

## Расчет уголкового стены

Программа: Уголкового стена

Файл: Demo\_manual\_02.guz

Это инженерное руководство описывает расчет и проектирование консольной подпорной стенки.

### Постановка задачи

Необходимо запроектировать консольную подпорную стенку высотой 4,0 м и выполнить расчет в соответствии с EN 1997-1 (ЕС 7-1, Подход к проектированию 1). Рельеф за сооружением горизонтальный. Уровень грунтовых вод залегает на глубине 2,0 м от поверхности. За стенкой приложена полосовая пригрузка длиной 5,0 м и интенсивностью 10 кН/м<sup>2</sup>. Основание сложено пылеватым песком (MS), допустимая несущая способность ( $R_o$ ) 175 кПа. Грунт за стенкой представлен песком с включениями пылеватых частиц (S-F). Консольная подпорная стенка будет изготовлена из армированного бетона класса С 20/25.

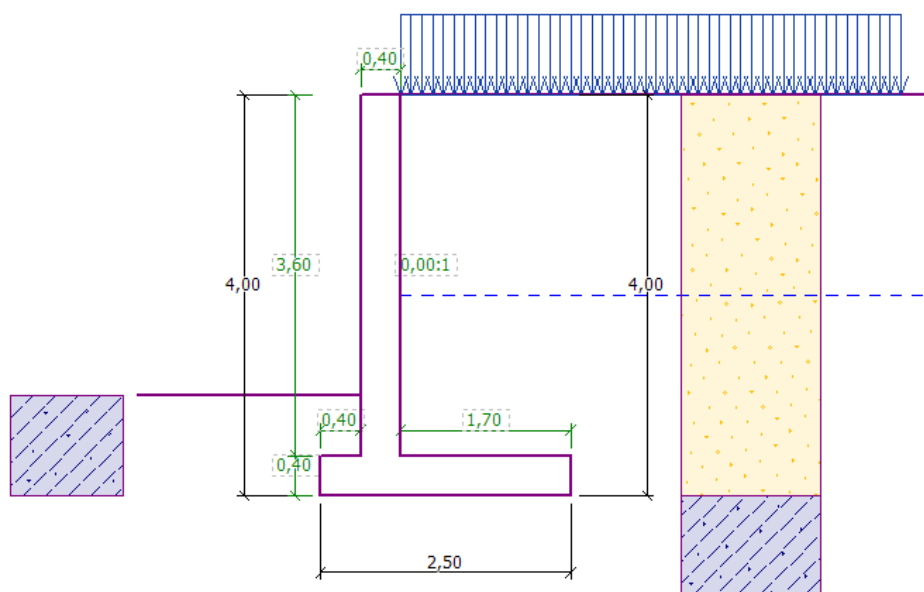


Схема консольной подпорной стенки - Постановка задачи

Механические параметры грунта принимаются следующими:

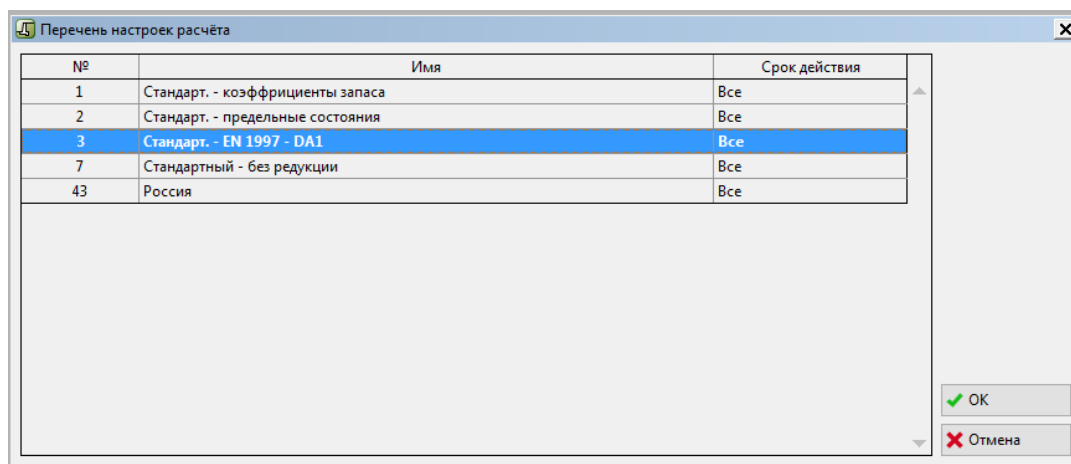
Грунт	Мощность [m]	Удельный вес $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Угол внутреннего трения $\varphi_{ef}$ [°]	Удельное сцепление $c_{ef}$ [kPa]	Угол внутреннего трения на контакте сооружения с грунтом	Удельный вес при полном водонасыщении $\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]
-------	-----------------	---	---	--------------------------------------	--	--

					$\delta = [^\circ]$	
S-F	0,0 – 4,0	17,5	28,0	0,0	18,5	18,0
MS	от 4,0	18,0	26,5	30,0	17,5	18,5

## Решение

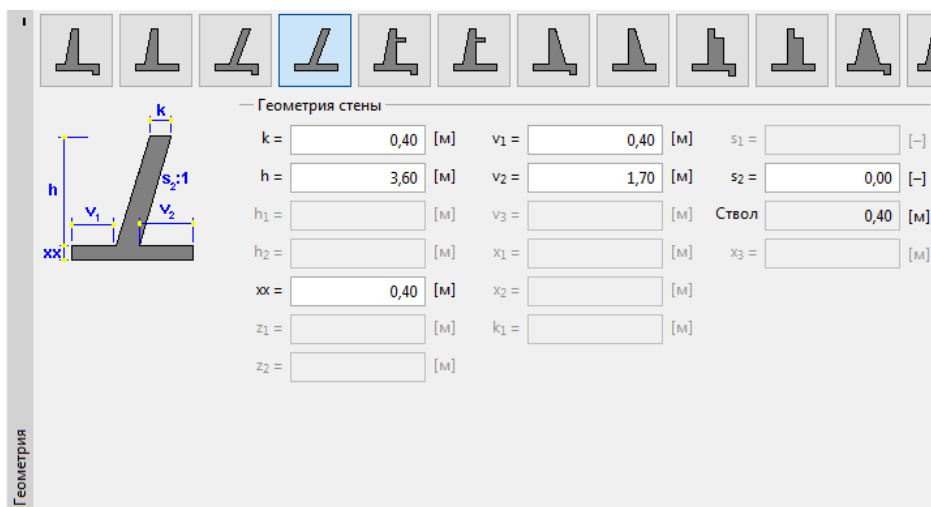
Для решения задачи используется программа GEO5 «Угловая стена». Дальнейшее решение объясняется пошагово.

