

## Расчёт деформации и подбор размеров куста свай

Программа: Куст свай

Файл: Demo\_manual\_18.gsp

Целью данного технического руководства является объяснение использования программы GEO 5 – Куст свай для расчёта углового поворота и смещения жёсткой фундаментальной плиты, определения внутренних сил, действующих по длине отдельных свай и размеров поперечных сечений свай.

### Постановка задачи

Общая постановка задачи была описана в предыдущей главе (12. *Свайные фундаменты – Введение*). Все расчёты вертикальной несущей способности куста свай должны выполняться на основе предыдущей задачи 17. *Расчёт вертикальной несущей способности и осадки куста свай*. Результирующая суммарной нагрузки, включающая  $N, M_y, H_x$  воздействует на фундаментную плиту куста свай, прямо в её центре. Определение размеров свай в кусте должно выполняться в соответствии со стандартом EN 1992-1-1 (EC 2) с использованием стандартных значений частных коэффициентов.

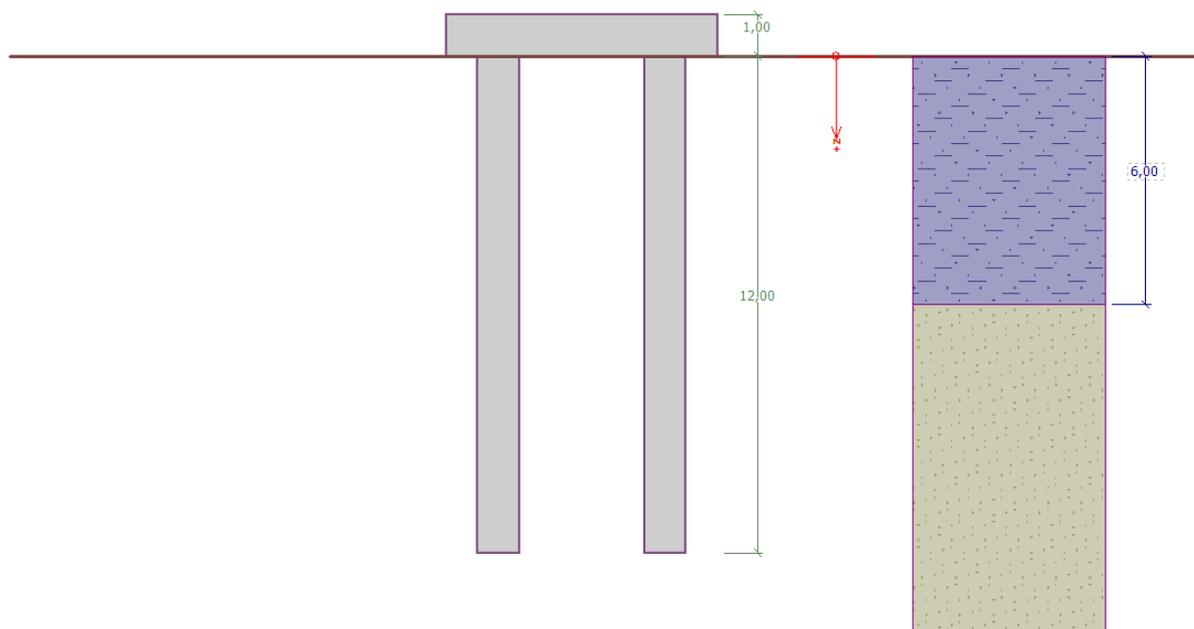


Диаграмма постановки задачи – куст свай

## Решение

Для решения этой проблемы воспользуемся программой GEO 5 – Куст свай. Чтобы упростить задачу и ускорить настройку общих параметров, будем опираться на **пример из предыдущего руководства по проектированию № 17. Расчёт вертикальной несущей способности куста свай**.

