

## Укрепление откоса с помощью стабилизирующих свай

Программа: Устойчивость откоса, Стабилизирующая свая

Файл: Demo\_manual\_19.gst

### Введение

Стабилизирующие сваи используются для стабилизации больших оползней. Эта конструкция похожа на стену из свай, которая полностью (или почти полностью) находится в теле откоса. Данная свайная стена пересекает поверхность скольжения и способствует удержанию от сползания. Обычно сваи круглого или квадратного сечения большой площади.

Откос, который мы хотим удержать, используя стабилизирующие сваи, должен удовлетворять нескольким условиям. Прежде всего, мы должны знать положение поверхности скольжения (ее глубину от поверхности рельефа в месте расположения стабилизирующей сваи). Другая важная составляющая – состояние грунта (скального или дисперсного) ниже поверхности скольжения. Он не должен быть размыт или ослаблен, потому что должен будет передавать нагрузку от свай.

Расчет стабилизирующих свай может быть разделен на две части. Первая – мы должны решить вопрос общей устойчивости откоса. На этом этапе используется программа *GEO5 – Устойчивость откоса*. Используя эту программу, мы получим силы, которые должны действовать на сваю при условии обеспечения требуемого коэффициента запаса. Если мы не знаем точного положения поверхности скольжения (например, при геологических изысканиях), мы можем определить это в программе с помощью оптимизации. Процесс оптимизации поможет найти худшее положение поверхности скольжения (критическое, с наименьшим коэффициентом запаса). Вторая часть расчета – решение, полученное в программе *Стабилизирующая свая*. В этой программе мы должны запроектировать и проверить сваи. Результатом этого расчета будет распределение внутренних усилий и горизонтальное перемещение свай.

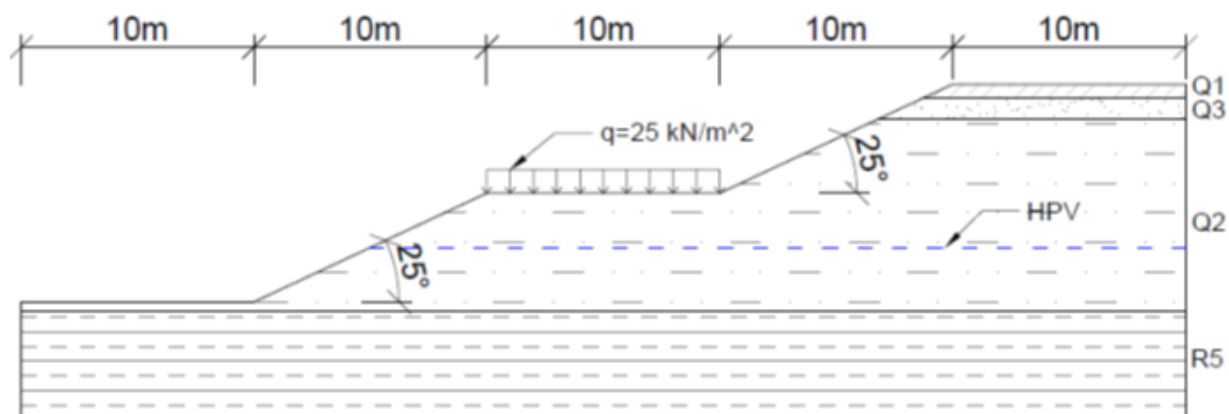
Пример использования стабилизирующих свай для удержания откоса с дорогой показан на рисунке ниже. В инженерном руководстве будет показано пошаговое решение подобных задач.



*Стабилизирующие сваи (все ниже поверхности рельефа)*

### Постановка задачи

Проектирование и анализ стабилизации склона с использованием стабилизирующих свай производится в соответствии со схемой ниже. Коэффициент запаса склона в целом должен быть по меньшей мере  $SF=2,0$ . Стабилизация рассматривается как постоянная проектная ситуация.



*Схема задачи*

Пригрузка от дороги имеет величину  $25 \text{ кН/м}^2$ .

Геотехнические характеристики в рассматриваемом участке описаны в таблице:

Слой	Глубина (м)	ČSN 73 1001	$\gamma/\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi_{\text{ef}}$ (°)	$c_{\text{ef}}$ (кПа)	$E_{\text{def}}$ (МПа)	$\nu$ (-)
Суглинок низкой пластичности F5/ML0 (Q1)	0,0 - 0,6	F5/ML	21/22	20	14	4	0,4
Глинистый песок (Q3)	0,6 - 1,5	F4/CS	18,5/19,5	26	4	8	0,35
Опесчаненная глина (Q2)	1,5 - 9,72	S5/SC	18/18,5	22	5	5	0,35
Сильно выветрелый сланец (R5)	9,72 - 17	R5	24/24,2	29	30	15	0,35

Геотехнические характеристики

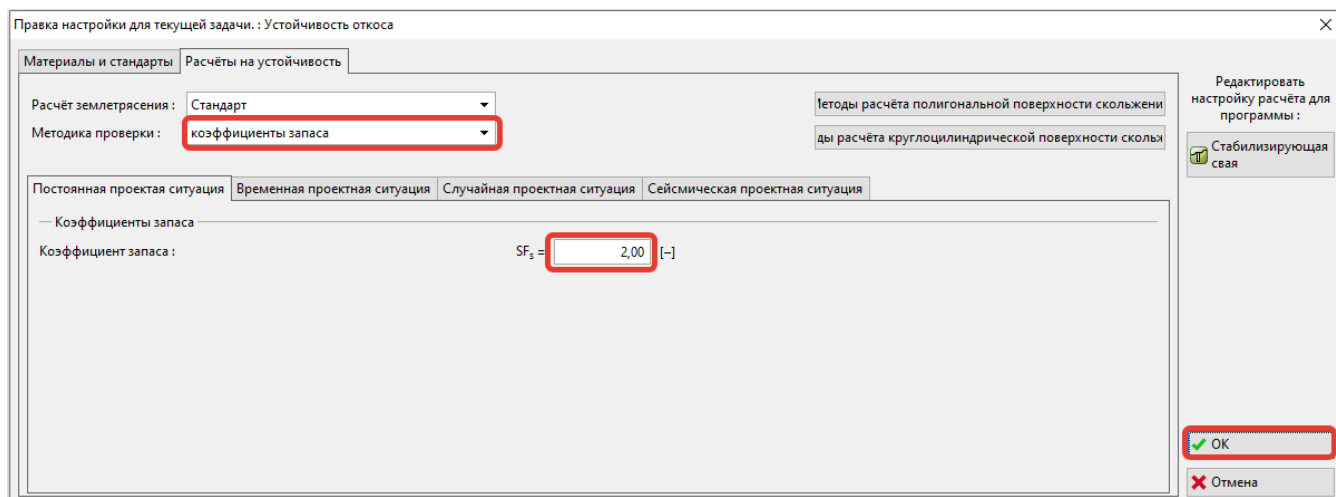
Уровень грунтовой воды находится на глубине 7 м.

## Решение

Первая часть решения – это моделирование полной задачи в программе GEO5 – Устойчивость откоса. Процесс моделирования задачи уже разъяснен в инженерном руководстве [№8 \(Расчет устойчивости откоса\)](#). Поэтому здесь описана только часть расчета, связанная с анализом стабилизирующей сваи.

### Оценка существующего откоса – стадия проектирования 1

Сначала изменим основные настройки задачи, используя кнопку «Редактировать» во вкладке «Настройка». Зададим методику проверки как «Коэффициенты запаса» и увеличим значение коэффициента запаса до  $SF_3=2,0$ .



Правка настройки для текущей задачи.: Устойчивость откоса

Материалы и стандарты | Расчёты на устойчивость

Расчёт землетрясения: Стандарт

Методика проверки: коэффициенты запаса

Методы расчёта полигональной поверхности скольжения

Методы расчёта круглоцилиндрической поверхности скольжения

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

— Коэффициенты запаса

Коэффициент запаса:  $SF_3 = 2,00$  [-]

Редактировать настройку расчёта для программы:

Стабилизирующая свая

OK

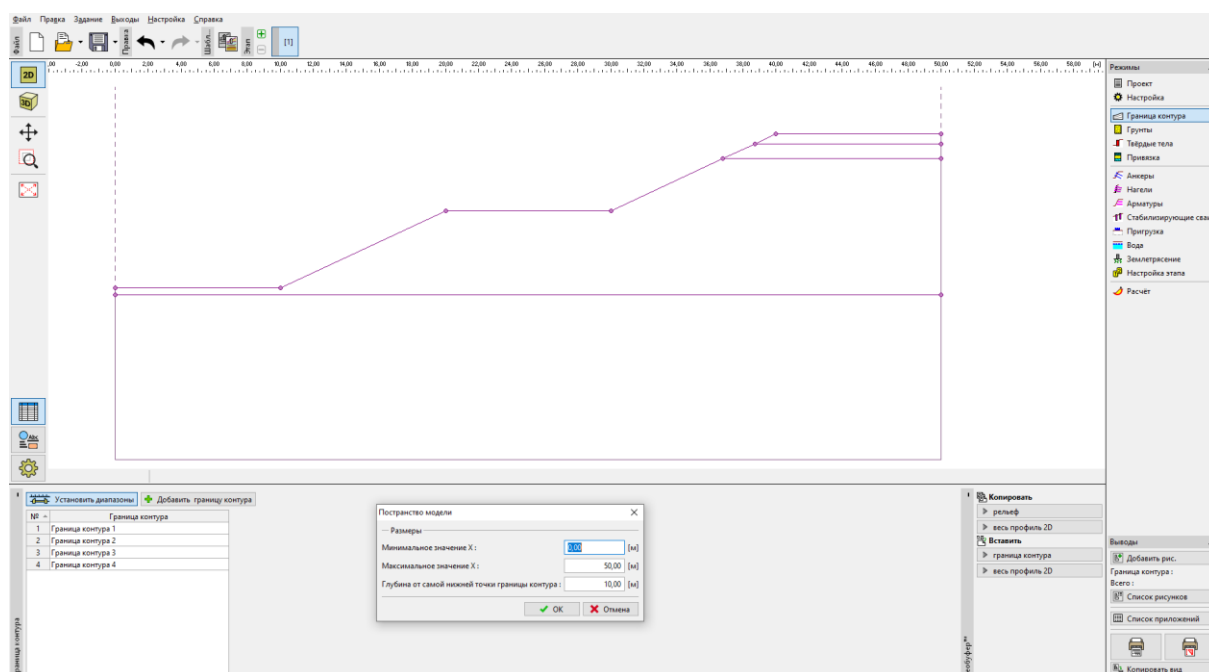
Отмена

Вкладка «Настройка»

