

## Расчёт вертикальной несущей способности и осадки куста свай

Программа: Куст свай

Файл: Demo\_manual\_17.gsp

Целью данного технического руководства является объяснение использования программы GEO 5 – Куст свай.

### Введение

Все методы в программе Куст свай можно разделить на две группы:

- Метод пружины,
- Аналитическое решение.

**Метод пружины** рассчитывает деформацию всего свайного фундамента и определяет внутренние усилия по длине отдельных свай. Нагрузка определяется как общая активная комбинация  $N, M_x, M_y, M_z, H_x, H_y$ . Важным результатом расчёта методом пружины является вращение и смещение жесткого оголовка сваи, а также определение размеров арматурного каркаса для отдельных свай. Метод пружины более подробно описан в следующей главе 18. *Расчёт деформации и определения размеров куста свай.*

**Аналитическое решение** используется для расчёта вертикальной несущей способности куста свай, нагружаемого вертикальной нормальной силой. Этот тип расчёта позволяет определить вертикальную несущую способность свайного фундамента и среднюю осадку сваи.

Аналитическое решение подразделяется в зависимости от типа грунтов:

- для связных грунтов,
- для несвязных грунтов.

Вертикальная несущая способность куста свай в **связном грунте** рассматривается в недренированном состоянии. Она определяется как несущая способность массива грунта в форме призмы, очерченной вокруг куста свай в соответствии с FHWA. В целях расчёта указывается только общее сцепление грунта (прочность на сдвиг в недренированном состоянии)  $c_u$ .

Расчет осадки куста свай в связном грунте (в недренированном состоянии) основан на расчёте осадки фундамента на естественном основании (так называемая *консолидированная осадка куста свай*, часто сокращаемый как *метод 2:1*).

Для оценки осадки куста свай, анализ включает влияние глубины фундамента и толщины зоны деформации в соответствии с методологией расчета осадки фундамента мелкого заложения. При проведении расчёта осадки куста свай в Чехии или Словакии можно использовать метод в соответствии с *CSN 73 1001 – Грунт под фундаментами мелкого заложения*.

Оценка группы свай в **несвязном грунте** основана на алгоритмах, идентичных тем, которые используются для расчёта одиночной сваи в несвязном грунте (как описано в главе 13. *Расчёт вертикальной несущей способности одиночной сваи*). Единственным дополнением к этому процессу является использование так называемой *КПД куста свай*, который снижает общую вертикальную несущую способность свайного фундамента.

Кривая нагружения куста свай в несвязном грунте строится таким же образом, как кривая для одиночной сваи (показана в главе 14. *Расчёт осадки одиночных свай*), согласно проф. Н. G. Poulos, за исключением общей осадки куста свай. Общая осадка увеличивается на так называемый коэффициент групповой осадки  $g_f$ , который учитывает кустовой эффект отдельных свай. Величина этого параметра зависит от геометрического расположения куста свай.

### Постановка задачи

Общая постановка задачи была описана в предыдущей главе (12. *Свайные фундаменты – Введение*). Выполнить расчеты вертикальной несущей способности куста свай в соответствии с EN 1997-1 (DA 2) на основе задачи 13. *Расчёт вертикальной несущей способности одиночной сваи*. Результирующая суммарной нагрузки, которая состоит из  $N, M_y, H_x$ , воздействует на верхнюю часть оголовка сваи, непосредственно в её центре.