Вначале во вкладке «Настройка» необходимо нажать кнопку «Выбрать настройки» и выбрать требуемые настройки расчета (EN 1997 - DA1).



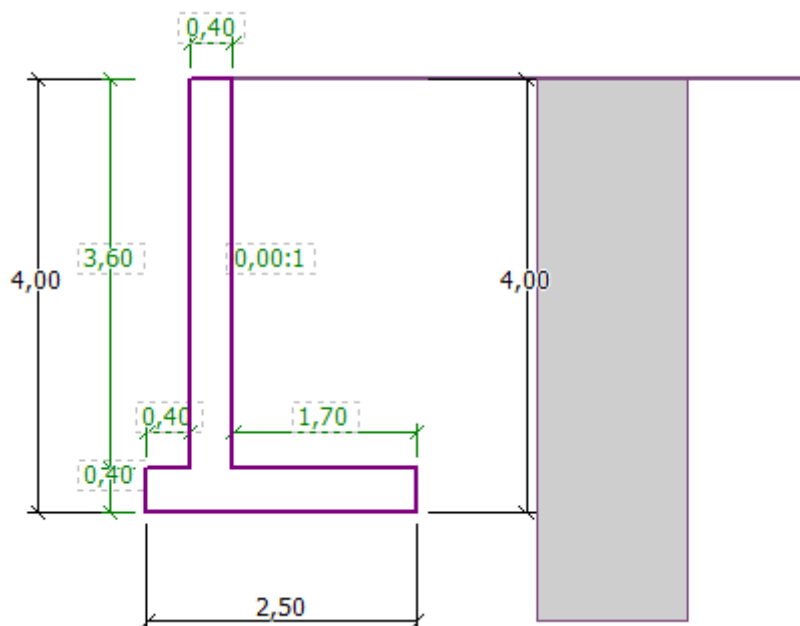
Диалоговое окно «Выбрать настройки»

Во вкладке «Геометрия» следует выбрать 4-ую форму и ввести размеры в соответствии с рисунком.



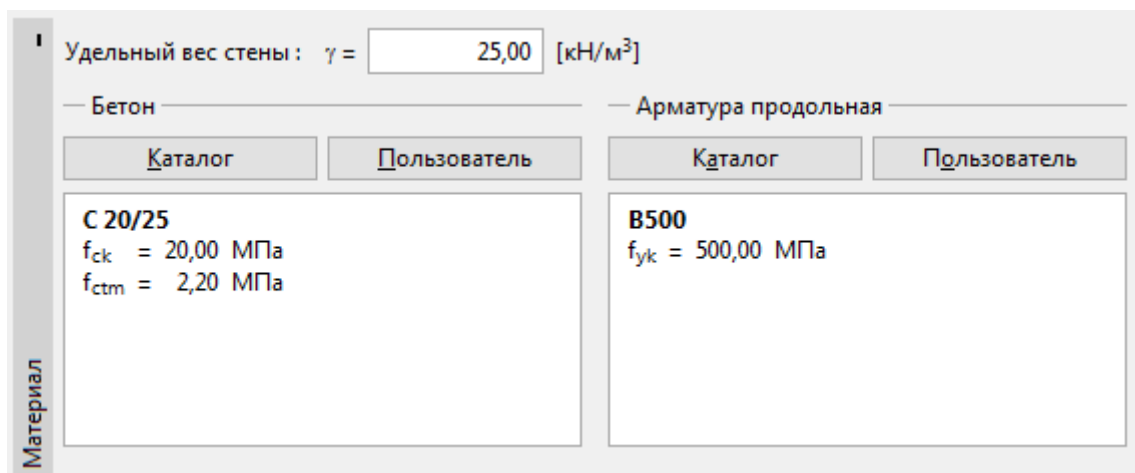
Вкладка «Геометрия»

Конструкция теперь выглядит следующим образом:



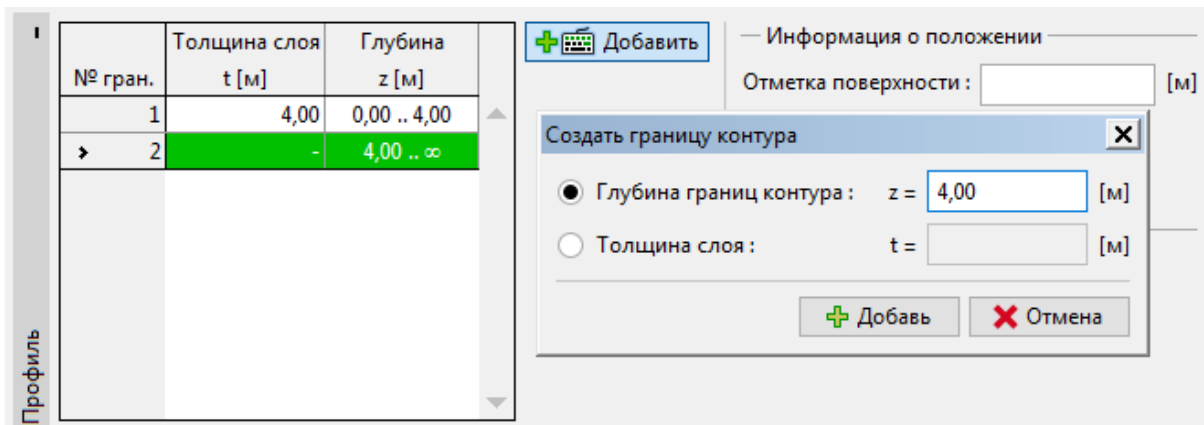
Вкладка «Геометрия» - схема консольной подпорной стенки

Во вкладке «Материал» необходимо выбрать материал для конструкции. Стенка имеет удельный вес  $\gamma = 25 \text{ кН/м}^3$  и изготовлена из бетона класса С 20/25 со стальной арматурой класса В500.



Вкладка «Материал» - ввод параметров материала конструкции

Во вкладке «Профиль» задается граница между слоями грунта на глубине 4 м с помощью кнопки «Добавить».