Во вкладке «Границы» задаем диапазоны и моделируем форму рельефа и границы слоев между геологическими слоями, задавая координаты каждой точки. Координаты точек представлены в таблице:

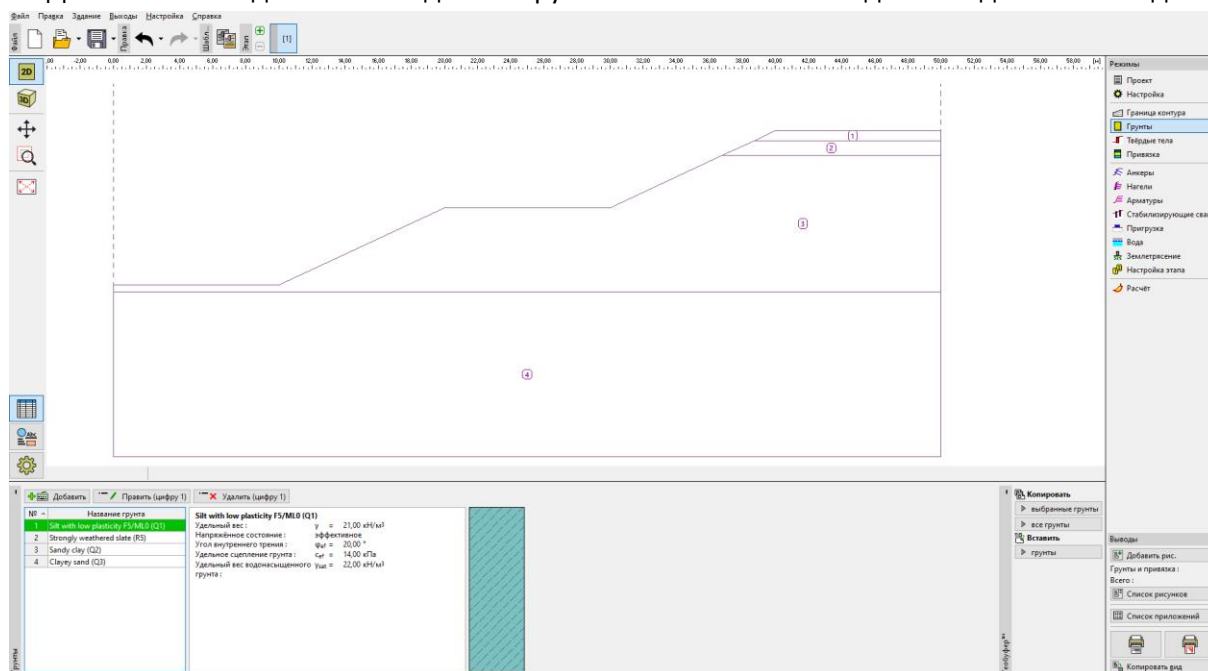
Interface 1			Interface 2			Interface 3			Interface 4		
➤	1	0,00	0,00	➤	1	38,71	8,72	➤	1	0,00	-0,40
	2	10,00	0,00		2	50,00	8,72		2	50,00	-0,40
	3	20,00	4,66								
	4	30,00	4,66								
	5	36,78	7,82								
	6	38,71	8,72								
	7	40,00	9,32								
	8	50,00	9,32								

*Координаты границ*



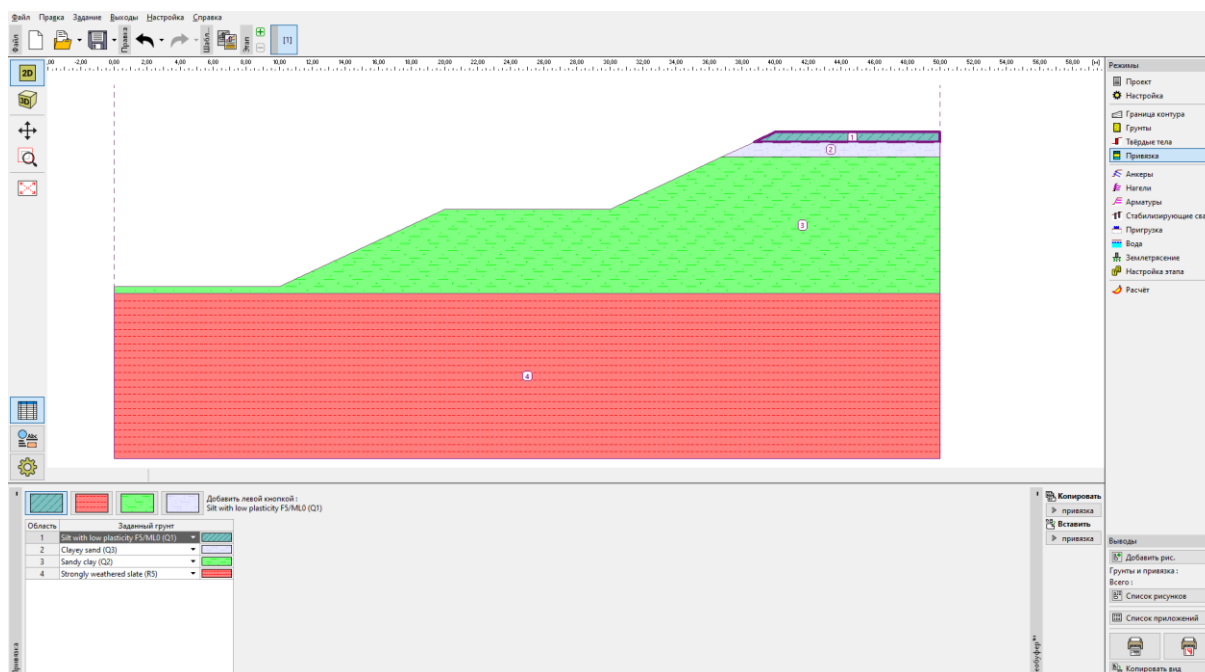
*Вкладка “Граница контура” – Ввод диапазонов*

Далее мы должны задать грунты согласно исходным данным задачи.



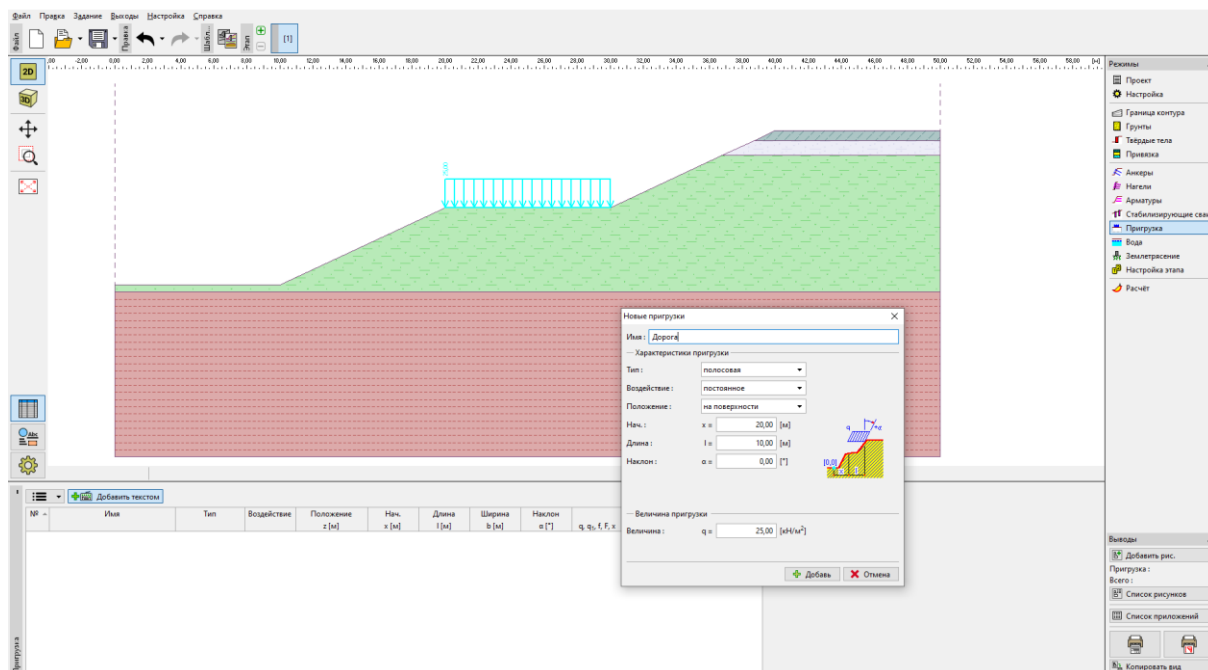
Вкладка "Грунты"

Во вкладке "Привязка" присваиваем добавленные грунты геологическим слоям.