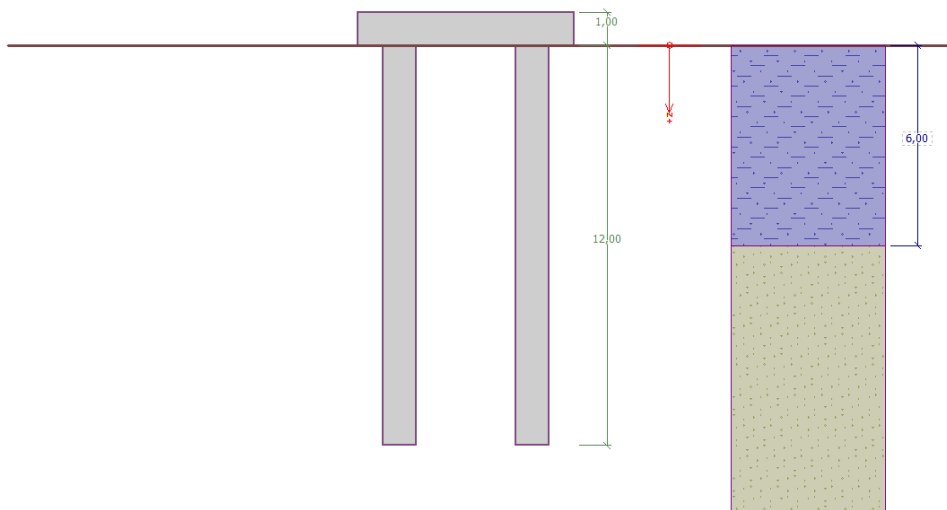


Диаграмма постановки задачи – куст свай

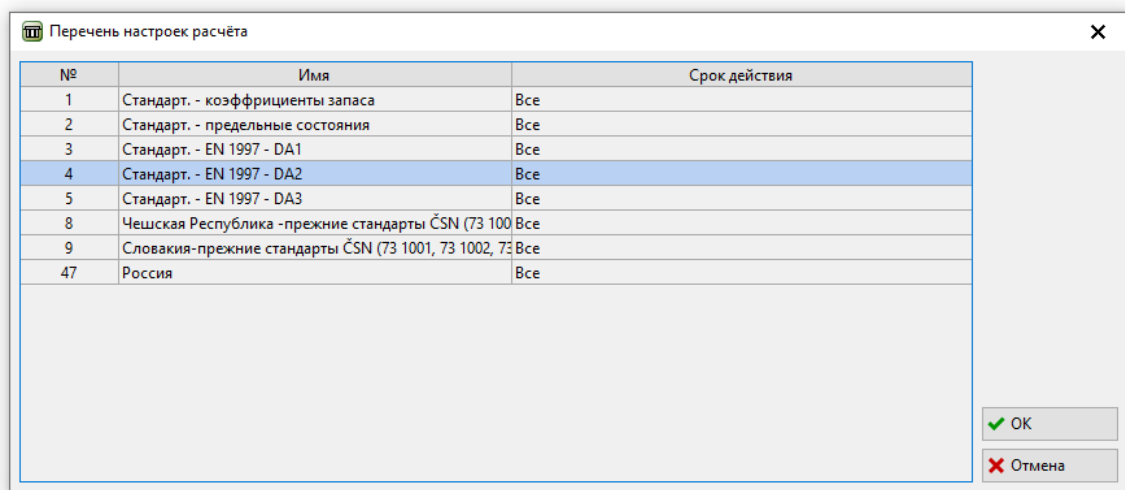
## Решение

Для решения этой задачи мы будем использовать программу GEO 5 – Куст свай. Чтобы упростить задачу и ускорить ввод исходных данных (конструкция, грунт, привязка и профиль), импортируем данные из задачи № 13. *Расчёт вертикальной несущей способности одиночной сваи.*

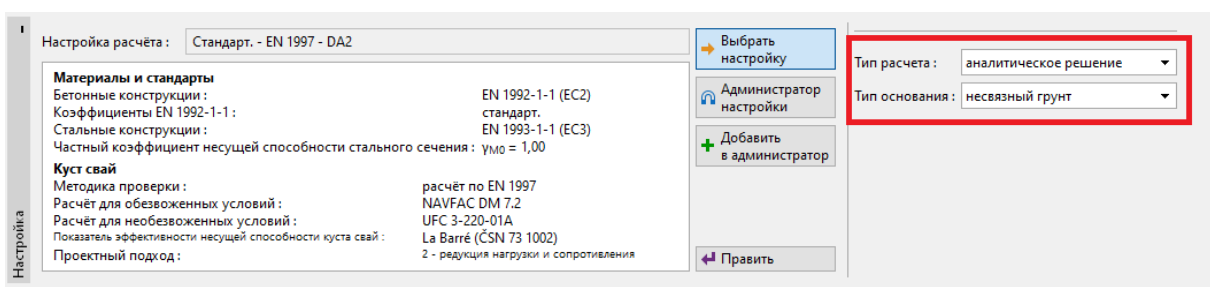
В этом расчёте мы рассмотрим куст свай, используя те же аналитические методы, которые мы ранее использовали при расчёте одиночной сваи (NAVFAC DM 7.2, Эффективное напряжение и CSN 73 1002). Мы сосредоточимся на других входных параметрах, которые влияют на общие результаты.