№ гран.	Толщина слоя t [м]	Глубина z [м]
1	4,00	0,00 .. 4,00
2	-	4,00 .. ∞

Профиль

Добавить

Информация о положении

Отметка поверхности : [м]

Создать границу контура

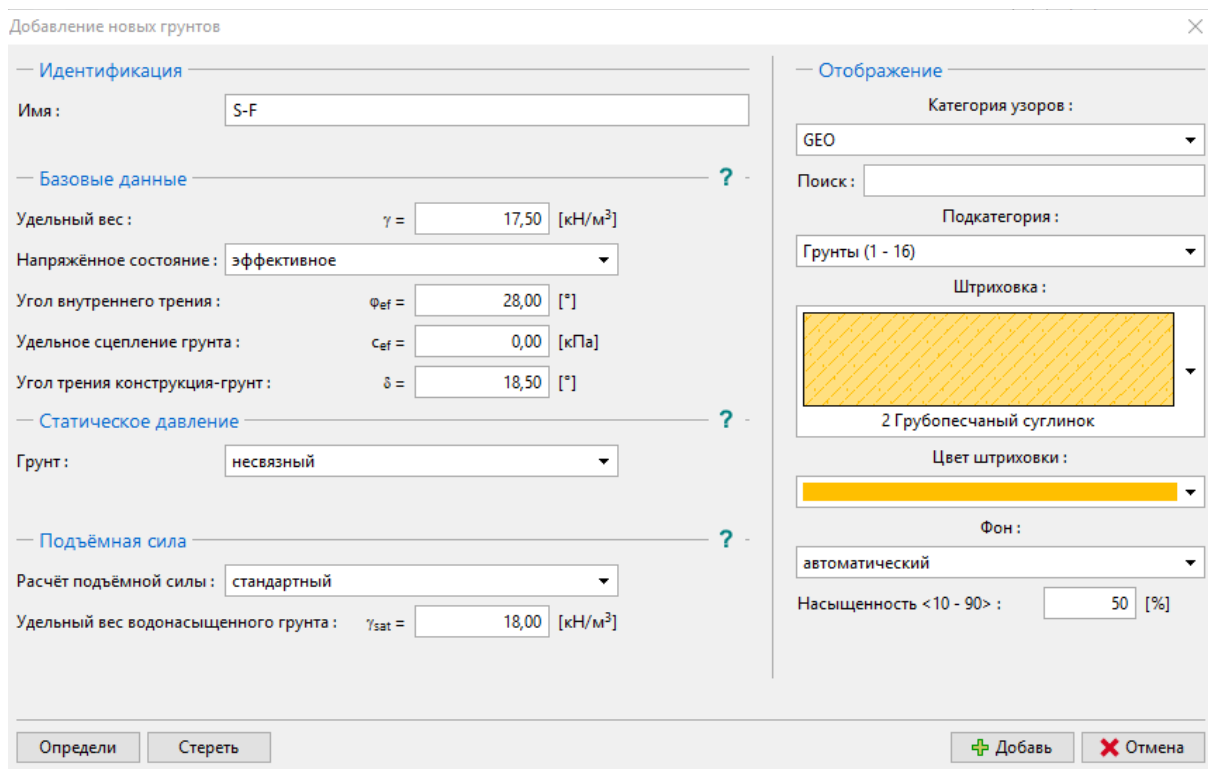
☒ Глубина границ контура : z = 4,00 [м]

☐ Толщина слоя : t = [м]

Добавь Отмена

Вкладка «Профиль»

Далее следует перейти во вкладку «Грунты». Здесь вводятся параметры грунтов, как показано на рисунках ниже, путем нажатия кнопки «Добавить». Сначала добавляется слой грунта S-F, залегающий за стенкой. Далее добавляется слой MS, слагающий основание.



Добавление новых грунтов

Идентификация

Имя : S-F

Базовые данные

Удельный вес :  $\gamma = 17,50$  [кН/м³]

Напряжённое состояние : эффективное

Угол внутреннего трения :  $\varphi_{ef} = 28,00$  [°]

Удельное сцепление грунта :  $c_{ef} = 0,00$  [кПа]

Угол трения конструкция-грунт :  $\delta = 18,50$  [°]

Статическое давление

Грунт : несвязный

Подъёмная сила

Расчёт подъёмной силы : стандартный

Удельный вес водонасыщенного грунта :  $\gamma_{sat} = 18,00$  [кН/м³]

Отображение

Категория узоров : GEO

Поиск :

Подкатегория : Грунты (1 - 16)

Штриховка :

2 Грубopесчаный суглинок

Цвет штриховки :

Фон : автоматический

Насыщенность <10 - 90> : 50 [%]

Определи Стереть

Добавь Отмена

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - добавление грунта S-F

Идентификация

Имя : MS

Базовые данные

Удельный вес :  $\gamma =$  18,00 [кН/м³]  
Напряжённое состояние : эффективное  
Угол внутреннего трения :  $\phi_{ef} =$  26,50 [°]  
Удельное сцепление грунта :  $c_{ef} =$  30,00 [кПа]  
Угол трения конструкция-грунт :  $\delta =$  17,50 [°]


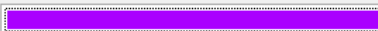
Статическое давление

Грунт : несвязный

Подъёмная сила

Расчёт подъёмной силы : стандартный  
Удельный вес водонасыщенного грунта :  $\gamma_{sat} =$  18,50 [кН/м³]

Отображение

Категория узоров : GEO  
Поиск :  
Подкатегория : Грунты (1 - 16)  
Штриховка :  
  
1 Ил  
Цвет штриховки :  
  
Фон : автоматический  
Насыщенность <10 - 90> : 50 [%]

