

## Проверка шпунтовой стены с несколькими рядами анкеров

Программа: Ограждение котлованов - анализ

Файл: Demo\_manual\_07.gr2

В данном инженерном руководстве рассматривается проектирование и проверка подпорной стены с несколькими рядами анкеров. Данная подпорная стена была возведена при строительстве станции Prosek линии С в Праге.

Более подробная информация об этом проекте представлена в следующих документах:

- [Брошюра](#)
- [Исследовательская статья, сопоставляющая результаты расчета и данные мониторинга.](#)

### Введение

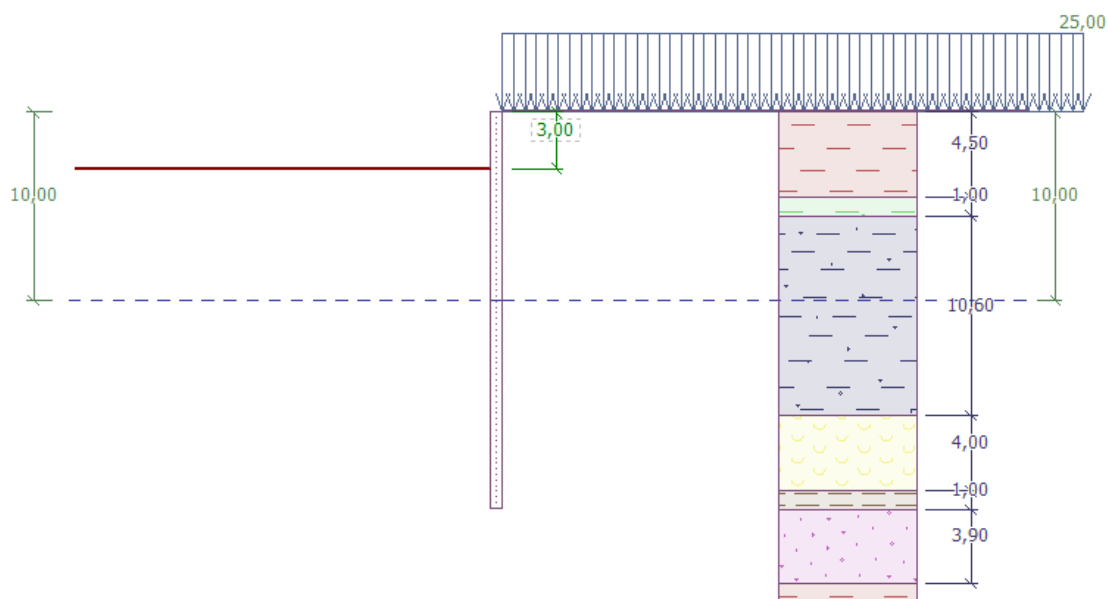
Основным предположением метода зависимых давлений является идеально-упругопластическое поведение дисперсных и скальных грунтов вблизи подпорной стены в соответствии с гипотезой Винклера. Это поведение определяется не только модулем реакции основания (коэффициентом постели)  $k_h$ , характеризующем упругую сжимаемость, но и предельными деформациями. Когда данные деформации превышаются, материал переходит в идеально-пластическую фазу работы.

Сделаны следующие предположения:

- Давление, действующее на стену, может принимать промежуточные значения между активным и пассивным давлениями, но не может выходить за пределы этого диапазона.
- Давление в покое действует на недеформированную конструкцию ( $w = 0$ ).

## Постановка задачи

Необходимо выполнить расчет подпорной стенки с несколькими рядами анкеров, изготовленной из стальных свай двутаврового сечения высотой 400 мм и длиной  $l = 21$  м. Глубина котлована составляет  $h = 15$  м. Рельеф горизонтальный. Пригрузка действует на поверхности как постоянная нагрузка интенсивностью  $q = 25$  кН/м<sup>2</sup>. Уровень грунтовых вод за конструкцией находится на глубине 10 м. Шаг свай составляет  $a = 2$  м.



Расчетная схема подпорной стены с несколькими рядами анкеров - Этап проектирования 1

Грунт	Толщина слоя грунта [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi_{ef}$ [°]	$c_{ef}$ [kPa]	$\delta$ [°]	$\nu$ [-]
F6	4,5	19,5	20	16	7,5	0,4
F4	1	19,5	22	14	7,5	0,35
R3	10,6	22	40	100	15	0,25
R5 (1)	4	19	24	20	7,5	0,3
R5 (2)	1	21	30	35	14	0,25
R5 (3)	3,9	21	40	100	15	0,2

Таблица разновидностей скальных и дисперсных грунтов

Удельный вес грунта  $\gamma$  принимается таким же, как при полном водонасыщении  $\gamma_{sat}$ . Напряженное состояние рассматривается эффективным, давление грунта в покое рассчитывается для **связных** грунтов, расчет подъема для каждой разновидности грунта **стандартный**.

Все анкеры имеют диаметр  $d = 32 \text{ мм}$  и модуль упругости  $E = 210 \text{ ГПа}$ . Шаг анкеров составляет  $b = 4 \text{ м}$ .

Анкер №	Глубина $z \text{ [м]}$	Свободная длина $l \text{ [м]}$	Корень $l_k \text{ [м]}$	Наклон $\alpha \text{ [}^\circ\text{]}$	Усилие в анкере $F \text{ [кН]}$	Этап проектирования для нового анкера
1	2,5	13	6	15	300	2
2	5,5	10	6	17,5	350	4
3	8,5	7	6	20	400	6
4	11	6	4	22,5	500	8
5	13	5	3	25	550	10

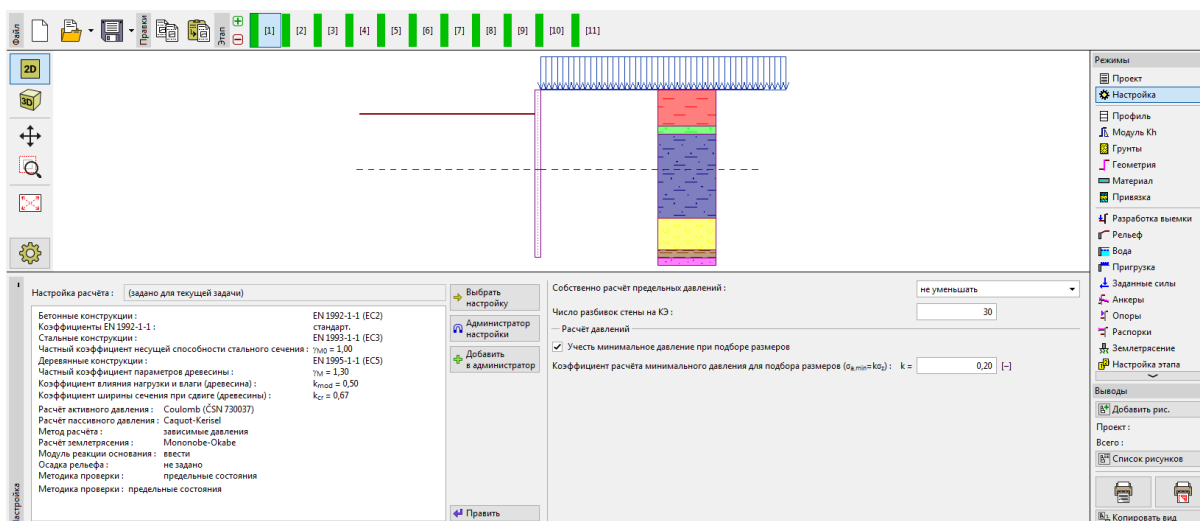
Таблица с расположением и размерами анкеров

Модуль  $k_h$  (коэффициент постели) линейно возрастает с увеличением глубины вплоть до 5 м. На этой глубине его величина достигает  $10 \text{ МН/м}^3$ . С этой глубины его величина остается постоянной.

## Решение

**Для решения** данной задачи используется программа GEO5 “Ограждение котлованов - Анализ”. Расчет выполняется без снижения входных данных, что позволяет оценить реальную работу конструкции.

Во вкладке “Настройки” необходимо выбрать вариант № 2 “Standard – limit states”. Минимальное давление на конструкцию будет рассматриваться с коэффициентом  $k = 0,2$ . Количество конечных элементов (КЭ), на которые разбивается стена, принимается равным 30 (см. рисунок).



Вкладка "Настройки"

*Примечание: для более сложных задач (например, подпорных стен с несколькими рядами анкеров), разработчики программы рекомендуют расчет предельных давлений без снижения исходных параметров грунта – без снижения соответствующих частных коэффициентов для давлений грунта. Метод зависимых давлений без снижения входных параметров лучше отображает реальное поведение сооружения (пользователь получает действительные значения перемещения), и расчет лучше сходится с численным расчетом МКЭ (более подробная информация представлена в Справке – F1).*

Далее следует открыть диалоговое окно "Правка настройки для текущей задачи" нажатием кнопки "Править" и выбрать "ввести" в качестве способа ввода для модуля реакции основания (коэффициента постели). Так же необходимо снять галочку возле опции "Уменьшить модуль реакции основания для ограждения закладным креплением" (более подробная информация представлена в Справке – F1).