## Формулировка задачи

Во вкладке «Настройка» нажать кнопку «Выбрать настройку», а затем выбрать параметр расчета «Стандарт – EN 1997 – DA2». Сохранить параметр «Тип расчёта» в разделе «Аналитическое решение». В данном конкретном случае рассматриваем тип грунта как **несвязный**, поскольку будем оценивать сваи в *дренированном состоянии*.

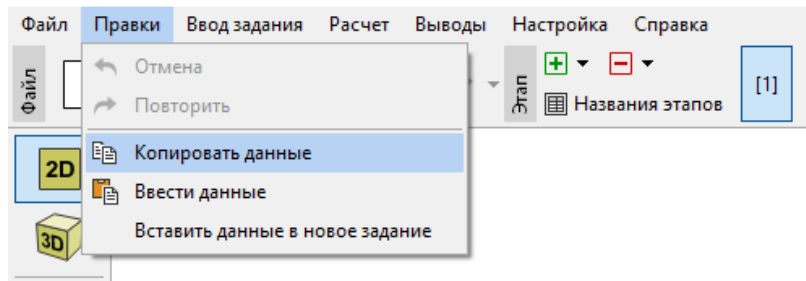


Диалоговое окно «Перечень настроек расчёта»



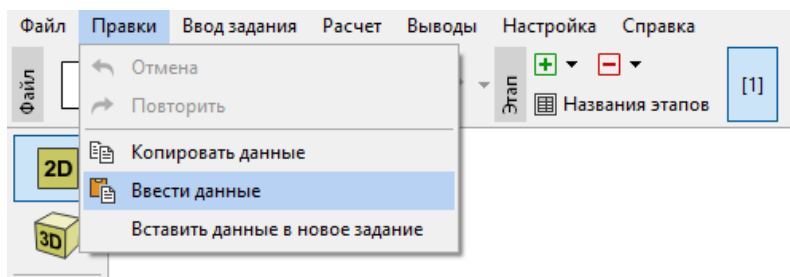
Вкладка «Настройка расчёта»

Чтобы избежать повторного ввода можно импортировать данные в программу Куст свай. Для этого открыть файл из руководства № 13 - *Расчёт вертикальной несущей способности одиночной сваи* в программе GEO5 – Свая. На верхней панели инструментов нажать на кнопку «Правки», а затем выберем опцию «Копировать данные».



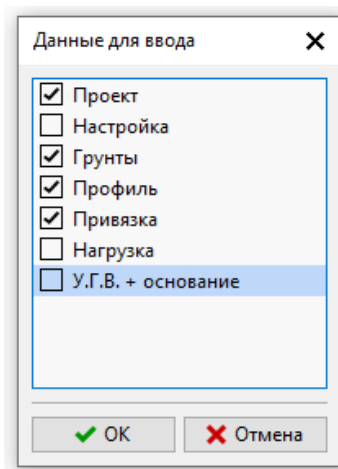
*Программа «Свая»*

В программе GEO 5 – Куст свай нажать на кнопку «Правки» на верхней панели инструментов и выбрать опцию «Ввести данные». На этом этапе передаются данные, необходимые для анализа, и выполняется значительная часть работы по их вводу.