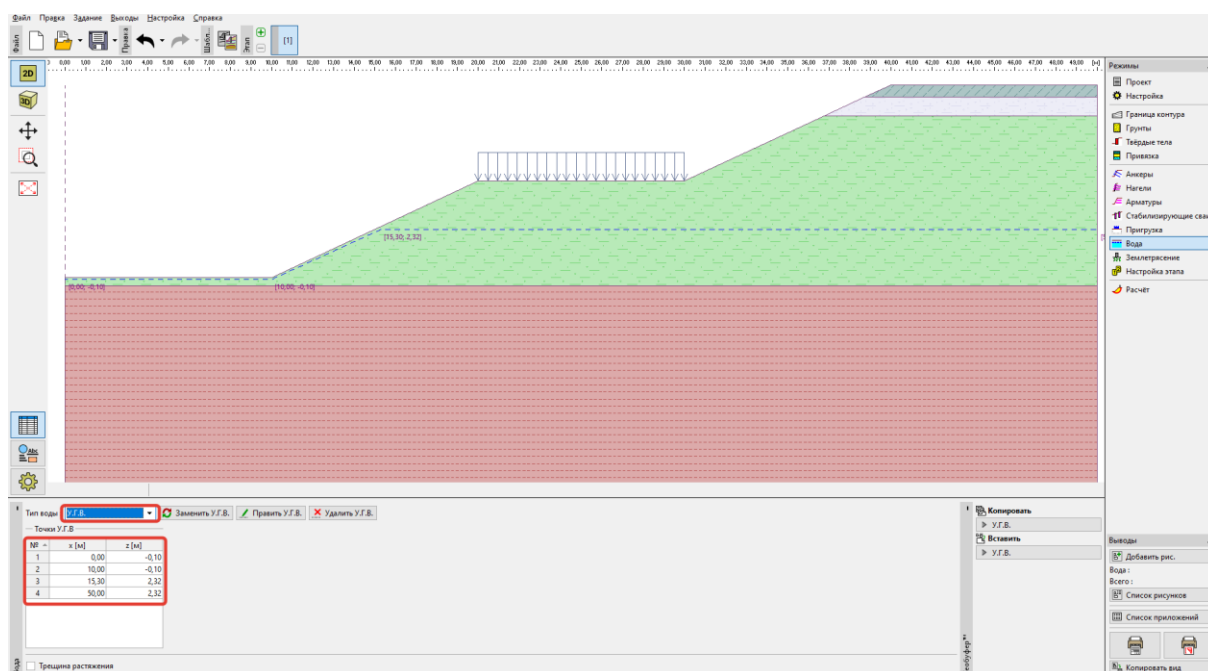
Вкладка "Привязка"

Следующим шагом мы задаем пригрузку от дороги. Она действует как полосовая постоянная пригрузка и составляет 25 кПа.



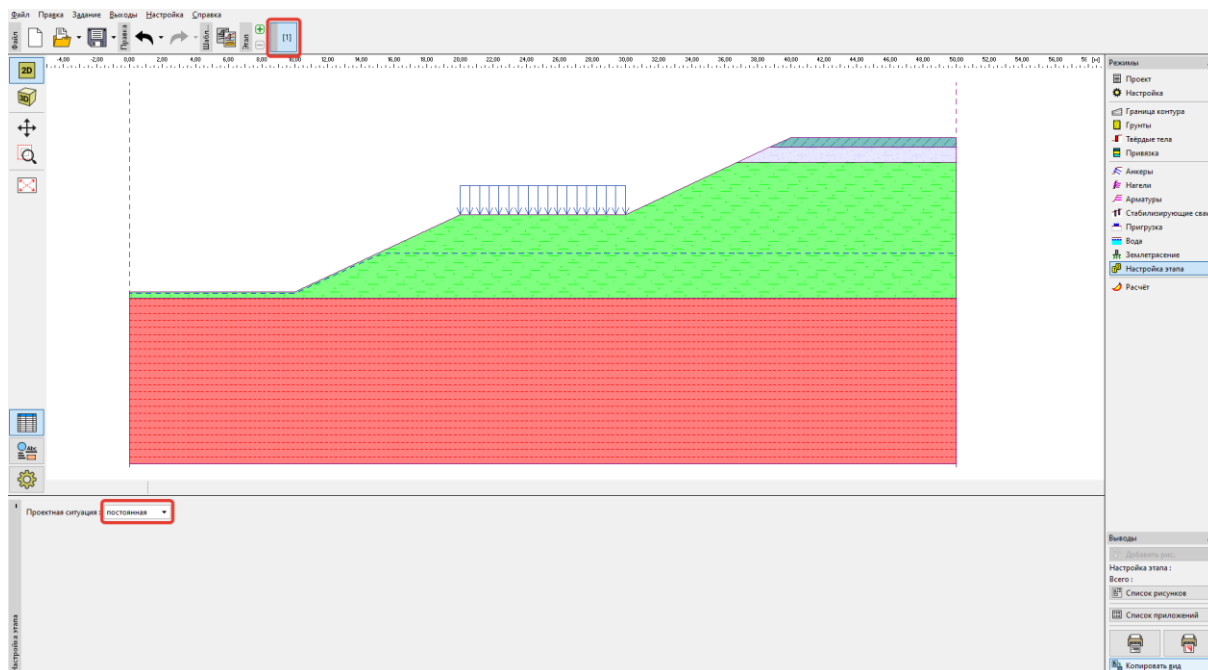
Вкладка “Пригрузка”

Во вкладке “Вода” добавляем координаты точек УГВ.



Вкладка “Вода”

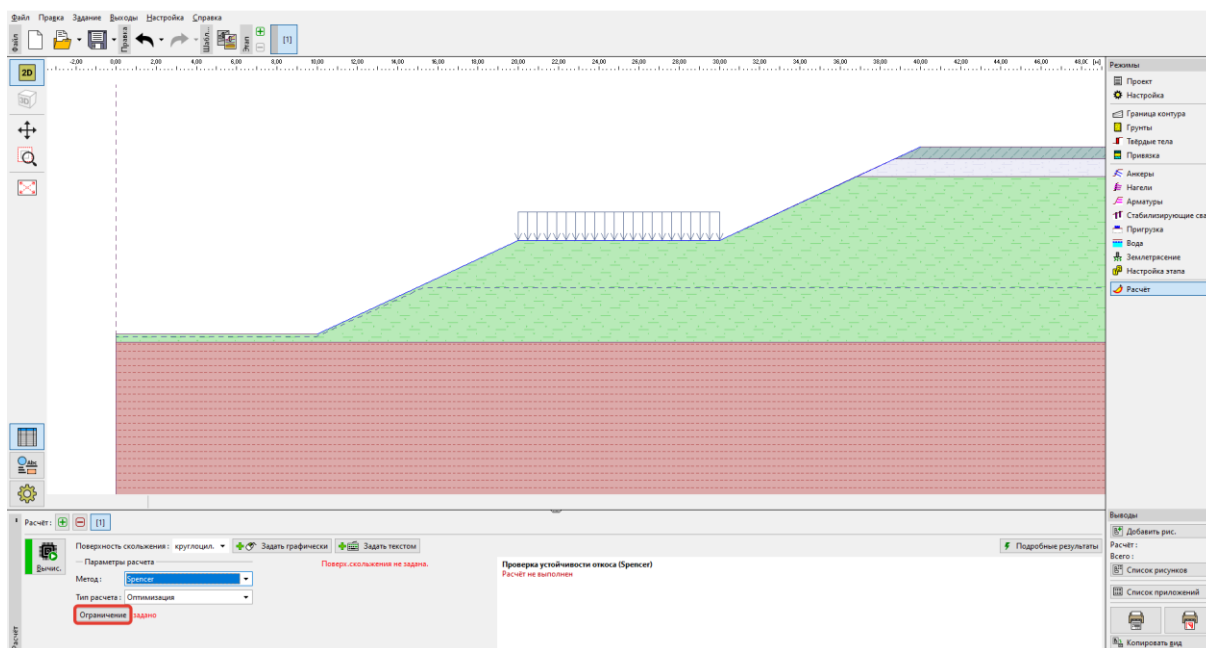
Мы ищем решение в долгосрочной перспективе, поэтому проектную ситуацию определяем – “постоянная”.



Вкладка “Настройка этапа”

Переходим ко вкладке “Расчет”. Мы можем использовать несколько различных методов для расчета устойчивости откоса. Сравнение и дополнительная информация для каждого метода – часть Технического руководства [No. 8 \(Расчет устойчивости откоса\)](#).

Мы собираемся решить проблему **общей** устойчивости откоса. Мы не хотим анализировать частично верхний или нижний откос. Поэтому мы зададим ограничительные линии на рельефе откоса. Это означает, что во время оптимизации будет найдена глобальная поверхность скольжения.



Вкладка “Расчет” - Ограничения



Ограничения и параметры

Добавить графически + Добавить текстом + Возврат в режим расчёт X

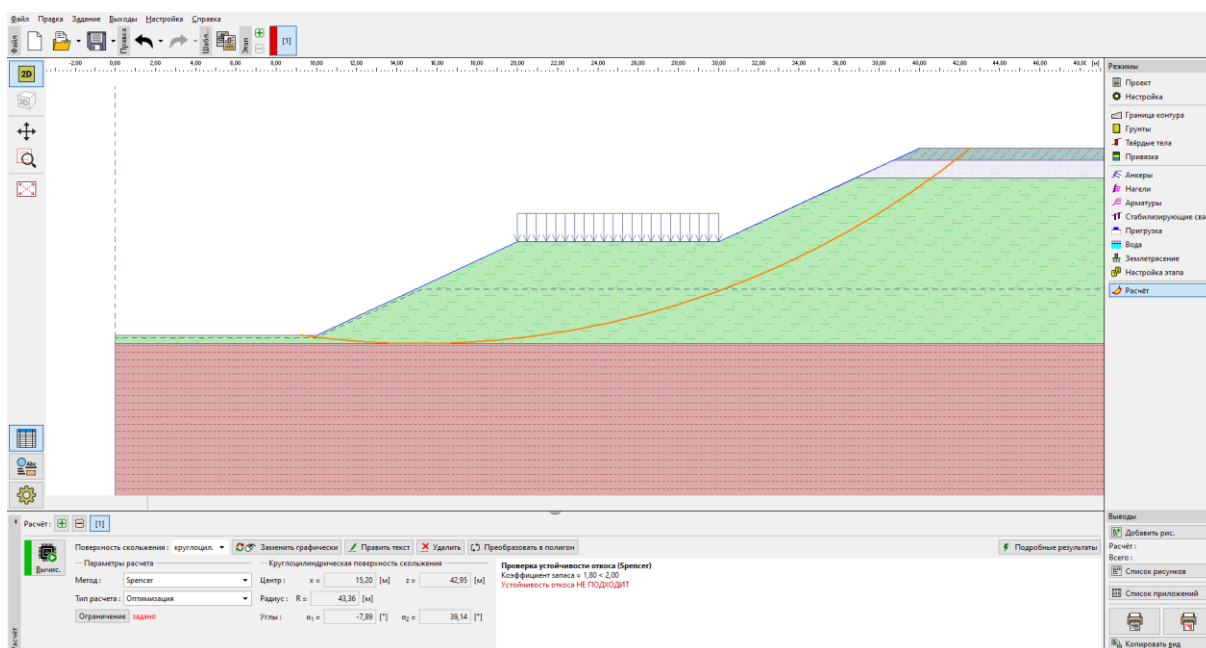
Ограничение оптимизации поверхности скольжения отрезками — Ограничение точек круглоцилиндрической поверхности скольжения —

№	Первая точка		Вторая точка		z [м]
	x [м]	z [м]	x [м]	z [м]	
1	10,00	0,00	20,00	4,66	
2	20,00	4,66	30,00	4,66	
3	30,00	4,66	40,00	9,32	

☐ Держать левую точку поверхности скольжения  
☐ Держать правую точку поверхности скольжения

### Ввод ограничения

Мы выбрали метод Спенсера для оптимизации круглоцилиндрической поверхности скольжения. Задать начальную форму поверхности скольжения можно произвольно. В процессе оптимизации будет найдено худшее положение.