Правка настройки для текущей задачи: Ограждение котлованов-проверка

Материалы и стандарты | **Расчёт давлений** | Анкеры

Расчёт активного давления: Coulomb (ČSN 730037)  
 Расчёт пассивного давления: Caquot-Kerisel  
 Метод расчёта: зависимые давления  
 Расчёт землетрясения: Mononobe-Okabe  
 Модуль реакции основания: ввести  
☐ Уменьшить модуль реакции основания для ограждения закладным креплением.  
 Осадка рельефа: не задано  
 Методика проверки: предельные состояния  
☐ Коэффициент  $\gamma_{mq}$  уменьшает тангенс угла внутреннего трения  $\phi$

Постоянная проектная ситуация | **Временная проектная ситуация** | Случайная проектная ситуация | Сейсмическая проектная ситуация

— Коэффициенты reductions параметров грунтов

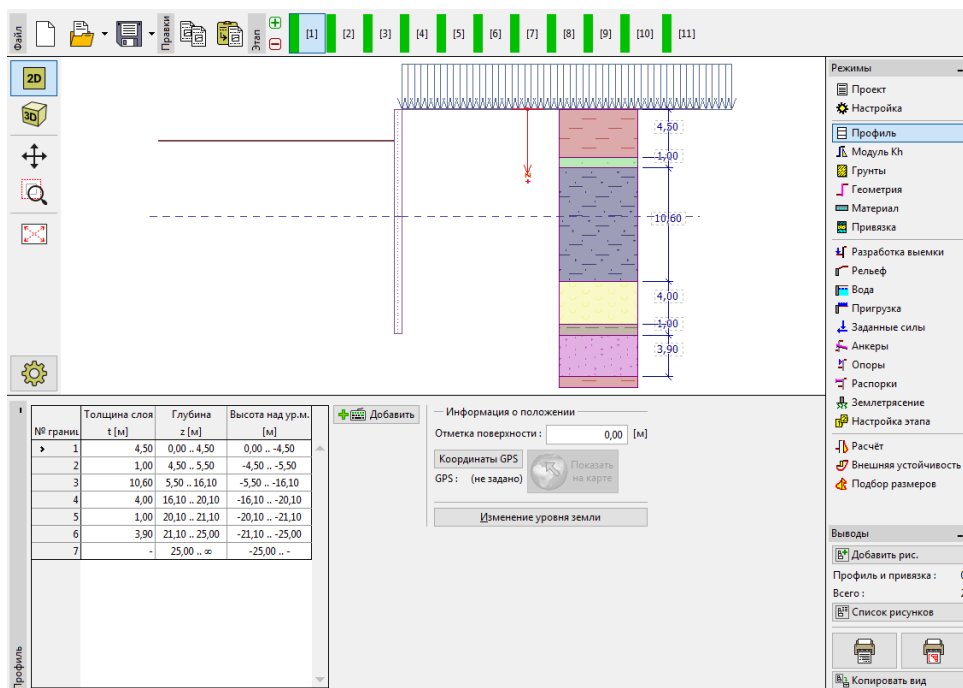
Коэффициент редукции угла внутреннего трения:  $\gamma_{mq} = 1,10$  [-]  
 Коэффициент редукции сцепления:  $\gamma_{mc} = 1,40$  [-]  
 Коэффициент редукции коэффициента Пуассона:  $\gamma_{mv} = 1,00$  [-]  
 Коэффициент редукции удельного веса за конструкцией:  $\gamma_{m\gamma} = 1,00$  [-]  
 Коэффициент редукции удельного веса перед конструкцией:  $\gamma_{m\gamma} = 1,00$  [-]  
 Коэффициент редукции устойчивости анкера:  $\gamma_{ka} = 1,10$  [-]  
 Коэффициент редукции несущей способности на гидравлический подъём:  $\gamma_h = 1,30$  [-]

Редактировать настройку расчёта для программы: Устойчивость откоса

OK Отмена

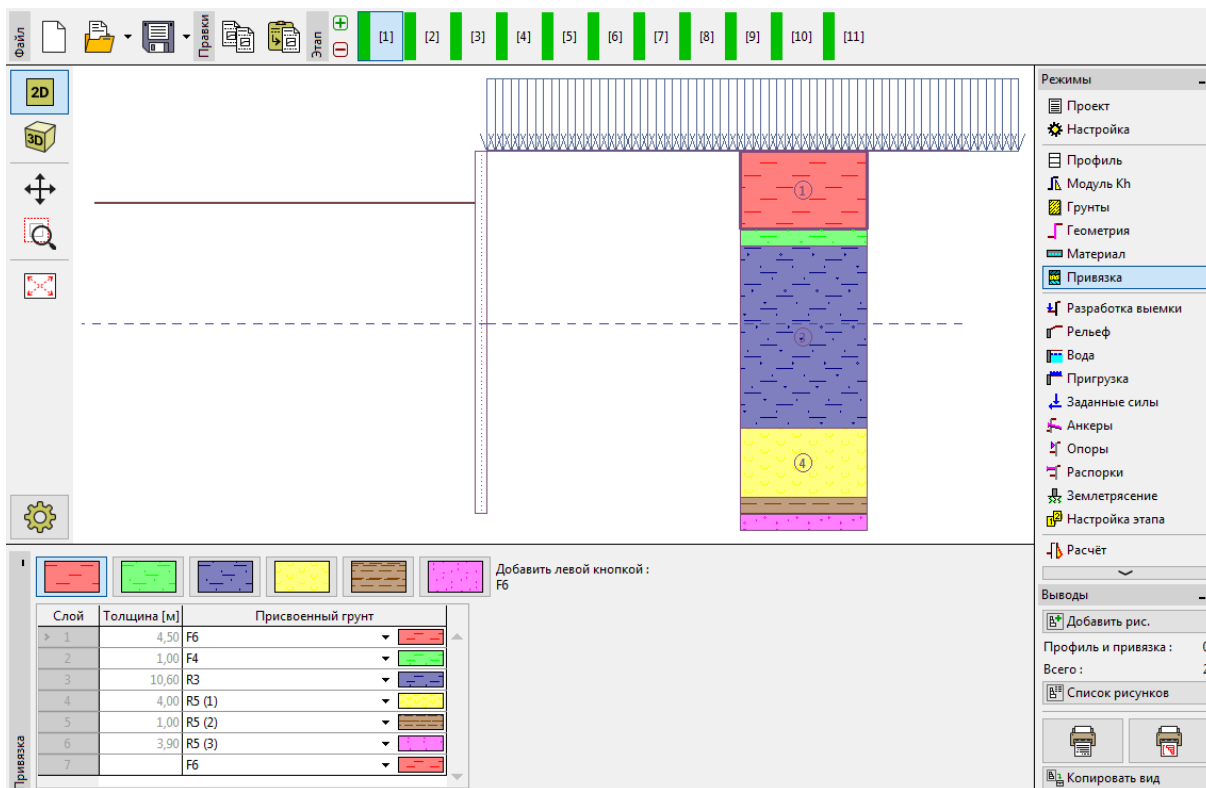
Диалоговое окно "Правка настройки для текущей задачи"

Во вкладках "Профиль", "Грунты" и "Привязка" определяется инженерно-геологический разрез задачи в соответствии с таблицей и информацией, приведенной выше. Вначале, во вкладке "Профиль" следует задать 4 новые границы слоев на глубинах, показанных на рисунке ниже.



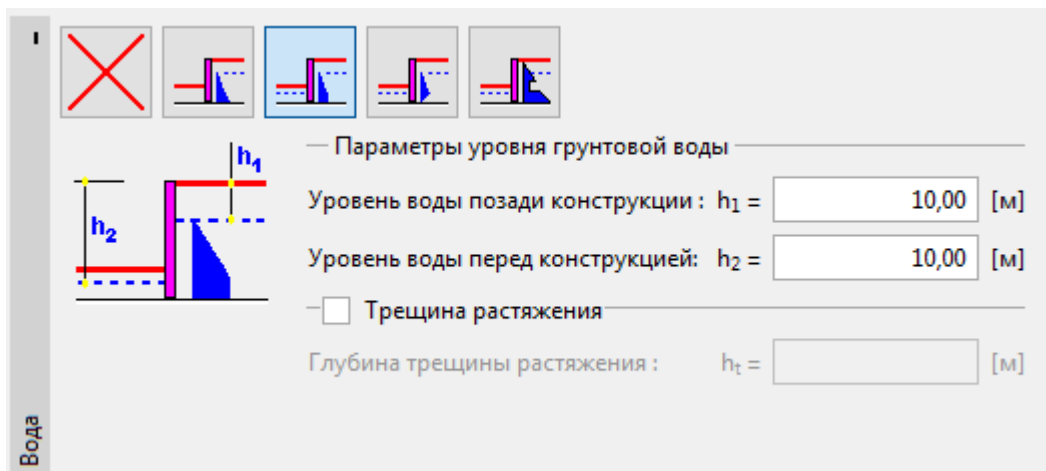
Вкладка "Профиль" - добавление новых границ

Далее во вкладке "Грунты" следует добавить 6 новых видов грунта с параметрами, указанными выше. Во вкладке "Привязка" они присваиваются элементам инженерно-геологического разреза.



