  $A$  - area of footing  
 $Q$  - assigned vertical force developed in column  
 $A_t$  - hatched area in fig.



*Dimensioning of shear reinforcement area  $A_t$*

The program computes the maximum shear force  $V$  developed in the critical section, the shear force transmitted by concrete with no shear reinforcement  $V_c$ , and the maximal allowable force  $V_u$ :

$$V_c = v_c \cdot d$$

$$V_u = v_u \cdot d$$

where:

$$v_c = \frac{0,79 \cdot \left( \frac{100 \cdot A_s}{b \cdot h} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{400}{d} \right)^{\frac{1}{4}}}{1,25}$$

The  $v_c$  values are for  $f_{cu}$  above  $25 \text{ N/mm}^2$  multiplied by  $(f_{cu} / 25)^{1/3}$

$$v_u = 0,8 \cdot \sqrt{f_{cu}} \text{ or } 5 \text{ N/m}^2$$

$v_u$  is ultimate shear stress

For  $V < V_c$  no shear reinforcement is needed.

For  $V > V_c$  and  $V_c < V_u$  it is necessary to design shear reinforcement. The permissible shear force is given by:

$$V_{rd} = V_c + V_{us}$$

$$V_{us} = \frac{\sum 0,95 A_{us} \cdot f_{yv} \cdot \sin \alpha}{u}$$

$$f_{yv} = \text{Min}(f_y ; 460)$$

where:  $u$  critical cross-section span  
 $\alpha$  angle of crooks  
 $A_{us}$  overall area of crooks in footing

For  $V > V_u$  the shear reinforcement cannot be designed. It is therefore necessary to increase

the cross-section depth.

## Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs

The design of reinforcement is performed for load caused by the bending moment  $M_d$ . The program provides the required area of tensile and compressive (if needed) reinforcement. It takes into account conditions for the minimum and maximum degree of reinforcement in a given cross-section. First, the program determines the location of neutral axis as:

$$x = \frac{d - \sqrt{d^2 - \frac{2.M_d}{0,402.b.f_{cu}}}}{0,9}$$

Providing the location of neutral axis is less than the allowable one ( $x < x_{max}$ ), the program determines the area of tensile reinforcement  $A_{st}$  from the expression:

$$A_{st} = \frac{0,402.b.f_{cu}.0,9.x}{f_{yd}}$$

Providing the location of neutral axis is greater than the allowable one ( $x > x_{max}$ ), the program determines the areas of both compressive  $A_{sc}$  and tensile  $A_{st}$  reinforcement from the expressions:

$$A_{sc} = \frac{M - F_{c,max}(d - 0,45.x_{max})}{f_{yd}.Z}$$

$$A_{st} = \frac{F_{c,max} + A_{sc}.f_{yd}}{f_{yd}}$$

$$F_{c,max} = 0,9.x_{max}.0,67.\frac{f_{cu}}{1,5}$$

The limit location of neutral axis is found from:

$$x_{u,lim} = 0,5$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

where:

$$\rho = \frac{A_s}{b.d}$$

$$\rho_{max} = 0,04$$

$$\rho_{min} = 0,0013$$

- for  $f_y = 460 \text{ N/mm}^2$

$$\rho_{min} = 0,0024$$

- for  $f_y = 250 \text{ N/mm}^2$

If the maximum degree of reinforcement  $\rho_{max}$  is exceeded, the program informs the user that the longitudinal reinforcement cannot be designed for a given cross-section.

## Design of shear reinforcement for plates

The program allows determination of the required amount of shear reinforcement form by stirrups and hooks, respectively.

First, the program computes the ultimate shear strength in a given section - the shear force transmitted by concrete  $V_c$  and the maximum allowable shear force  $V_{max}$ .

$$V_c = v_c \cdot d$$

where:

$$v_c = \frac{0,79 \cdot \left( \frac{100 \cdot A_s}{b \cdot h} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{400}{d} \right)^{\frac{1}{4}}}{1,25}$$

The  $v_c$  values are for  $f_{cu}$  above  $25 \text{ N/mm}^2$  multiplied by  $(f_{cu} / 25)^{1/3}$

$$V_{max} = \text{Min} \left( 5 ; 0,8 \cdot \sqrt{f_{cu}} \right) \cdot d$$

As for stirrups the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sl} = \frac{V - V_c}{0,95 \cdot f_{yv} \cdot (d - d')}$$

As for hooks the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sb} = \frac{V - V_c}{0,95 \cdot f_{yv} \cdot (\sin \beta + \cos \beta) \cdot (d - d')}$$

where:

$$f_{yv} \leq 460 \text{ MPa}$$

## IS 456

This help contains the following computational methods:

- Materials, coefficients, notation
- Verification of rectangular cross-sections made from plain concrete
- Verification of rectangular RC cross-section
- Verification of circular RC cross-section
- Verification of spread footing for punching shear
- Design of longitudinal reinforcement for slabs
- Design of shear reinforcement for slabs

## Materials, Coefficients, Notation

The following notation for material parameters is used:

$f_{ck}$  - characteristic cube compressive strength of concrete

$f_{cd}$	- design strength of concrete in compression
$f_{ctk}$	- characteristic strength of concrete in tension
$f_{ctd}$	- design strength of concrete in tension
$f_y$	- characteristic strength of steel
$f_{yd}$	- design strength of steel in tension

The characteristic compressive strength of concrete is the basic input parameter given by the class of concrete - it serves to derive the remaining coefficients of reliability.

$$f_{cd} = 0,67 \cdot \frac{f_{ck}}{1,5}$$

$$f_{ctk} = 0,7 \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{1,5}$$

$$E_c = 5000 \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{1,15}$$

The most common notation for geometrical parameters:

$b$	- cross-section width
$h$	- cross-section depth
$d$	- effective depth of cross-section
$z$	- lever arm (arm of internal forces)

All computations are carried out according to the theory of limit states.

## Verification of rectangular cross-section made of plain concrete

The cross-section is rectangular, loaded by the bending moment  $M$ , normal force  $N$  (applied in the cross-section centroid) and by the shear force  $V$ :

$$M_{rd} = \frac{b h^2}{6} f_{ctd}$$

The shear strength is provided by:

$$V_{rd} = \tau_c b h$$

where:  $\tau_c$  - is the design value of stress in concrete obtained from table 19 of the IS456 standard for degree of longitudinal reinforcement  $\rho = 0$ .

Strength of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force with eccentricity  $e$  is derived from the following expressions:

$$P_{rd} = b x f_{cd}$$

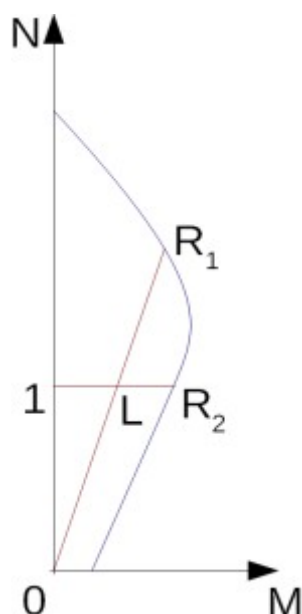


$$P_{rd} = \text{Min} \left( \frac{b h f_{ctd}}{\frac{6 e}{h} - 1} ; \frac{b h f_{cd}}{\frac{6 e}{h} + 1} \right)$$

where:

$$x = h - 2 e$$

$$e = \frac{\text{abs}(M_u)}{P_u}$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|0L| / |0R_1|$  or  $|1L| / |1R_2|$ . Where  $L$  is load,  $R_1$  is strength with prescribed excentricity and  $R_2$  is strength with prescribed normal force.

## Verification of rectangular RC cross-section

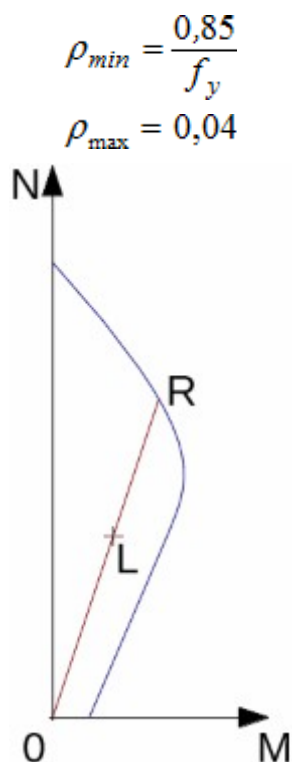
The cross-section is rectangular, unilaterally reinforced and loaded by the bending moment and normal compression force. The program verifies a reinforced concrete section using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is 0,002 - 0,0035. Compression reinforcement is not taken into account. Minimum eccentricity is applied:

$$e_0 = \text{Max} \left( \frac{h}{30} ; 20 \text{ mm} \right)$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b d}$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|OL| / |OR|$ . Where  $L$  is load and  $R$  is strength with prescribed excentricity.

### Bending without normal force

The cross-section is rectangular, reinforced on one side and loaded by the bending moment  $M$ . The permissible moment for a given area of reinforcements  $A_s$  reads:

$$M_{rd} = b F_c (d - 0,42 x)$$

$$F_c = 0,36 f_{ck} x$$

$$x = \frac{A_s f_{yd}}{b 0,36 f_{ck}}$$

The program further checks whether the location of neutral axis  $x$  is less than the limit location of neutral axis  $x_{max}$  given by:

$$x_{max} = 0,53d \quad \text{- for steel Fe 250}$$

$$x_{max} = 0,48d \quad \text{- for steel Fe 400}$$

$$x_{max} = 0,46d \quad \text{- for steel Fe 500}$$

### Shear

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete  $V_{uc}$ .

$$V_{uc} = \tau_c db$$

where:  $\tau_c$  is determined according to table 19 standard IS 456 : 2000.

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength  $V_{uc,max}$  is checked.

$$V_{uc,max} = \tau_{c,max} d b$$

where:  $\tau_{c,max}$  is determined according to table 20 standard IS 456 : 2000.

Next, the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sv} = \frac{V_u - V_{uc}}{0,87 f_y d} b$$

where:

$$f_y \leq 415 \text{ MPa}$$

## Verification of circular RC cross-section

The program verifies a reinforced concrete pile using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is  $0,002 - 0,0035$ .

The degree of reinforcement is checked using the formula:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

- **Column** - check for dominant compression

$$\rho = \frac{4 \cdot A_s}{\pi \cdot d^2}$$

$$\rho_{min} = 0,008$$

$$\rho_{max} = 0,04$$

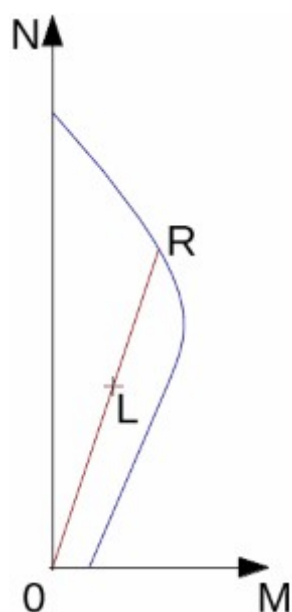
- **Beam** - check for dominant bending

$$\rho = 0,5 \frac{4 A_s}{\pi d^2}$$

$$\rho_{min} = \frac{0,85}{f_y}$$

$$\rho_{max} = 0,04$$

where:  $d$  - pile diameter  
 $A_s$  - reinforcement area



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|OL| / |OR|$ . Where  $L$  is load and  $R$  is strength with prescribed excentricity.

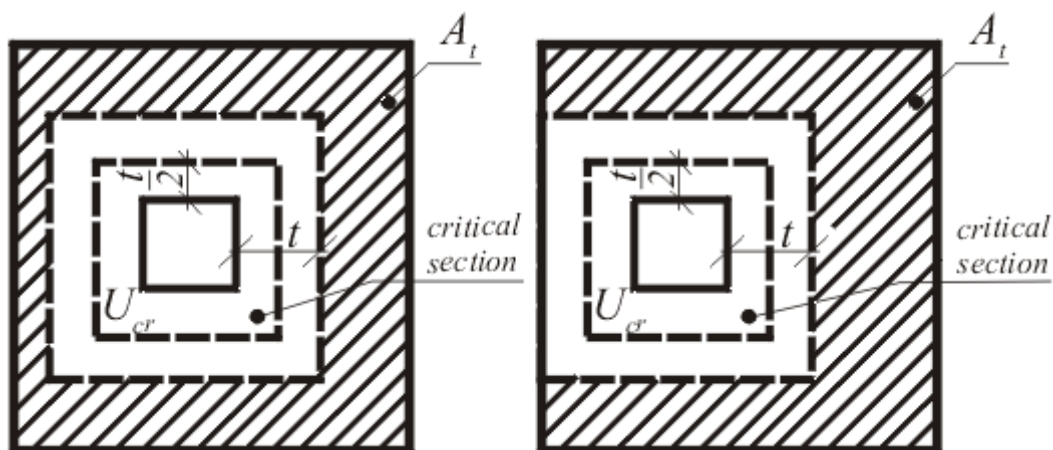
## Verification of spread footing for punching shear

The critical section loaded in shear  $U_{cr}$  is distant from the column edge by one half of the footing thickness. It is loaded by the prescribed moments  $M_x, M_y$  and by the shear force  $V_r$  provided by:

$$V_r = \frac{Q \cdot A_t}{A}$$

where:

- $A$  - area of footing
- $Q$  - assigned vertical force developed in column
- $A_t$  - hatched area in fig.



### *Dimensioning of shear reinforcement area $A_t$*

The program computes the maximum shear force  $V$  developed in the critical section, the shear force transmitted by concrete with no shear reinforcement  $V_c$ , and the maximal allowable force  $V_{max}$ :

$$V_c = \tau_{rd} \cdot k_s \cdot h$$

$$V_{max} = 1,5 \cdot V_c$$

where:

$$\tau_c = 0,25 \cdot \sqrt{f_{ctk}}$$

$$k_s = \text{Min} \left( 0,5 + \frac{c_x}{c_y} ; 1 \right)$$

where:  $c_x, c_y$  - are dimensions of footing column

For  $V < V_c$  no shear reinforcement is needed.

For  $V > V_c$  and  $V < V_{max}$  it is necessary to design shear reinforcement. The permissible shear force is given by:

$$V_{rd,3} = \frac{1}{2} \cdot V_c + V_{us}$$

$$V_{us} = \frac{\sum 0,87 A_{sv} \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha}{u}$$

where:  $u$  critical cross-section span  
 $\alpha$  is angle of crooks  
 $A_{us}$  overall area of crooks in footing

For  $V > V_{max}$  the shear reinforcement cannot be designed. It is therefore necessary to increase the cross-section depth.

## **Design of longitudinal reinforcement for slabs**

The design of reinforcement is performed for load caused by the bending moment  $M_{rd}$ . The program provides the required area of tensile and compressive (if needed) reinforcement. It takes into account conditions for the minimum and maximum degree of reinforcement in a given cross-section. First, the program determines the location of neutral axis as:

$$x = \frac{d - \sqrt{d^2 - \frac{M_{rd}}{0,96 \cdot b \cdot f_{cd}}}}{0,84}$$

Providing the location of neutral axis is less than the allowable one ( $x < x_{max}$ ), the program determines the area of tensile reinforcement  $A_{st}$  from the expression:

$$A_{st} = 0,36 \cdot b \cdot x \cdot f_{ck}$$

Providing the location of neutral axis is greater than the allowable one ( $x > x_{max}$ ), the program

determines the areas of both compressive  $A_{sc}$  and tensile  $A_{st}$  reinforcement from the expressions:

$$A_{sc} = \frac{M - F_{c,max}(d - 0,42 \cdot x_{max})}{f_{yd} \cdot Z}$$

$$A_{st} = \frac{F_{c,max} + A_{sc} \cdot f_{yd}}{f_{yd}}$$

$$F_{c,max} = 0,36 \cdot x_{max} \cdot b \cdot f_{ck}$$

The limit location of neutral axis is found from:

$$x_{max} = 0,53 \cdot d \quad \text{for steel Fe 250}$$

$$x_{max} = 0,48 \cdot d \quad \text{for steel Fe 400}$$

$$x_{max} = 0,46 \cdot d \quad \text{for steel Fe 500}$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\rho_{min} = \frac{0,85}{f_y}$$

$$\rho_{max} = 0,04$$

If the maximum degree of tensile reinforcement ( $\rho_{t,max} = 0,04$ ) or total reinforcement ( $\rho_{max} = 0,08$ ), respectively, is exceeded, the program informs the user that the longitudinal reinforcement cannot be designed for a given cross-section.

## Design of shear reinforcement for slabs

The program allows determination of the required amount of shear reinforcement form by stirrups and hooks, respectively.