### Вкладка "Расчёт"

**Примечание:** Для дальнейшего расчета необходимо знать величину сил, действующих на сваи. В программе Устойчивость откоса не все методы могут быть использованы для вычисления этих сил. Вы можете использовать один из этих методов: Шахунянец, Spenser, Janbu, Morgenstern-Price или ITFM.

**Примечание:** Выбор метода анализа и формы поверхности скольжения всегда на усмотрение проектировщика и зависит от его знаний и опыта. В инженерной практике полезно провести несколько расчетов с использованием разных методов и сравнить результаты.



*Примечание: Если мы точно знаем положение поверхности скольжения, мы не используем процедуру оптимизации. В этом случае выбираем в “Тип расчета” процедуру “Стандарт” и задаем поверхность скольжения вручную.*

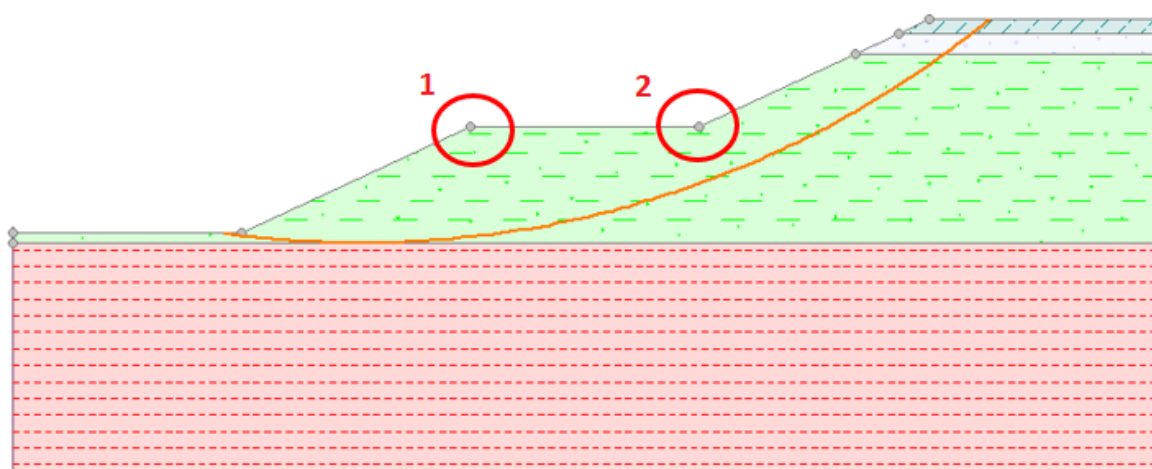
## Проектирование стабилизирующих свай

Перед расчетом свай переходим к другому этапу проектирования. Это позволит нам сравнить результаты расчетов со сваями и без них.

Во вкладке “Стабилизирующие сваи” у нас есть два способа добавления свай. Можно добавить графически – мышью, или текстом, путем задания координат верха свай и их длины. Возможна комбинация этих двух способов – задание положения графически ориентировочно и редактирование точного положения текстом.

*Примечание: Как правило мы не знаем идеального положения для ввода стабилизирующей сваи. Свая должна всегда пересекать поверхность скольжения и должна в любом случае погружаться в геологические слои с большей несущей способностью. Также важно учитывать технологические возможности устройства свай или анкеровки. Свая в середине крутого склона может улучшить его устойчивость, но вопрос в том, как это реализовать...*

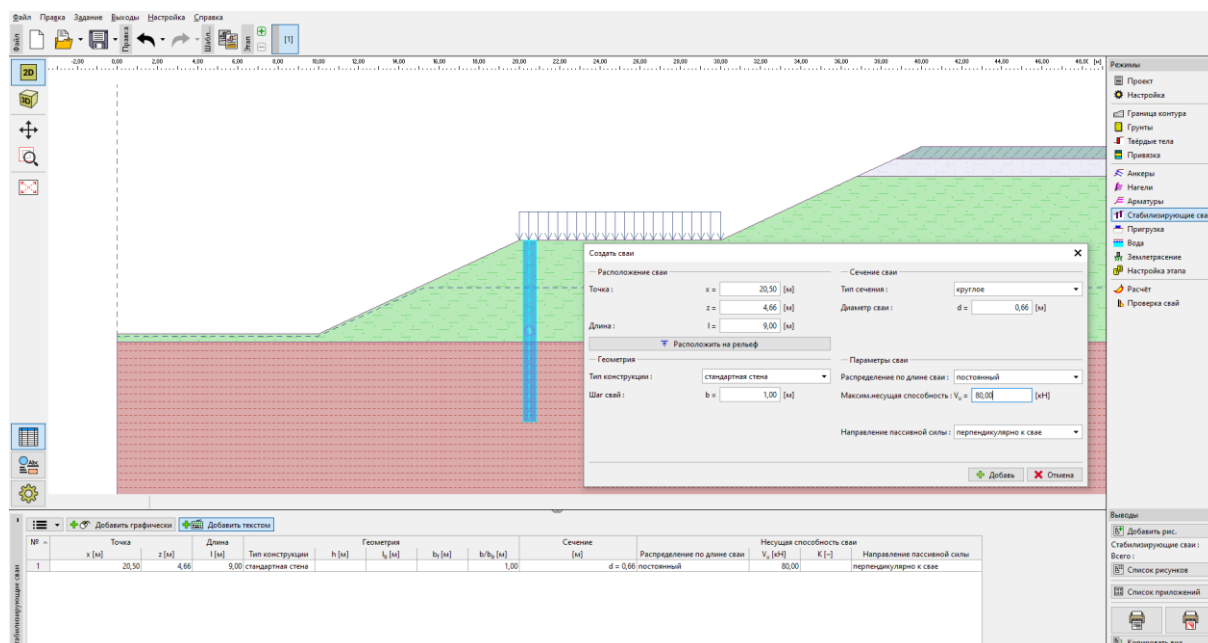
В нашем примере два варианта для вставки стабилизирующей сваи. Это показано на рисунке ниже.



*Возможное расположение при устройстве стабилизирующих свай*

Продemonстрируем решение для первой точки. Окончательное решение о расположении стабилизирующей сваи всегда остается за проектировщиком.

*Примечание: В случае перегруженных свай или если мы хотим сделать сечение свай меньшим, есть возможность для устройства свай в два ряда (в обеих точках).*

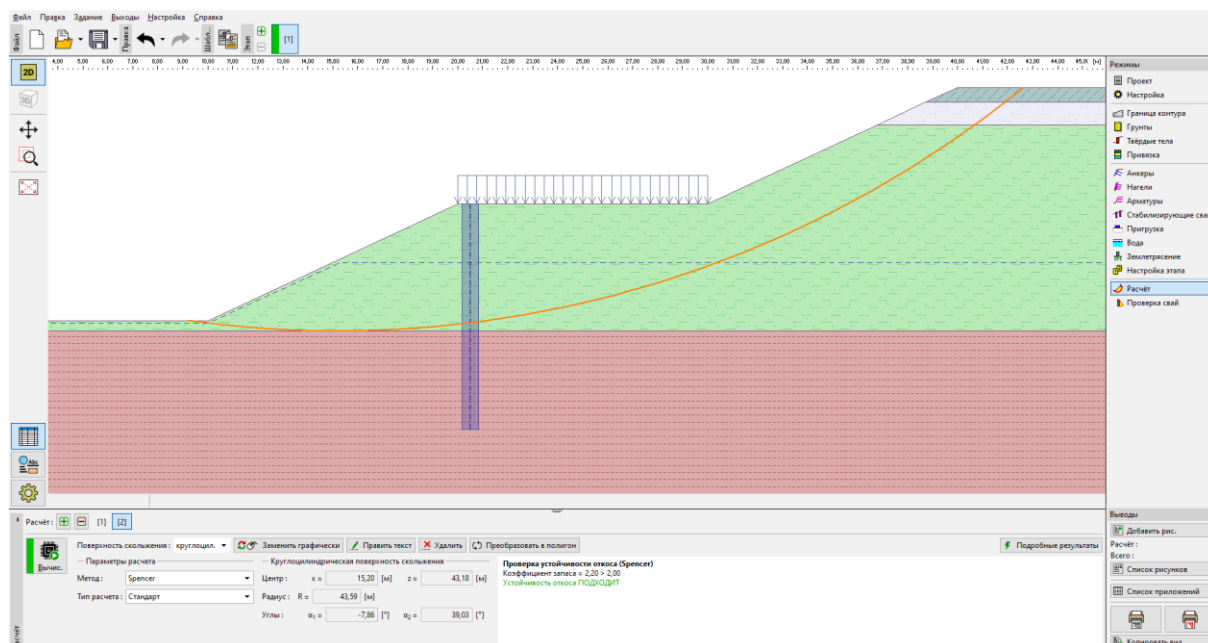


Вкладка “Стабилизирующие сваи” – добавление новой сваи

*Примечание: Кроме положения, шага и диаметра каждой сваи мы также должны задать их дополнительные параметры. Максимальная несущая способность сваи – это сила, которая удерживает от развития оползня. Мы проверим это значение следующим расчетом в программе “Стабилизирующая свая”. Несущая способность может быть задана как константа или линейно увеличивающаяся от пяты сваи вверх. Пассивная сила (отпор) грунта действует на сваю горизонтально или по направлению поверхности скольжения. Больше информации можно найти в Справке (F1).*

Мы используем сваю круглого сечения диаметром 0,66 м и длиной 9 м. Шаг свай 1 м, предполагаемая несущая способность ( $V_u$ ) составляет 80 кН.