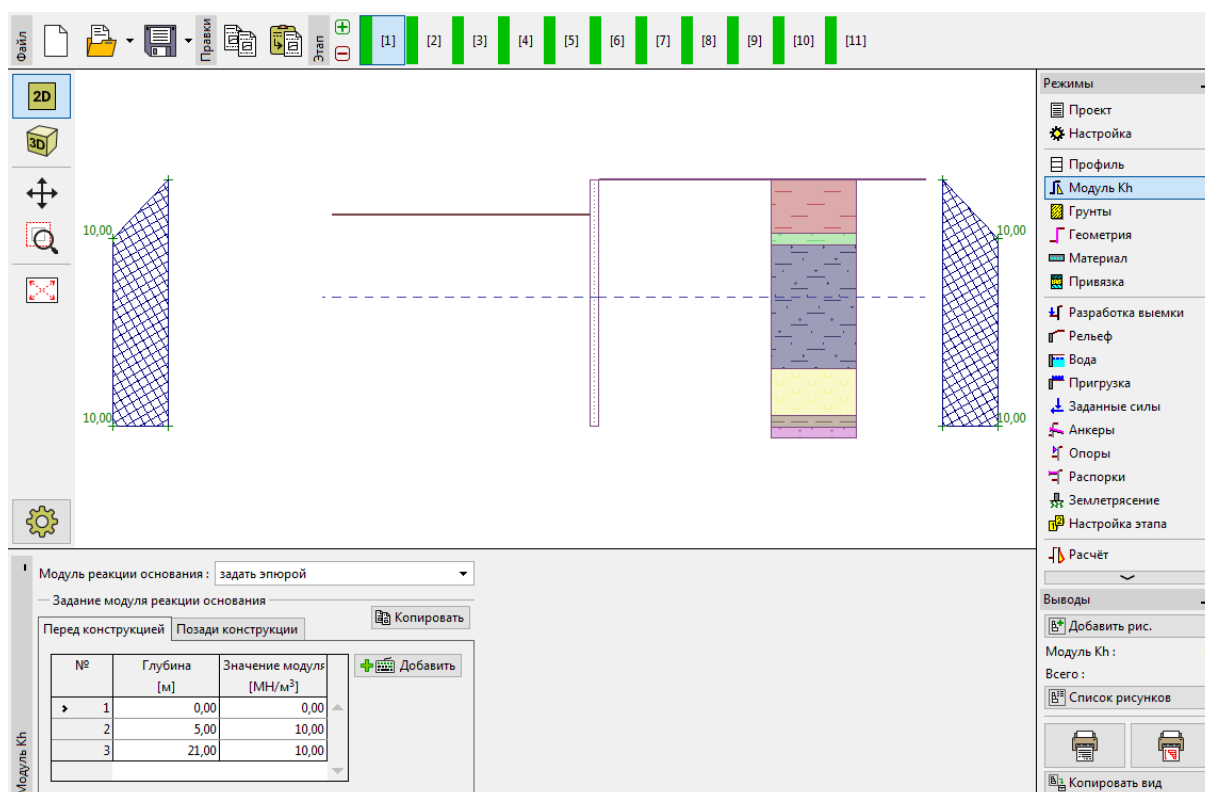
Вкладка "Привязка" - виды грунта, присвоенные разрезу

В завершение необходимо задать уровень грунтовых вод во вкладке "Вода". На первом этапе проектирования значения за подпорной стеной и на лицевой стороне одинаковые и составляют 10 м.



Вкладка "Вода" - указание параметров уровня грунтовых вод

Во вкладке “Модуль  $k_h$ ” необходимо ввести значение  $k_h$  по принятой схеме изменения – линейно возрастающим до глубины 5 м, а далее постоянным и равным 10 МН/м<sup>3</sup>. Модуль определен по длине конструкции. Если меняется длина, модуль так же автоматически корректируется. В данном примере он будет оставаться постоянным на протяжении всей длины. Если величина  $k_h$  неизвестна, можно использовать известные параметры грунта для их расчета (например, метод Schmitt - основанный на  $E_{oed}$  и  $E_{def}$ ). Более подробная информация о модуле  $k_h$  представлена в Help – F1.



Вкладка "Модуль  $k_h$ "

Далее во вкладке "Геометрия" вводятся параметры шпунтового ограждения - тип стены и длина секции  $l = 21$  м. Нажмите на кнопку "Добавить" и из базы двутавровых сечений выберите сечение **I (IPN) 400**. Шаг стального профиля принимается равным  $a = 2$  м. Так же устанавливается значение коэффициента снижения давления ниже дна котлована **0,5**.

*Примечание: коэффициент снижения давления грунта ниже уровня дна котлована снижает давление грунта. Для обычных подпорных стен он равен 1,0. Для стен из профильного шпунта этот коэффициент меньше 1. Это зависит от размера и шага опор (более подробная информация представлена в Справке – F1).*

**Правка участка**

Тип стены: Стальной двутавр

Имя сечения: двутавр : I(IPN) 400; a = 2,00 м ☐ Собственный

Длина участка:  $l =$  21,00 [м]

Коэффициент редукции давлений под дном котлована: ввести 0,50 [-]

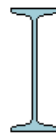
— Геометрия —

Межосевое расстояние профилей:  $a =$  2,00 [м]

— Сечение —

Каталог Сварной


Имя: **I(IPN) 400**






— Информация —






$A = 5,90E-03$  [м<sup>2</sup>/м]  $I = 1,46E-04$  [м<sup>4</sup>/м]

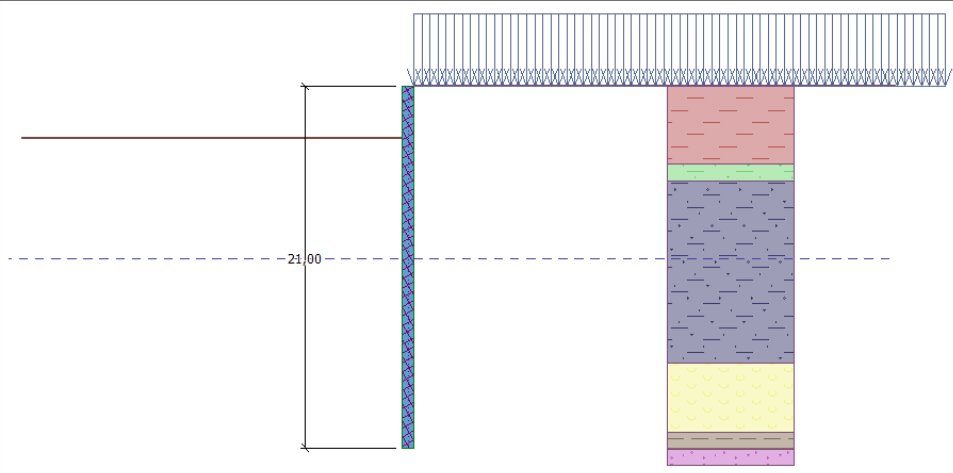
$W_{y1} = 7,276E-04$  [м<sup>3</sup>/м]  $W_{pl,y} = 8,543E-04$  [м<sup>3</sup>/м]

 Пользовательский каталог OK Отмена

*Диалоговое окно "Правка участка"*

Файл  Правки  Этап  [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11]

**2D**     









Режимы

- Проект
- Настройка
- Профиль
- Модуль Kh
- Грунты
- Геометрия**
- Материал
- Привязка
- Разработка выемки
- Рельеф
- Вода
- Пригрузка
- Заданные силы
- Анкеры
- Опоры
- Распорки
- Землетрясение
- Настройка этапа

Расчёт

Выводы

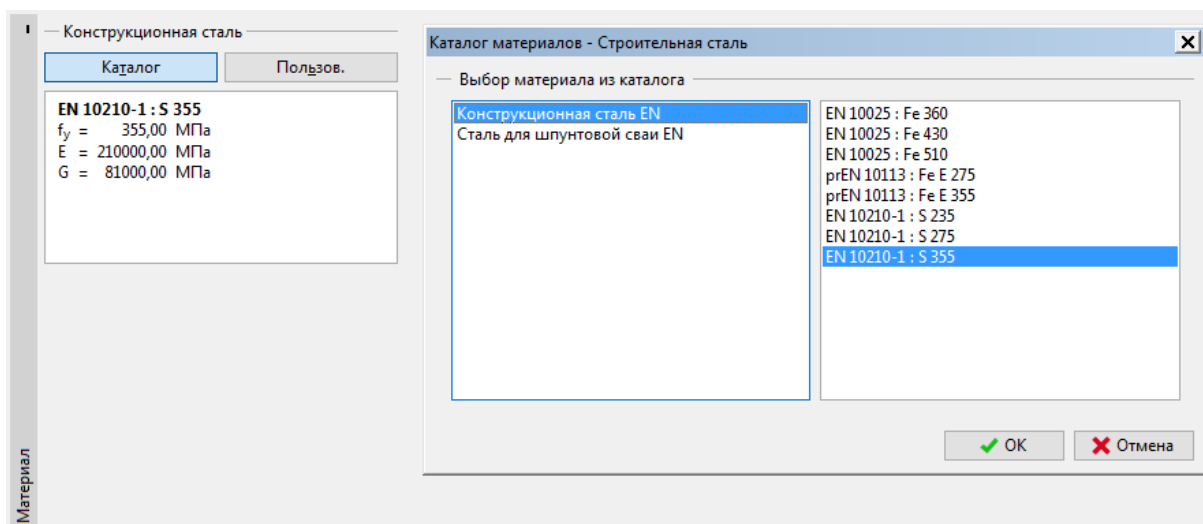
-  Добавить рис.
- Геометрия: 0
- Всего: 2
-  Список рисунков
-  Копировать вид

 Добавить  Править (цифру 1)  Удалить (цифру 1)

№	Длина участка l [м]	Имя сечения	Сечение				Материал	
			A [м <sup>2</sup> /м]	I [м <sup>4</sup> /м]	W [м <sup>3</sup> /м]	W <sub>p</sub> [м <sup>3</sup> /м]	E [МПа]	G
1	21,00	двутавр : I(IPN) 400; a = 2,00 м	5,90E-03	1,46E-04	7,276E-04	8,543E-04	210000,00	

*Вкладка "Геометрия" - добавление нового сечения*

Во вкладке "Материал" выберите необходимый класс стали для конструкции из каталога. В данном примере следует выбрать класс **EN 10210-1: S 355**.