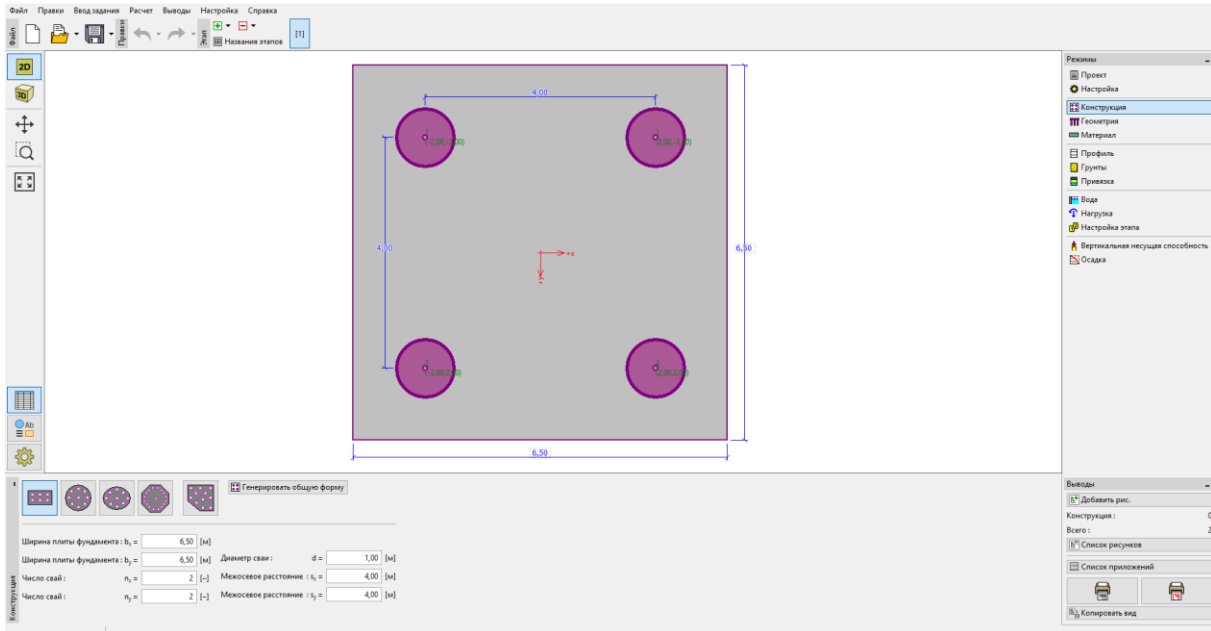
*Программа «Куст свай»*

В появившемся диалоговом окне выбрать вставку всех данных, за исключением «Настройка», «Нагрузка» и «У.Г.В. + основание».



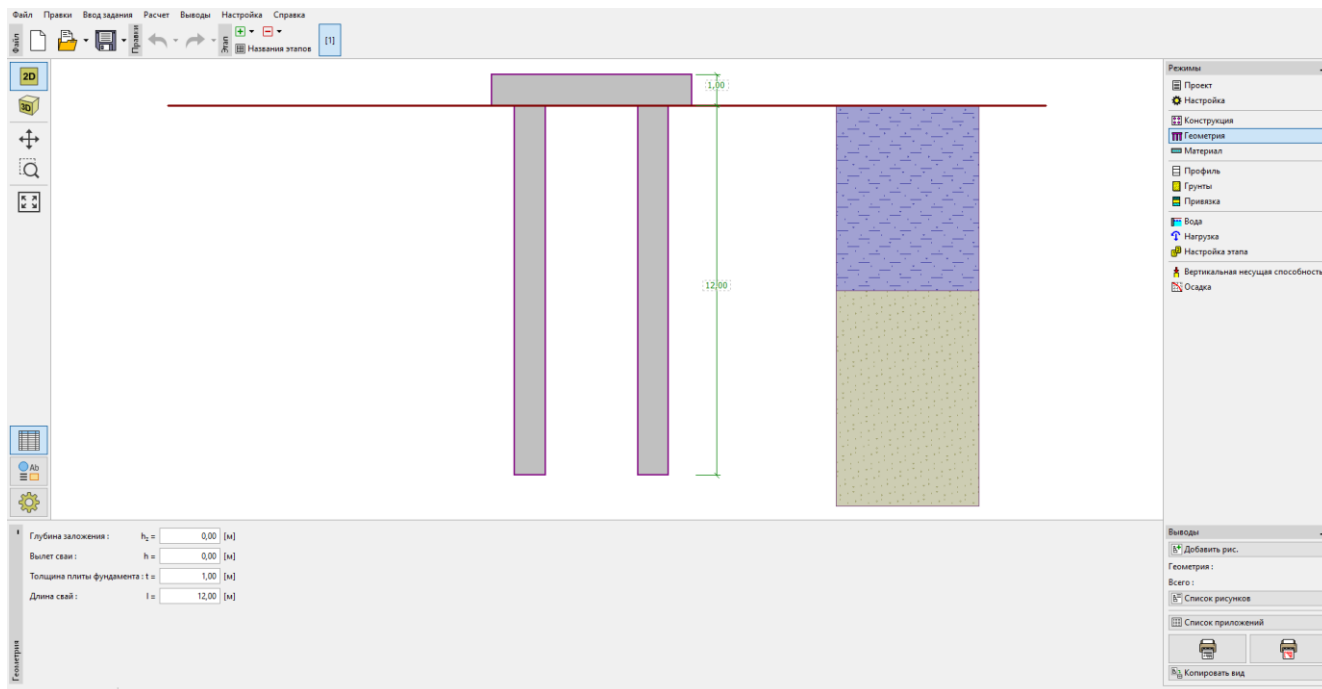
*Диалоговое окно «Данные для ввода»*

Во вкладке «Конструкция» указать размеры фундаментной плиты в плане, количество свай в кусте, их диаметр и расстояние между их центрами (между сваями в направлении x или y). Установить ширину плиты равной 6,50 м и ввести количество свай равным 2 в обоих направлениях x и y.