First, the program computes the ultimate shear strength in a given section - the shear force transmitted by concrete  $V_{cu}$  and the maximum allowable shear force  $V_{uc,max}$ .

$$V_{uc} = \tau_c \cdot d$$

where:  $\tau_c$  is determined according to table 19 standard IS 456 : 2000.

$$V_{uc,max} = \tau_{c,max} \cdot d$$

where:  $\tau_{c,max}$  is determined according to table 20 standard IS 456 : 2000.

As for stirrups the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sv} = \frac{V_u - V_{uc}}{0,87 \cdot f_y \cdot d}$$

As for hooks the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sv} = \frac{V_u - V_{uc}}{0,87 \cdot f_y \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot d}$$

where:

$$f_y \leq 415 \text{ MPa}$$

## ACI 318 - 2011

Этот стандарт содержит следующие методы расчета:

- Материалы, коэффициенты, обозначения
- Проверка поперечного сечения из неармированного бетона
- Прямоугольное поперечное сечение при моменте изгиба и стандартной силе сжатия,  $N$ ,  $M$ ,  $V$
- Проверка кругового RC поперечного сечения
- Проверка отдельного фундамента для натяжения среза при давлении
- Расчет продольного армирования для пластин
- Расчет продольного армирования для пластин

## Материалы, коэффициенты, обозначения

Для параметров материала используются следующие обозначения:

$f'_c$  - расчетное сопротивление бетона в сжатии

$E_c$  - модуль упругости

$f_y$  - yield strength of reinforcing steel

Модуль упругости определяется по формуле (п. 8.5.1):

$$E_c = 57000 \cdot \sqrt{f'_c}$$

Наиболее часто используемые обозначения геометрических параметров:

$b$  - ширина поперечного сечения

$h$  - высота поперечного сечения

$d$  - эффективная высота поперечного сечения

## Проверка поперечных сечений из неармированного бетона

Поперечное пересечение прямоугольно, нагружено моментом изгиба  $M$ , стандартной силой  $N$  (приложена к центру масс поперечного сечения) и силой сдвига  $V_n$ .

Сопротивление сдвигу определяется по формуле (п. 22.5.4, п. 9.3.5):

$$\phi \cdot V_n \geq V_u$$

$$V_n = \frac{4}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot h$$

$$\phi = 0,6$$

Сопротивление бетонного поперечного сечения, подверженного момента изгиба в сочетании со стандартной силой, выводится из следующих выражений (п. 22.5.3, п. 9.3.5):

Для сжатой стороны:

$$\frac{P_u}{\phi \cdot P_n} + \frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1$$

где:

$$\begin{aligned} P_n &= 0,6 \cdot f'_c \cdot b \cdot h \\ M_n &= 0,85 \cdot f'_c \cdot S \\ S &= \frac{b \cdot h^2}{6} \\ \phi &= 0,6 \end{aligned}$$

Для растянутой стороны:

$$\frac{M_u}{S} - \frac{P_u}{b \cdot h} \leq 5 \cdot \phi \cdot \sqrt{f'_c}$$

где:

$$\phi = 0,6$$

## РС прямоугольное поперечное сечение при моменте изгиба и стандартной миле сжатия

Поперечное пересечение прямоугольно, армировано с одной стороны и нагружено моментом изгиба и стандартной силой сжатия. Использован метод предельной деформативности. (п. 10.3, п. 10.4). Максимально допустимая деформация бетона в сжатии 0,003. Сжатая арматура в расчет не принимается.

Коэффициент армирования (степень армирования) также рассчитан и проверена его величина по отношениям (п. 10.5.1):

$$\begin{aligned} \rho_{min} &\leq \rho \leq \rho_{max} \\ \rho &= \frac{A_s}{b \cdot d} \\ \rho_{min} &= \frac{\text{Max}(3 \cdot \sqrt{f'_c} ; 200)}{f_y} \end{aligned}$$

### Проверка сдвига

Сперва программа рассчитает сопротивление бетона сдвигу  $V_c$  (п. 11.2.1.1).

$$V_c = 2 \sqrt{f'_c} d b$$

В случае, что превышено предельное значение сопротивления бетона в сжатии, проверяется максимально допустимая поперечная (сдвигающая) сила  $V_{max}$  (п. 11.2.1.1 + п. 11.4.7.9).



$$V_{\max} = 10 \sqrt{f'_c} d b$$

Затем вычисляется нужная площадь арматуры по формуле (п. 11.4.7):

$$A_v = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi f_{yt} d} b$$

где (п. 11.4.2, п. 9.3.2.3):

$$f_{yt} \leq 60000 \text{ psi}$$

$$\phi = 0,75$$

## Проверка окружного RC поперечного сечения

Программа проверяет армированную бетонную сваю методом предельной деформации. Максимально допустимая деформация бетона в сжатии is 0,003. Степень армирования проверяется по формуле:

$$\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$$

- **Колонна** - проверка на преобладающее сжатие (п. 10.9.1)

$$\rho = \frac{4A_s}{\pi d^2}$$

$$\rho_{\min} = 0.01$$

$$\rho_{\max} = 0.08$$

- **Балка** - проверка на преобладающий изгиб (п. 10.5.1)

$$\rho = 0.5 \frac{4A_s}{\pi d^2}$$

$$\rho_{\min} = \frac{\text{Max} \left( 3 \sqrt{f'_c}; 200 \right)}{f_y}$$

где:  $d$  - диаметр сваи

$A_s$  - площадь армирования поперечного сечения

## Проверка сдвига

Сперва программа рассчитает сопротивление бетона сдвигу  $V_c$  (п. 11.2.1.1, п. 11.2.3).

$$V_c = 2 \sqrt{f'_c} 0.8 d^2$$

В случае, что превышено предельное значение сопротивления бетона в сжатии, проверяется максимально допустимая поперечная (сдвигающая) сила  $V_{\max}$  and strength of reinforced section  $V_s$  are checked (п. 11.2.1.1 + п. 11.4.7.9, п. 11.2.3, п. 11.4.7.2).

$$V_{\max} = 10 \sqrt{f'_c} 0.8 d^2$$

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} 0.8 d}{s}$$

где (п. 11.4.2, п. 9.3.2.3):

$$f_{yt} \leq 60000 \text{ psi}$$

$$\phi = 0.75$$

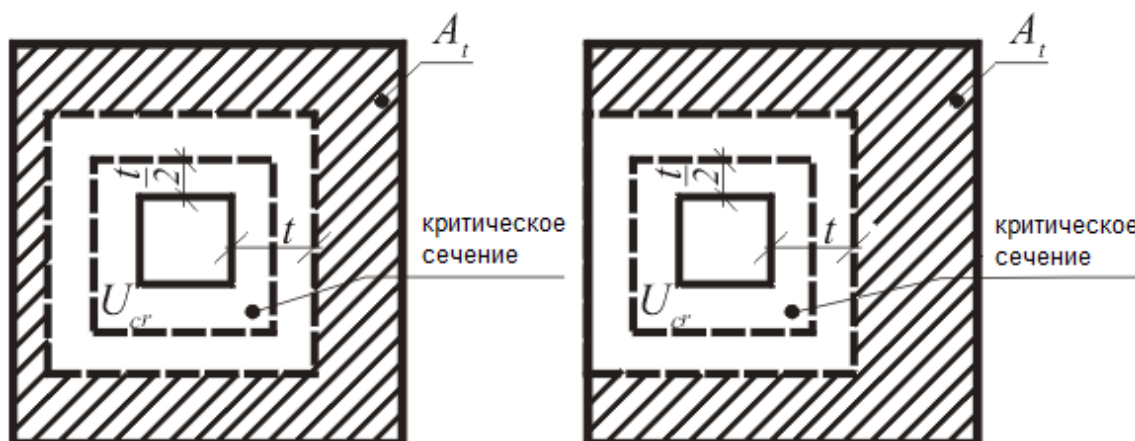
## Проверка отдельного фундамента для натяжения среза при давлении

Программа позволяет проверить отдельный фундамент на натяжение среза при давлении или расчета поперечного армирования. Критическая секция, нагруженная в сдвиге  $b_o$ , находится на расстоянии от края колонны на половину толщины фундамента. Она нагружена заданными моментами  $M_x$ ,  $M_y$  и силой сдвига  $V_u$ , определяемой по формуле:

$$V_u = \frac{V \cdot A_t}{A}$$

где:

- $A$  - площадь основания
- $V$  - назначенная вертикальная сила, развившаяся в колонне
- $A_t$  - заштрихованная площадь на рис.



Измерение площади арматуры на срез  $A_t$

Программа рассчитывает максимальную силу сдвига  $V_u$ , развиваемую в критической секции, силу сдвига, передаваемую бетоном без поперечного армирования  $V_c$ , и максимально допустимую силу  $V_{max}$  (п. 11.11.2.1):

$$V_c = \left( 2 + \frac{4}{\beta_c} \right) \sqrt{f'_c} b_o d$$

where  $\beta_c$  is ratio of long side to short side of column.

$$V_c = \left( 2 + \frac{\alpha_s d}{b_o} \right) \sqrt{f'_c} b_o d$$

where  $\alpha_s$  =

- 40 - inner column
- 30 - edge column
- 20 - corner column

$$V_c = 4\sqrt{f'_c}b_o d$$

and the maximal allowable force  $V_{max}$  (Art. 11.11.3.2):

$$V_{max} = 6\sqrt{f'_c}b_o d$$

Для  $V_u < \phi * V_c$  поперечное армирование не требуется.

Для  $V_u > \phi * V_c$  and  $V_u < \phi * V_{max}$  необходимо ввести поперечное армирование. Предельная сила сдвига определяется по формуле:

$$V_n = \phi \left( 2\sqrt{f'_c}b_o d + A_v f_{yt} \sin \alpha \right)$$

$$\phi = 0.75$$

где:

$b_o$	-	критическое расстояние поперечного сечения
$\alpha$	-	угол петель
$A_s$	-	общая площадь петель в фундаменте

Для  $V_u > \phi * V_{max}$  поперечное армирование не рассчитывается, поэтому необходимо увеличить высоту поперечного сечения.

## Расчет продольного армирования для пластин

Расчет армирования выполняется для нагрузки в результате момента изгиба  $M_{sd}$ . Программа определяет требуемую область растянутой и сжатой (при необходимости) арматуры. Она учитывает условия для минимальной и максимальной степени армирования в данном поперечном сечении. Сначала программа определяет местоположение нейтральной оси по формуле:

$$x = d - \sqrt{d^2 - \frac{2.M_d}{0.85.\phi.b.f'_c}}$$

Если нейтральная ось расположена вне допустимой ( $x < x_{max}$ ), программа определяет область растянутого армирования  $A_{st}$  по формуле:

$$A_{st} = \frac{0.85.\phi.f'_c.b.x.\beta_1}{f_y}$$

Если местоположение нейтральной оси превышает допустимое значение ( $x > x_{max}$ ), программа определяет площадь сжатой  $A_{sc}$  и растянутой  $A_{st}$  арматуры по формулам:

$$A_{sc} = \frac{\frac{M}{\phi} - F_{c,max}(d - 0.45.x_{max})}{f_{yd} \cdot Z}$$

$$A_{st} = \frac{M - A_{sc} \cdot f_y}{f_y}$$

$$F_{c,max} = 0.85.\phi.b.f'_c$$

где:

$$\phi = 0,9$$

Предельное положение нейтральной оси рассчитывается следующим образом:

$$x_{u,lim} = \frac{0,003}{0,003 + 0,004} \cdot d$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\rho_{min} = \frac{Max(3 \cdot \sqrt{f'_c} ; 200)}{f_y}$$

## Расчет продольного армирования для пластин

Программа позволяет определить требуемое количество поперечных арматур по анкерам для крепления балок и петель.

Сначала программа рассчитывает предельную силу сдвига в данной секции, передаваемой бетоном,  $V_c$  (Art. 11.2.1.1) и максимально допустимую силу сдвига  $V_{max}$  (Art. 11.2.1.1 + Art. 11.4.7.9).

$$V_c = 2 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot d$$

$$V_{max} = 10 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot d$$

Для анкеров для крепления балок необходимая площадь армирования определяется по формуле (Art. 11.4.7.2):

$$A_v = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi \cdot f_{yt} \cdot d}$$

Для петель необходимая площадь армирования определяется по формуле (Art. 11.4.7.4):

$$A_v = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi \cdot f_{yt} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot d}$$

где (Art. 11.4.2, Art. 9.3.2.3):

$$f_{yt} \leq 60000 \text{ psi}$$

$$\phi = 0,75$$

## AS 3600 - 2001

This help contains the following computational methods:

- Materials, coefficients, notation
- Verification of rectangular cross-sections made from plain concrete
- Verification of rectangular RC cross-section
- Verification of circular RC cross-section

- Verification of spread footing for punching shear
- Design of longitudinal reinforcement for slabs
- Design of shear reinforcement for slabs

## Материалы, коэффициенты, обозначения

The following notation for material parameters is used:

- $f'_c$  - characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days  
 $E_c$  - mean value of the modulus of elasticity of concrete at 28 days  
 $f'_{cf}$  - characteristic flexural tensile strength of concrete  
 $f'_{ct}$  - characteristic principal tensile strength of concrete  
 $f_{sy}$  - yield strength of reinforcing steel

$$E_c = \rho^{1.5} \cdot 5,056 \cdot \sqrt{f'_c}$$

$$f'_{cf} = 0,6 \cdot \sqrt{f'_c}$$

$$f'_{ct} = 0,4 \cdot \sqrt{f'_c}$$

The characteristic compressive strength of concrete is the basic input parameter given by the class of concrete.

The most common notation for geometrical parameters:

- $b$  - cross-section width  
 $D$  - cross-section depth  
 $d$  - effective depth of cross-section  
 $z$  - lever arm (arm of internal forces)

All computations are carried out according to the theory of limit states.

## Verification of rectangular cross-section made of plain concrete

The cross-section is rectangular, loaded by the bending moment  $M$ , normal force  $N$  (applied in the cross-section centroid) and by the shear force  $V$ .

The shear strength is provided by:

$$\phi \cdot V_u < V$$

$$V_u = 0,15 \cdot b \cdot D \cdot (f'_c)^{\frac{1}{3}}$$

$$\phi = 0,6$$

Strength of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is derived from the following expressions:

$$\frac{N}{\phi \cdot N_u} + \frac{M}{\phi \cdot M_u} \leq 1$$

where:

$$N_u = 0,45 \cdot f'_c \cdot A_g$$

$$M_u = \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot f'_{cf}$$

$$\phi = 0,6$$

where:  $A_g$  - loaded area

## Verification of rectangular RC cross-section under N, M, V

The cross-section is rectangular, unilaterally reinforced and loaded by the bending moment and normal compression force. The program verifies a reinforced concrete section using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is 0,002 - 0,0035. Compression reinforcement is not taken into account.

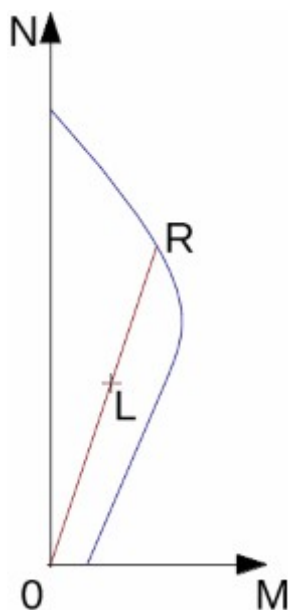
The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{min} \leq \rho$$

where:

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\rho_{min} = \left[ 0,22 \cdot \left( \frac{D}{d} \right)^2 \cdot \frac{f'_{cf}}{f_{sy}} \right] \leq \rho$$



*Interaction diagram N-M*

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|0L|/|0R|$ . Where  $L$  is load and  $R$  is strength with prescribed excentricity.

**Bending without normal force**

The cross-section is rectangular, reinforced on one side and loaded by the bending moment  $M$ .