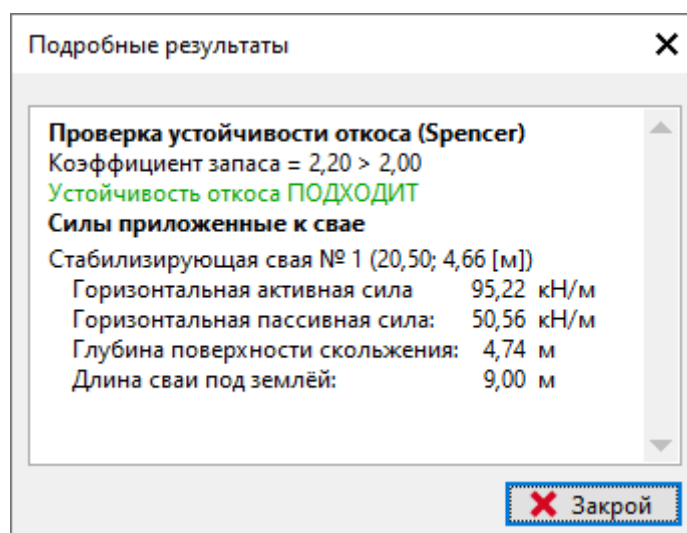
После добавления свай переходим ко вкладке “Расчет”. Выбираем тип расчета “Стандарт”. Для этого типа расчета программа находит новую поверхность скольжения. Просто вычисляет коэффициент безопасности для интересующей нас поверхности скольжения (в нашем случае взятой из предыдущего этапа проектирования). Остальные настройки остаются неизменными.



*Вкладка “Расчет” – влияние стабилизирующих свай*

Очевидно, что использование стабилизирующих свай обеспечивает устойчивость откоса и теперь это удовлетворяет требование к коэффициенту безопасности.

После раскрытия вкладки “Подробные результаты” увидим диалоговое окно с информацией о расчете устойчивости откоса.



*“Подробные результаты” – Диалоговое окно*

*Примечание: Мы получаем глубину поверхности скольжения в области сваи и значение двух сил, действующих на сваю.*

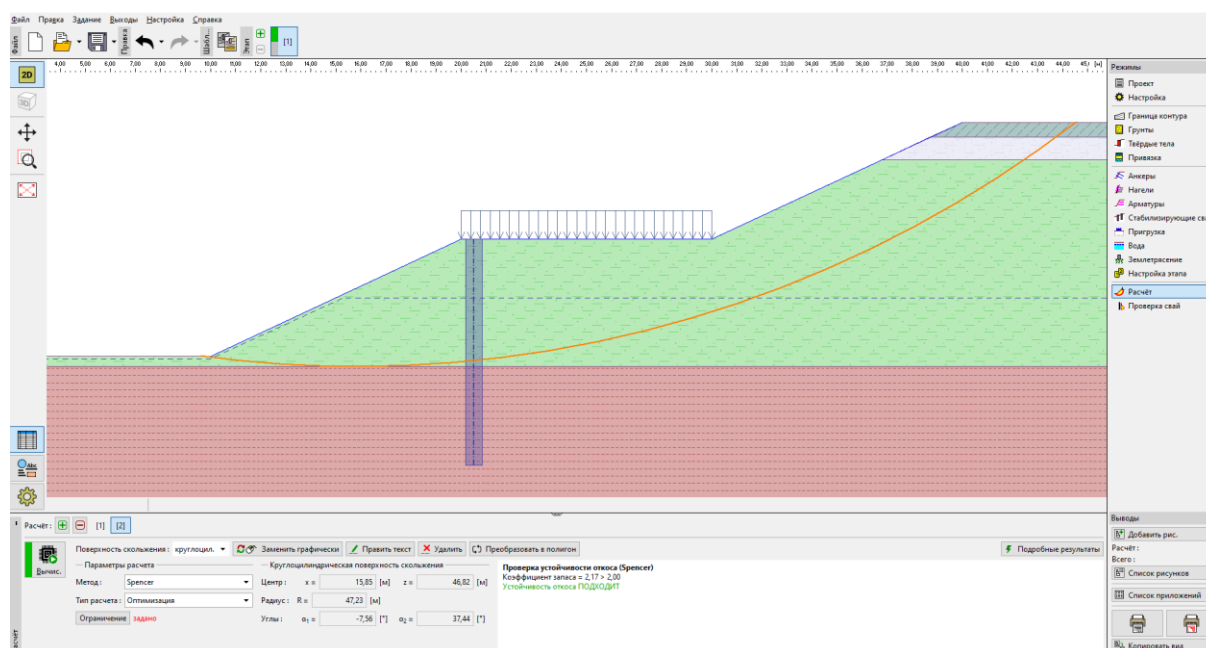
**Активная сила** действует на сваю со стороны верхней части откоса. Она дестабилизирует откос.

**Пассивная сила** действует против сдвига и помогает свае удерживать откос. Ситуация, когда пассивная сила равна нулю, означает что откос перед сваей не устойчив и необходимо его устойчивость рассматривать отдельно.

Разница между активной и пассивной силой – фактически это сила, которую свая должна передать для того, чтобы достичь требуемого коэффициента запаса устойчивости откоса. В более упрощенном виде это минимальная несущая способность, которой должна обладать свая.

Коэффициент запаса всегда зависит от положения и формы поверхности скольжения. Критическая поверхность скольжения, найденная без свай, имеет коэффициент безопасности **SF=1,8**. Та же поверхность на откосе со стабилизирующими сваями имеет **SF=2,20**. Но также возможно, что есть другая поверхность скольжения, которая не была критической до установки свай и стала критической после стабилизации. Эта поверхность имела **SF>1,8** до установки свай и после стабилизации **SF<2,20**.

Проверяем такую возможность на следующем шаге расчета, используя оптимизацию на откосе со сваями.



Вкладка “Расчет” – оптимизация поверхности скольжения после установки стабилизирующих свай

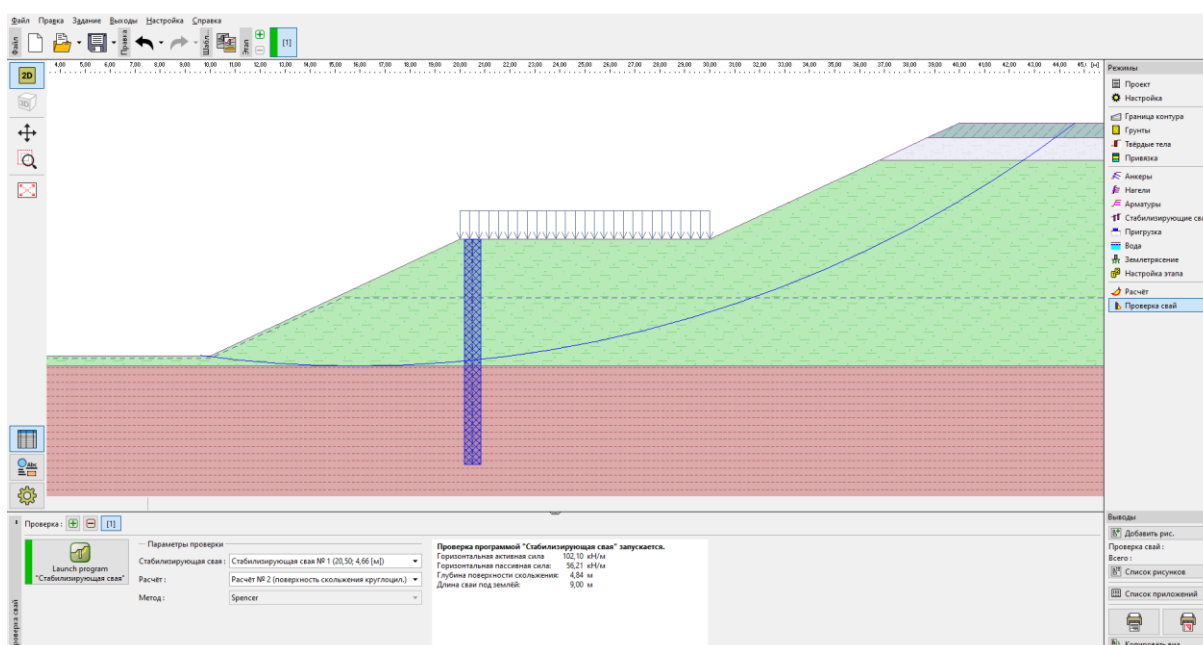
Мы видим, что устойчивость откоса обеспечена при требуемом коэффициенте безопасности даже с новой поверхностью скольжения. В нашем случае разница между старой и новой поверхностями скольжения минимальна, но это необязательно будет каждый раз именно так. Всегда полезно проверять новую критическую поверхность скольжения даже после установки свай.

Это положение после установки свай является критическим. Поэтому мы будем использовать его для нашего последующего подбора размеров сваи и расчета.

## Расчет и определение размеров свай

Выбираем расчет № 2 во вкладке “Проверка свай” и нажимаем кнопку “Запусти программу Стабилизирующая свая”.