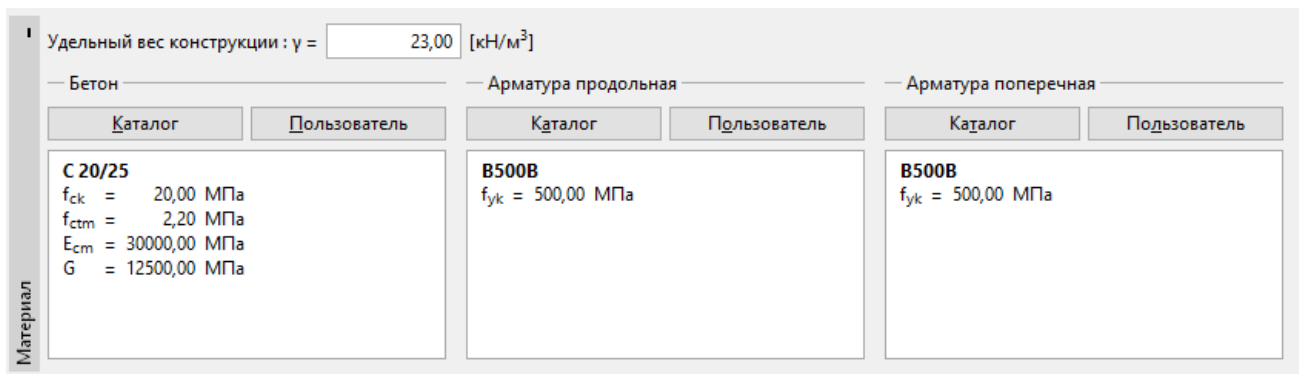
Вкладка «Конструкция»

Во вкладке «Геометрия» определить глубину от поверхности грунта, смещение оголовка сваи, толщину оголовка сваи и длины всех свай в кусте. Все отдельные сваи в кусте имеют одинаковые диаметры и длины.



Вкладка «Геометрия»

Во вкладке «Материал» указать удельный вес конструкции  $\gamma = 23.0 \text{ kN/m}^3$ .



Вкладка «Материал»

Далее определить загрузку. Вертикальная несущая способность куста свай анализируется с использованием проектных нагрузок; полезная нагрузка используется при расчёте осадки. Нажать на кнопку «Добавить» и добавить одну новую проектную нагрузку и одну новую полезную нагрузку, как показано на рисунках ниже.

Правка нагрузки ✕

Имя:

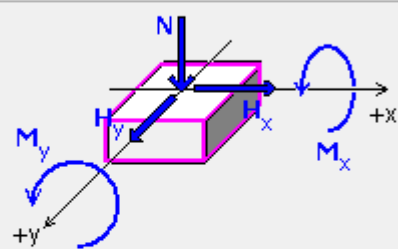
Вертикальная сила:  $N =$   [кН]

Изгибающий момент:  $M_x =$   [кНм]  
 $M_y =$   [кНм]

Горизонтальная сила:  $H_x =$   [кН]  
 $H_y =$   [кН]

Торсионный момент:  $M_z =$   [кНм]

проектная (расчётная)  полезная (рабочая)



Диалоговое окно «Правка нагрузки» – Проектная (расчётная) нагрузка

Правка нагрузки ✕

Имя:

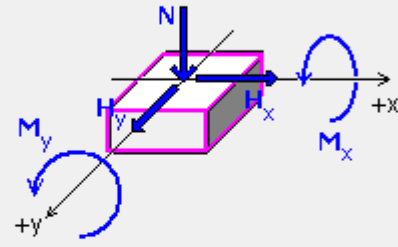
Вертикальная сила:  $N =$   [кН]

Изгибающий момент:  $M_x =$   [кНм]  
 $M_y =$   [кНм]

Горизонтальная сила:  $H_x =$   [кН]  
 $H_y =$   [кН]

Торсионный момент:  $M_z =$   [кНм]

проектная (расчётная)  полезная (рабочая)