The permissible moment for a given area of reinforcements  $A_s$  reads:

$$M_x < \phi \cdot M_{uo}$$

$$\phi = 0,8$$

$$M_{uo} = A_s \cdot f_{sy} \cdot \left( d - \frac{c}{2} \right)$$

$$c = \frac{A_s \cdot f_{sy}}{b \cdot 0,85 \cdot f'_c}$$

$$\gamma = [0,85 - 0,007 \cdot (f'_c - 28)]$$

$$0,65 \leq \gamma \leq 0,85$$

The program further checks whether the neutral axis parameter  $k_u$  is less than the limit value:

$$k_u \leq 0,4$$

$$k_u = \frac{x}{d}$$

$$x = \frac{c}{\gamma}$$

where:  $x$  - depth of neutral axis

**Shear**

The program further checks ultimate shear strength:

$$V < \phi \cdot V_{uc}$$

$$\phi = 0,7$$

where:

$$V_{uc} = \beta_1 \cdot b \cdot d \cdot \left( \frac{A_s \cdot f'_c}{b \cdot d} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\beta_1 = \text{Max} \left[ 1,1 ; \left( 1,6 - \frac{d}{1000} \right) \cdot 1,1 \right]$$

**Verification of circular RC cross-section**

The program verifies a reinforced concrete pile using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is  $0,002 - 0,0035$ . The degree of

reinforcement is checked using the formula:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

- **Column** - check for dominant compression

$$\rho = \frac{4 \cdot A_s}{\pi \cdot d^2}$$

$$\rho_{min} = 0,01$$

$$\rho_{max} = 0,04$$

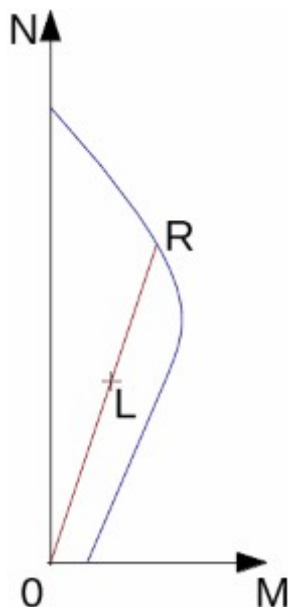
- **Beam** - check for dominant bending

$$\rho = 0,5 \frac{4 A_s}{\pi d^2}$$

$$\rho_{min} = \left[ 0,22 \cdot \left( \frac{D}{d} \right)^2 \cdot \frac{f'_{cf}}{f_{sy}} \right]$$

$$\rho_{max} = 0,04$$

where:  $D$  - pile diameter  
 $A_s$  - reinforcement area



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|OL| / |OR|$ . Where  $L$  is load and  $R$  is strength with prescribed excentricity.



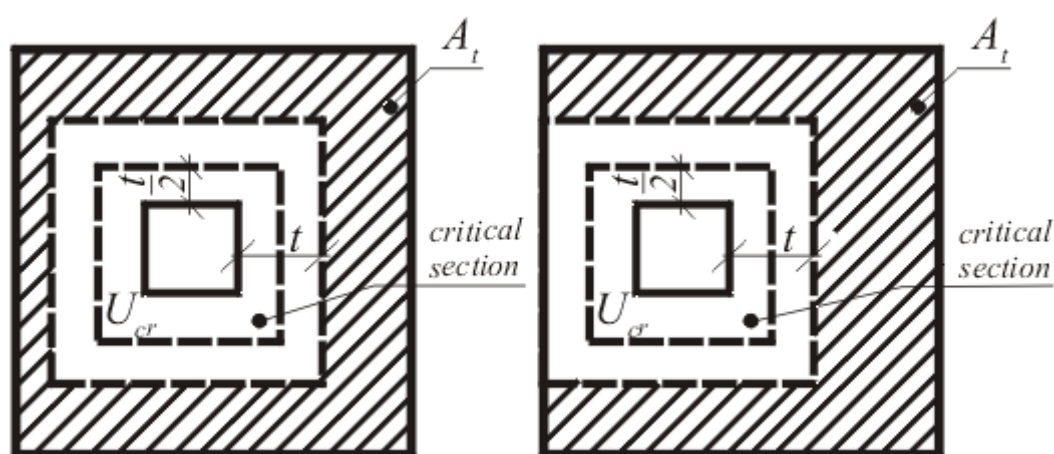
## Verification of spread footing for punching shear

The program allows for the verification of spread footing for punching shear. The critical section loaded in shear  $U_{cr}$  is distant from the column edge by one half of the footing thickness. It is loaded by the prescribed moments  $M_x, M_y$  and by the shear force  $V^*$  provided by:

$$V^* = \frac{V \cdot A_t}{A}$$

where:

- $A$  - area of footing
- $V$  - assigned vertical force developed in column
- $A_t$  - hatched area in fig.



*Dimensioning of shear reinforcement area  $A_t$*

The program checks, whether the cross-section bursting strength is sufficient according to the relation:

$$V^* = \phi \cdot V_u$$

where:

$$\phi = 0,7$$

$$V_u = \frac{V_{uo}}{1 + \frac{u \cdot M_v^*}{8 \cdot V^* \cdot a \cdot d}}$$

$$V_{uo} = u \cdot d \cdot f_{cv}$$

$$f_{cv} = \text{Min} \left[ 0,34 \cdot \sqrt{f'_c} ; 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{2}{\beta_h} \right) \cdot \sqrt{f'_c} \right]$$

where:

- $\beta_h$  - the ratio of the longest overall dimension of the effective loaded area,  $Y$ , to the overall dimension,  $X$ , measured perpendicular to  $Y$
- $a$  - the dimension of the critical shear perimeter measured parallel to the direction of  $M_v^*$

$M_v^*$  - the bending moment transferred from the slab to a support in the direction being considered

The analysis is carried out independently in directions  $x$  and  $y$ , as the decisive one the lower value of  $V_u$  is accepted.

## Design of longitudinal reinforcement for slabs

The design of reinforcement is performed for load caused by the bending moment  $M$ . The program provides the required area of tensile and compressive (if needed) reinforcement. It takes into account conditions for the minimum and maximum degree of reinforcement in a given cross-section. First, the program determines the location of neutral axis as:

$$x = d - \sqrt{d^2 - \frac{2.M_d}{0,85.\phi.b.f'_c}}$$

Providing the location of neutral axis is less than the allowable one ( $x < k_u \cdot d$ ), the program determines the area of tensile reinforcement  $A_{st}$  from the expression:

$$A_{st} = \frac{0,85.\phi.f'_c.b.x.\beta_1}{f_y}$$

Providing the location of neutral axis is greater than the allowable one ( $x > k_u \cdot d$ ), the program determines the areas of both compressive ( $A_{sc}$ ) and tensile ( $A_{st}$ ) reinforcement from the expressions:

$$A_{sc} = \frac{\frac{M}{\phi} - f_{c,max}(d - 0,45.k_u.d)}{f_y d \cdot z}$$

$$A_{st} = \frac{M - A_{sc} \cdot f_y}{f_y}$$

$$F_{c,max} = 0,85.\phi.b.f'_c$$

where:

$$\phi = 0,8$$

$$k_u = 0,4$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{min} \leq \rho$$

where:

$$\rho = \frac{A_s}{b.d}$$

$$\rho_{min} = \left[ 0,22 \cdot \left( \frac{D}{d} \right)^2 \cdot \frac{f'_{cf}}{f_{sy}} \right] \leq \rho$$

## Design of shear reinforcement for plates

The program allows determination of the required amount of shear reinforcement form by stirrups and hooks, respectively.

First, the program computes the ultimate shear strength in a given section - the shear force transmitted by concrete  $V_{uc}$  and the maximum allowable shear force  $V_{u,max}$ .

$$V_{uc} = \beta_1 \cdot d \cdot \left( \frac{A_s \cdot f'_c}{d} \right)^{\frac{1}{3}}$$

where:

$$\beta_1 = \text{Max} \left[ 1,1 ; \left( 1,6 - \frac{d}{1000} \right) \cdot 1,1 \right]$$

$$V_{u,max} = 2 \cdot f'_c \cdot d$$

As for stirrups the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sv} = \frac{V^* - \phi \cdot V_{uc}}{\phi \cdot f_{sy,f} \cdot d}$$

As for hooks the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sv} = \frac{V^* - \phi \cdot V_{uc}}{\phi \cdot f_{sy,f} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot d}$$

where:

$$\phi = 0,7$$

## SNiP 52-101 - 2003

Этот стандарт содержит следующие методы расчета:

- Материалы, коэффициенты, обозначения
- Проверка поперечного сечения из неармированного бетона
- Проверка прямоугольного сечения из железобетона
- Проверка кругового ж-б поперечного сечения
- Проверка отдельного фундамента на продавливание
- Расчет продольной арматуры для плиты
- Расчет продольного арматуры для плиты

## Материалы, коэффициенты, условные обозначения

Для параметров материала используются следующие обозначения:

$R_b$  - расчетная прочность бетона в сжатии

$R_{bt}$  - расчетная прочность бетона в растяжении

- $R_{sc}$  - расчётная прочность стали в сжатии  
 $R_s$  - расчётная прочность стали в растяжении

Наиболее часто используемые обозначения геометрических параметров:

- $b$  - ширина поперечного сечения  
 $h$  - высота поперечного сечения  
 $h_e$  - эффективная высота поперечного сечения  
 $z$  - плечо внутренних сил

## Проверка прямоугольного сечения из неармированного бетон

Прямоугольное поперечное сечение нагружено изгибающим моментом  $M$ , нормальной силой  $N$  (действует в центре тяжести сечения) и поперечной силой  $Q$ . Сопротивление сечения, нагружаемого моментом изгиба, определяется по формуле:

$$M_{ult} = \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot R_{bt}$$

Сопротивление сдвигу определяется по формуле:

$$Q_{ult} = 1,5 \cdot b \cdot h \cdot R_b$$

Сопротивление бетонного сечения под действием изгибающего момента в сочетании с нормальной выводится из их отношений в зависимости от внецентренности нормальной силы  $e$ :

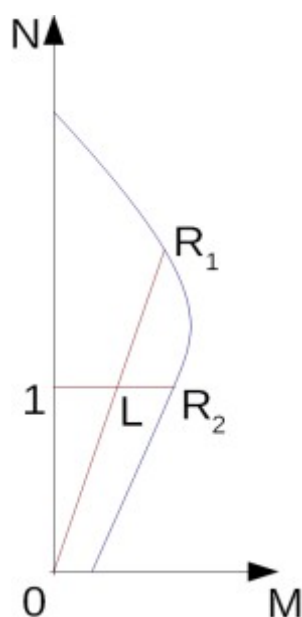
для:

$$N_{ult} = b \cdot x \cdot R_b$$

$$N_{ult} = \text{Min} \left( \frac{b \cdot h \cdot R_{bt}}{\frac{6 \cdot e}{h} - 1} ; \frac{b \cdot h \cdot R_b}{\frac{6 \cdot e}{h} + 1} \right)$$

$$x_u = h - 2 \cdot e$$

$$e = \frac{\text{abs}(M)}{N}$$



Интерактивная диаграмма N-M

Коэффициент использования сечения, нагруженного изгибающим моментом и нормальной силой определяется как соотношение длин отрезков  $|OL| / |OR_1|$  или  $|IL| / |IR_2|$ , где  $L$  - нагружение,  $R_1$  сопротивление (несущая способность) при сохранении внецентренности,  $R_2$  сопротивление [несущая способность] при сохранении нормальной силы.

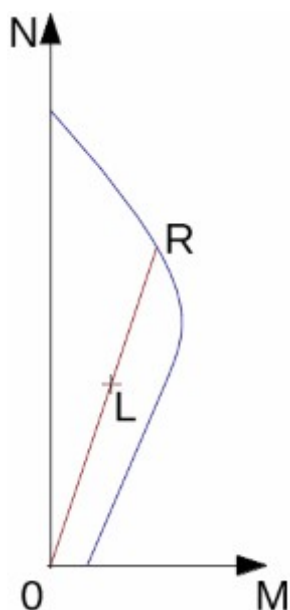
## Проверка прямоугольного железобетонного сечения на изгибающий момент и нормальную сжимающую силу

Прямоугольное сечение, армировано с одной стороны, нагружено изгибающим моментом и нормальной сжимающей силой. Использован метод предельной деформативности. Максимальное относительное деформирование бетона в сжатии - 0,002 до 0,0035. Сжатая арматура в расчет не принимается.

Коэффициент армирования (степень армирования) также рассчитан и проверена его величина по отношениям:

$$\mu_{st,min} = 0,001 < \mu_{st}$$

$$\mu_{st} = \frac{A_s}{b h_0}$$



Интерактивная диаграмма N-M

Коэффициент использования поперечного сечения, нагружаемого моментом и нормальной силой определяется как частное отрезков  $|OL| / |OR|$ . Где  $L$  - нагрузка,  $R$  - несущая способность при сохранении внецентренности.

### Проверка простого изгиба

Сечение прямоугольной формы, армированное с одной стороны, нагружено изгибающим моментом  $M$ .

Момент на пределе несущей способности рассчитаем по формуле:

$$M_{ult} = b \times R_b \left( h_0 - \frac{x}{2} \right)$$

$$x = \frac{A_s R_s}{b R_b}$$

Программа проверяет положение нейтральной оси  $x$ , которое должно быть меньше, чем предельное положение оси  $x_R$ , определённое по:

$$x_R = \frac{0,8 h_0}{1 + \frac{R_s}{700}}$$

### Проверка сдвига

Сначала программа вычисляет сопротивление бетона сдвигу  $Q_b$ .

$$Q_b = 2,5 R_{bt} h_0 b$$

В случае, что превышено предельное сопротивление бетона в сжатии, проверяется максимально допустимая поперечная (сдвигающая) сила  $Q_{max}$

$$Q_{max} = 0,3 R_b h_0 b$$

Затем вычисляется требуемая площадь арматуры по формуле:

$$A_{sw} = \frac{Q - 1,5 R_{bt} h_0}{0,75 R_{sw} h_0} b$$

где:

$$R_{sw} = \text{Min}(0,8 R_s ; 300 \text{ MPa})$$

## Проверка круглого железобетонного сечения

Программа проверяет железобетонную сваю методом предельного деформирования. Максимальная допустимая деформация бетона в сжатии 0,0015 до 0,0035. Степень армирования проверяется по формуле:

- **Колонна** - проверка на преобладающее сжатие

$$\mu_{st,min} = 0,001 < \mu_{st}$$

$$\mu_{st} = \frac{4 \cdot A_s}{\pi \cdot d^2}$$

- **Балка** - проверка на преобладающий изгиб

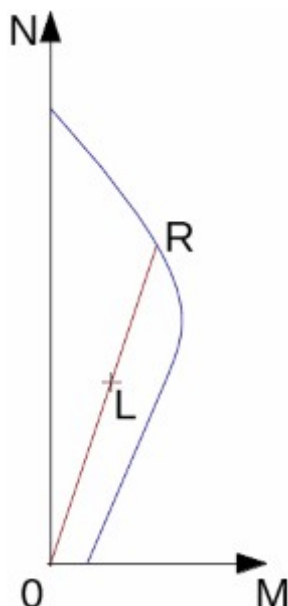
$$\mu_{st,min} = 0,001 < \mu_{st}$$

$$\mu_{st} = 0,5 \frac{4 A_s}{\pi d^2}$$

где:

$d$  - диаметр сваи

$A_s$  - площадь армирования поперечного сечения



Интерактивна програма N-M

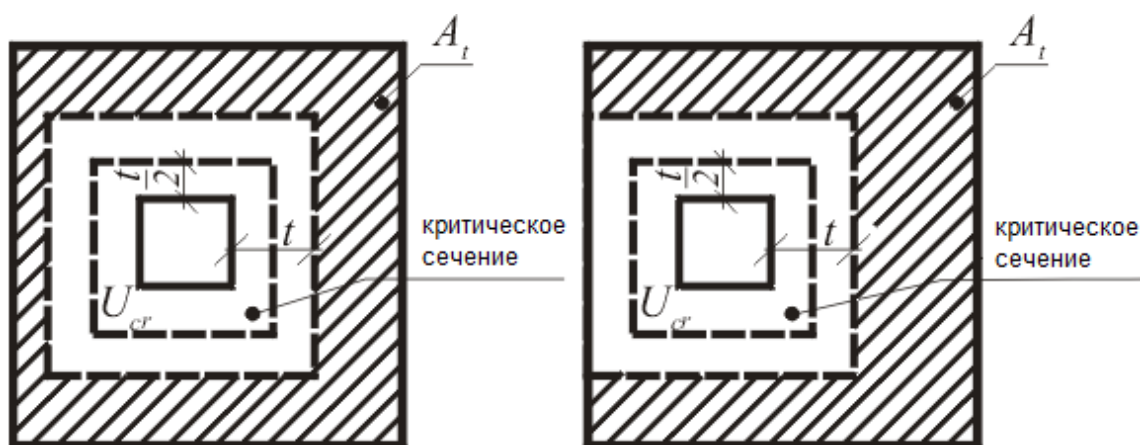
Коэффициент использования поперечного сечения, нагружаемого моментом и нормальной силой определяется как частное отрезков  $|OL| / |OR|$ . Где  $L$  - нагрузка,  $R$  - несущая способность при сохранении внецентренности.

## Проверка отдельного фундамента на продавливание

Программа позволяет проверить отдельный фундамент на продавливание колонны или спроектировать поперечную (срезную) арматуру. Критическое сечение под сдвигающей нагрузкой  $U_{cr}$  отстоит от края колонны на половину толщины фундамента. Сечение нагружено заданными моментами  $M_x$ ,  $M_y$  и силой  $F$ , рассчитанной по формуле:

$$F = \frac{Q \cdot A_t}{A}$$

где:  $A$  - площадь отдельного фундамента  
 $Q$  - заданная вертикальная сила в колонне  
 $A_t$  - заштрихованная площадь на рис.