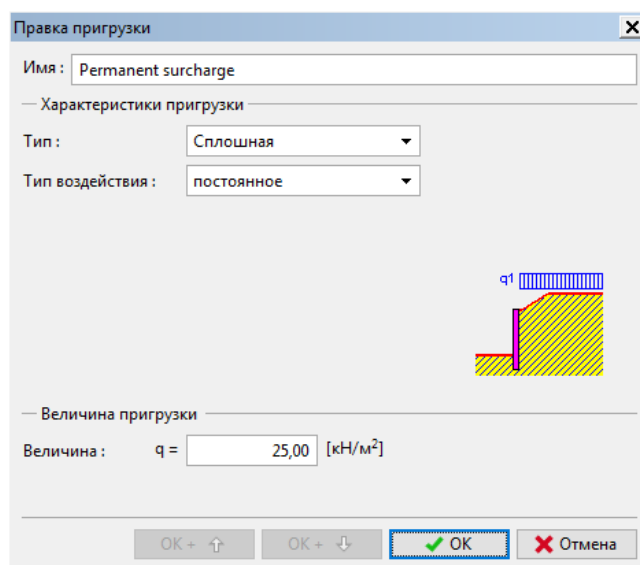


Диалоговое окно "Каталог материалов"

Далее процесс возведения стены будет описан шаг за шагом. Принципиально важно моделировать задачу поэтапно, чтобы отразить реальный процесс возведения. На каждом этапе необходимо контролировать величины внутренних усилий и перемещений.

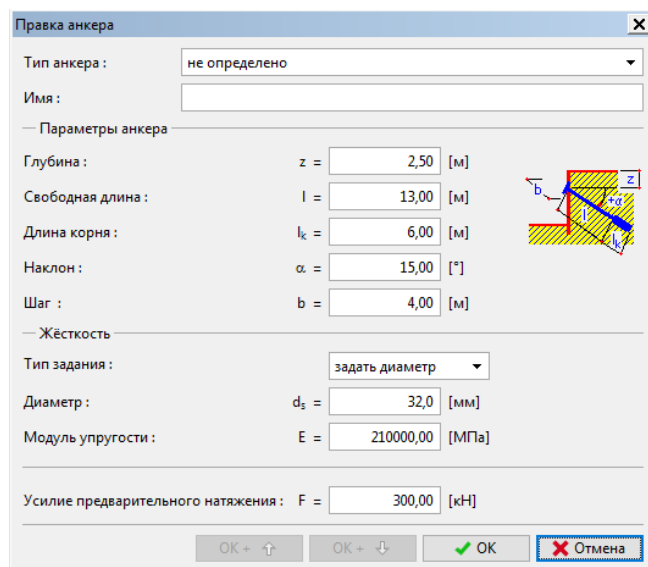
В случае, если шпунтовое ограждение не устойчиво на любом этапе проектирования или если его деформации слишком велики, необходимо изменить конструкции – например, увеличить глубину заделки, снизить глубину котлована, увеличить усилия в анкерах и т.д.

На первом этапе проектирования во вкладке "Пригрузка" задается постоянная поверхностная пригрузка  $q = 25 \text{ кН/м}^2$ .

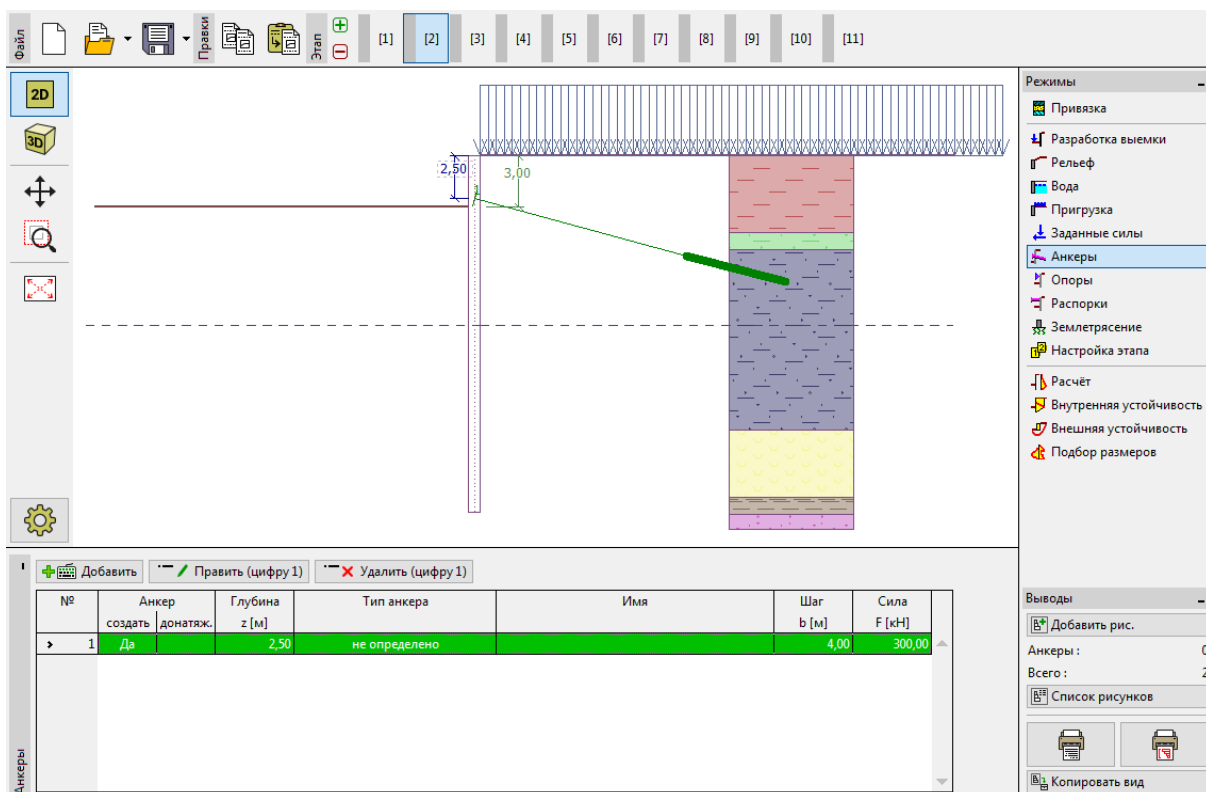


Вкладка "Пригрузка" - диалоговое окно "Правка пригрузки"

На первом этапе проектирования котлован разрабатывается до глубины  $h = 3 \text{ м}$ . Уровень грунтовых вод за подпорной стенкой и с лицевой стороны находится на глубине  $h_1 = h_2 = 10 \text{ м}$  ниже поверхности (уровня рельефа). Необходимо выполнить расчет и добавить новый этап. На этапе 2 во вкладке "Анкеры" необходимо добавить первый ярус анкеров на глубине  $z = 2,5 \text{ м}$ .



Вкладка "Анкеры" - добавление нового анкера (этап проектирования 2)



№	Анкер создать	донатяж.	Глубина z [м]	Тип анкера	Имя	Шаг b [м]	Сила F [кН]
1	Да		2,50	не определено		4,00	300,00

Вкладка "Анкеры" - этап проектирования 2

Необходимо выполнить расчет и добавить новый этап проектирования. На третьем этапе проектирования следует перейти во вкладку "Разработка выемки" и изменить глубину

котлована на  $h = 6,5 \text{ м}$ . На этом этапе новых анкеров не добавляется. Снова выполните расчет и добавьте четвертый этап проектирования. На четвертом этапе добавляется новый ярус анкеров на глубине  $z = 5,5 \text{ м}$ . Уровень грунтовых вод остается на той же глубине.

**Правка анкера**

Тип анкера : не определено

Имя :

— Параметры анкера —

Глубина :  $z = 5,50 \text{ [м]}$

Свободная длина :  $l = 10,00 \text{ [м]}$

Длина корня :  $l_k = 6,00 \text{ [м]}$

Наклон :  $\alpha = 17,50 \text{ [°]}$

Шаг :  $b = 4,00 \text{ [м]}$

— Жёсткость —

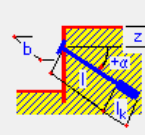
Тип задания : задать диаметр

Диаметр :  $d_s = 32,0 \text{ [мм]}$

Модуль упругости :  $E = 210000,00 \text{ [МПа]}$

Усилие предварительного натяжения :  $F = 350,00 \text{ [кН]}$

OK + ↑ OK + ↓ OK Отмена



Вкладка "Анкеры" - добавление новых анкеров (этап проектирования 4)

Файл | Правка | Этап | [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11]

2D 3D

Режимы

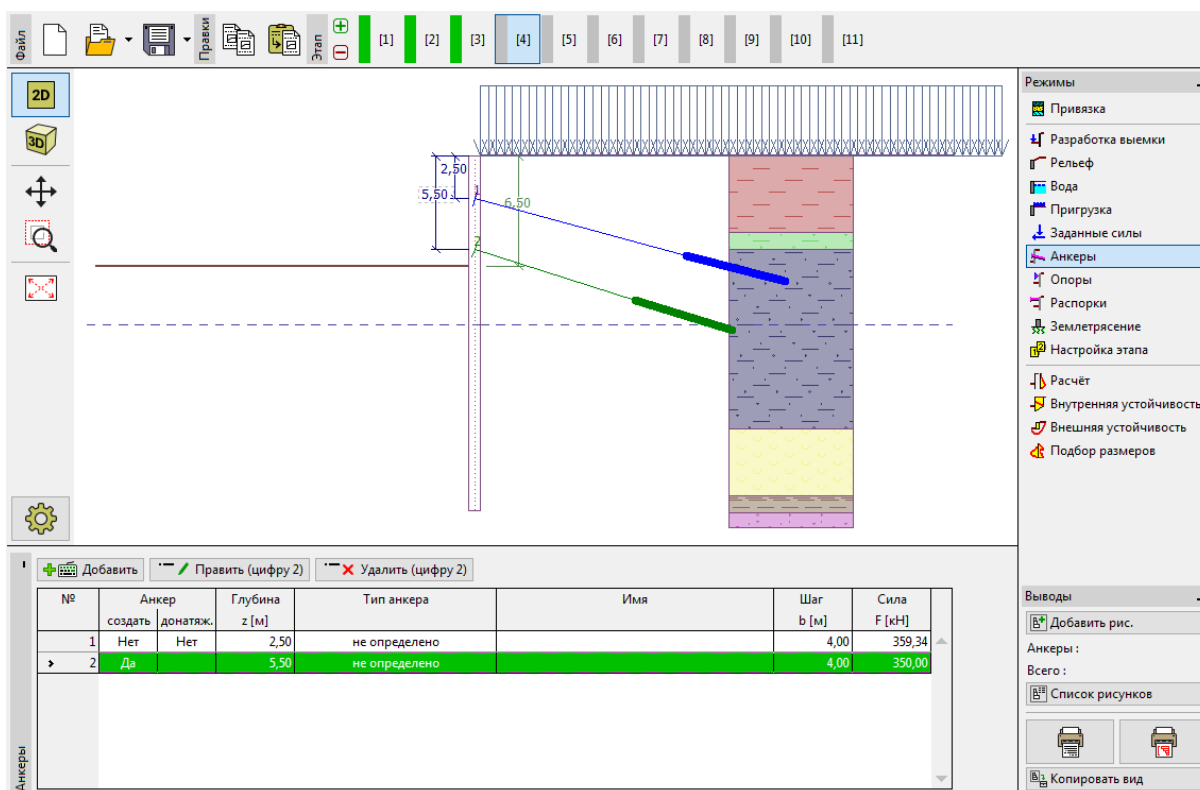
- Привязка
- Разработка выемки
- Рельеф
- Вода
- Пригрузка
- Заданные силы
- Анкеры**
- Опоры
- Распорки
- Землетрясение
- Настройка этапа
- Расчёт
- Внутренняя устойчивость
- Внешняя устойчивость
- Подбор размеров