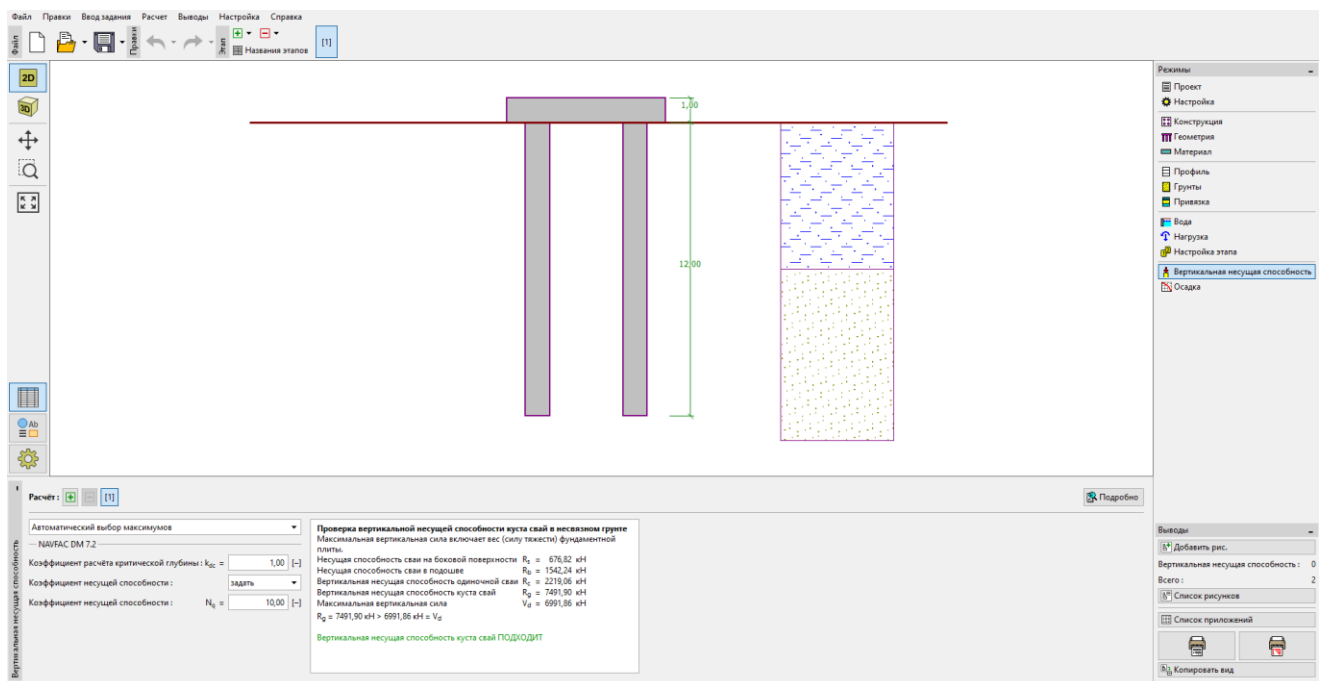


Диалоговое окно «Правка нагрузки» – Полезная (рабочая) нагрузка

Проведём оценку куста свай во вкладке «Вертикальная несущая способность». Чтобы соответствовать условию надежности, значение  $R_g$  должно быть больше величины действующей расчетной нагрузки  $V_d$  (более подробная информация в справке по программе – F1). Используя метод **NAVFAC DM 7.2** КПД куста свай *La Barré* (CSN 73 1002) в соответствии с первоначальными настройками расчёта, получены следующие результаты вертикальной несущей способности куста свай:

– **La Barré** (CSN 73 1002):  $\eta_g = 0.84$ .

$R_g = 7491.90 \text{ kN} > V_d = 6991.86 \text{ kN}$  **ПОДХОДИТ**



Вкладка «Вертикальная несущая способность»