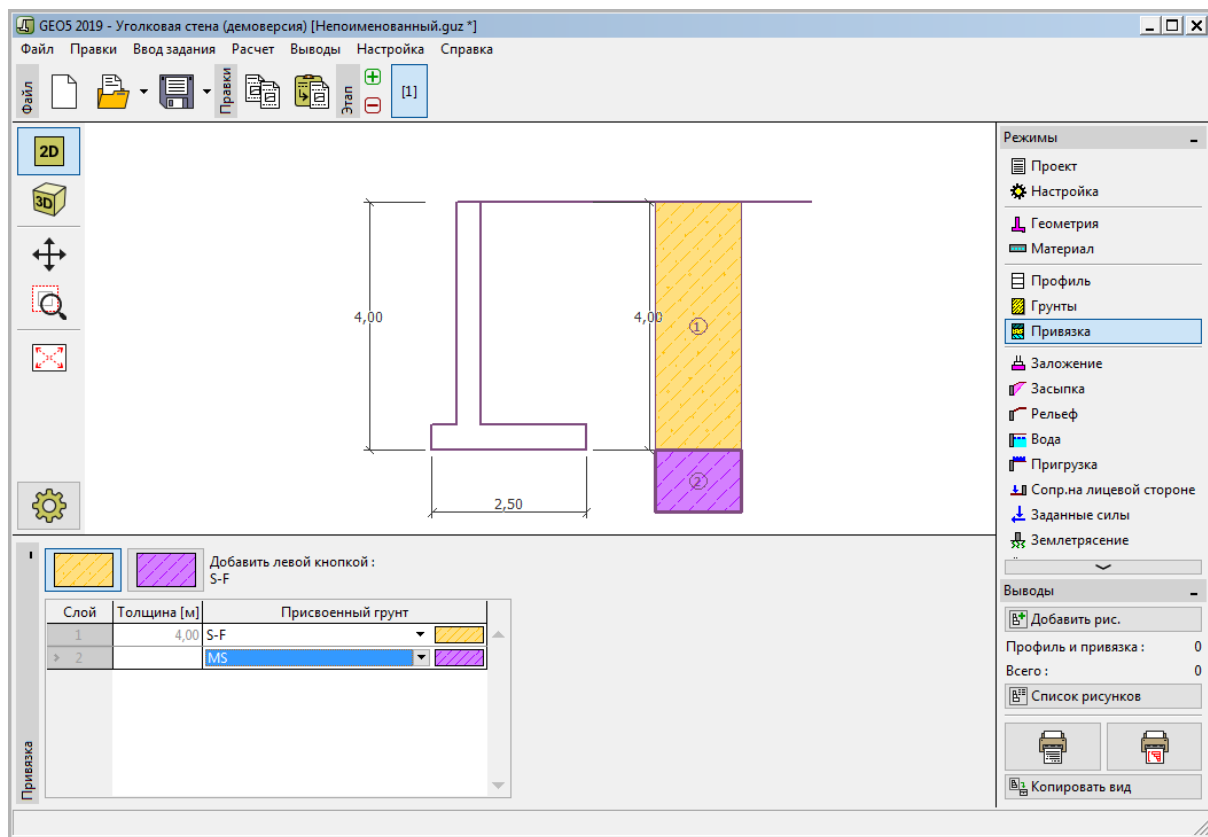
Определить
Стереть

Добавь
Отмена

Диалоговое окно «Добавление новых грунтов» - добавление грунта MS

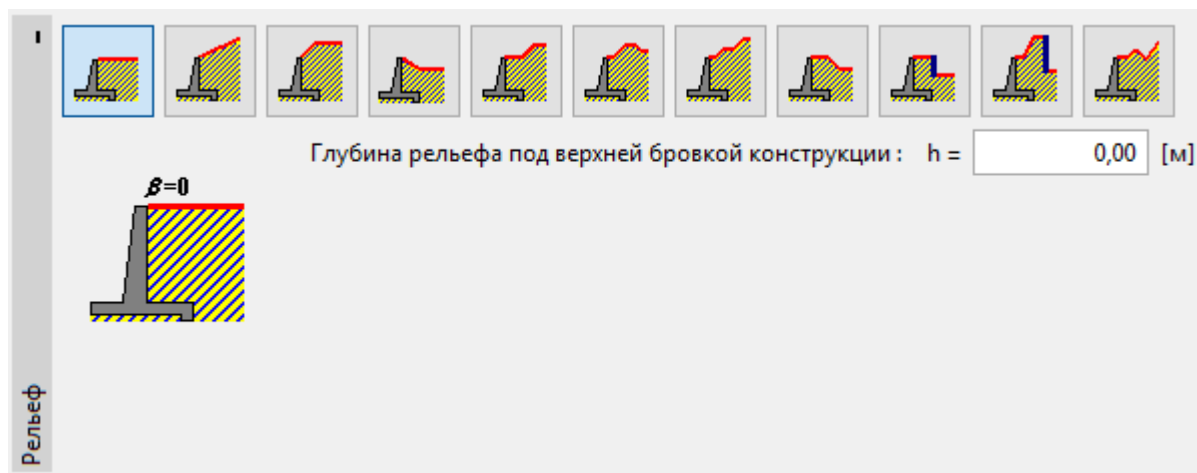
Примечание: величина активного давления так же зависит от трения между конструкцией и грунтом. Угол трения зависит от материала сооружения и угла внутреннего трения грунта - обычно принимается в диапазоне  $\delta \approx \left( \frac{1}{3} \div \frac{2}{3} \right) \cdot \phi_{ef}$ .

Грунты присваиваются геологическим слоям во вкладке «Привязка».



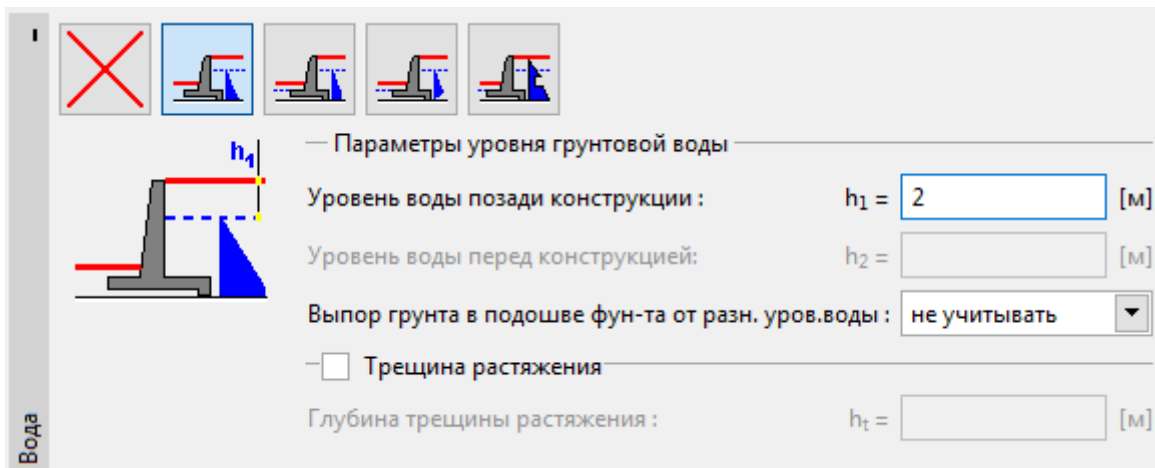
Вкладка «Привязка»

Во вкладке «Рельеф» необходимо выбрать горизонтальную форму рельефа.