Подбор размеров поперечной (срезной) арматуры  $A_t$

Программа рассчитывает максимальную поперечную (сдвигающую) силу  $F$  в критическом сечении, поперечную (сдвигающую) силу, воспринимаемую бетоном без срезной (поперечной) арматуры  $F_{b,ult}$ , и максимально допустимую силу  $F_{ult,max}$ :

$$F_{b,ult} = R_{bt} \cdot h_0$$

$$F_{ult,max} = 2 \cdot F_{b,ult}$$

Для  $F < F_{b,ult}$  поперечное армирование не требуется.

Для  $F > F_{b,ult}$  и  $F < F_{ult,max}$  необходимо создать поперечное армирование. Предельная поперечная сила определяется по формулам:

$$F_{ult} = F_{b,ult} + F_{sw,ult}$$

$$F_{sw,ult} = \frac{0,8 \cdot A_s \cdot R_{sw} \cdot \sin \alpha}{V_{cr}}$$

где:  $V_{cr}$  - длина критического сечения  
 $\alpha$  - угол наклона отгибов (петель)  
 $A_s$  - общая площадь отгибов в фундаменте

Для  $F > F_{ult,max}$  поперечное армирование нельзя рассчитать и нужно увеличить высоту поперечного сечения.



## Расчет продольного армирования для пластин

Расчет армирования выполняется для нагрузки в результате момента изгиба  $M$ . Программа определяет требуемую область растянутой и сжатой (при необходимости) арматуры. Она учитывает условия для минимальной и максимальной степени армирования в данном поперечном сечении. Сначала программа определяет местоположение нейтральной оси по формуле:

$$x = h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{M}{0,5 \cdot b \cdot R_b}}$$

Если нейтральная ось расположена вне допустимой ( $x < x_{max}$ ), программа определяет область растянутого армирования  $A_{st}$  по формуле:

$$A_{st} = \frac{b \cdot x \cdot R_{bd}}{R_{sd}}$$

Если место положение нейтральной оси превышает допустимое значение ( $x > x_{max}$ ), программа определяет площадь сжатой  $A_{sc}$  и растянутой  $A_{st}$  арматуры по формулам:

$$A_{sc} = \frac{M - F_{c,max} (h_e - 0,5 \cdot x_{max})}{R_{sd} \cdot z}$$

$$A_{st} = \frac{F_{c,max} + A_{sc} \cdot R_{sd}}{R_{sd}}$$

$$F_{c,max} = x_{max} \cdot b \cdot R_{bd}$$

Предельное положение нейтральной оси рассчитывается следующим образом:

$$x_{max} = 0,533 \cdot h_e$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\mu_{st,min} = 0,001 < \mu_{st}$$

$$\mu_{st} = \frac{A_s}{b h_0}$$

## Расчет продольного армирования для пластин

Программа позволяет определить требуемое количество поперечных арматур по анкерам для крепления балок и петель.

Сначала программа рассчитывает предельную силу сдвига в данной секции, передаваемой бетоном,  $Q_b$  и максимально допустимую силу сдвига  $Q_{max}$ .

$$Q_b = 2,5 R_{bt} h_0$$

$$Q_{max} = 0,3 R_b h_0$$

Для анкеров для крепления балок необходимая площадь армирования определяется по формуле:

$$A_{sw} = \frac{Q - 1,5 R_{bt} h_0}{0,75 R_{sw} h_0}$$

Для петель необходимая площадь армирования определяется по формуле:

$$A_{sw} = \frac{Q - 1,5 R_{bt} h_0}{0,75 R_{sw} h_0 \sin \alpha}$$

где:

$$R_{sw} = \text{Min}(0,8 R_s ; 300 \text{ MPa})$$

## GB 50010 - 2010

This help contains the following computational methods:

- Materials, coefficients, notation
- Verification of rectangular cross-sections made from plain concrete
- Verification of rectangular RC cross-section
- Verification of circular RC cross-section
- Verification of spread footing for punching shear
- Design of longitudinal reinforcement for slabs
- Design of shear reinforcement for slabs

## Materials, Coefficients, Notation

The following notation for material parameters is used:

- $f_c$  - design strength of concrete in compression
- $f_t$  - design strength of concrete in tension
- $f'_y$  - design strength of steel in compression
- $f_y$  - design strength of steel in tension

The most common notation for geometrical parameters:

- $b$  - cross-section width
- $h$  - cross-section depth
- $h_0$  - effective depth of cross-section

## Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete

The cross-section is rectangular, loaded by the bending moment  $M$ , normal force  $N$  (applied in the cross-section centroid) and by the shear force  $V$ . The cross-section bearing capacity subjected to bending moment is given by (Art. D.3):

$$M_u = \frac{bh^2}{6} \gamma f_{ct}$$

where (Art. 7.2.4, Art. D.2.2):

$$\gamma = \left(0.7 + \frac{120}{h}\right) 1.55$$

$$400\text{mm} \leq h \leq 1600\text{mm}$$

$$f_{ct} = 0.55 f_t$$

The shear strength is provided by (Art. 6.3.3):

$$V_u = 0.7 f_t b h$$

Strength of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is derived from the following expressions depending on the normal force eccentricity  $e_0$  (Art. D.2.1):

As the greater of:

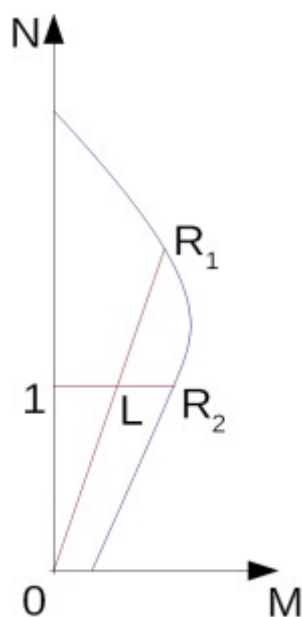
$$e_0 \leq 0.45h \Rightarrow N_u = f_{cc} b (h - 2e_0)$$

$$N_u = \text{Min} \left( \frac{bh\gamma f_{ct}}{\frac{6e_0}{h} - 1}; \frac{bh f_c}{\frac{6e_0}{h} + 1} \right)$$

where (Art. D.2.1):

$$f_{cc} = 0.85 f_c$$

$$e_0 = \left| \frac{M}{N} \right|$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and

normal force is determined as  $|0L|/|0R_I|$  or  $|1L|/|1R_2|$ . Where  $L$  is load,  $R_I$  is strength with prescribed excentricity and  $R_2$  is strength with prescribed normal force.

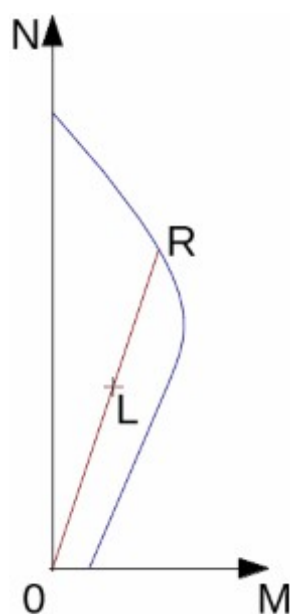
## Verification of Rectangular RC Cross-Section

The cross-section is rectangular, unilaterally reinforced and loaded by the bending moment and normal compression force. The program verifies a reinforced concrete section using the method of limit deformation (Art. 6.2.1). The maximum allowable strain of concrete in compression is 0,002 to 0,0033. Compression reinforcement is not taken into account.

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions (Art. 8.5.1):

$$\rho_{min} = \text{Max} \left( 0.002; 0.45 \frac{f_t}{f_y} \right) \leq \rho$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$



*Interaction diagram N-M*

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|0L|/|0R|$ . Where  $L$  is load and  $R$  is strength with prescribed excentricity.

### Bending without normal force

The cross-section is rectangular, reinforced on one side and loaded by the bending moment  $M$ .

The ultimate moment is provided by (Art. 6.2.10):

$$M_u = \alpha_1 f_c b x \left( h_0 - \frac{x}{2} \right)$$

$$x = \frac{f_y A_s}{\alpha_1 f_c b}$$

$\alpha_1 = 1$  for:  $\leq \text{C50}$

$\alpha_I = 0.94$  for:  $\geq \mathbf{C80}$ , intermediate values are obtained using linear interpolation method (Art. 6.2.6).

The program further checks whether the depth of compression zone  $x$  is less than the limit depth of compression zone  $\xi_b h_0$  given by (Art. 6.2.7):

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{a + \frac{f_y}{E_s \varepsilon_{cu}}}$$

$\beta_1 = 0.8$  for:  $\leq \mathbf{C50}$

$\beta_1 = 0.74$  for:  $\geq \mathbf{C80}$ , intermediate values are obtained using linear interpolation method (Art. 6.2.6).

### Shear

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete  $V_c$  (Art. 6.6.3).

$$V_c = 0.7 f_t b h$$

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength  $V_{max}$  is checked (Art. 6.3.1).

for  $h_0/b \leq 4$

$$V_{max} = 0.25 \beta_c f_c b h_0$$

for  $h_0/b \geq 6$

$$V_{max} = 0.2 \beta_c f_c b h_0$$

intermediate values are obtained using linear interpolation method

$\beta_c = 1$  for:  $\leq \mathbf{C50}$

$\beta_c = 0.8$  for:  $\geq \mathbf{C80}$ , intermediate values are obtained using linear interpolation method.

Next, the necessary reinforcement area is given by (Art. 6.3.4):

$$A_{sv} = \frac{V - V_c - 0.07N}{f_{yv} h_0}$$

$$f_{yv} = \text{Min} (360\text{MPa}, f_y)$$

## Verification of Circular RC Cross-Section

The program verifies a reinforced concrete pile using the method of limit deformation (Art. 6.2.1). The maximum allowable strain of concrete in compression is  $0.002 - 0.0033$ . The degree of reinforcement is checked using the formula:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

- **Column** - check for dominant compression (Art. 8.5.1, Art. 9.3.1)

$$\rho = \frac{4A_s}{\pi d^2}$$

for steel strength grade greater or equal to  $500\text{MPa}$

$$\rho_{min} = 0.005$$

for steel strength grade greater or equal to  $400\text{MPa}$

$$\rho_{min} = 0.0055$$

for steel strength grade less than 335MPa

$$\rho_{min} = 0.006$$

$\rho_{min}$  is increased by 0.001 for concrete strength grade greater than **C60**

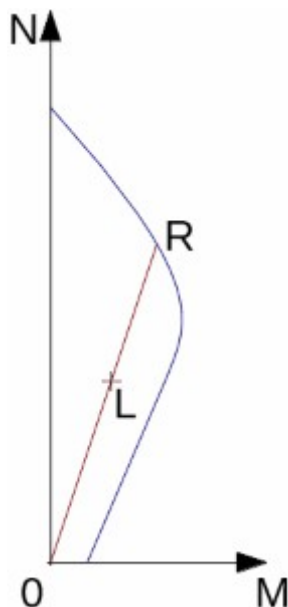
$$\rho_{max} = 0.05$$

- **Beam** - check for dominant bending (Art. 8.5.1)

$$\rho = 0.5 \frac{4A_s}{\pi d^2}$$

$$\rho_{min} = \text{Max} \left( 0.002; 0.45 \frac{f_t}{f_y} \right)$$

where:  $d$  - pile diameter  
 $A_s$  - reinforcement area



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|OL| / |OR|$ . Where  $L$  is load and  $R$  is strength with prescribed excentricity.

### Shear

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete  $V_c$  (Art. 6.3.3, Art. 6.3.15).

$$V_c = 0.7 f_t (0.88d) (0.8d)$$

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength  $V_{max}$  (Art. 6.3.1, Art. 6.3.15) and strength of reinforced section  $V_s$  are checked (Art. 6.3.4, Art. 6.3.15).

for  $h_0/b \leq 4$

$$V_{max} = 0.25 \beta_c f_c b h_0$$

for  $h_0/b \geq 6$

$$V_{max} = 0.2\beta_c f_c b h_0$$

$$V_{max} = 0.25\beta_c f_c (0.88d)(0.8d)$$

$\beta_c = 1$  for:  $\leq \mathbf{C50}$

$\beta_c = 0.8$  for:  $\geq \mathbf{C80}$ , intermediate values are obtained using linear interpolation method.

$$V_{cs} = 0.7f_t(0.88d)(0.8d) + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s}(0.8d) + 0.07N$$

$$f_{yv} = \text{Min}(360\text{MPa}, f_y)$$

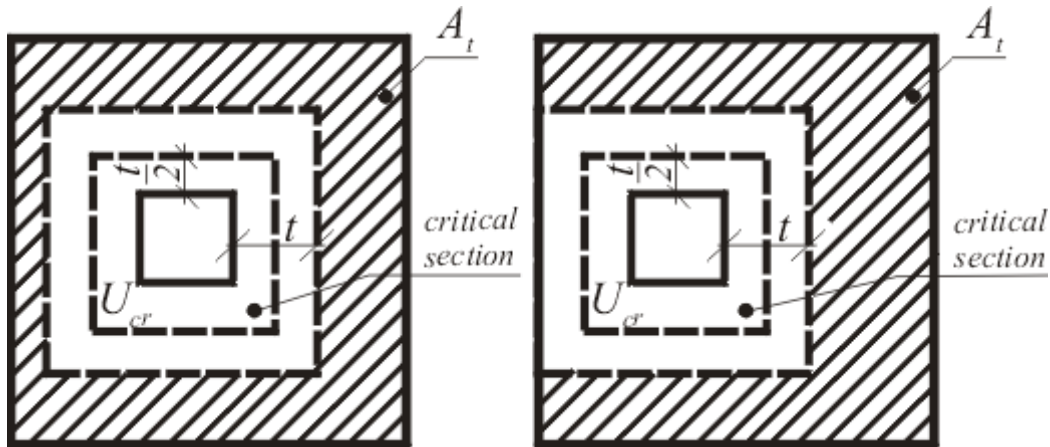
## Verification of Spread Footing for Punching Shear

The program allows to verify spread footing for punching shear or for the design of shear reinforcement. The critical section loaded in shear  $U_{cr}$  is distant from the column edge by one half of the footing thickness. It is loaded by the prescribed moments  $M_x$ ,  $M_y$  and by the shear force  $F_l$  provided by:

$$F_l = \frac{Q A_t}{A}$$

where:

- $A$  - area of footing
- $Q$  - assigned vertical force developed in column
- $A_t$  - hatched area in fig.



*Dimensioning of shear reinforcement area  $A_t$*

The program computes the maximal shear force  $F_l$  developed in the critical section (the influence of unbalanced bending moment is added according to Appendix F of standard GB50010-2010), the shear force transmitted by concrete with no shear reinforcement  $F_c$  (Art. 6.5.1), and the maximal allowable force  $F_{max}$  (Art. 6.5.3). The shear forces are related to the unit length of critical section.

$$F_c = 0.7\beta_h f_t \eta h_0$$

$\beta_h = 0.9$  for  $h \geq 2000\text{mm}$

$\beta_h = 1$  for  $h \leq 800\text{mm}$ , intermediate values are obtained using linear interpolation method.

$$\eta = \text{Min}(\eta_1, \eta_2)$$

$$\eta_1 = 0.4 + \frac{1.2}{\beta_s}$$

where  $\beta_s$  is the size ratio of long side and short side of action area.

$$2 \leq \beta_s \leq 4$$

$$\eta_2 = 0.5 + \frac{\alpha_s h_0}{4u_m}$$

where  $\alpha_s$ :

- 40 - for interior column
- 30 - for edge column
- 20 - for corner column

$$F_{max} = 1.2 f_t \eta h_0$$

For  $F_l < F_c$  no shear reinforcement is needed.

For  $F_l > F_c$  and  $F_l < F_{max}$  the shear reinforcement must be introduced. The ultimate shear force is given by:

$$F_u = 0.5 f_t \eta h_0 + 0.8 f_{yv} A_{sbu} \sin \alpha$$

$$f_{yv} = \text{Min}(360 \text{MPa}, f_y)$$

where:

- $u_m$  - critical cross-section span
- $\alpha$  - is angle of crooks
- $A_{sb}$  - area of crooks in unit length of critical section
- $u$

For  $F_l > F_{max}$  the shear reinforcement cannot be designed. It is therefore necessary to increase the cross-section height.

Additional check according to article 8.2.9 of standard GB50007-2011 is done for narrow footing or strip footing.

$$V_c = 0.7 \beta_h f_t b_0 h_0$$

where:

$$\beta_h = \left( \frac{800}{h_0} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$800 \text{mm} \leq h_0 \leq 2000 \text{mm}$$

$b_0$  is average width of footing.

## Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs

The design of reinforcement is performed for load caused by the bending moment  $M$ . The program provides the required area of tensile and compressive (if needed) reinforcement. It takes into account conditions for the minimum and maximum degree of reinforcement in a given cross-section. First, the program determines the depth of compression zone as (Art. 6.2.10):



$$x = h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{M}{0.5b\alpha_1 f_c}}$$

Providing the depth of compression zone is less than the allowable one ( $x < \xi_b h_0$ ), the program determines the area of tensile reinforcement  $A_{st}$  from the expression:

$$A_{st} = \frac{\alpha_1 b x f_c}{f_y}$$

Providing the depth of compression zone is greater than the allowable one ( $x > \xi_b h_0$ ), the program determines the areas of both compressive  $A_{sc}$  and tensile  $A_{st}$  reinforcement from the expressions:

$$A_{sc} = \frac{\frac{M}{h_0 - 0.5\xi_b h_0} - F_{c,max}}{f_y'}$$

$$A_{st} = \frac{F_{c,max} + A_{sc} f_y'}{f_y}$$

$$F_{c,max} = \alpha_1 b \xi_b h_0 f_c$$

The limit depth of compression zone  $\xi_b h_0$  is found from (Art. 6.2.7):

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_y}{E_s \varepsilon_{cu}}}$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions (Art. 8.5.1):

$$\rho_{min} = \text{Max} \left( 0.0015; 0.45 \frac{f_t}{f_y} \right) \leq \rho$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

## Design of Shear Reinforcement for Slabs

The program allows determination of the required amount of shear reinforcement form by stirrups and bends, respectively.

First, the program computes the ultimate shear strength in a given section - the shear force transmitted by concrete  $V_c$  (Art. 6.3.3) and the maximum allowable shear force  $V_{max}$  (Art. 6.3.1).

$$V_c = 0.7 \beta_h f_t b h_0$$

where:

$$\beta_h = \left( \frac{800}{h_0} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$800\text{mm} \leq h_0 \leq 2000\text{mm}$$

for  $h_0/b \leq 4$

$$V_{max} = 0.25\beta_c f_c b h_0$$

for  $h_0/b \geq 6$

$$V_{max} = 0.2\beta_c f_c b h_0$$

intermediate values are obtained using linear interpolation method

$\beta_c = 1$  for:  $\leq \mathbf{C50}$

$\beta_c = 0.8$  for:  $\geq \mathbf{C80}$ , intermediate values are obtained using linear interpolation method.

As for stirrups the necessary reinforcement area is given by (Art. 6.3.4):

$$A_{sv} = \frac{V - V_c}{f_{yv} h_0}$$

$$f_{yv} = \text{Min} (360\text{MPa}, f_y)$$

As for bends the necessary reinforcement area is given by (Art. 6.3.5):

$$A_{sb} = \frac{V - V_c}{0.8 f_{yv} h_0 \sin \alpha_s}$$

## NZS 3101-2006

This help contains the following computational methods:

- Materials, coefficients, notation
- Verification of rectangular cross-sections made from plain concrete
- Verification of rectangular RC cross-section
- Verification of circular RC cross-section
- Verification of spread footing for punching shear
- Design of longitudinal reinforcement for plates
- Design of shear reinforcement for plates

## Materials, coefficients, notation

Norma používá tato označení pro materiálové charakteristiky:

- $f'_c$  - pevnost betonu v tlaku  
 $E_c$  - modul pružnosti betonu  
 $f_y$  - pevnost oceli v tahu

$$E_c = \left[ 3320 \sqrt{f'_c} + 6900 \right]$$

Nejčastěji se vyskytující geometrické značky:

- $b$  - šířka průřezu  
 $h$  - výška průřezu  
 $d$  - účinná výška průřezu

$z$  - rameno vnitřních sil

## Verification of Rectangular Cross-Sections Made from Plain Concrete

The cross-section is rectangular, loaded by the bending moment  $M^*$ , normal force  $N^*$  (applied in the cross-section centroid) and by the shear force  $V^*$ . The shear strength is provided by:

$$V^* \leq \phi V_n$$

where:

$$V_n = v_c \cdot b \cdot h$$

for cross-sections with height smaller than 200mm

$$v_c = 0.17 \sqrt{f'_c}$$

for cross-sections with height greater than 400mm

$$v_c = 0.08 \sqrt{f'_c}$$

intermediate values are obtained using linear interpolation method.

$f'_c$  is limited to value 50MPa.

$$\phi = 0.75$$

Strength of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is derived from the following expressions depending on the normal force eccentricity  $e$ :

$$N^* \leq \phi N_n$$

Where  $N_n$  is determined as the greater of:

$$N_n = \max \left( bx\alpha_1 f'_c, \min \left( \frac{bh0.36\sqrt{f'_c}}{\frac{6e}{h} - 1}, \frac{bh f'_c}{\frac{6e}{h} + 1} \right) \right)$$

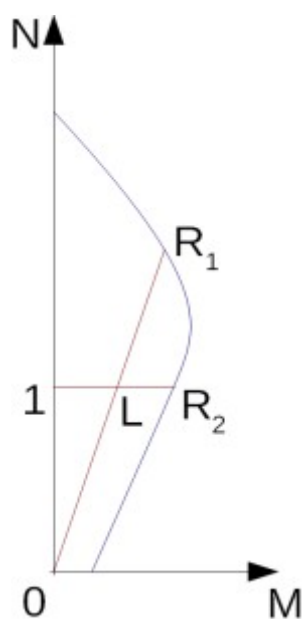
for  $f'_c < 55\text{MPa}$  is  $\alpha_1 = 0.85$

for concrete with greater strength is

$$\alpha_1 = \max(0.85 - 0.004(f'_c - 55); 0.75)$$

$$x = h - 2e$$

$$\phi = 0.6$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|OL|/|OR_1|$  or  $|IL|/|IR_2|$ . Where  $L$  is load,  $R_1$  is strength with prescribed excentricity and  $R_2$  is strength with prescribed normal force.

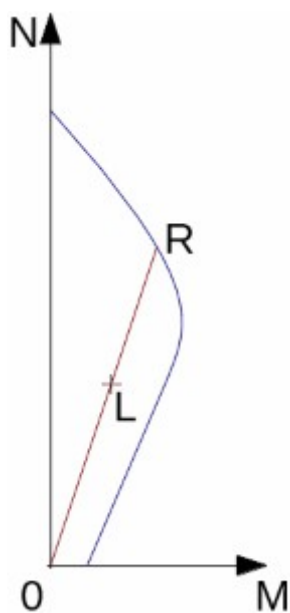
## Verification of Rectangular RC Cross-Section

The cross-section is rectangular, unilaterally reinforced and loaded by the bending moment and normal compression force. The program verifies a reinforced concrete section using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is 0,003. Compression reinforcement is not taken into account.

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{min} = \frac{\text{Max}(0.25\sqrt{f'_c}; 1.4)}{f_y} < \rho < 0.04 = \rho_{max}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|OL| / |OR|$ . Where  $L$  is load and  $R$  is strength with prescribed excentricity.

### Bending without normal force

The cross-section is rectangular, reinforced on one side and loaded by the bending moment  $M^*$ .

The ultimate moment is provided by:

$$M^* \leq \phi M_n$$

$$\phi = 0.85$$

$$M_n = \beta_1 c b \alpha_1 f'_c (d - 0.5 \beta_1 c)$$

$$c = \frac{A_s f_y}{\beta_1 b \alpha_1 f'_c}$$

for  $f'_c < 55 \text{ MPa}$  is  $\alpha_1 = 0.85$

for concrete with greater strength is

$$\alpha_1 = \text{Max}(0.85 - 0.004(f'_c - 55); 0.75)$$

for  $f'_c < 30 \text{ MPa}$  is  $\beta_1 = 0.85$

for concrete with greater strength is

$$\beta_1 = \text{Max}(0.65; 0.85 - 0.008(f'_c - 30))$$

The program further checks whether the location of neutral axis  $c$  is less than the limit location of neutral axis  $0.75c_b$  given by:

$$c_b = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}}$$

## Shear

$$V^* \leq \phi V_n$$

where:

$$\phi = 0.75$$

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete  $V_c$ .

$$V_c = v_c b d$$

for cross-sections with height smaller than 200mm

$$v_c = 0.17 \sqrt{f'_c}$$

$v_c$  is computed according to following formulas for cross-sections with height greater than 400mm, intermediate values are obtained using linear interpolation method.

$$v_c = k_n k_d v_b$$

$$k_n = 1 + \frac{N^*}{b h f'_c}$$

$$k_d = \text{Max}(0.9; \text{Min}(1; (400/d)^{0.25}))$$

$$v_b = \text{Min}(0.2; \text{Max}(0.08; 0.07 + 10\rho_w)) \sqrt{f'_c}$$

where  $\rho_w$  is degree of reinforcement and  $f'_c$  is limited to value 50MPa.

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength  $V_{max}$  is checked.

$$V_{max} = \text{Min}(8\text{MPa}; 0.2 f'_c) b d$$

Next, the necessary reinforcement area is given by:

$$A_v = \frac{V^* - \phi V_c}{f_{yt} d} b$$

## Verification of Circular RC Cross-Section

The program verifies a reinforced concrete pile using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is 0,003.

The degree of reinforcement is checked using the formula:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

- **Pile**

$$\rho = \frac{4A_s}{\pi d^2}$$

$$A_g < 0,5m^2$$

$$\rho_{min} = 2,4 / f_y$$

$$A_g > 2m^2$$

$$\rho_{min} = 1,2 / f_y$$

where:  $A_g$  - cross-section area of pile

intermediate values are calculated according to:

$$\rho_{min} = \frac{2.4}{f_y \sqrt{2A_g}}$$

$$\rho_{max} = 0.08$$

- **Column** - check for dominant compression

$$\rho = \frac{4A_s}{\pi d^2}$$

$$\rho_{min} = 0.008$$

$$\rho_{max} = 0.08$$

- **Beam** - check for dominant bending

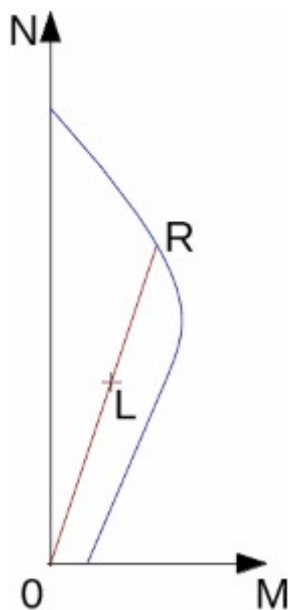
$$\rho = 0.5 \frac{4A_s}{\pi d^2}$$

$$\rho_{min} = \frac{\text{Max}(0.25\sqrt{f'_c}; 1.4)}{f_y}$$

$$\rho_{max} = 0.04$$

where:  $d$  - pile diameter

$A_s$  - cross sectional area of reinforcement



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and

normal force is determined as  $|0L|/|0R|$ . Where  $L$  is load and  $R$  is strength with prescribed excentricity.

### Shear

$$V^* \leq \phi V_n$$

where:

$$\phi = 0.75$$

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete  $V_c$ .

$$V_c = v_c b d$$

for cross-sections with height smaller than 200mm

$$v_c = 0.17 \sqrt{f'_c}$$

$v_c$  is computed according to following formulas for cross-sections with height greater than 400mm, intermediate values are obtained using linear interpolation method.

$$v_c = k_n k_d v_b$$

$$k_n = 1 + \frac{N^*}{b h f'_c}$$

$$k_d = \text{Max}(0.9; \text{Min}(1; (400/d)^{0.25}))$$

$$v_b = \text{Min}(0.2; \text{Max}(0.08; 0.07 + 10\rho_w)) \sqrt{f'_c}$$

where  $\rho_w$  is degree of reinforcement and  $f'_c$  is limited to value 50MPa.

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength  $V_{max}$  and strength of reinforced section  $V_s$  are checked.

$$V_{max} = \text{Min}(8\text{MPa}; 0.2f'_c) b d$$

$$V_{cs} = \phi V_c + \phi A_v f_{yt} (0.8d)$$

## Verification of Spread Footing for Punching Shear

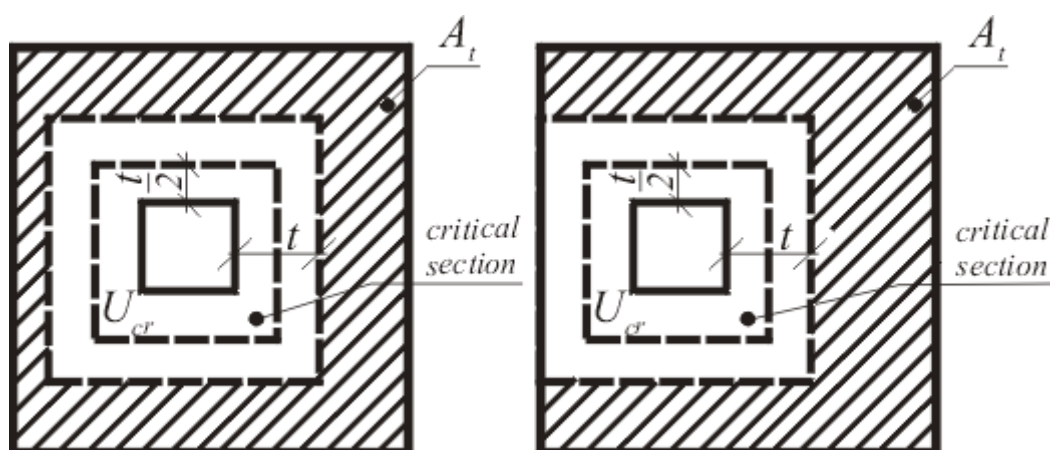
The program allows to verify spread footing for punching shear or for the design of shear reinforcement. The critical section loaded in shear  $b_o$  is distant from the column edge by one half of the footing thickness. It is loaded by the prescribed moments  $M_x^*$ ,  $M_y^*$  and by the shear force  $V^*$  provided by:

$$V^* = \frac{V A_t}{A}$$

where:

- $A$  - area of footing
- $V$  - assigned vertical force developed in column
- $A_t$  - hatched area in fig.





Dimensioning of shear reinforcement area  $A_t$

The program computes the maximal shear force  $V^*$  developed in the critical section, the shear force transmitted by concrete with no shear reinforcement  $V_c$ , and the maximal allowable force  $V_{max}$ :

$$V_c = v_c b_o d$$

where:

$$v_c = \frac{1}{6} k_{ds} \left( 1 + \text{Min} \left( 1; \frac{2}{\beta_c}; \frac{\alpha_s d}{b_o} \right) \right) \sqrt{f'_c}$$

where  $\alpha_s$ :

- 20 - for interior column
- 15 - for edge column
- 10 - for corner column

$\beta_c$  is the ratio of the long side to the short side of the critical section

$$k_{ds} = \sqrt{\frac{0.2}{d}} \cdots \langle 0.5; 1 \rangle$$

$$V_{max} = 0.5 \sqrt{f'_c}$$

For  $V^* < \phi V_c$  no shear reinforcement is needed.

For  $V^* > \phi V_c$  and  $V^* < \phi V_{max}$  the shear reinforcement must be introduced. The ultimate shear force is given by:

$$V_n = \text{Min} \left( V_c; \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \right) + A_v f_{yv} \sin \alpha$$

where:

- $b_o$  - critical cross-section span
- $\alpha$  - is angle of bends
- $A_v$  - overall area of bends in footing

For  $V^* > \phi V_{max}$  the shear reinforcement cannot be designed. It is therefore necessary to increase the cross-section height.

## Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs

The design of reinforcement is performed for load caused by the bending moment  $M^*$ . The program provides the required area of tensile and compressive (if needed) reinforcement. It takes into account conditions for the minimum and maximum degree of reinforcement in a given cross-section. First, the program determines the location of neutral axis as:

$$c = \frac{d - \sqrt{d^2 - \frac{M^*}{0.5b\alpha_1 f'_c}}}{\beta_1}$$

Providing the location of neutral axis is less than the allowable one ( $c < 0.75c_b$ ), the program determines the area of tensile reinforcement  $A_{st}$  from the expression:

$$A_{st} = \frac{\beta_1 \alpha_1 b c f'_c}{f_y}$$

Providing the location of neutral axis is greater than the allowable one ( $c > 0.75c_b$ ), the program determines the areas of both compressive  $A_{sc}$  and tensile  $A_{st}$  reinforcement from the expressions:

$$A_{sc} = \frac{M^* - F_{c,max}(d - 0.5\beta_1 0.75c_b)}{f_y z}$$

$$A_{st} = \frac{F_{c,max} + A_{sc} f_y}{f_y}$$

$$F_{c,max} = \beta_1 \alpha_1 b 0.75c_b f'_c$$

The limit location of neutral axis is found from:

$$c_b = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}}$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{min} = \frac{\text{Max}(0.25\sqrt{f'_c}; 1.4)}{f_y} < \rho < 0.04 = \rho_{max}$$

If the maximum degree of total reinforcement  $\rho_{max}$  is exceeded, the program informs the user that the longitudinal reinforcement cannot be designed for a given cross-section.