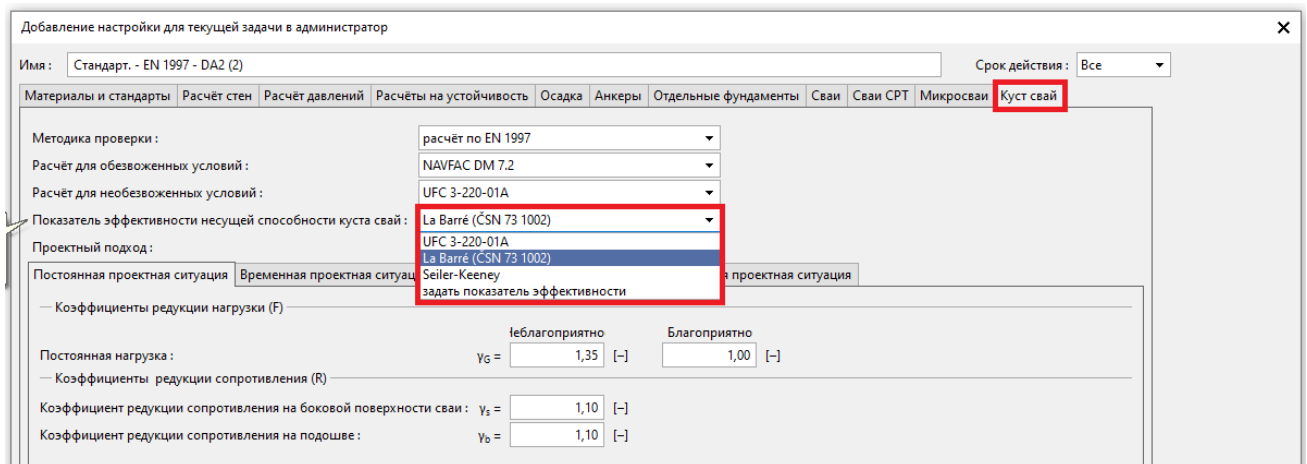
*Примечание: Расчетная вертикальная несущая способность куста свай в несвязанном грунте должна быть уменьшена, поскольку отдельные сваи статически воздействуют друг на друга. Оценка содержит несколько методов определения КПД куста свай  $\eta_g$ . Этот безразмерный показатель (обычно в диапазоне от 0,5 до 1,0) уменьшает общую вертикальную несущую способность куста свай  $R_g$  по отношению к:*

- количество свай в кусте  $n_x, n_y$ ;
- расстояние между сваями в кусте по центрам  $s_x, s_y$ ;
- диаметр свай в кусте  $d$ .



КПД куста свай  $\eta_g$  зависит исключительно от заданной геометрии, а не от метода расчета.

Можно проверить, как изменяется вертикальная несущая способность при использовании других методов определения КПД куста свай  $\eta_g$ . Вернуться ко вкладке «Настройка», нажать кнопку «Редактировать» в нижней центральной части экрана и поочерёдно во вкладке «Куст свай» выбрать оставшиеся варианты «UFC 3-220-01A» и «Seiler-Keeney».



Диалоговое окно «Редактировать текущие настройки»

Расчет в программе аналогичен решению задачи из руководства № 13. *Расчёт вертикальной несущей способности одиночной сваи.* В случае метода эффективного напряжения мы установим коэффициент несущей способности  $N_p$  равным 30.

Результаты расчёта вертикальной несущей способности куста свай в несвязном грунте (т.е. в дренированных условиях) в зависимости от используемого метода и КПД куста свай  $\eta_g$  представлены в следующей таблице:

- **La Barré (CSN 73 1002):**  $\eta_g = 0.84,$
- **UFC 3-220-01A:**  $\eta_g = 0.80,$
- **Seiler-Keeney:**  $\eta_g = 0.99.$

EN 1997-1, DA2 (несвязный грунт) Расчётный метод	КПД куста свай $\eta_g$ [-]	Несущая способность одиночной сваи $R_c$ [kN]	Несущая способность куста свай $R_g$ [kN]
NAVFAC DM 7.2	0.84	2219.06	7491.90
	0.80		7100.98
	0.99		8829.18
Эффективное напряжение	0.84	6172.80	20 840.41
	0.80		19 572.96
	0.99		24 560.34
CSN 73 1002	0.84	5776.18	19 501.36
	0.80		18 483.79
	0.99		22 982.28

Таблица результатов – Вертикальная несущая способность куста свай в дренированном состоянии

### Заключение (вертикальная несущая способность куста свай)

Расчетная вертикальная несущая способность куста свай  $R_g$  в несвязном грунте должна быть уменьшена (с использованием так называемого КПД куста свай  $\eta_g$ ) поскольку отдельно взятые сваи статически воздействуют друг на друга. Как правило, одиночные сваи в кусте больше влияют друг на друга, когда расстояние между центрами уменьшается.