Вкладка «Рельеф»

Уровень грунтовых вод залегает на глубине 2,0 м. Следовательно, во вкладке «Вода» необходимо выбрать параметры грунтовых вод, как показано на рисунке ниже.



Вода

— Параметры уровня грунтовой воды —

Уровень воды позади конструкции :  $h_1 = 2$  [м]

Уровень воды перед конструкцией:  $h_2 =$  [м]

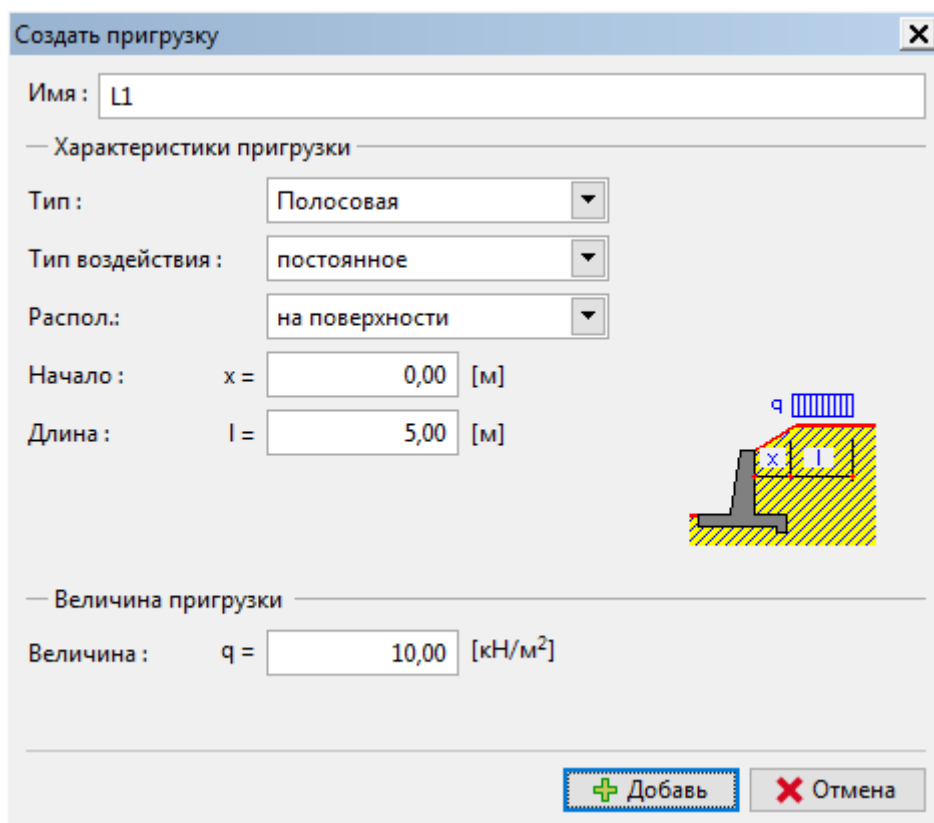
Выпор грунта в подошве фун-та от разн. уров. воды : не учитывать ▼

☐ Трещина растяжения

Глубина трещины растяжения :  $h_t =$  [м]

Вкладка «Вода»

Далее переходим во вкладку «Пригрузка». Здесь необходимо выбрать постоянную полосовую пригрузку интенсивностью  $10 \text{ кН/м}^3$ , статически действующую на грунт за стенкой.



Создать пригрузку

Имя : L1

— Характеристики пригрузки —

Тип : Полосовая ▼

Тип воздействия : постоянное ▼

Распол.: на поверхности ▼

Начало :  $x = 0,00$  [м]

Длина :  $l = 5,00$  [м]

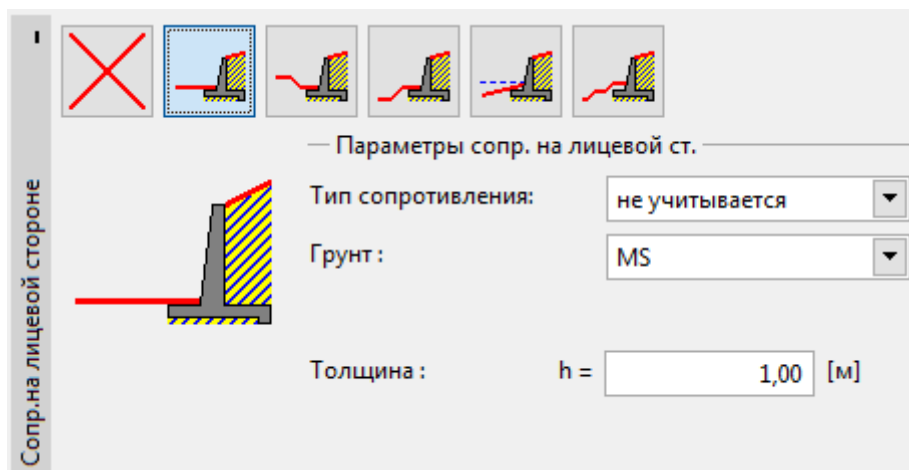
— Величина пригрузки —

Величина :  $q = 10,00$  [кН/м<sup>2</sup>]

+ Добавить ✕ Отмена

Диалоговое окно «Создать пригрузку»

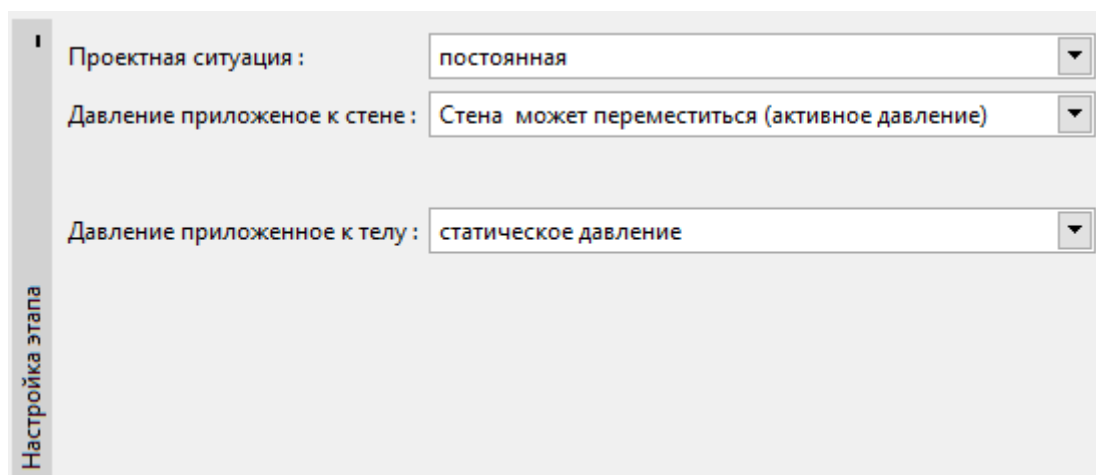
Во вкладке «Сопротивление на лицевой стороне» необходимо выбрать форму рельефа перед стенкой и определить прочие параметры сопротивления на лицевой стороне.