Выходы

- Добавить рис.
- Анкеры : 0
- Всего : 2
- Список рисунков
- Копировать вид

Анкеры

№	Анкер создать донатж.	Глубина $z \text{ [м]}$	Тип анкера	Имя	Шаг $b \text{ [м]}$	Сила $F \text{ [кН]}$
1	Нет	2,50	не определено		4,00	359,34
2	Да	5,50	не определено		4,00	350,00



Вкладка "Анкеры" - этап проектирования 4

Добавьте пятый этап проектирования. На пятом этапе глубина котлована увеличивается до  $h = 9 \text{ м}$ . Далее добавьте еще один этап проектирования. На шестом этапе добавляется новый ярус анкеров на глубине  $z = 8,5 \text{ м}$ . Глубина уровня грунтовых вод не меняется.

**Правка анкера**

Тип анкера : не определено

Имя :

— Параметры анкера

Глубина :  $z = 8,50 \text{ [м]}$

Свободная длина :  $l = 7,00 \text{ [м]}$

Длина корня :  $l_k = 6,00 \text{ [м]}$

Наклон :  $\alpha = 20,00 \text{ [°]}$

Шаг :  $b = 4,00 \text{ [м]}$

— Жёсткость

Тип задания : задать диаметр

Диаметр :  $d_s = 32,0 \text{ [мм]}$

Модуль упругости :  $E = 210000,00 \text{ [МПа]}$

Усилие предварительного натяжения :  $F = 400,00 \text{ [кН]}$

OK + ↑ OK + ↓ OK Отмена

Вкладка "Анкеры" - добавление новых анкеров (этап проектирования 6)

Файл Правки Этап [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11]

2D 3D

Режимы

- Привязка
- Разработка выемки
- Рельеф
- Вода
- Пригрузка
- Заданные силы
- Анкеры**
- Опоры
- Распорки
- Землетрясение
- Настройка этапа
- Расчёт
- Внутренняя устойчивость
- Внешняя устойчивость
- Подбор размеров

Выводы

- Добавить рис.
- Анкеры : 0
- Всего : 2
- Список рисунков
- Копировать вид

Анкеры

№	Анкер создан	Анкер донатаж	Глубина $z \text{ [м]}$	Тип анкера	Имя	Шаг $b \text{ [м]}$	Сила $F \text{ [кН]}$
1	Нет	Нет	2,50	не определено		4,00	355,74
2	Нет	Нет	5,50	не определено		4,00	394,80
3	Да	Нет	8,50	не определено		4,00	400,00

Вкладка "Анкеры" - этап проектирования 6

Добавьте следующий этап проектирования. На седьмом этапе проектирования измените глубину выработки до  $h=11,5$  м. Во вкладке "Вода" установите уровень грунтовых вод на лицевой стороне стены на  $h_2=12$  м. Уровень грунтовых вод за конструкцией остается без изменений. Добавьте восьмой этап проектирования, добавьте новый ярус анкеров на глубине  $z=11$  м.

**Правка анкера**

Тип анкера : не определено

Имя :

— Параметры анкера

Глубина :  $z = 11,00$  [м]

Свободная длина :  $l = 6,00$  [м]

Длина корня :  $l_k = 4,00$  [м]

Наклон :  $\alpha = 22,50$  [°]

Шаг :  $b = 4,00$  [м]

— Жёсткость

Тип задания : задать диаметр

Диаметр :  $d_s = 32,0$  [мм]

Модуль упругости :  $E = 210000,00$  [МПа]

Усилие предварительного натяжения :  $F = 500,00$  [кН]

OK + ↑ OK + ↓ OK Отмена

Вкладка "Анкеры" - добавление новых анкеров (этап проектирования 8)

Файл | Правка | Этап | [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11]

2D 3D

Режимы

- Привязка
- Разработка выемки
- Рельеф
- Вода
- Пригрузка
- Заданные силы
- Анкеры**
- Опоры
- Распорки
- Землетрясение
- Настройка этапа
- Расчёт
- Внутренняя устойчивость
- Внешняя устойчивость
- Подбор размеров

Выводы

- Добавить рис.
- Анкеры : 0
- Всего : 2
- Список рисунков
- Копировать вид

Анкеры

№	Анкер создать	донатж.	Глубина $z$ [м]	Тип анкера	Имя	Шаг $b$ [м]	Сила $F$ [кН]
1	Нет	Нет	2,50	не определено		4,00	353,52
2	Нет	Нет	5,50	не определено		4,00	395,81
3	Нет	Нет	8,50	не определено		4,00	469,63
4	Да		11,00	не определено		4,00	500,00

Вкладка "Анкеры" - этап проектирования 8

Добавьте новый этап проектирования. На девятом этапе котлована разрабатывается до глубины  $h = 13,5 \text{ м}$ . Уровень грунтовых вод на лицевой стороне следует установить на отметку  $h_2 = 15,5 \text{ м}$ . Далее добавьте еще один этап проектирования. На десятом этапе добавляется новый ярус анкеров на глубине  $z = 13 \text{ м}$ .

**Правка анкера**

Тип анкера : не определено

Имя :

— Параметры анкера

Глубина :  $z = 13,00 \text{ [м]}$

Свободная длина :  $l = 5,00 \text{ [м]}$

Длина корня :  $l_k = 3,00 \text{ [м]}$

Наклон :  $\alpha = 25,00 \text{ [°]}$

Шаг :  $b = 4,00 \text{ [м]}$

— Жёсткость

Тип задания : задать диаметр

Диаметр :  $d_s = 32,0 \text{ [мм]}$

Модуль упругости :  $E = 210000,00 \text{ [МПа]}$

Усилие предварительного натяжения :  $F = 550,00 \text{ [кН]}$

OK + ↑ OK + ↓ OK Отмена

Вкладка "Анкеры" - добавление новых анкеров (этап проектирования 10)

Файл [Icons] Правки [Icons] Этап [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11]

2D 3D [Icons]

Режимы

- Привязка
- Разработка выемки
- Рельеф
- Вода
- Пригрузка
- Заданные силы
- Анкеры**
- Опоры
- Распорки
- Землетрясение
- Настройка этапа
- Расчёт
- Внутренняя устойчивость
- Внешняя устойчивость
- Подбор размеров

Выводы

Добавить рис.