## Design of Shear Reinforcement for Slabs

The program allows determination of the required amount of shear reinforcement form by stirrups and hooks, respectively.

First, the program computes the ultimate shear strength in a given section - the shear force transmitted by concrete  $V_c$  and the maximum allowable shear force  $V_{max}$ .

$$V^* \leq \phi V_n$$

where:

$$\phi = 0.75$$

$$V_c = v_c b d$$

for cross-sections with height smaller than 200mm

$$v_c = 0.17 \sqrt{f'_c}$$

$v_c$  is computed according to following formulas for cross-sections with height greater than 400mm, intermediate values are obtained using linear interpolation method.

$$v_c = k_d v_b$$

$$k_d = \text{Max}(0.9; \text{Min}(1; (400/d)^{0.25}))$$

$$v_b = \text{Min}(0.2; \text{Max}(0.08; 0.07 + 10\rho_w)) \sqrt{f'_c}$$

where  $\rho_w$  is degree of reinforcement and  $f'_c$  is limited to value 50MPa.

$$V_{max} = \text{Min}(8\text{MPa}; 0.2f'_c) b d$$

As for stirrups the necessary reinforcement area is given by:

$$A_v = \frac{V^* - \phi V_c}{f_{yt} d}$$

As for hooks the necessary reinforcement area is given by:

$$A_v = \frac{V^* - \phi V_c}{f_{yt} d \sin \alpha}$$

## CSA A23.3-14

This help contains the following computational methods:

- Materials, coefficients, notation
- Verification of rectangular cross-section made of plain concrete
- Verification of rectangular RC cross-section
- Verification of circular RC cross-section
- Verification of spread footing for punching shear
- Design of longitudinal reinforcement for slabs
- Design of shear reinforcement for slabs

## Materials, Coefficients, Notation

The following notation for material parameters is used:

$f'_c$	- specified compressive strength of concrete
$E_c$	- modulus of elasticity of concrete at 28 days
$f_r$	- specified tensile strength of concrete
$f_y$	- lower characteristic yield strength of reinforcing steel

$$E_c = \left[ 3320\sqrt{f'_c} + 6900 \right]$$

$$f_r = 0.6\sqrt{f'_c}$$

The most common notation for geometrical parameters:

- $b$  - cross-section width
- $h$  - cross-section depth
- $d$  - effective depth of cross-section

## Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete

The cross-section is rectangular, loaded by the bending moment  $M_f$ , normal force  $P_f$  (applied in the cross-section centroid) and by the shear force  $V_f$ . The cross-section bearing capacity subjected to bending moment is given by (Art. 22.6.5):

$$M_r = \frac{bh^2}{6} 0.37\phi_c \frac{f_r}{0.6}$$

where (Art. 8.4.2, Art. 8.6.4):

$$\phi_c = 0.65$$

$$f_r = 0.6\sqrt{f'_c}$$

The shear strength is provided by (Art. 22.6.5):

$$V_r = \frac{2}{3} 0.18\phi_c \sqrt{f'_c} bh$$

where:

Strength of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is derived from the following expressions depending on the normal force eccentricity  $e \geq 0.1h$  (Art. 22.6.5):

As the greater of:

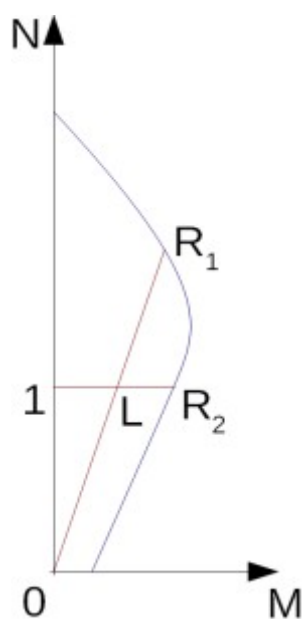
$$P_r = 0.45\alpha_1\phi_c f'_c b(h - 2e)$$

$$P_r = \text{Min} \left( \frac{bh0.37\phi_c \frac{f_r}{0.6}}{\frac{6e}{h} - 1}, \frac{bh0.75\phi_c f'_c}{\frac{6e}{h} + 1} \right)$$

where (Art. 8.4.2):

$$f_r = 0.6\sqrt{f'_c}$$

$$e = \left| \frac{M_f}{P_f} \right|$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|OL| / |OR_1|$  or  $|IL| / |IR_2|$ . Where  $L$  is load,  $R_1$  is strength with prescribed excentricity and  $R_2$  is strength with prescribed normal force.

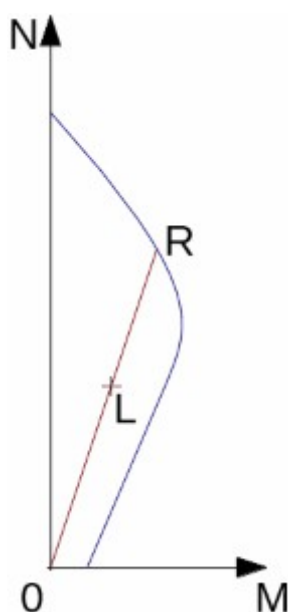
## Verification of Rectangular RC Cross-Section

The cross-section is rectangular, unilaterally reinforced and loaded by the bending moment and normal compression force. The program verifies a reinforced concrete section using the method of limit deformation (Art. 10.1). The maximum allowable strain of concrete in compression is 0,0035. Compression reinforcement is not taken into account.

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions (Art. 10.5.1.2):

$$\rho_{min} = \frac{0.2\sqrt{f'_c}}{f_y} < \rho < 0.04 = \rho_{max}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$



*Interakční diagram N-M*

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|OL| / |OR|$ . Where  $L$  is load and  $R$  is strength with prescribed excentricity.

### **Bending without normal force**

The cross-section is rectangular, reinforced on one side and loaded by the bending moment  $M_f$ .

The ultimate moment is provided by (Art. 10.1.7, 8.4.2, 8.4.3):

$$M_r \leq M_f$$

$$M_r = \beta_1 c b \alpha_1 \phi_c f'_c (d - 0.5 \beta_1 c)$$

$$c = \frac{A_s \phi_s f_y}{\beta_1 b \alpha_1 \phi_c f'_c}$$

$$\phi_c = 0.65$$

$$\phi_s = 0.85$$

$$\alpha_1 = \text{Max}(0.85 - 0.0015 f'_c; 0.67)$$

$$\beta_1 = \text{Max}(0.65; 0.85 - 0.008(f'_c - 30))$$

$$\beta_1 = \text{Max}(0.97 - 0.0025 f'_c; 0.67)$$

The program further checks whether the location of neutral axis  $c$  is less than the limit location of neutral axis  $c_{max}$  given by (Art. 10.5.2):

$$c_{max} = \frac{700}{700 + f_y} d$$

### **Shear**

$$V_f \leq V_r$$

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete  $V_c$  (Art. 11.3.4):

$$V_c = 0.18\phi_c\sqrt{f'_c}bd_v$$

where

$$\sqrt{f'_c} \leq 8\text{MPa}$$

$$d_v = 0.9d$$

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength  $V_{max}$  is checked (Art. 11.3.3):

$$V_{r,max} = 0.25\phi_cf'_cbd_v$$

Next, the necessary reinforcement area is given by (Art. 11.3.5.1):

$$A_v = \frac{V_f - V_c}{\phi_sf_yd_v}b$$

## Verification of Circular RC Cross-Section

The program verifies a reinforced concrete pile using the method of limit deformation (Art 10.1). The maximum allowable strain of concrete in compression is 0,0035.

The degree of reinforcement is checked using the formula:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

- **Column** - check for dominant compression (Art. 10.9.1, 10.9.2)

$$\rho = \frac{4A_s}{\pi d^2}$$

$$\rho_{min} = 0.01$$

$$\rho_{max} = 0.08$$

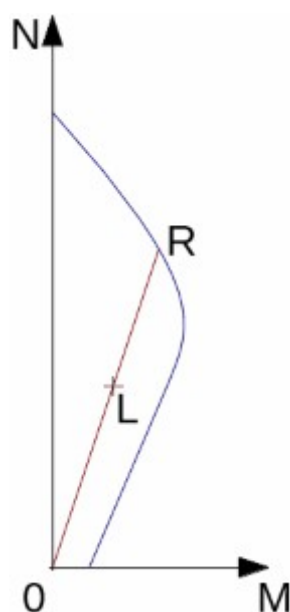
- **Beam** - check for dominant bending (Art. 10.5.1)

$$\rho = 0.5 \frac{4A_s}{\pi d^2}$$

$$\rho_{min} = \frac{0.2\sqrt{f'_c}}{f_y}$$

$$\rho_{max} = 0.04$$

where:  $d$  - pile diameter  
 $A_s$  - cross sectional area of reinforcement



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as  $|OL|/|OR|$ . Where  $L$  is load and  $R$  is strength with prescribed excentricity.

### Shear

$$V_f \leq V_r$$

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete  $V_c$ . Formulas are from Art. 11.3.4, where the section width ( $b$ ) is replaced by  $0.88 \times d$  and effective depth ( $d_v$ ) is replaced  $0.8 \times 0.9 \times d$ .

$$V_c = 0.18 \phi_c \sqrt{f'_c} 0.6336 d^2$$

where

$$\sqrt{f'_c} \leq 8 \text{ MPa}$$

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength  $V_{max}$  and strength of reinforced section  $V_s$  are checked (Art. 11.5.1).

$$V_{r,max} = 0.25 \phi_c f'_c 0.6336 d^2$$

$$V_s = \frac{A_v \phi_s f_y 0.72 d}{s}$$

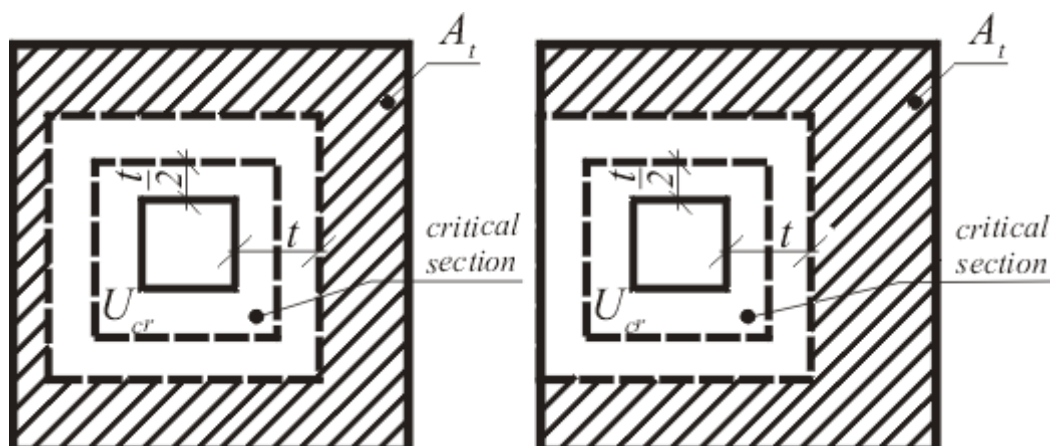
## Verification of Spread Footing for Punching Shear

The program allows to verify spread footing for punching shear or for the design of shear reinforcement. The critical section loaded in shear  $b_o$  is distant from the column edge by one half of the footing thickness. It is loaded by the prescribed moments  $M_x, M_y$  and by the shear force  $V_f$  provided by:



$$V_f = \frac{V A_t}{A}$$

where:  $A$  - area of footing  
 $V$  - assigned vertical force developed in column  
 $A_t$  - hatched area in fig.



*Dimensioning of shear reinforcement area  $A_t$*

The program computes the maximal shear force  $V_f$  developed in the critical section, the shear force transmitted by concrete with no shear reinforcement  $V_c$  as minimum of values (Art. 13.3.4.1):

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) 0.19 \phi_c \sqrt{f'_c} b_o d$$

where  $\beta_c$  is ratio of long side to short side of column.

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 0.19\right) \phi_c \sqrt{f'_c} b_o d$$

where  $\alpha_s =$  4 - inner column  
 3 - edge column  
 2 - corner column

$$V_c = 0.38 \phi_c \sqrt{f'_c} b_o d$$

where

$$\sqrt{f'_c} \leq 8 \text{ MPa}$$

and the maximal allowable force  $V_{max}$  (Art. 13.3.9.2):

$$V_{max} = 0.55 \phi_c \sqrt{f'_c} b_o d$$

For  $V_f < V_c$  no shear reinforcement is needed.

For  $V_f > V_c$  and  $V_f < V_{max}$  the shear reinforcement must be introduced. The ultimate shear force is given by (Art. 13.3.9.4):

$$V_s = \left( 0.19\phi_c \sqrt{f'_c} b_o d + A_{vs} f_{yv} \sin \alpha \right)$$

where:  $b_o$  - critical cross-section span  
 $\alpha$  - is angle of bends  
 $A_v$  - overall area of bends in footing

For  $V_f > V_{max}$  the shear reinforcement cannot be designed. It is therefore necessary to increase the cross-section height.

## Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs

The design of reinforcement is performed for load caused by the bending moment  $M_f$ . The program provides the required area of tensile and compressive (if needed) reinforcement. It takes into account conditions for the minimum and maximum degree of reinforcement in a given cross-section. First, the program determines the location of neutral axis as (Art 10.1):

$$c = \frac{d - \sqrt{d^2 - \frac{M_f}{0.5b\alpha_1 f'_c}}}{\beta_1}$$

Providing the location of neutral axis is less than the allowable one ( $c_{max}$ ), the program determines the area of tensile reinforcement  $A_{st}$  from the expression:

$$A_{st} = \frac{\beta_1 \alpha_1 b c f'_c}{f_y}$$

Providing the location of neutral axis is greater than the allowable one ( $c_{max}$ ), the program determines the areas of both compressive  $A_{sc}$  and tensile  $A_{st}$  reinforcement from the expressions:

$$A_{sc} = \frac{M_f - F_{c,max}(d - 0.5\beta_1 c_{max})}{f_y z}$$

$$A_{st} = \frac{F_{c,max} + A_{sc} f_y}{f_y}$$

$$F_{c,max} = \beta_1 \alpha_1 b c_{max} f'_c$$

The limit location of neutral axis  $c_{max}$  is found from (Art. 10.5.2):

$$c_{max} = \frac{700}{700 + f_y} d$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions (Art. 10.5.1.2):

$$\rho_{min} = \frac{0.2\sqrt{f'_c}}{f_y} < \rho < 0.04 = \rho_{max}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

If the maximum degree of total reinforcement  $\rho_{max}$  is exceeded, the program informs the user that the longitudinal reinforcement cannot be designed for a given cross-section.

## Design of Shear Reinforcement for Slabs

The program allows determination of the required amount of shear reinforcement form by stirrups and bends, respectively.

First, the program computes the ultimate shear strength in a given section - the shear force transmitted by concrete  $V_c$  (Art. 11.3.4) and the maximum allowable shear force  $V_{max}$  (Art. 11.3.3).

$$V_f \leq V_r$$

where:

$$V_c = 0.18\phi_c\sqrt{f'_c}bd_v$$

$$\sqrt{f'_c} \leq 8\text{MPa}$$

$$d_v = 0.9d$$

$$V_{r,max} = 0.25\phi_c f'_c b d_v$$

As for stirrups the necessary reinforcement area is given by (Art. 11.3.5.1):

$$A_v = \frac{V_f - V_c}{\phi_s f_y d_v}$$

As for bends the necessary reinforcement area is given by (Art. 11.3.5.1):

$$A_v = \frac{V_f - V_c}{\phi_s f_y d_v \sin\alpha}$$

## NBR\_6118

### NBR\_Materialy\_Soucinitele\_Znaceni

### NBR\_Posouzeni\_Prurezu\_Z\_Prosteho\_Betonu

### NBR\_Posouzeni\_Obdelnikoveho\_Prurezu\_Excentricky\_Tlak

### NBR\_Posouzeni\_Kruhoveho\_Prurezu

### NBR\_Posouzeni\_Patky\_Na\_Protlacení

### NBR\_Navrh\_Podelne\_Vyztuze\_Do\_Desky

### NBR\_Navrh\_Smykove\_Vyztuze\_Do\_Desky

## Подбор размеров стальных сечений

Проверка стальных сечений ограждений котлованов выполняется для двух случаев нагружения:

1. для максимального значения изгибающего момента и соответствующей сдвигающей силы ( $M_{max} + Q$ )
2. для максимального значения сдвигающей силы и соответствующего изгибающего момента ( $Q_{max} + M$ )

В анализ в обоих случаях нагрузки вводят учёт влияния нормальной силы, которую задают отдельно и значение которой для обоих случаев одинаковое. Перед началом расчёта внутренние силы перемножают на расчётный коэффициент нагружения сечения. Этот коэффициент выражает степень неуверенности при определении теоретических значений внутренних сил и вводит в расчёт с теоретически определёнными значениями некоторую степень безопасности. Значение этого коэффициента определяет только сам пользователь.