Вкладка «Сопротивление на лицевой стороне»

Примечание: в этом случае не рассматривается сопротивление на лицевой поверхности, в связи с чем результат расчета будет иметь запас. Сопротивление на лицевой поверхности зависит от качества грунта и допустимого перемещения конструкции. Можно рассматривать давление покоя для ненарушенного грунта или хорошо уплотненного грунта. Пассивное давление может учитываться только при допускаемых перемещениях конструкции. (более подробная информация представлена в Справке - F1)

Далее во вкладке «Настройка этапа» необходимо выбрать расчетный случай (проектную ситуацию). В этом случае рассматриваются постоянные нагрузки. Так же следует выбрать давление, действующее на стенку. В этом случае следует выбрать активное давление, так как допускаются перемещения стенки.

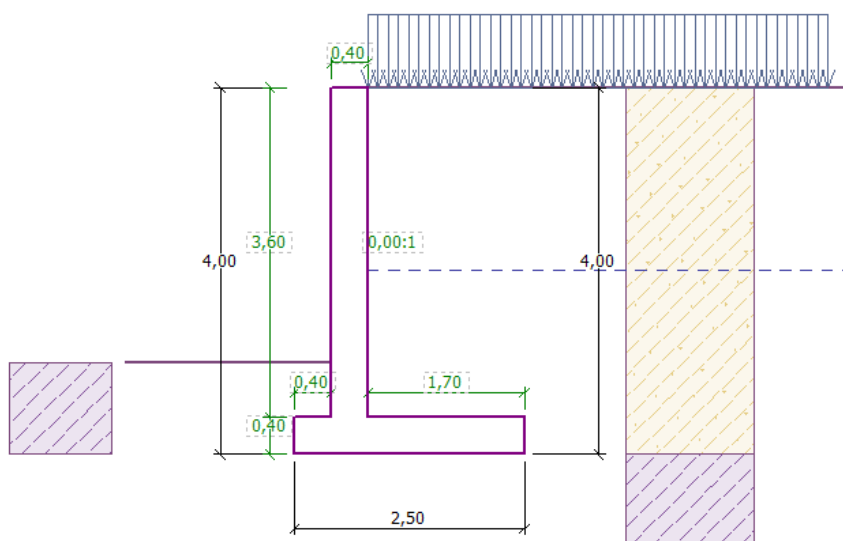


Вкладка «Настройка этапа»



Примечание: размеры вертикального элемента стенки обычно определяются для давления грунта в состоянии покоя, то есть при отсутствующих перемещениях стенки. Возможность расчета геометрических размеров стенки для активного давления рассматривается только в исключительных случаях, таких как действие землетрясения (расчет сейсмического воздействия с частным коэффициентом, равным 1,0).

Теперь задача выглядит следующим образом:



Проектируемая конструкция

Далее во вкладке «Проверка» можно просмотреть результаты расчета устойчивости и скольжения консольной стенки.

Проверка: <span>+</span> <span>-</span> [1]							Подробно	
№ силы	Сила	$F_x$ [кН/м]	$F_z$ [кН/м]	Точ. прил. x [м]	z [м]	Вторич. нагрузка		
1	Тяж.- стена	0,00	61,00	0,87	-1,38			
2	Тяж.- грунтовой клин	0,00	23,55	1,31	-1,54			
3	Акт. давл.	-42,28	60,25	1,80	-1,46			
4	Напор воды	-20,00	0,00	0,80	-0,67			
5	Подъемная сила воды	0,00	0,00	0,80	-4,00			
6	Σ	-7,99	8,67	1,61	-2,08			

— Проверка

ОПРОКИДЫВАНИЕ: **ПОДХОДИТ** (52,7%)

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ: **НЕ ПОДХОДИТ** (124,5%)

Вкладка «Проверка»

Примечание: кнопка «Подробно» в правом углу вкладки открывает диалоговое окно с подробной информацией о результатах расчета.

### Результаты расчета:

Условие сопротивления скольжению не удовлетворяется. Конструкция работает следующим образом:

- Опрокидывание: 52,7 %  $M_{res} = 208,17 > M_{ovr} = 109,75$  [кНм/м] **ПОДХОДИТ**
- Скольжение: 124,5 %  $H_{res} = 65,74 < H_{act} = 81,83$  [кНм/м] **НЕ ПОДХОДИТ**

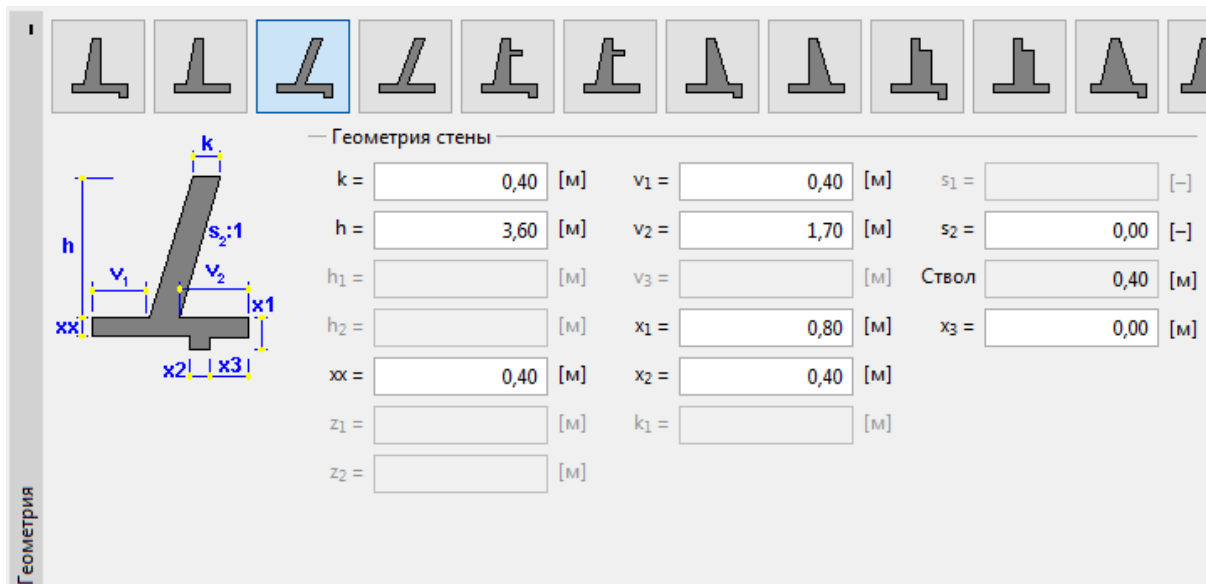
Имеется несколько возможностей оптимизации проектного решения, например:

- Использовать грунт с лучшими параметрами за стенкой;
- Выполнить анкеровку опоры стенки;
- Увеличить трение путем задания наклона подошвы опоры;
- Выполнить анкеровку вертикального элемента.

Эти изменения ведут к экономическим и технологическим осложнениям, вместо чего можно использовать более простое решение. Наиболее эффективным способом решения будет изменение формы стенки и добавление упорного зуба.

## Изменение расчетной схемы: изменение формы и геометрии стенки

Необходимо вернуться во вкладку «Геометрия» и изменить форму консольной подпорной стенки. Для увеличения сопротивления скольжению добавляется упорный зуб. Следует изменить форму стенки и значения  $x_1$  и  $x_2$  как показано на рисунке.



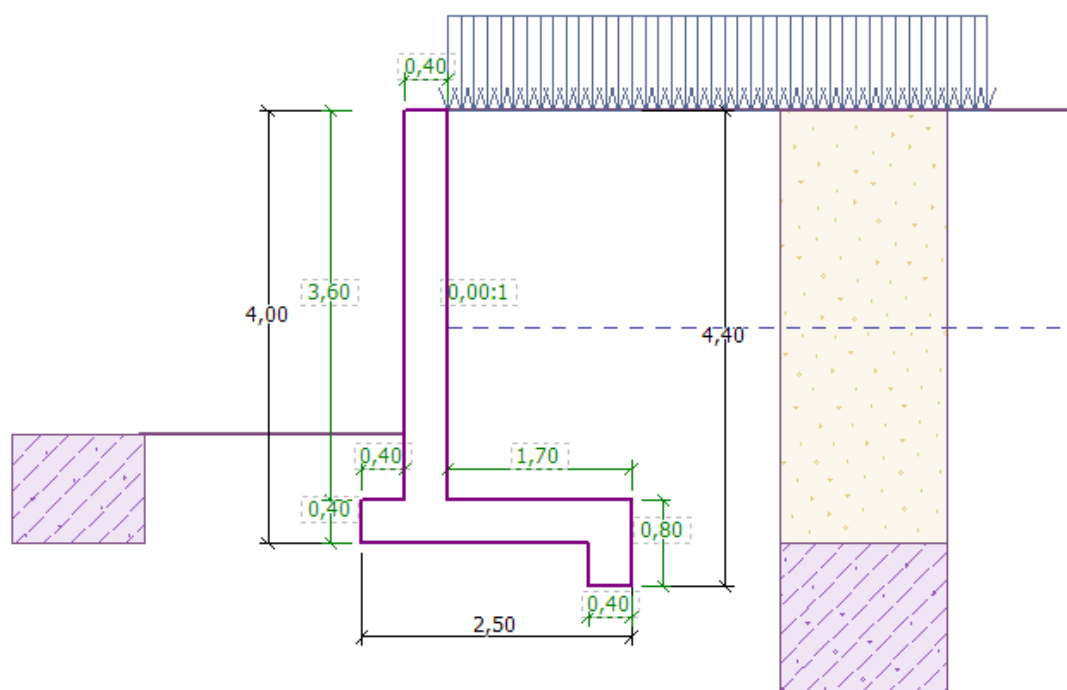
Геометрия

— Геометрия стены

$k =$	0,40 [м]	$v_1 =$	0,40 [м]	$s_1 =$	[-]
$h =$	3,60 [м]	$v_2 =$	1,70 [м]	$s_2 =$	0,00 [-]
$h_1 =$	[м]	$v_3 =$	[м]	Ствол	0,40 [м]
$h_2 =$	[м]	$x_1 =$	0,80 [м]	$x_3 =$	0,00 [м]
$xx =$	0,40 [м]	$x_2 =$	0,40 [м]		
$z_1 =$	[м]	$k_1 =$	[м]		
$z_2 =$	[м]				

Вкладка «Геометрия» (изменение размеров консольной подпорной стенки)

Примечание: упорный зуб обычно рассчитывается как наклонная подошва опоры. Если работа упорного зуба учитывается как сопротивление лицевой поверхности, программа рассчитывает поверхность подошвы как горизонтальную, но сопротивление по лицевой поверхности рассчитывается на глубину до нижней точки зуба (более подробная информация представлена в Справке - F1).



Новая форма конструкция

Теперь выполним расчет новой формы конструкции на опрокидывание и скольжение по подошве.

Проверка: <span style="color: green;">+</span> <span style="color: red;">-</span> [1]						
№ силы	Сила	$F_x$ [кН/м]	$F_z$ [кН/м]	Точ. прил. x [м] z [м]		Вторич. нагрузка
1	Тяж.- стена	0,00	65,00	0,95	-1,28	
2	Тяж.- грунтовой клин	0,00	23,55	1,31	-1,54	
3	Акт. давл.	-42,28	60,25	1,80	-1,46	
4	Напор воды	-28,80	0,00	0,80	-0,40	
5	Подъёмная сила воды	0,00	0,00	0,80	-4,00	
6	L1	-7,99	9,06	1,65	-2,08	