Анкеры : 0

Всего : 2

Список рисунков

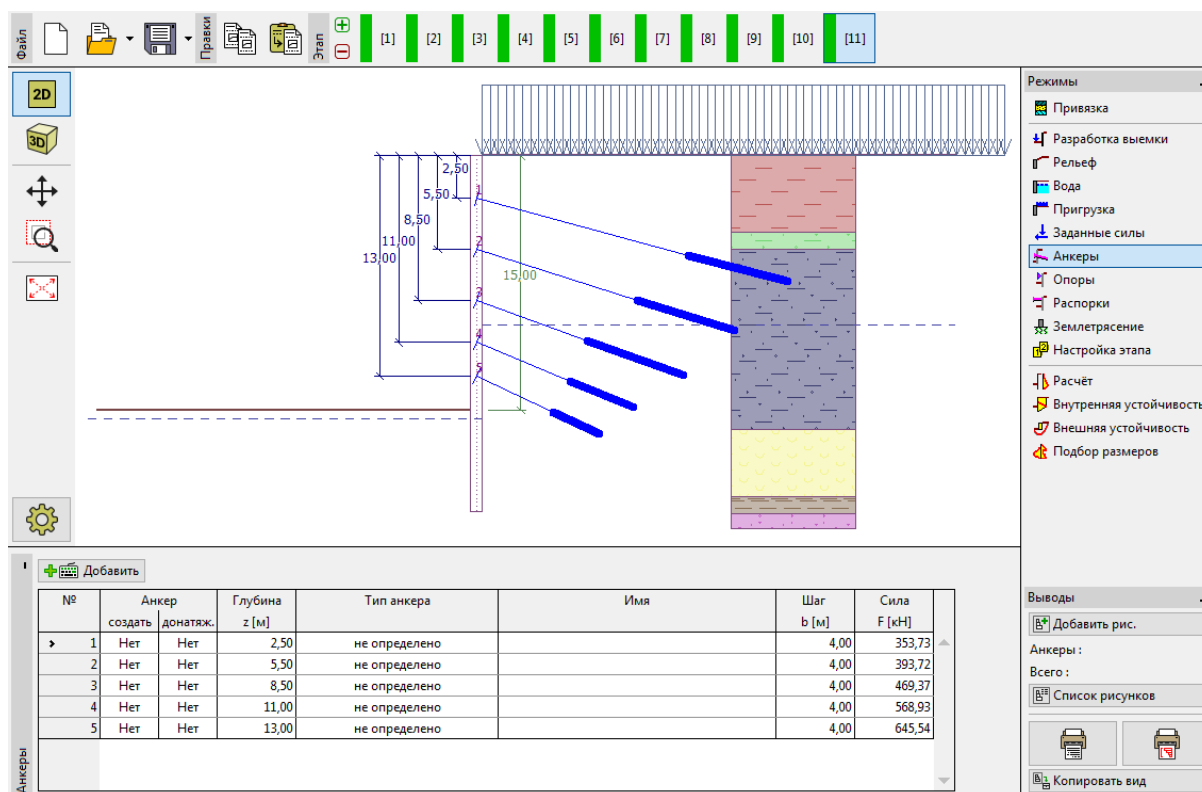
Копировать вид

Анкеры

№	Анкер создать	донатяж.	Глубина $z \text{ [м]}$	Тип анкера	Имя	Шаг $b \text{ [м]}$	Сила $F \text{ [кН]}$
1	Нет	Нет	2,50	не определено		4,00	353,56
2	Нет	Нет	5,50	не определено		4,00	394,08
3	Нет	Нет	8,50	не определено		4,00	473,94
4	Нет	Нет	11,00	не определено		4,00	558,09
5	Да	Нет	13,00	не определено		4,00	550,00

Вкладка "Анкеры" - этап проектирования 10

На одиннадцатом, последнем этапе проектирования, глубина выработки устанавливается равной  $h = 15 \text{ м}$ . Новых ярусов анкеров не добавляется. Уровень грунтовых вод так же не меняется с 9-го этапа проектирования (на лицевой стороне конструкции на глубине  $h_2 = 15,5 \text{ м}$ , за подпорной стеной на глубине  $h_1 = 10 \text{ м}$ ).

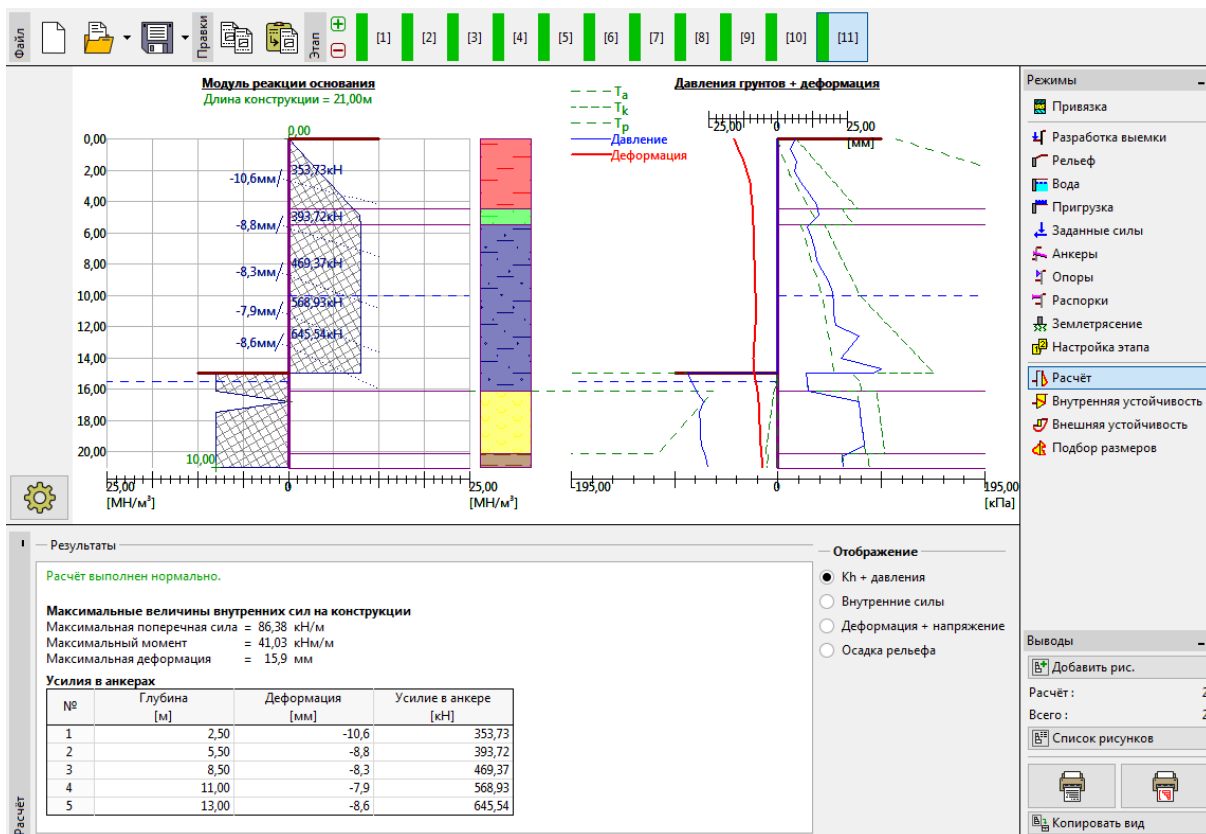


Вкладка "Анкеры" - этап проектирования 11

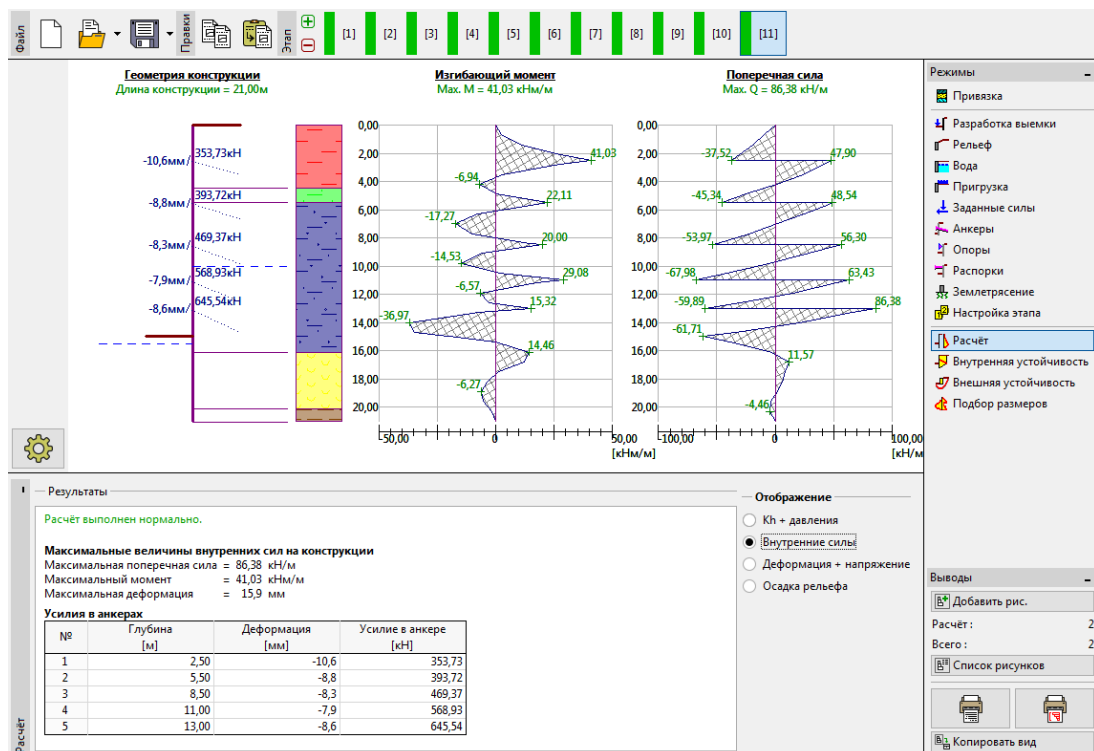
*Примечание: в связи с деформацией конструкции усилие в анкерах может меняться. Эти изменения зависят от жесткости анкеров и перемещений в заделке анкера. Сила может уменьшаться (в связи со снижением преднапряжения) или увеличиваться. Необходимые усилия могут быть компенсированы преднапряжением на любом этапе проектирования.*