Программа «**Ограждение котлованов-анализ**» применяет следующие способы расчёта для подбора размеров стальных сечений:

- Проверка по EN 1993-1-1 (EC 3)
- Проверка по CSN 73 1401
- Проверка по коэффициенту запаса
- Проверка по теории предельных состояний
- Проверка по GB 50017-2003

Каждое сечение проверяется на три вида нагружения:

### 1. Проверка на изгибающий момент

Выполняется проверка нормального напряжения  $\sigma$  по краям сечения, заданного отношением:

$$\sigma = \frac{M}{W} + \frac{N}{A}$$

где:  $M$  - изгибающий момент  
 $W$  - модуль эластичности сечения  
 $N$  - нормальная сила  
 $A$  - площадь сечения

### 2. Проверка на сдвиг

Выполняется проверка на сдвигающее напряжение  $\tau$  в центре тяжести сечения, заданного отношением:

$$\tau = \frac{QS}{It}$$

где:  $Q$  - сдвигающая сила  
 $S$  - статический момент сечения  
 $I$  - момент инерции  
 $t$  - ширина сечения (толщина) в его центре тяжести

### 3. Проверка на плоское напряжённое состояние при сочетании напряжений $\sigma_I$ и $\tau_I$ в месте наиболее неблагоприятного нагружения

Эквивалентное напряжение при плоском напряженном состоянии определяется по формуле:

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2}$$

При проверке предполагаем эластичное (упругое) действие материала, пластичность не принимается во внимание.

#### Проверка стальных двутавров ограждения

В программе Ограждение котлованов-анализ внутренние силы рассчитывают на 1 погонный метр ширины конструкции, т.е. в результате расчёта получаем значения сдвигающих сил  $Q$  в кН/м и изгибающих моментов  $M$  в кНм/м. Для подбора размеров отдельных двутавров расчётные внутренние силы перед самой проверкой автоматически перемножаются на их осевое расстояние  $a$  [м] для определения их значения в центре тяжести сечения, т.е. сдвигающей силы  $Q$  в кН и изгибающего момента  $M$  в кНм. Нормальное напряжение  $\sigma$  проверяется на наружной стороне полки. Сдвигающее напряжение  $\tau$  проверяется в центре тяжести, т.е. в середине высоты стены. Плоское напряжённое состояние  $\sigma_k$  проверяется на стене, в месте стыка с полкой (разрез 1).

#### Проверка шпунтовой стены

Проверка выполняется на секции стены единичной длины. Следовательно, все характеристики сечения определяются не для отдельной шпунтовой сваи, а для секции стены единичной длины. Нормальное напряжение  $\sigma$  проверяется на наружной лицевой поверхности спинки шпунтовой сваи. Сдвигающее напряжение  $\tau$  проверяется в центре тяжести стены, т.е. у шпунтовой сваи U профиля в месте замков, а у шпунтовых свай Z

профиля в середине наклонных стен из шпунтовых свай. Плоское напряжённое состояние  $\sigma_k$  проверяется на стенах шпунтовых свай, в местах стыковки спинок шпунтовых свай (разрез 1).

## Проверка по EN 1993-1-1 (EC3)

### Проверка на изгиб и нагружение нормальной силой

Несущая способность при изгибе задана отношением:

$$M_{c,Rd} = \frac{W f_y}{\gamma_{M0}}$$

где:  $W$  - модуль эластичности сечения  
 $f_y$  - предел текучести стали  
 $\gamma_{M0}$  - коэффициент несущей способности сечения

Несущая способность при нормальной силе задана отношением:

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

где:  $A$  - площадь сечения  
 $f_y$  - предел текучести стали  
 $\gamma_{M0}$  - коэффициент несущей способности сечения

Несущая способность проверяется по отношению:

$$\frac{M}{M_{c,Rd}} + \frac{N}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

а значение задействования определено выражением:

$$\left( \frac{M}{M_{c,Rd}} + \frac{N}{N_{c,Rd}} \right) 100\%$$

### Проверка на сдвиг

Сопротивление сдвигу определено отношением:

$$V_{c,Rd} = \frac{I t}{S} \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

где:  $I$  - момент инерции сечения  
 $t$  - толщина сечения в центре тяжести сечения  
 $S$  - статический момент сечения  
 $f_y$  - предел текучести стали  
 $\gamma_{M0}$  - коэффициент несущей способности сечения

Несущая способность проверяется отношением:

$$\frac{Q}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

а значение задеирования определено выражением:

$$\frac{Q}{V_{c,Rd}} 100\%$$

### Проверка плоского напряжённого состояния

Плоское напряжённое состояние проверяется по следующему условию:

$$\left( \frac{\sigma_1}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 + 3 \left( \frac{\tau_1}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 \leq 1,0$$

где:  $\sigma_1$  - нормальное напряжение

$\tau_1$  - сдвигающее напряжение

Значение задеирования определено выражением:

$$\sqrt{\left( \frac{\sigma_1}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 + 3 \left( \frac{\tau_1}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2} 100\%$$

Литература:

*Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings.*

## Проверка по CSN 731401

Стандарт CSN 73 1401 (1998 г.) использует для характеристики материала расчётную прочность стали  $R_d$ . В случае, что для использованной стали это значение не определено, его вычисляют из предела текучести стали по отношению:

$$R_d = R_y / \gamma_m$$

где:  $\gamma_m$  - коэффициент материала, значение которого 1,15 для  $R_y \leq 300$  МПа и 1,25 для  $R_y > 300$  МПа

### Проверка на изгиб

Нормальное напряжение  $\sigma$  от изгиба проверяют по отношению:

$$\sigma \leq R_d$$

а значение задеирования определено выражением:

$$\frac{\sigma}{R_d} 100\%$$

### Проверка на сдвиг

Сдвигающее напряжение  $\tau$  проверяется отношением:

$$\tau \leq 0,6 R_d$$

а значение задеирования определено выражением:

$$\frac{\tau}{0,6R_d} 100\%$$

### Проверка плоского напряжённого состояния

Проверка плоского напряжённого состояния проводится относительно следующих условий:

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} \leq 1,1R_d$$

где:  $\sigma_I$  - нормальное напряжение

$\tau_I$  - сдвигающее напряжение в рассматриваемом сечении

А значение задеирования определено выражением:

$$\frac{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2}}{1,1R_d} 100\%$$

Литература:

CSN 73 1401 (1998): *Design of steel structures*.

## Проверка по коэффициенту запаса

### Проверка на изгиб

Нормальное напряжение  $\sigma$  от изгиба проверяется по отношению:

$$\frac{f_y}{\sigma} \geq SF_s$$

где:  $f_y$  - предел текучести стали

$SF_s$  - заданный коэффициент запаса

а значение задеирования определено выражением:

$$\frac{SF_s}{f_y/\sigma} 100\%$$

### Проверка на сдвиг

Сдвигающее напряжение  $\tau$  проверяется отношением:

$$\frac{f_y}{\sqrt{3}\tau} \geq SF_s$$

а значение задеирования определено выражением:

$$\frac{SF_s}{f_y/(\sqrt{3}\tau)} 100\%$$

### Проверка плоского напряжённого состояния

Плоское напряжённое состояние проверяется по следующему условию:



$$\frac{f_y}{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2}} \geq SF_s$$

где:  $\sigma_l$  - нормальное напряжение  
 $\tau_l$  - сдвигающее напряжение в рассматриваемом сечении

Значение задеирования определено выражением:

$$\frac{SF_s}{f_y / \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2}} 100\%$$

## Проверка по теории предельных состояний

При расчёте по теории предельных состояний проводится редукция предела текучести стали  $f_y$  коэффициентом надёжности материала  $\gamma_{ss}$ .

### Проверка на изгиб

Нормальное напряжение  $\sigma$  от изгиба проверяется по отношению:

$$\sigma \leq \frac{f_y}{\gamma_{ss}}$$

а значение задеирования определено выражением:

$$\frac{\sigma}{f_y / \gamma_{ss}} 100\%$$

### Проверка на сдвиг

Сдвигающее напряжение  $\tau$  проверяют отношением:

$$\tau \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{ss}}$$

а значение задеирования определено выражением:

$$\frac{\tau}{f_y / \sqrt{3} \gamma_{ss}} 100\%$$

### Проверка плоского напряжённого состояния

Плоское напряжённое состояние проверяется по следующему условию:

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{ss}}$$

где:  $\sigma_l$  - нормальное напряжение  
 $\tau_l$  - сдвигающее напряжение в рассматриваемом сечении

а значение задеирования определено выражением:

$$\frac{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2}}{f_y/\gamma_{ss}} 100\%$$

## Verification according to GB 50017-2003

The GB 50017-2003 standard adopts as the material parameter the steel design compressive, tension and bending strength  $f$  and shear strength  $f_v$ . If this value is not determined for the used steel directly, it is back calculated from the steel yield stress  $f_y$  as:

$$f = \frac{f_y}{\gamma_R}$$

$$f_v = \frac{f}{\sqrt{3}}$$

where:  $\gamma_R$  - resistance sub coefficient, which is 1,087 for  $f_y \leq 240 \text{ MPa}$  and 1,111 for  $f_y > 240 \text{ MPa}$

### Check for bending with influence of normal force

The bending stress with influence of normal force is checked according to this expression:

$$\frac{M}{\gamma_x W} + \frac{N}{A} \leq f$$

where:  $A$  - area of cross-section  
 $W$  - elastic modulus of cross-section  
 $\gamma_x$  - section plasticity develop factor  
 $f$  - design strength of steel

Section plasticity develop factor  $\gamma_x$  depends on shape of cross-section. For I-sections, sheet piles and casing is considered as  $\gamma_x = 1,05$ . The value of utilization is provided by:

$$\frac{\frac{M}{\gamma_x W} + \frac{N}{A}}{f} 100\%$$

### Check for shear

The shear stress  $\tau$  is checked based on the following expression:

$$\tau \leq f_v$$

and the value of utilization is provided by:

$$\frac{\tau}{f_v} 100\%$$

### State of plane stress verification

The state of plane stress is checked exploiting the following conditions:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \beta_1 f$$

where:  $\sigma$  - normal stress

- $\tau_l$  - shear stress in the verified section  
 $\beta_l$  - strength design value increase coefficient, which is 1,1

The value of utilization is provided by:

$$\frac{\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}}{\beta_l f} 100\%$$

## Подбор сечений деревянных элементов конструкции

Проверка сечений элементов деревянных ограждающих конструкций выполняется на нагрузки расчётным изгибающим моментом, нормальной силой и поперечной силой. Проверка выполняется для выбранной нагрузки или производится расчёт огибающей заданных нагрузок с выбором решающей нагрузки с самым большим коэффициентом использования сечения.

Программы проектирования и проверки свай используют для подбора величины сечений деревянных элементов следующие методы расчёта:

- Проверка по EN 1995-1-1 (EC 5)
- Проверка по коэффициенту запаса
- Проверка по теории предельных состояний

Каждое сечение проверяется на два вида нагружения:

### 1. Проверка на изгибающий момент и на нормальную силу.

Проводится анализ нормального напряжения  $\sigma_m$  от изгибающего момента на контуре сечения, описанного соотношением:

$$\sigma_m = \frac{M}{W}$$

- где:  $M$  - игибающий момент  
 $W$  - упругий модуль сечения

и нормального напряжения  $\sigma_n$  от осевой силы, определённого соотношением:

$$\sigma_n = \frac{N}{A}$$

- где:  $N$  - нормальная сила  
 $A$  - площадь сечения

Нормальная сила может быть растягивающей или сжимающей.

### 2. Проверка сдвига

Проводится анализ сдвигающего напряжения  $\tau$  в центре тяжести сечения, определённого соотношением:

$$\tau = \frac{QS}{It}$$

где:  $Q$  - сдвигающая сила  
 $S$  - статический момент сечения  
 $I$  - момент инерции  
 $t$  - толщина сечения в центре тяжести

## Проверка по EN 1995-1-1 (EC5)

### Проверка на сочетание сжатия и изгиба

Проектная прочность древесины в изгибе описана формулой:

$$f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M}$$

где  $f_{m,k}$  - характерная прочность древесины на изгиб  
 $k_{mod}$  - поправочный коэффициент влияния продолжительности нагрузки и влагосодержания  
 $\gamma_M$  - частный коэффициент параметров древесины

Проектная прочность древесины на сжатие описана формулой:

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,k}}{\gamma_M}$$

где:  $f_{c,k}$  - характерная прочность древесины на сжатие  
 $k_{mod}$  - поправочный коэффициент влияния продолжительности нагрузки и влагосодержания  
 $\gamma_M$  - частный коэффициент параметров древесины

Нагрузка сочетанием сжатия и изгиба проверяется по соотношению:

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

где:  $\sigma_{c,0,d}$  - проектное напряжение при сжатии  
 $\sigma_{m,d}$  - проектное напряжение при изгибе

Величина использования дана выражением:

$$\left[ \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \right] 100\%$$

### Проверка на сочетание растяжения и изгиба

Проектная прочность древесины в растяжении определена:

$$f_{t,d} = k_{mod} \frac{f_{t,k}}{\gamma_M}$$

где:  $f_{t,k}$  - характерная прочность древесины на растяжение  
           поправочный коэффициент влияния продолжительности нагрузки и  
           влажностенения  
 $\gamma_M$  - частный коэффициент параметров древесины

Напряжение сочетанием растяжения и изгиба проверяется по соотношению:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

где:  $\sigma_{t,0,d}$  - проектное напряжение при растяжении  
 $\sigma_{m,d}$  - проектное напряжение при изгибе

Величина использования дана выражением:

$$\left( \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \right) 100\%$$

### Проверка на сдвиг

Проектная прочность древесины при сдвиге дана формулой:

$$f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M}$$

где:  $f_{v,k}$  - характерная прочность древесины  
 $k_{mod}$  - поправочный коэффициент влияния продолжительности нагрузки и  
           влажностенения  
 $\gamma_M$  - частный коэффициент параметров древесины

Напряжение сдвигом проверяется по формуле:

$$\frac{\tau_d}{k_{cr}} \leq f_{v,d}$$

где:  $\tau_d$  - проектное напряжение сдвига  
 $k_{cr}$  - коэффициент эффективной ширины сечения при сдвиге с учётом влияния трещин

Величина использования дана выражением:

$$\frac{\tau_d}{k_{cr} f_{v,d}} 100\%$$

## Проверка по коэффициенту запаса

### Проверка нагружением при изгибе и нормальной силой

Нагружение сочетанием нормальной силы и изгиба проверяем по соотношению:

$$\left( \frac{\sigma_n}{f_n} + \frac{\sigma_m}{f_m} \right)^{-1} \geq SF_s$$

где:  $\sigma_n$  - напряжение от нормальной силы (сжимающее или растягивающее)

$\sigma_m$  - напряжение при изгибе

$f_n$  - прочность древесины при сжатии или растяжении

$f_m$  - прочность древесины на изгиб

$SF_s$  - данный коэффициент запаса

Величина использования определена выражением:

$$SF_s \left( \frac{\sigma_n}{f_n} + \frac{\sigma_m}{f_m} \right) 100\%$$

### Проверка на сдвиг

Сдвигающее напряжение  $\tau$  проверяем по соотношению:

$$\frac{f_v}{\tau} \geq SF_s$$

где:  $f_v$  - сопротивление древесины сдвигу

Величина использования определена выражением:

$$\frac{SF_s}{f_v / \tau} 100\%$$

## Проверка по теории предельных состояний

При расчёте по теории предельных состояний прочность древесины уменьшают коэффициентом надёжности материала  $\gamma_s$ .

### Проверка нагружения при изгибе и нормальной силой

Нагружение сочетанием нормальной силы и изгиба проверяем по соотношению:

$$\frac{\sigma_n}{f_n / \gamma_s} + \frac{\sigma_m}{f_m / \gamma_s} \leq 1$$

где:  $\sigma_n$  - напряжение от нормальной силы (сжимающее или растягивающее)

$\sigma_m$  - напряжение при изгибе

$f_n$  - прочность древесины при сжатии или растяжении

$f_m$  - прочность древесины на изгиб

Величина использования определена выражением:

$$\left( \frac{\sigma_c}{f_c/\gamma_s} + \frac{\sigma_m}{f_m/\gamma_s} \right) 100\%$$

### Проверка на сдвиг

Сдвигающее напряжение  $\tau$  проверяем по соотношению:

$$\tau \leq \frac{f_v}{\gamma_s}$$

где:  $f_v$  - сопротивление древесины сдвигу

Величина использования определена выражением:

$$\frac{\tau}{f_v/\gamma_s} 100\%$$

## Подбор размеров каменных конструкций

Подбор размеров каменных конструкций в соответствии со следующими стандартами:

- Подбор размеров армированной стены в соответствии с AS 3700
- Подбор размеров армированной стены в соответствии с EN 1996-1-1
- Подбор размеров гравитационной стены - каменная кладка по EN 1996-1-1
- Подбор размеров гравитационной стены - каменная кладка в соответствии с GB 50003-2011

## Измерение каменной кладки в соответствии с AS 3700

Армированная каменная стена проверяется на нагрузку, развившуюся вследствие момента изгиба, силы сдвига и комбинации стандартной силы сжатия и момента изгиба. Когда рассматривается нагрузка вследствие момента изгиба, необходимо также определить коэффициент гибкости  $S_r$ .