*Примечание: в случае если рядов свай больше одного, необходимо указать, какой ряд мы проверяем.*



Вкладка “Проверка свай”

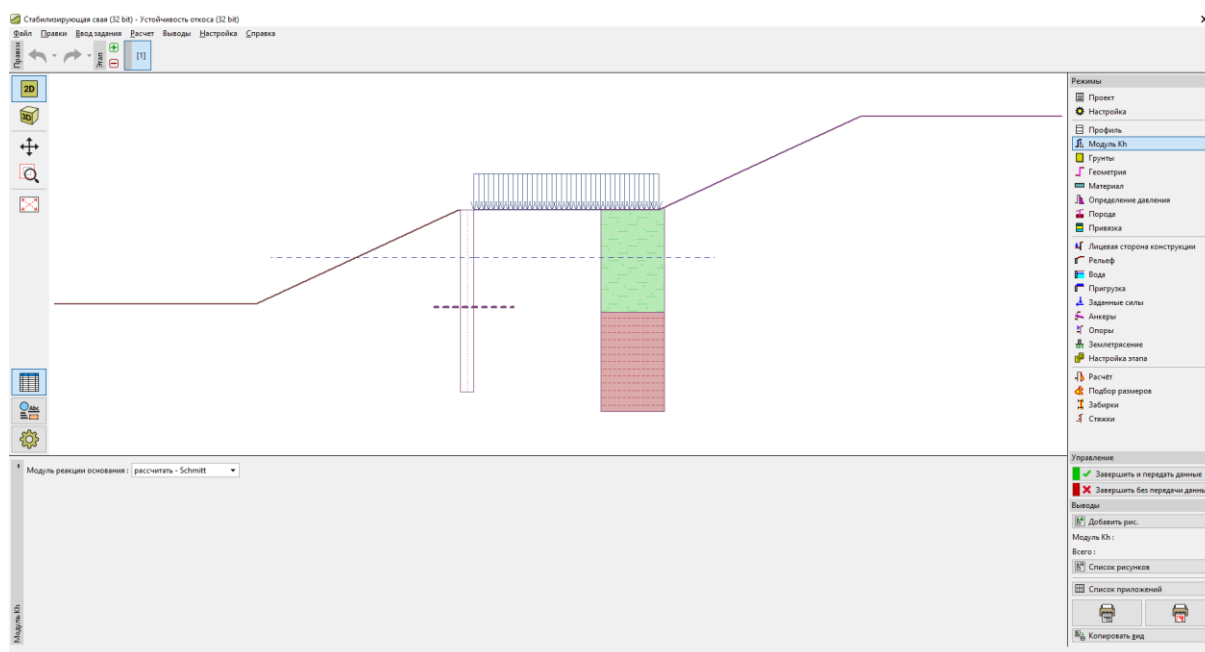
Программа *Стабилизирующая свая* используется для определения деформаций и внутренних усилий в свае. Эта программа похожа на программу GEO5 – *Ограждение котлованов-Анализ*. Основное отличие между ними состоит в способе задания нагружения. В программе *Ограждение котлованов* конструкция нагружается давлением грунта по всей длине сваи. В программе *Стабилизирующая свая* нагрузка делится на две части. В зоне над поверхностью скольжения свая нагружена силой, равной разнице между активной и пассивной силой. Под поверхностью скольжения нагрузка определяется давлением грунта.

Все данные из программы *Устойчивость откоса* автоматически переносятся в программу *Стабилизирующая свая*.

Примечание: Ввод основных данных в программе Стабилизирующая свая такой же, как в программе Ограждение котлованов-Анализ. Подробно это описано в Инженерном руководстве [№ 6](#) и [№ 7](#).

Примечание: Если мы хотим изменить какие-либо настройки при расчете в программе Стабилизирующая свая (метод расчета давления грунта, стандарты материалов и т.д.), то мы должны это сделать во вкладке “Настройки” в программе Устойчивость откоса.

Во вкладке “Модуль Kh” выбираем метод расчета модуля реакции основания. Здесь выбран расчет по методу Schmitt. Больше информации о модуле Kh можно найти в Инженерном руководстве к программе Ограждение котлованов-Анализ или в Справке к программе (F1).

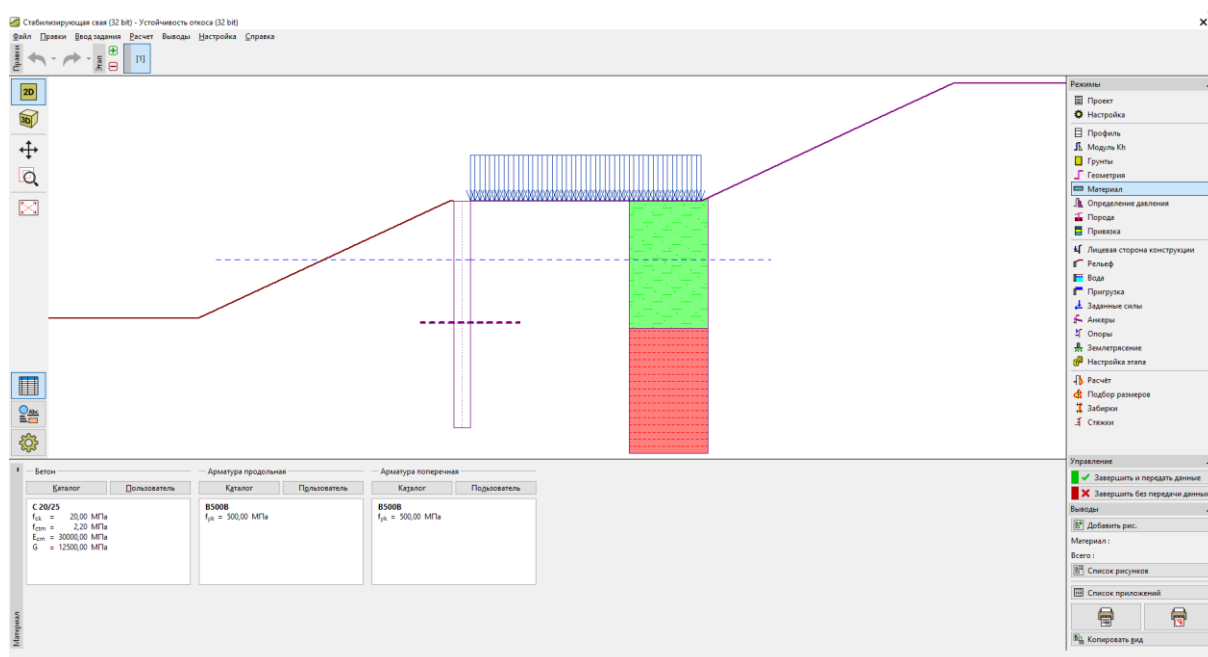


Программа “Стабилизирующая свая” – вкладка “Модуль Kh”

Во вкладке “Грунты” мы должны добавить модуль деформации и коэффициент Пуассона для каждого грунта в соответствии с таблицей на стр.3. Здесь представлены параметры, необходимые для задания модуля Kh. Задаем угол трения между грунтом и конструкцией равным  $\delta=15^\circ$  для каждого грунта.



Типы бетона и стали – во вкладке “Материал”. Можно выбрать параметры из каталога или задать вручную. Выбираем бетон C20/25 и продольную арматуру B500.

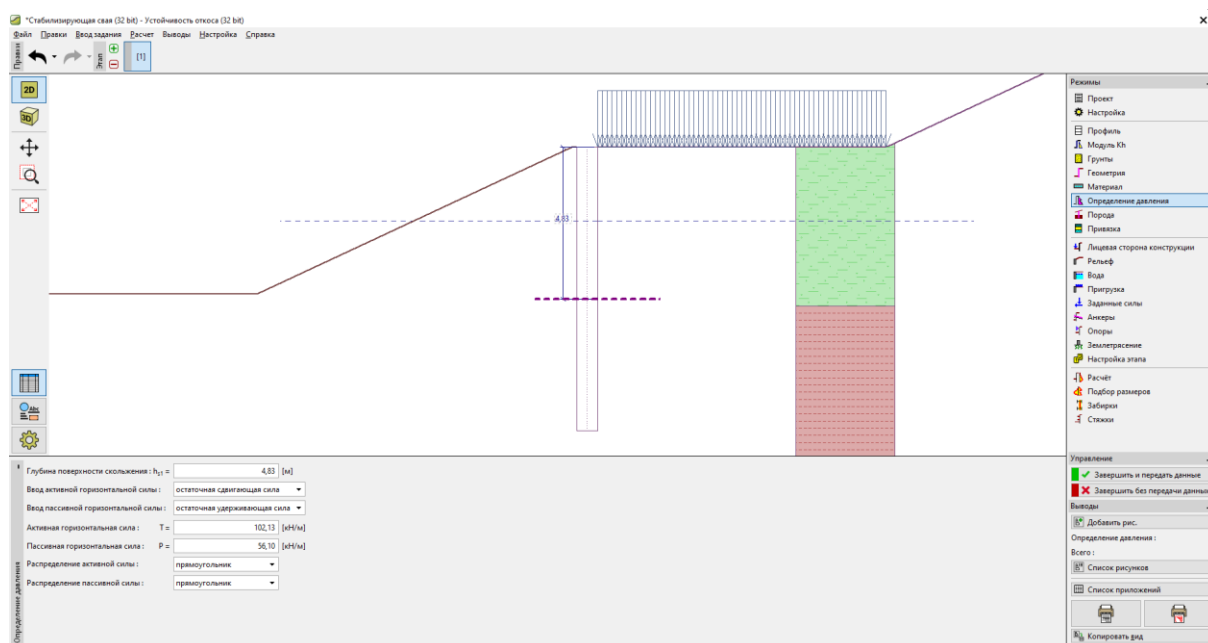


Программа “Стабилизирующая свая” – вкладка “Материал”

Следующая важная вкладка для нас - “Определение давления”. Здесь мы найдем автоматически вставленное значение активных и пассивных сил и глубину поверхности скольжения. Мы получаем эти данные из расчета устойчивости откоса.

У нас три возможных способа для определения давлений, действующих на сваю на участке выше поверхности скольжения. Эпюра распределения активной силы может иметь три основные формы (треугольная, прямоугольник, трапеция), пассивная сила может быть распределена аналогично или в виде уроченной параболы. Распределение давлений подробно описано в Справке GEO5 (F1).