## Результаты расчета

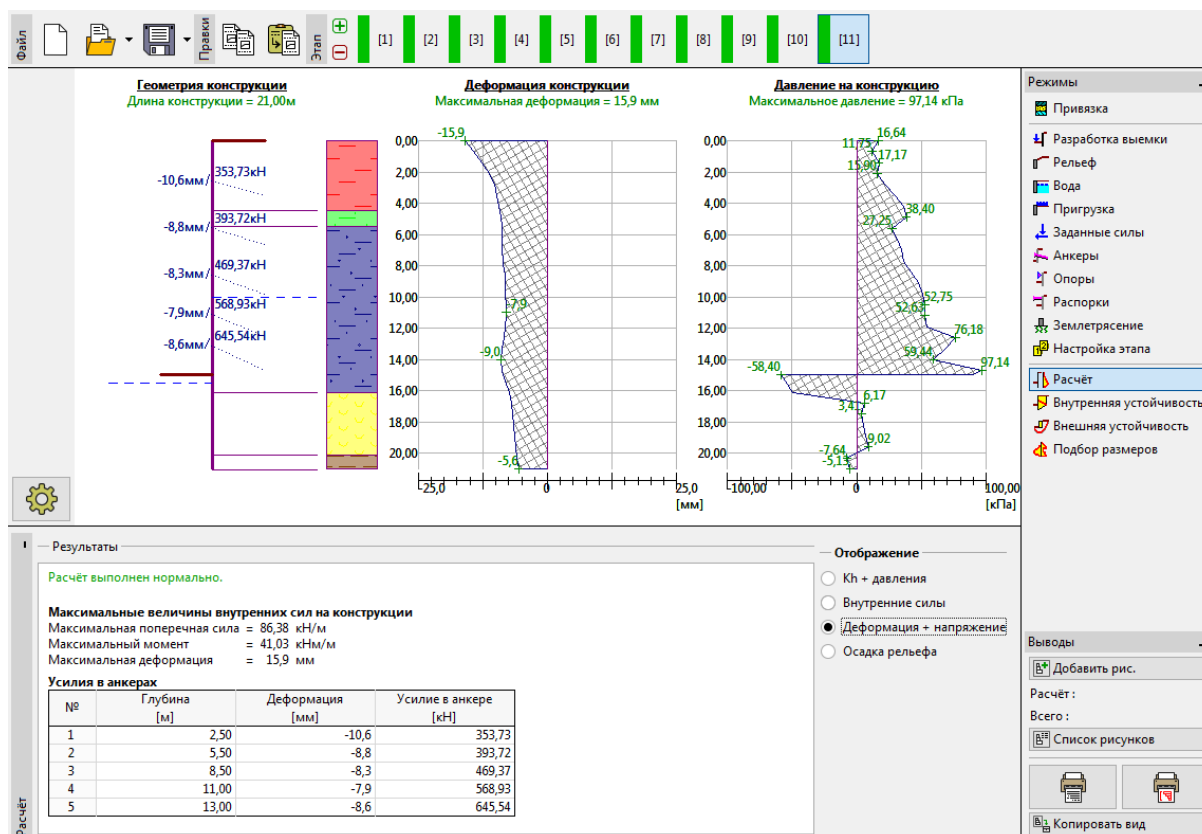
На рисунках ниже показаны результаты расчета (расчет внутренних усилий - изгибающих моментов и поперечных сил, перемещения конструкции и давление грунта) для последнего, одиннадцатого этапа проектирования.



Вкладка "Расчет" - этап проектирования 11 (модуль реакции основания)



Вкладка "Расчет" - этап проектирования 11 (внутренние усилия)



Вкладка "Расчет" - этап проектирования 11 (перемещения конструкции + давления грунта)

Расчет выполнен на всех этапах проектирования. Это означает, что конструкция из профильных шпунтовых свай устойчива и работоспособна на всех этапах проектирования. Следует проверить величину перемещений, как и усилие в анкерах, которое не должно превышать их несущей способности (пользователь должен выполнить проверку, так как автоматически данная проверка не выполняется программой "Ограждение котлована - Анализ"). Для последнего, одиннадцатого этапа проектирования получены следующие результаты:

- Максимальная поперечная сила:  $Q_{\max} = 86,40 \text{ кН/м}$ ,
- Максимальный изгибающий момент:  $M_{\max} = 41,03 \text{ кНм}$ ,
- Максимальное давление грунта:  $\sigma_x = 97,04 \text{ кПа}$ ,
- Максимальные перемещения:  $u_{\max} = 15,9 \text{ мм}$ .

## Проверка поперечного сечения конструкции

На последнем этапе проектирования откройте вкладку "Подбор размеров". Здесь указаны максимальные и минимальные значения переменных (эпюры внутренних усилий).

- Максимальная поперечная сила (не менее):  $Q_{\max, \min} = 86,40 \text{ кН/м}$

- Максимальный изгибающий момент (не менее):  $M_{\max, \min} = 50,73 \text{ кНм}$

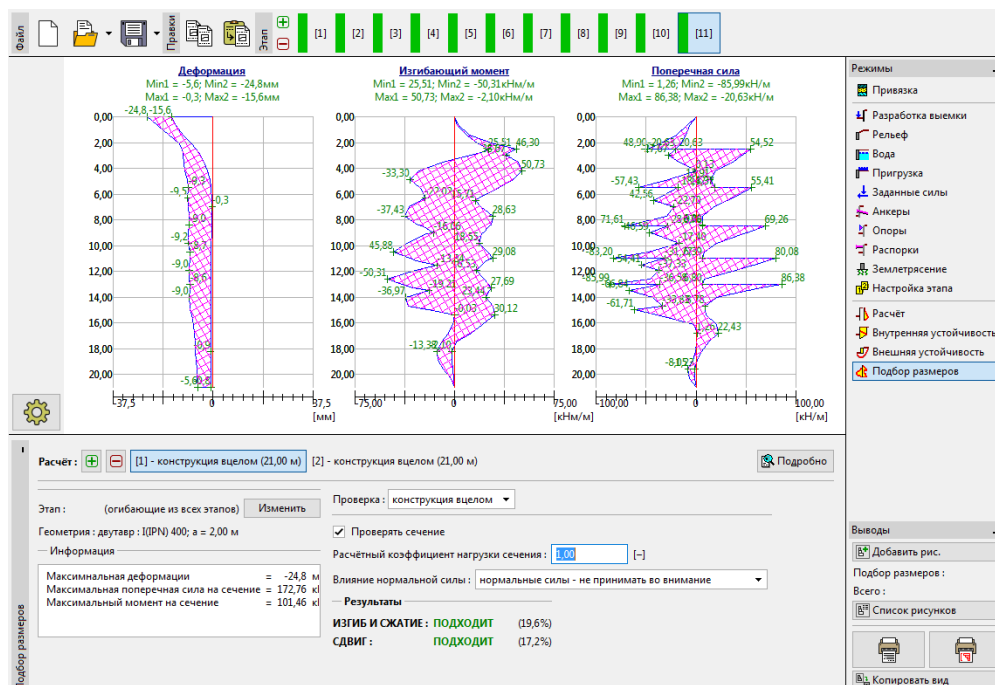
Внутренние усилия рассчитываются на один погонный метр (фут) конструкции. Для фактического проектирования вертикальных балок (стальных двутавров) необходимо умножить эти значения на величину шага  $a = 2 \text{ м}$  чтобы получить внутренние усилия в сечении.

- Макс. поперечная сила для подбора сечения:  $Q_{Ed, \max} = 86,4 \cdot 2,0 = 172,8 \text{ кН}$ ,
- Макс. изгибающий момент для подбора сечения:  $M_{Ed, \max} = 50,7 \cdot 2,0 = 101,4 \text{ кНм}$ .

Программа проводит расчет вертикальных балок (стальных двутавров) на основании предельных значений внутренних усилий в соответствии с EN 1993-1-1 (ЕС 3).

На данном этапе, понижающий коэффициент несущей способности остается равным 1,0. В этом случае результат следующий:

- Несущая способность сечения:  $M_{Rd} = 516,61 \text{ кНм} \geq M_{Ed, \max} = 101,41 \text{ кНм}$ .
- Общее использование двутавровой балки: **19,6 %** Двутавр удовлетворяет требованиям расчета.



Вкладка "Подбор размеров" - этап проектирования 11 (проверка стального двутавра 400 мм)

В расчете величина предельных давлений грунта не снижалась, поэтому нагрузка меньше, чем должна быть в соответствии с требованиями EN 1997-1. Тем не менее, внутренние усилия удовлетворяют нагрузкам при реальной работе сооружения. Изменения давлений грунта приводят к повышению запаса, но искажают результаты расчета. В связи с этим для проверки сечения стальной конструкции использовались нестандартные значения понижающего коэффициента несущей способности.

*Примечание: стандарт EN 1997-1 предполагает, что частный коэффициент для постоянной нагрузки должен быть равен  $\gamma_G = 1,35$ , для переменной  $\gamma_Q = 1,5$ . Однако в данном случае вся пригрузка действует как постоянная нагрузка, в связи с чем частный коэффициент принимается равным  $\gamma_G = 1,35$ .*

*Для комбинированных постоянных и переменных нагрузок необходимо определить приблизительную величину частного коэффициента в диапазоне от 1,35 до 1,5 в зависимости от преобладающих компонентов нагрузки.*