### Расчет частей в сжатии и изгибе

$$F_d \leq 0,85 \cdot \phi \cdot k_s (f'_m \cdot A_b + f_{sy} \cdot A_s)$$

$$f'_m = 0,35 \cdot f'_{mb}$$

$$f'_{mb} = 1,3 \cdot \sqrt{f'_{uc}}$$

где:

$F_d$	- расчетная сила сжатия, действующая на поперечное сечение
$\phi$	- коэффициент снижения мощности - 0,75
$k_s$	- поправочный коэффициент, принимаемый 1,18 - 0,03 * $S_r$ , но не более 1,0
$f'_{uc}$	- нормативная прочность неограниченного сжатия каменной кладки

- $f'_m$  - нормативная прочность сжатия каменной кладки  
 $A_b$  - нагруженный участок поперечного сечения каменной кладки  
 $f_{sy}$  - расчетное сопротивление деформации арматуры  
 $A_s$  - общая площадь поперечного сечения основной арматуры

### Расчет частей в изгибе

$$M_d \leq \phi \cdot f_{sy} \cdot A_{sd} \cdot d \left( 1 - \frac{0,6 \cdot f_{sy} \cdot A_{sd}}{1,3 \cdot f'_m \cdot d} \right)$$

$$f'_m = 0,35 \cdot f'_{mb}$$

$$f'_{mb} = 1,3 \cdot \sqrt{f'_{uc}}$$

- где:
- $M_d$  - расчетный изгибающий момент, действующий на поперечное сечение части
  - $\phi$  - коэффициент снижения мощности - 0,75
  - $f_{sy}$  - расчетная устойчивость деформации арматуры
  - $A_{sd}$  - часть площади поперечного сечения основной растянутой арматуры, используемой для проектных решений в армированной каменной кладке

$$\frac{0,29 \cdot 1,3 \cdot f'_m \cdot d}{f_{sy}}$$

меньше  $f_{sy}$  и  $A_{st}$

- $f'_m$  - нормативная прочность на сжатие каменной кладки
- $d$  - эффективная глубина кладки
- $f_{uc}$  - нормативная прочность неограниченного сжатия каменной кладки

### Проверка на сдвиг

$$V_d \leq \phi \cdot (f'_{vm} \cdot d + f_{sv} \cdot A_{st})$$

но не более, чем:

$$4 \cdot \phi \cdot f'_{vm} \cdot d$$

- где:
- $V_d$  - posouvající síla
  - $\phi$  - redukční faktor - 0,75
  - $f'_{vm}$  - smyková pevnost zdiva - 0,35 МПа
  - $d$  - efektivní výška průřezu
  - $f_{sv}$  - smyková pevnost výztuže - 17,5 МПа
  - $f_{sy}$  - pevnost výztuže v tahu



$A_{st}$  - plocha dostatečně kotvené tahové výztuže

## Подбор размеров армированной стены в соответствии с EN 1996-1-1

Армированная кладка проверяется на напряжение, вызванное комбинацией нормальной силы сжатия и изгибающего момента, а также на напряжение от сдвигающей силы.

### Проверка на сжатие и изгиб

Допущения анализа (Глава 6.6):

- плоские поперечные сечения остаются плоскими
- относительные деформации арматуры одинаковые как относительные деформации закрепленной кладки
- прочность кладки на сжатие принимается равной 0
- предельная относительная деформация кладки в сжатии составляет 0,0035
- предельная относительная деформация арматуры в растяжении составляет 0,01
- эпюра отношения между напряжением и относительной деформацией кладки принимается параболическо-прямоугольной
- эпюра отношения между напряжением и относительной деформацией арматуры принимается ограниченной с верхней горизонтальной веткой
- характеристики бетонного наполнителя принимаются одинаковыми как характеристики кладки (необходимо задавать материал более низкого качества)
- проектная прочность кладки (бетона) определяется по формуле:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$$

где:  $f_k$  - характерная прочность кладки (бетона)  
 $\gamma_M$  - 1,8

- если гибкость, т.е. отношение высоты и ширины стены больше 12, то влияние воздействий II порядка учитывается дополнительным проектным моментом изгиба, определённым при помощи формулы:

$$M_{ad} = \frac{N_{Ed} h_{ef}^2}{2000t}$$

где:  $N_{Ed}$  - проектное значение нормальной силы  
 $h_{ef}$  - деформируемая высота стены  
 $t$  - толщина стены

- если гибкость, т.е. отношение высоты и ширины стены больше 27, то расчёт не может быть выполнен и необходимо менять геометрию для получения более подходящего коэффициента гибкости.

### Проверка на сдвиг

Глава 6.7. Приложение J

$$V_{Ed} \leq f_{vd} t l$$

$$f_{vd} = \frac{\text{Min}(f_{vk} + 17.5\rho, 0.7)}{\gamma_M}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

где:	$V_{Ed}$	- расчетное значение сдвигающей силы
	$f_{vd}$	- расчетное значение прочности кладки (бетона) на сдвиг
	$\rho$	- коэффициент армирования продольной арматурой
	$t$	- толщина стены
	$l$	- длина стены - 1 погонный метр

## Подбор размеров гравитационной стены - каменной кладки по EN 1996-1-1

Каменная кладка проверяется на сочетание нагрузок сжимающей нормальной силой и изгибающего момента а также на нагрузку сдвигающей силой.

### Проверка на сжатие и изгиб

#### Глава 6.1.2.1

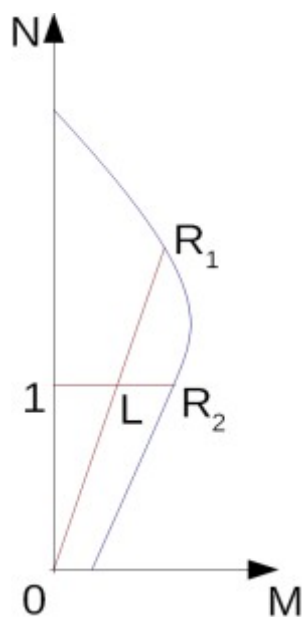
$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$N_{Rd} = A_c f_k / \gamma_M$$

$$A_c = b h \left( 1 - 2 \frac{e}{h} \right)$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

где:	$N_{Ed}$	- расчётное значение нормальной силы
	$N_{Rd}$	- прочность на сжатие
	$A_c$	- площадь сжимаемой части сечения
	$f_k$	- характерное значение прочности на сжатие каменной кладки
	$\gamma_M$	- частный коэффициент материала
	$b$	- ширина сечения
	$h$	- толщина сечения
	$e$	- эксцентриситет
	$M_{Ed}$	- расчётное значение изгибающего момента



Интерактивная диаграмма N-M

Использование сечения нагруженного моментом и нормальной силой определяется как частное длин отрезков  $|OL|/|OR_1|$  или  $|IL|/|IR_2|$ . Где  $L$  - нагрузка,  $R_1$  - несущая способность при сохранении эксцентриситета,  $R_2$  - несущая способность при сохранении нормальной силы.

### Проверка на сдвиг

Глава 6.2

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$$V_{Rd} = A_c f_{vk} / \gamma_M$$

$$f_{vk} = \text{Min} \left( f_{vko} + 0.4 \frac{N_{Ed}}{A_c}; 0.065 f_b \right)$$

- где:
- $V_{Ed}$  - расчётное значение сдвигающей силы
  - $V_{Rd}$  - сопротивление сдвигу
  - $f_{vk}$  - характерное значение сопротивления скольжению каменной стены
  - $f_{vko}$  - характерное значение начального сопротивления скольжению каменной стены
  - $f_b$  - прочность на сжатие элемента кладки

## Dimensioning of gravity wall - masonry according to GB 50003-2011

The masonry is verified for the loading caused by the combination of the compressive normal force and the bending moment and for the loading due to the shear force.

**Verification of compression bearing capacity**

Non-seismic design situation (Art 5.1.1):

$$\gamma_0 N \leq \varphi f A$$

Seismic design situation (Art 10.1):

$$N \leq \varphi f A / \gamma_{RE}$$

where:

- $\gamma_0$  - coefficient of importance of structure
- $N$  - design value of normal force
- $f$  - design value of compressive strength of masonry
- $A$  - area of cross section
- $\varphi$  - influence factor due to eccentricity of normal force and depth-thickness ratio of structure
- $\gamma_{RE}$  - seismic adjusting coefficient for compressive strength of masonry

$\varphi$  is provided by:

When  $\beta \leq 3$  (Art D.0.1-1)

$$\varphi = \frac{1}{1 + 12 \left( \frac{e}{B} \right)^2}$$

When  $\beta > 3$  (Art D.0.1-2, D.0.1-3)

$$\varphi = \frac{1}{1 + 12 \left[ \frac{e}{B} + \sqrt{\frac{1}{12} \left( \frac{1}{\varphi_0} - 1 \right)} \right]^2}$$

$$\varphi_0 = \frac{1}{1 + \alpha \beta^2}$$

where:

- $e$  - eccentricity of normal force acting on the cross section
- $B$  - depth of the cross section
- $\varphi_0$  - stability coefficient of structure loaded with axial pressure
- $\alpha$  - coefficient due to strength grade of mortar
- $\beta$  - depth-thickness ratio of structure

$\beta$  is provided by:

$$\beta = \gamma_\beta \frac{2H}{B}$$

$$\varphi_0 = \frac{1}{1 + \alpha \beta^2}$$

where:

- $\gamma_\beta$  - adjusting coefficient of depth-thickness ratio based on the type of masonry material
- $H$  - height of the structure above cross section

**Verification of shear bearing capacity**

Non-seismic design situation (Art. 5.5.1-1):

$$\gamma_0 V \leq (f_v + \alpha \mu \sigma_0) A$$

Seismic design situation (Art. 10.1):

$$V \leq (f_v + \alpha \mu \sigma_0) A / \gamma_{RE}$$

When  $\gamma_G \leq 1.2$  (Art 5.5.1-2):

$$\mu = 0.26 - 0.082 \frac{\text{Min}(0.8f; \sigma_0)}{f}$$

When  $\gamma_G \geq 1.35$  (Art 5.5.1-3):

$$\mu = 0.23 - 0.065 \frac{\text{Min}(0.8f; \sigma_0)}{f}$$

Intermediate values are interpolated.

where:	$\gamma_0$	- coefficient of importance of structure
	$V$	- design value of shear force
	$f_v$	- design value of shear strength of masonry
	$A$	- area of cross section
	$\sigma_0$	- average value of normal stress on cross section
	$f$	- design value of compressive strength of masonry
	$\gamma_G$	- partial factor for permanent actions
	$\alpha$	- correction factor; when $\gamma_G \leq 1.2$ : $\alpha = 0.64$ ; $\gamma_G \geq 1.35$ : $\alpha = 0.66$ Intermediate values are interpolated
	$\mu$	- influence factor for shear-compression loading
	$\gamma_{RE}$	- seismic adjusting coefficient for shear strength of masonry

**Подбор размеров пластиковых шпунтовых свай****Проверка профилей из винила**

Для ограждений из виниловых профилей серии *ESP* производитель *Everlast Synthetic Products* выполняются проверки несущей способности на изгиб и на сдвиг. Изгиб проверяется на воздействие максимального момента  $M_{max}$ , сдвиг - на воздействие нормальной силы  $Q_{max}$ . Значения внутренних сил определены на единицу длины ограждения.

Вычисленные внутренние силы до расчёта умножаются на **расчётный коэффициент напряжения сечения**. Коэффициент выражает степень неуверенности определения теоретических значений внутренних сил и придаёт расчёту с теоретически определёнными значениями некую степень безопасности. Значение этого коэффициента выбирает исключительно пользователь.

**Проверка на изгиб:**

Соппротивление при изгибе проверяют по соотношению:

$$\frac{M_{\max}}{M_u} \leq 1,0$$

где:  $M_{\max}$  - значение действующего изгибающего момента на единицу длины ограждения

$M_u$  - сопротивление сечения при изгибе

Значение сопротивления сечения при изгибе  $M_u$  выражает несущую способность на единицу длины ограждения и определена производителем профилей.

Величина использования дана выражением:

$$\frac{M_{\max}}{M_u} 100\%$$

#### Проверка на сдвиг:

Сопротивление сдвигу проверяют по соотношению:

$$\frac{Q_{\max}}{Q_u} \leq 1,0$$

где:  $Q_{\max}$  - величина сдвигающей силы

$Q_u$  - сопротивление сечения при сдвиге

Значение сопротивления сечения при сдвиге  $Q_u$  выражает несущую способность на единицу длины ограждения и определена производителем профилей.

Величина использования дана выражением:

$$\frac{Q_{\max}}{Q_u} 100\%$$

#### Прочность винила:

Несущая способность профиля определена для материала с предельной прочностью на растяжение  $f_u = 6300 \text{ psi}$  (43,44 МПа). Программа позволяет значение прочности изменить. В таком случае заводские значения несущей способности будут перед расчётом пересчитаны в соотношении, соответствующем новому значению прочности.

Литература:

#### Шпунтовые сваи включенные в каталог.

- *Catalog firmy Everlast Synthetic Products, LLC*

(online: <https://everlastseawalls.com/seawall-products/vinyl-sheet-piling>)

## Реестр

Analysis.....	150, 651, 696, 697, 1184, 1198, 1296, 1299-1308, 1310, 1312, 1372
AS 3600 - 2001.....	1438
Beams.....	651, 668, 669, 1312
BS 8110 : 1997.....	1438
Catalog of materials.....	670, 671, 673, 694
Catalog of profiles.....	673
Combination SLS.....	651, 693
Combination ULS.....	651, 688
Cross-section editor.....	674, 675
CSA A23.3-14.....	1438
CSN 73 1002.....	129, 572, 583, 631, 1268, 1276, 1277, 1295, 1309, 1310, 1347, 1348
Design of longitudinal reinforcement for slabs.....	1452, 1461, 1469, 1476, 1490, 1503, 1520
Design of shear reinforcement for plates.....	1511
Design of shear reinforcement for slabs.....	1452, 1461, 1469, 1476, 1490, 1503, 1520
Dimensioning parameters.....	651, 694, 695, 701
Distributions.....	651, 698, 705, 706
DL/T 5219 - 2005.....	1266
Editor of materials.....	673, 694
EN 1997-2.....	130, 599, 1315-1317, 1323, 1324, 1332
Free area loads.....	651, 686, 687
Free line loads.....	651, 685, 686
Free point loads.....	651, 684, 685
Internal hinges.....	651, 675, 676
IS 456.....	1438, 1479, 1480, 1483
Joint loads.....	651, 681, 682
Joint refinements.....	651, 657, 658
Joint supports.....	651, 665, 666
Joints.....	651, 653, 654
LCPC (Bustamante).....	130, 599, 1315
Line loads.....	651, 682, 683
Line refinements.....	651, 658, 659
Line supports.....	651, 667
Lines.....	651, 654, 655
Load cases.....	651, 678, 679, 691
Macroelement dimensionings.....	651

---

Macroelement loads.....	651, 683, 684
Macroelement refinements.....	651, 659, 660
Macroelement subsoils.....	651, 676, 677
Macroelements.....	651, 655, 656
Materials, coefficients, notation.....	1451, 1461, 1469, 1476, 1489, 1503, 1511, 1520
Mesh generation.....	651, 662, 663
NAVFAC DM 7.2.....	129, 132, 572, 583, 631, 1268-1272, 1347
NEN 6743.....	130, 599, 1285, 1315-1318, 1323, 1326, 1328, 1332
NZS 3101-2006.....	1438
Openings.....	651, 656, 657
PN-B-03264 : 2002.....	1438
Results.....	699-701, 1142
SNiP 52-101 - 2003.....	1438
Temperature load.....	683
Values.....	651, 698, 703-705, 1066, 1070, 1073, 1074
Verification of circular RC cross-section.....	1452, 1461, 1469, 1476, 1489, 1503, 1511, 1520
Verification of rectangular cross-section made of plain concrete.....	1520
Verification of rectangular RC cross-section...	1452, 1461, 1469, 1476, 1489, 1503, 1511, 1520
Verification of spread footing for punching shear....	1452, 1461, 1469, 1470, 1476, 1490, 1503, 1511, 1520
Water influence according to Chinese standard.....	1066, 1069, 1070



© Fine Ltd. 2018  
[www.finesoftware.ru](http://www.finesoftware.ru)