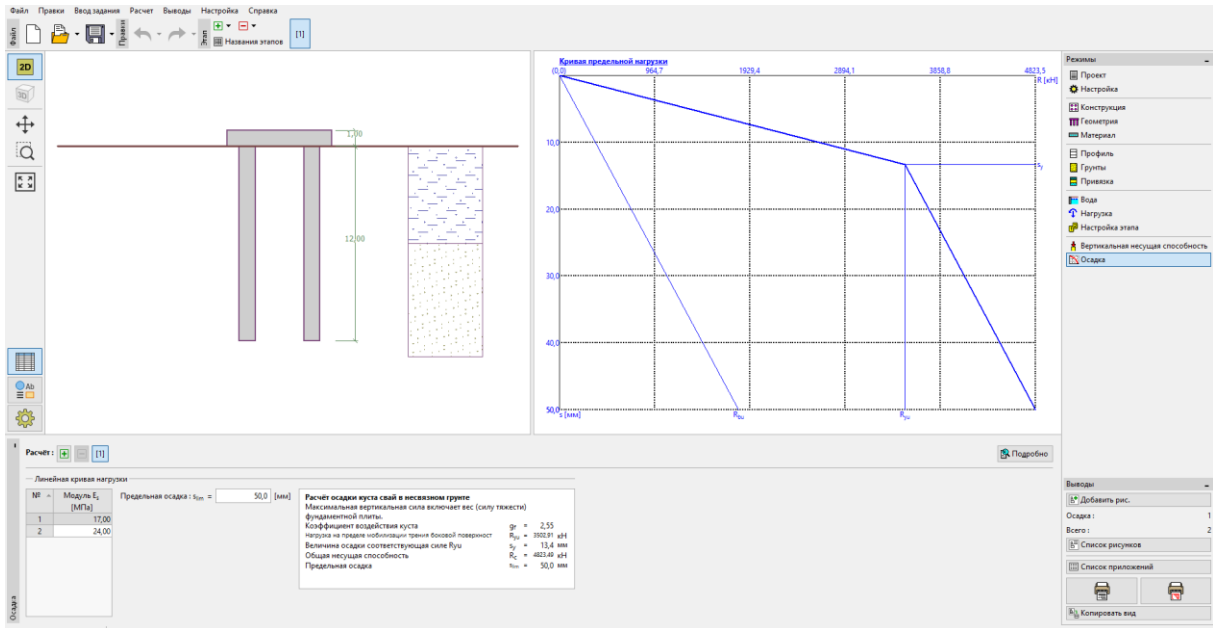
Проектировщик должен решить, использовать ли метод в дренированном или недренированном состоянии для расчёта вертикальной несущей способности куста свай. Эти два типа расчетов существенно отличаются друг от друга.

### Расчёт осадки куста свай

Расчёт куста свай полностью идентичен расчёту, применяемому к одиночной свае; единственное отличие заключается в том, что полученное значение осадки дополнительно умножается на коэффициент осадки куста  $g_f$ .

*Примечание: Величина коэффициента осадки куста  $g_f$  зависит от геометрического расположения куста свай, т.е. диаметра свай в кусте и ширины оголовка сваи.*

Рассчитаем осадку куста свай в соответствии с теорией Поулоса. Будем использовать значения модуля  $E_s$  из руководства № 14 *Расчёт осадки одиночной сваи* (17 МПа для 1-го слоя, 24 МПа для 2-го слоя). Максимальная осадка считается равной 50 мм.



Вкладка «Осадка» – метод NAVFAC DM 7.2

Результаты расчётов представлены в таблице:

Способ расчёта вертикальной несущей способности куста свай	Нагрузка при активации поверхностного трения $R_{yu}$ [kN]	Осадка куста свай $s$ [mm] при $V = 4000$ kN
NAVFAC DM 7.2	3184.47	34.8
Эффективное напряжение	7274.43	15.3
CSN 73 1002	8057.77	15.3

Таблица результатов – Осадка куста свай в соответствии с Poulos

#### Заключение (расчет куста свай):

Из результатов расчёта следует, что вертикальная несущая способность куста свай различна с точки зрения общей осадки. Расчёт осадки куста свай в грунте без сцепления (дренируемое состояние) основан на теории линейной осадки, для которой в качестве входных данных требуются значения поверхностного трения  $R_s$  и сопротивления основания сваи  $R_b$ .

В отличие от предыдущего случая, расчет куста свай в связном грунте (в недренируемом состоянии) основан на расчете для заменяющего насыпного фундамента. Этот метод расчета часто называют *расчетным методом консолидации куста свай* или обычно сокращенно называют *методом 2:1*. Для оценки осадки такого куста свай в расчет вводится влияние глубины от поверхности грунта и глубины зоны деформации в соответствии с методологией оценки осадки фундаментов мелкого заложения.

Эти два метода расчета существенно различаются и дают совершенно разные результаты. Разработчики GEO5 рекомендуют рассчитывать вертикальную несущую способность и осадку куста свай применительно к стране, в которой производится расчёт.