— Проверка

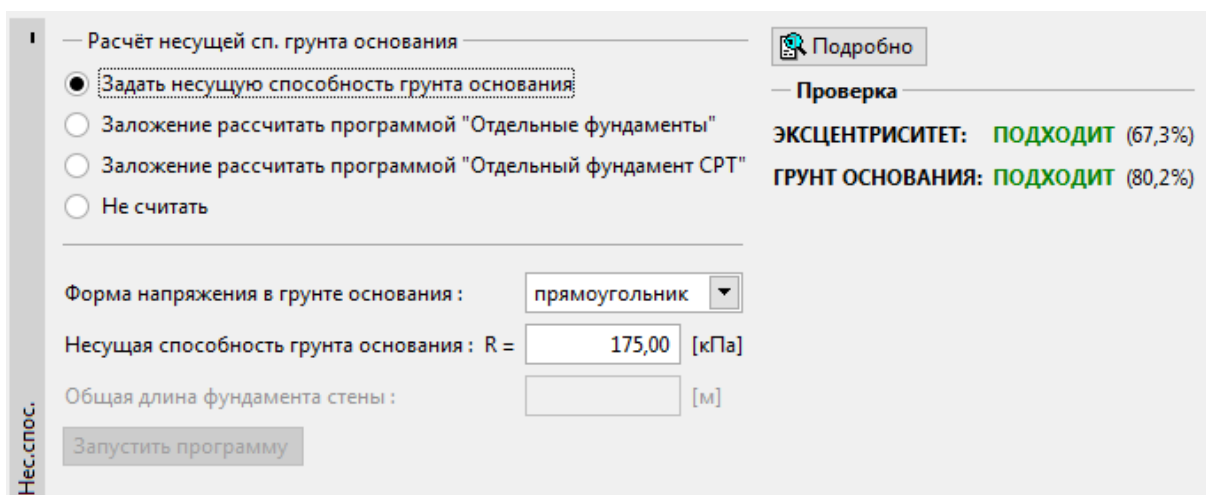
ОПРОКИДЫВАНИЕ: ПОДХОДИТ (49,4%)

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ: ПОДХОДИТ (64,9%)

Вкладка «Проверка»

Теперь условие устойчивости против опрокидывания и скольжения по подошве выполняются (49,4% и 64,9%, соответственно).

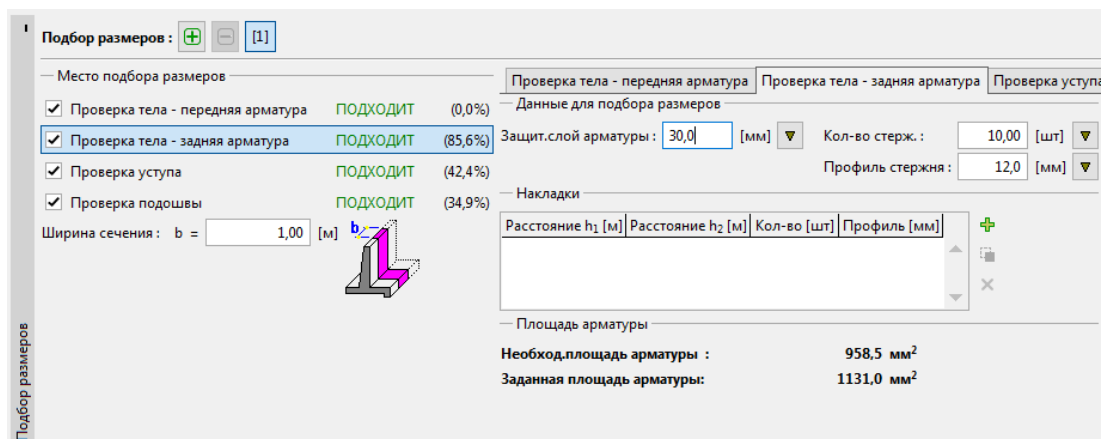
Далее во вкладке «Несущая способность» выполняется расчет для несущей способности грунта основания - 175 кПа.



Вкладка «Несущая способность»

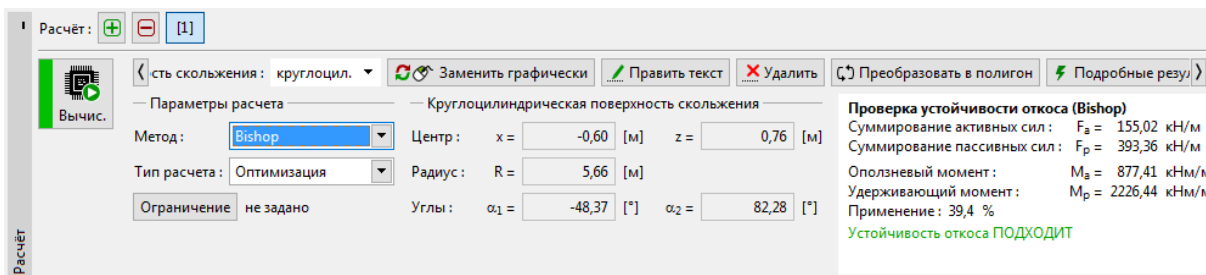
Примечание: в этом случае несущая способность грунта основания рассматривалась в качестве входного параметра, который может быть получен из результатов инженерно-геологических изысканий, либо нормативных документов. Эти значения обычно обеспечивают значительный запас, поэтому предпочтительнее рассчитывать несущую способность грунта основания в программе «Отдельный фундамент», которая учитывает наклон нагрузки, глубину фундамента и так далее.

Далее во вкладке «Подбор размеров» выполняется проверка вертикального элемента конструкции (стенки). В качестве основного армирования принимается 10 стержней  $\varnothing$  12 мм, что удовлетворяет принципам проектирования.



Вкладка «Подбор размеров»

Далее следует перейти во вкладку «Устойчивость», где оценивается общая устойчивость стенки. Это приведет к открытию программы «Устойчивость откоса», где необходимо перейти во вкладку «Расчет». В данном случае используется метод Бишопа, который дает достаточно консервативные результаты. Необходимо выполнить расчет с **оптимизацией круглоцилиндрической поверхности скольжения**, нажать кнопку «Расчет» для выполнения расчета и после его завершения выйти из программы выбором пункта меню «Файл/ Передать данные и выйти». Результаты будут импортированы в отчет программы «Угловая стена».



Программа «Устойчивость откоса» - вкладка «Расчет»

## Выводы:

Результат расчета:

Опрокидывание: 49,4 %       $M_{res} = 218,35 > M_{ovr} = 107,94$  [кНм/м] **УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО**

Скольжение: 64,9 %       $H_{res} = 99,26 > H_{act} = 64,38$  [кН/м] **УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО**

Несущая способность: 80,2 %       $R_d = 175 > \sigma = 140,31$  [кПа] **УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО**

Армирование стенки: 85,4 %       $M_{Rd} = 169,92 > M_{Ed} = 145,18$  [кНм] **УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО**

Общая устойчивость: 39,4 %      Метод - Бишоп (оптимизация) **УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО**

Данная консольная подпорная стенка **УДОВЛЕТВОРЯЕТ** требованиям.