*Примечание: В целом распределение давлений зависит от типа грунта над поверхностью скольжения. В нашем случае основной грунт – опесчаненная глина, для мелкозернистых грунтов рекомендуется использовать распределение давления в виде прямоугольника. Распределение пассивной силы остается на усмотрение проектирующего данную конструкцию.*

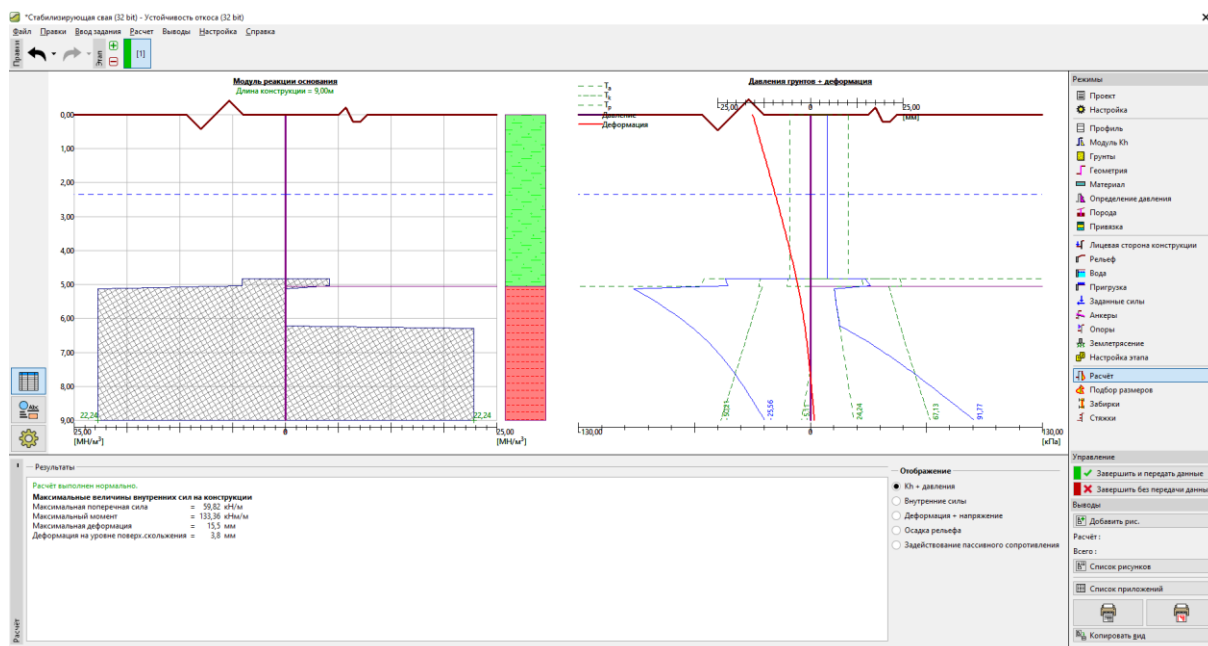


Программа “Стабилизирующая свая” – вкладка “Определение давления”

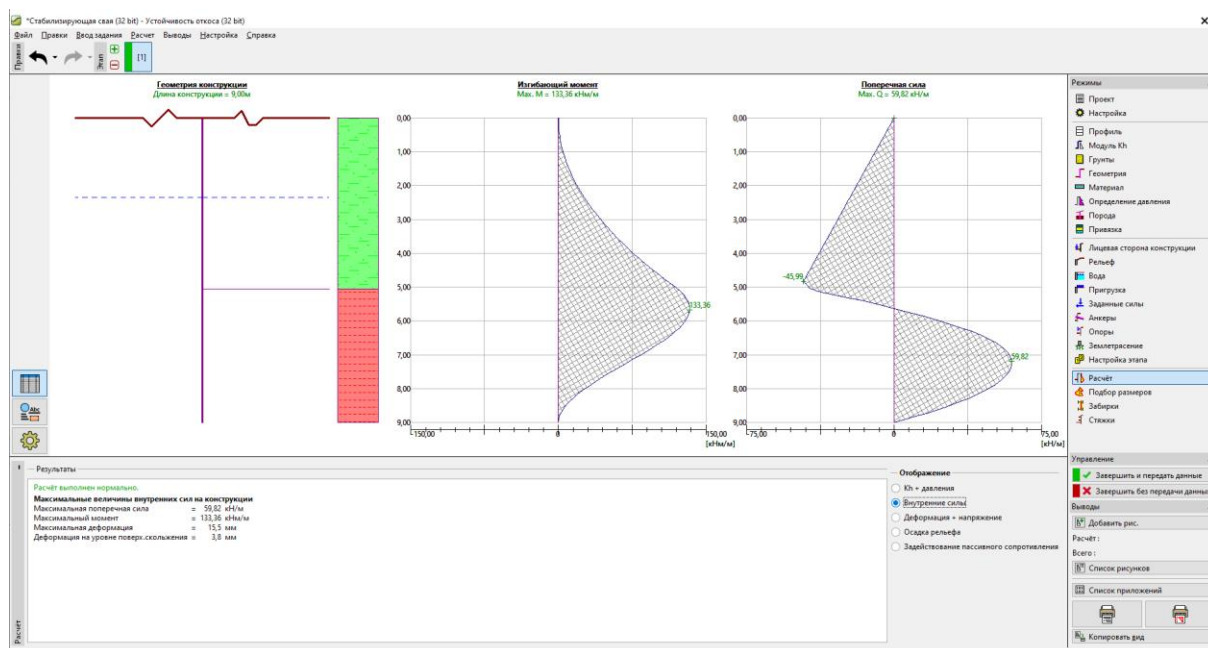
Примечание: Также можно определить давление, действующее над поверхностью скольжения, вручную. Можно использовать это в том случае, когда мы не хотим вычислять нагрузку на сваю по разности давлений между активной и пассивной силой.

Примечание: Если бы мы рассматривали сваю, жестко заземленную в скальном грунте, мы задали бы ее во вкладке “Скальная порода”. В этом случае потребуется ввести длину сваи в скальной породе и несущую способность породы. Тогда максимальные напряжения не будут рассматриваться как пассивное давление грунта, вместо этого будут достигать некоторого значения. Это значение напряжений будет сравниваться с несущей способностью скальной породы во вкладке “Расчет”. В нашем примере мы это не используем.

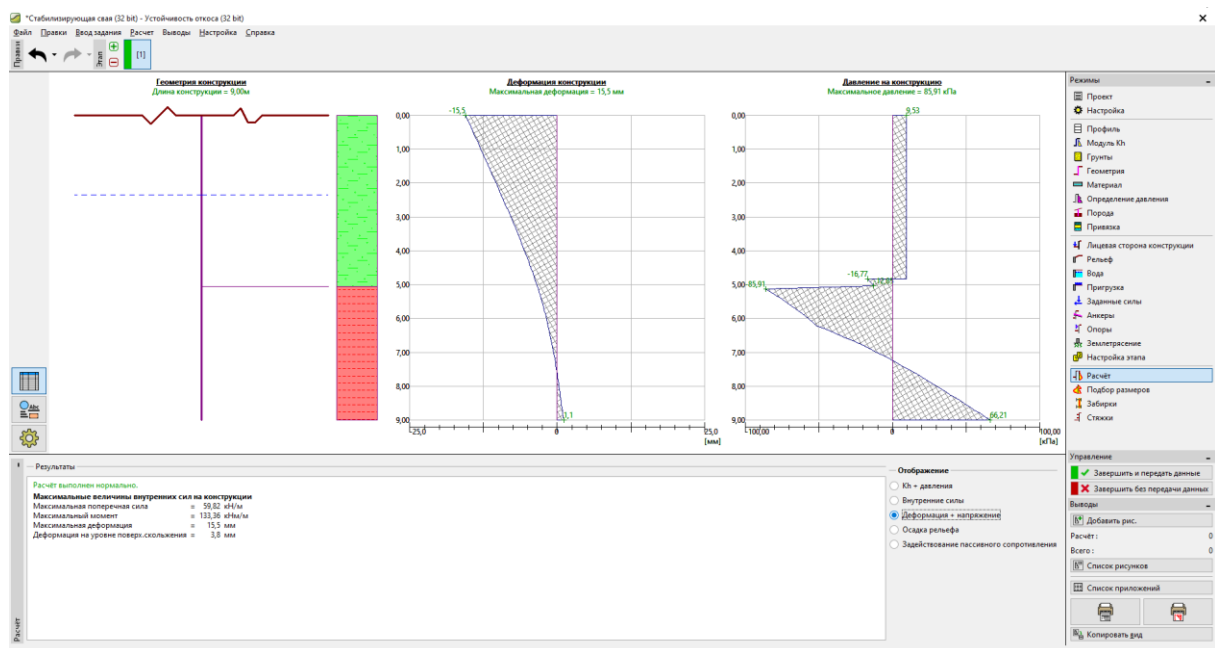
Теперь мы должны перейти к вкладке “Расчет”.