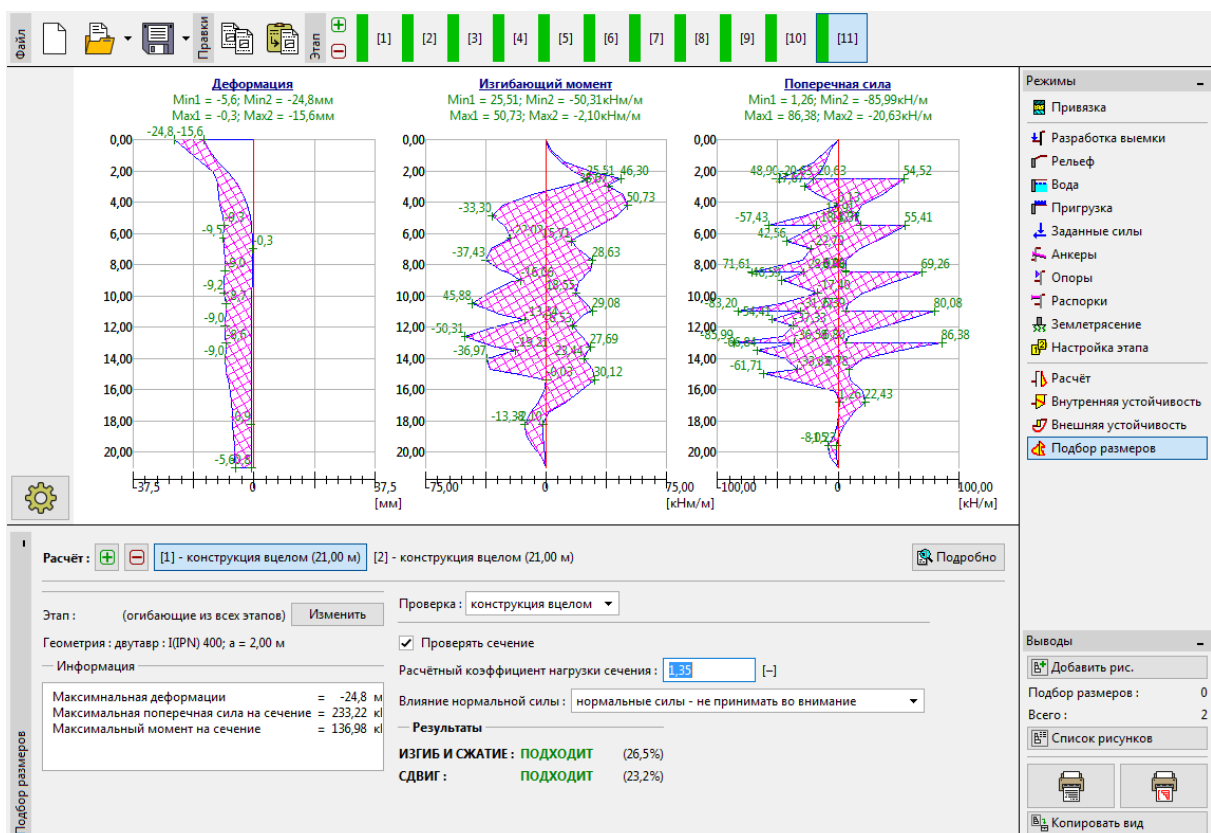
Теперь установим коэффициент снижения несущей способности равным 1,35. Все внутренние усилия, действующие в сечении вертикальной балки, умножаются на данный коэффициент. В этом случае внутренние усилия примут значения:

- Макс. поперечная сила для подбора сечения:

$$Q_{Ed,max} = (86,4 \cdot 2,0) \cdot 1,35 = 233,28 \text{ кН}$$

- Макс. изгибающий момент для подбора сечения:

$$M_{Ed,max} = (50,7 \cdot 2,0) \cdot 1,35 = 136,90 \text{ кНм}$$



Вкладка "Подбор размеров" - этап проектирования 11 (повторная проверка стального двутавра 400 мм)

В данном случае (проверка с учетом коэффициента снижения несущей способности 1,35) получены следующие результаты:

- Несущая способность сечения:  $M_{c,Rd} = 516,61 \text{ кНм} \geq M_{Ed,max} = 136,9 \text{ кНм}$
- Общее использование конструкции: **26,5 %** ПОДХОДИТ

- Проверка на срез:  $V_{c,Rd} = 1005,29 \text{ кНм} \geq Q_{Ed,max} = 233,28 \text{ кНм}$
- Полное использование конструкции: **23,2 %** ПОДХОДИТ

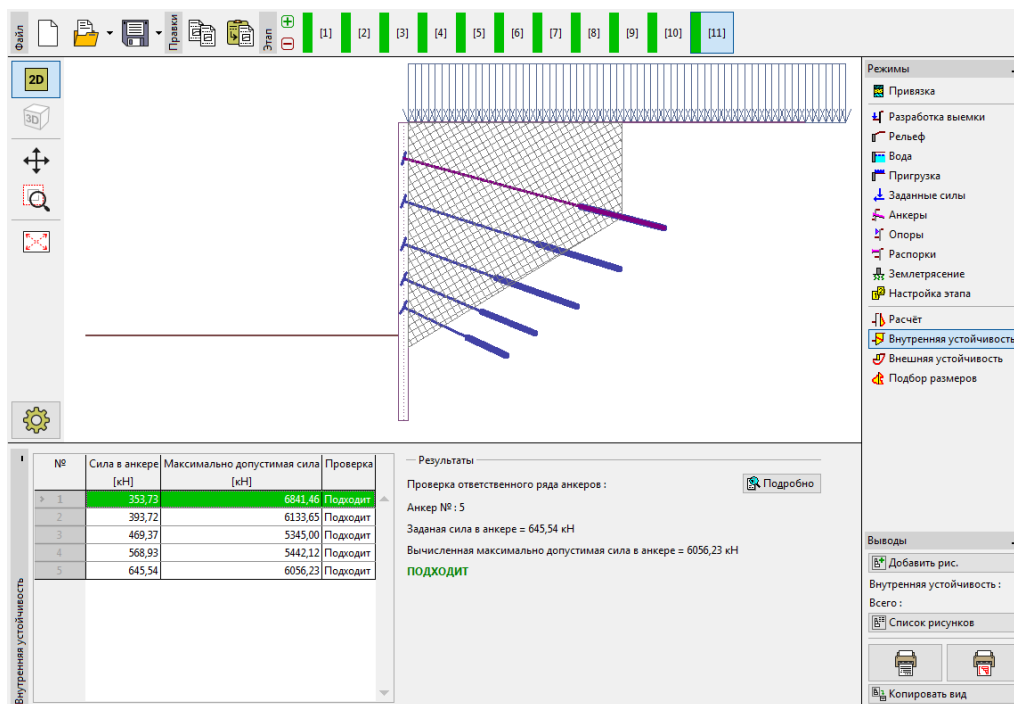
## Расчет внутренней устойчивости

Необходимо перейти во вкладку "Внутренняя устойчивость" на последнем этапе проектирования и проверить максимально допустимое усилие в каждом анкере.

*Примечание: проверка выполняется следующим образом. Сначала итерационно определяется усилие в анкере на основании уравнения всех усилий, действующих в грунтовом клине. Данный грунтовый клин ограничен сооружением, поверхностью рельефа, центром корня анкера и теоретической нижней точкой конструкции (более подробная информация представлена в Справке - F1). Если анкер не удовлетворяет проверке, лучшим решением является увеличение его длины или снижение усилия преднапряжения.*

Расчет показывает, что максимальное усилие возникает в анкере пятого ряда, и общее использование анкера составляет:

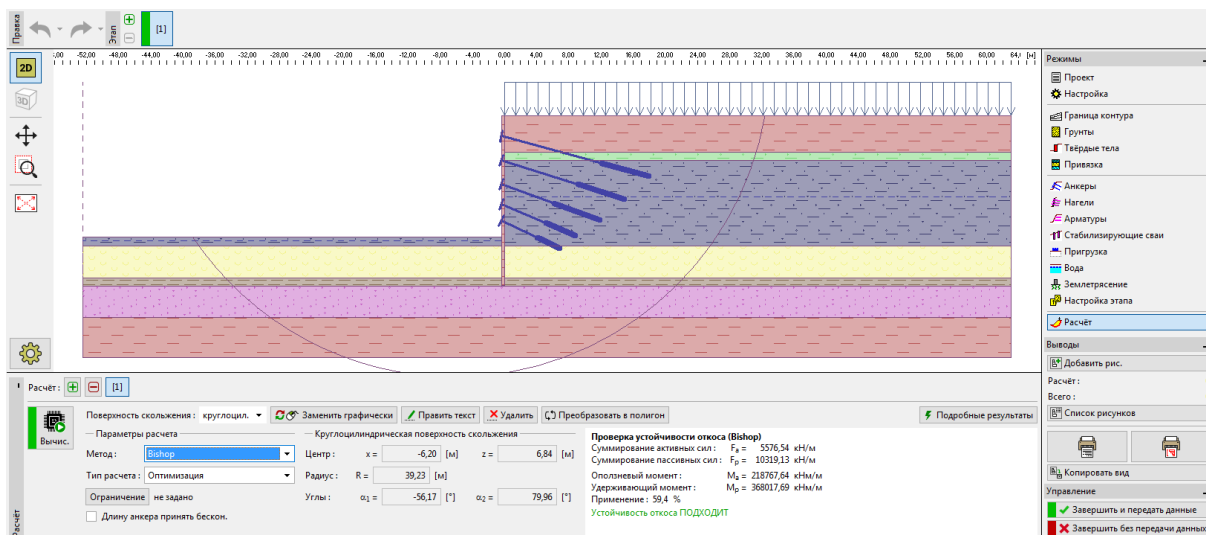
- Внутренняя устойчивость: **51,72 %**  $F_{max} = 1248,21 \text{ кН} > F = 645,52 \text{ кН}$  ПОДХОДИТ



Вкладка "Внутренняя устойчивость" - этап проектирования 11

## Проверка внешней (общей) устойчивости

Последним необходимым расчетом является проверка общей устойчивости. Нажатие на кнопку "Общая устойчивость" автоматически открывает программу "Устойчивость откосов", где следует перейти во вкладку "Расчет". Нажатие кнопки "Вычислить" запускает расчет общей устойчивости.



*Программа "Устойчивость откоса" – метод Бишоп с оптимизацией  
круглоцилиндрической поверхности скольжения*

## Заключение, окончательные результаты

Конструкция была успешно рассчитана, предельная полученная деформация составила 24,8 мм. Это удовлетворительная величина для данного типа конструкций. Кроме того, предельные усилия в анкерах не были превышены.

- |                            |                |   |                 |
|----------------------------|----------------|---|-----------------|
| – Несущая способность:     | <b>26,5 %</b>  | $516,61 \text{ кНм} \geq 136,9 \text{ кНм}$ | <b>ПОДХОДИТ</b> |
| – Внутренняя устойчивость: | <b>51,72 %</b> | $1248,21 \text{ кН} > 645,52 \text{ кН}$    | <b>ПОДХОДИТ</b> |
| – Общая устойчивость:      | <b>59,4 %</b>  | Метод - Бишоп (оптимизация)                 | <b>ПОДХОДИТ</b> |

Запроектированное шпунтовое ограждение удовлетворяет всем требованиям.