Программа “Стабилизирующая свая” – вкладка “Расчет” – Kh + давления

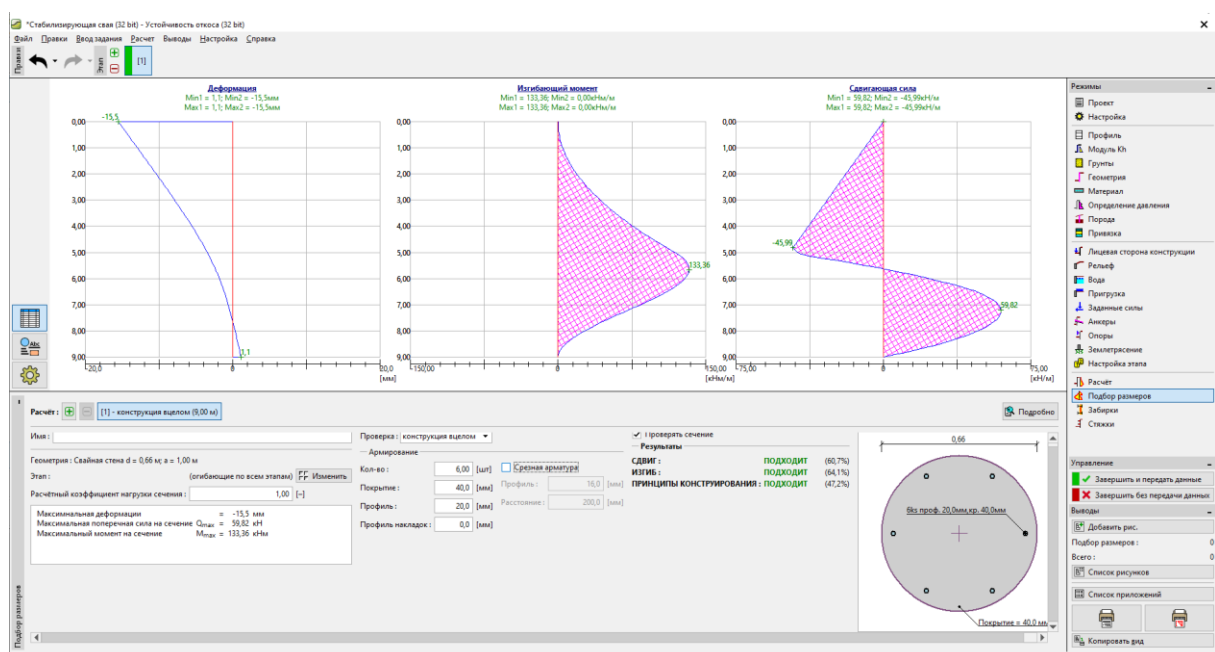


Программа “Стабилизирующая свая” – вкладка “Расчет” – Внутренние силы



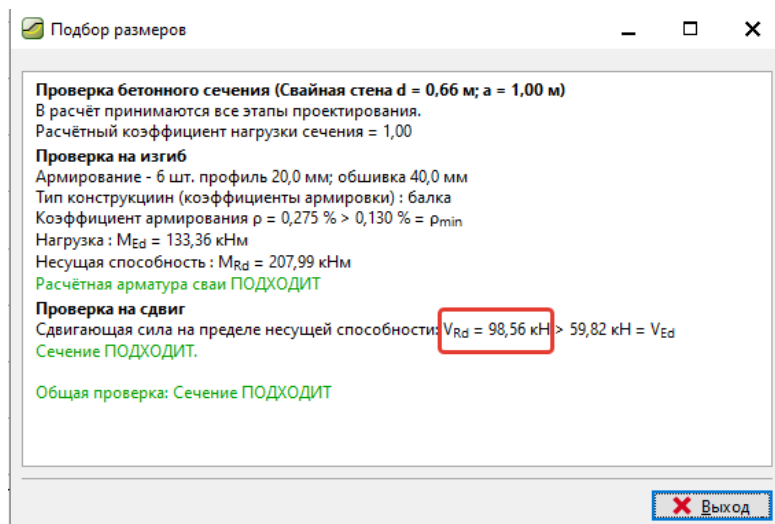
Программа "Стабилизирующая свая" – вкладка "Расчет" – Деформация + напряжения

Во вкладке "Подбор размеров" проектируем армирование сваи.



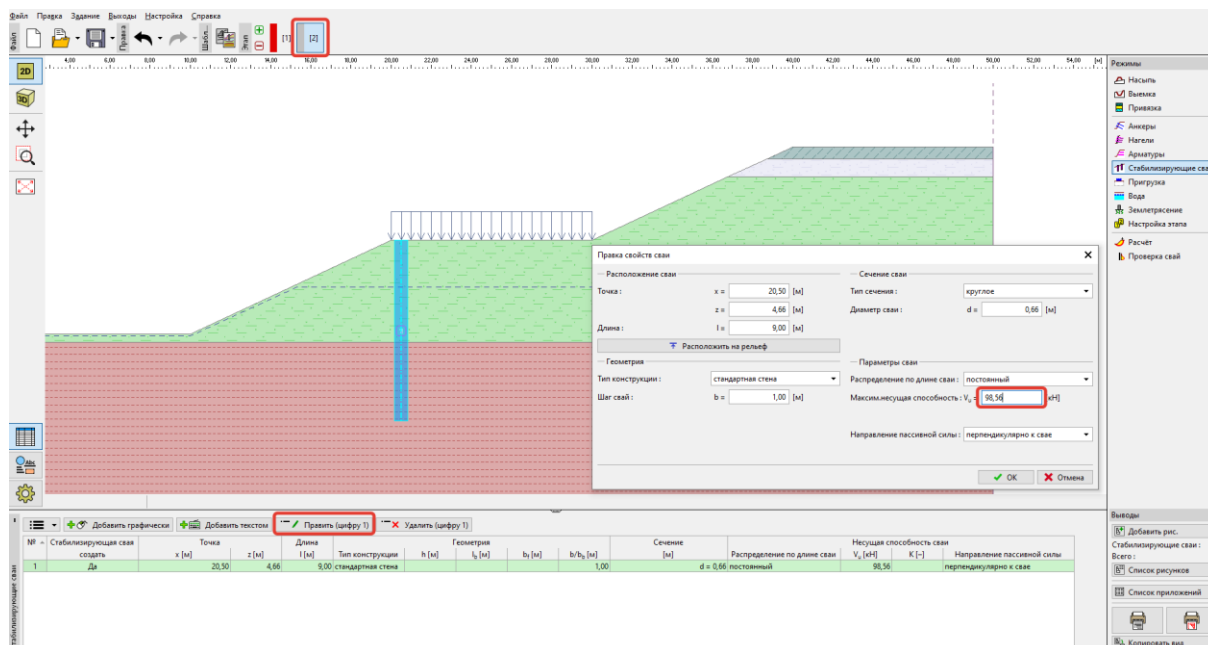
Программа "Стабилизирующая свая" – вкладка "Подбор размеров"

Запроектированная нами свая соответствует всем требованиям. Если мы хотим знать максимальную несущую способность сваи на сдвиг, то должны открыть диалоговое окно "Подробно".



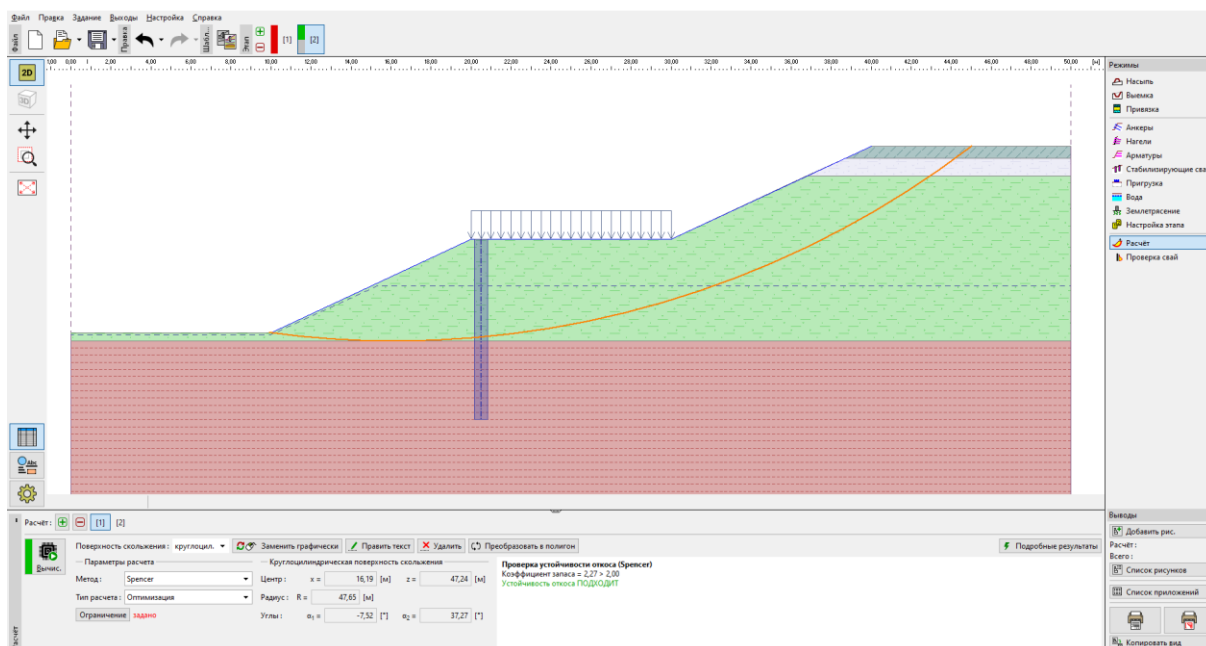
Программа “Стабилизирующая свая” – вкладка “Подбор размеров” – “Подробно”

Мы рассматривали максимальную несущую способность свай как  $V_u=80$  кН в программе Устойчивость откоса. Теперь проверили это и видим, что реальная несущая способность больше (98,56 кН). Если мы хотим знать реальный коэффициент запаса устойчивости, мы должны перейти в программу Устойчивость откоса (используя кнопку “Завершить и передать данные”) и изменить значение  $V_u$  – изменить 80 кН на 98,56 кН.



Программа “Устойчивость откоса” – редактирование параметров сваи

Здесь представлен расчет с изменениями.



*Программа “Устойчивость откоса” – расчет с реальной несущей способностью свай*

*Примечание: Форма и положение критической поверхности скольжения могут меняться после изменения несущей способности свай. Значение сил, действующих на свай, отличается. В нашем примере изменение минимальное и силы почти одинаковые. Если изменения будут более значимые, то должен быть произведен новый расчет в программе Стабилизирующая свая.*

## Заключение

Требуемый коэффициент безопасности был **SF=2,0**. Мы увеличили коэффициент устойчивости откоса с помощью стабилизирующих свай от **SF=1,8** до **SF=2,27**.

Конструкция свай удовлетворительная (с точки зрения сдвига и изгиба), а максимальное смещение свай составляет 19,1 мм. Это значение смещения является приемлемым.