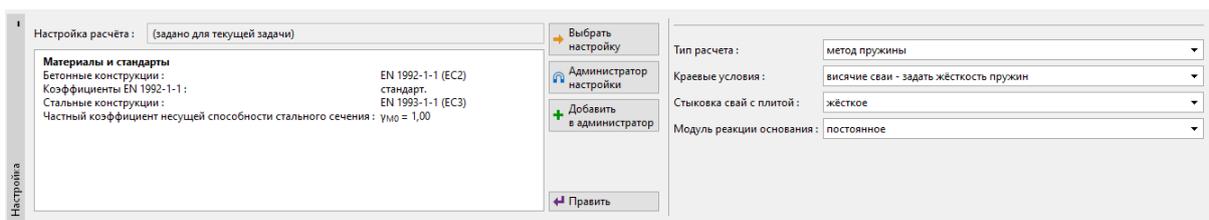
Выполним расчёт куста свай, используя так называемый *метод пружины*, который моделирует отдельные сваи в виде балок на упругом основании. Каждая свая внутренне разделена на десять секций, для которых вычисляются значения горизонтальных и вертикальных пружин. Фундаментная плита (цоколь куста) считается бесконечно жесткой. Само решение выполняется с определением деформаций по методу конечных элементов.

## Формулировка задачи

Открыть файл из руководства № 17 в программе «Куст свай». Затем во вкладке «Настройка» изменить тип расчёта на параметр «Метод пружины». Будем считать, что соединение свай с фундаментной плитой является **жестким, т.е. неподвижным**. Для этого граничного условия предполагается, что изгибающий момент будет передаваться на оголовки свай.

Для опоры сваи в плите выбрать опцию «висячие сваи – жёсткость пружин вычислить по параметрам грунтов».

*Примечание: Программа предусматривает несколько вариантов граничных условий для свайных опор в вертикальном направлении. Для торцевых свай или свай, забиваемых в коренную породу, вертикальная жесткость пружин не указана – основание сваи моделируется как шарнир или подвижное соединение. Для висячих свай необходимо определить размеры вертикальных пружин, как на внешнем слое, так и в основании сваи. Программа позволяет указать размер пружин, но обычно целесообразно выбирать опцию «вычислить размер пружин». В этом случае программа рассчитывает пружины, используя деформационные свойства грунтов для типового набора нагрузок (более подробная информация в справке – F1).*



Вкладка «Настройка расчёта» – метод пружины

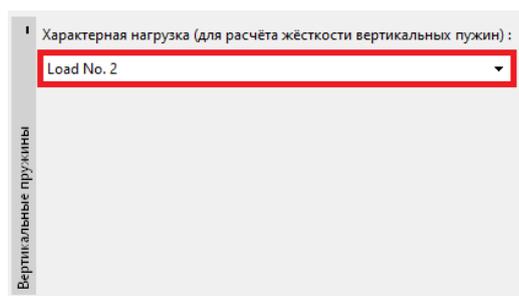
Горизонтальный модуль реакции грунта характеризует поведение сваи в поперечном направлении. В этом расчёте мы будем считать, что модуль  $k_h$  (включая параметры, влияющие на его величину) идентичен тому, который используется в решении с одиночной сваем (см. *Руководство № 16. Расчёт горизонтальной несущей способности одиночной сваи*). В первой части этой главы мы проведем расчёт с использованием **постоянного** модуля реакции грунта, а затем во второй части сравним различия между результатами при использовании других методов (линейных – по Боулзу, по CSN 73 1004 и по Весичу).

Когда мы меняем метод определения модуля реакции грунта, необходимо также редактировать параметры грунта во вкладке «Грунты». Значения этих параметров такие же, как в Руководстве №. 16. Для наглядности они также показаны в таблице ниже.

Модуль реакции грунта $k_h$ [МН/м <sup>3</sup> ]	Угол распределения $\beta$ [–]	Коэффициент $k$ [МН/м <sup>3</sup> ]	Модуль упругости $E$ [МПа]	Модуль горизонтальной сжимаемости $n_h$ [МН/м <sup>3</sup> ]
ПОСТОЯННЫЙ	10 – CS	---	---	---
	15 – S-F			
ЛИНЕЙНЫЙ (Bowles)	10 – CS	60 – CS	---	---
	15 – S-F	150 – S-F		
CSN 73 1004	Связный грунт – CS, плотная консистенция			---
	Несвязный грунт – S-F, средней плотности			4,5
VESIC	---	---	5,0 – CS	---
			15,5 – S-F	

Сводная таблица параметров грунта для определения модуля  $K_h$

Во вкладке «Вертикальные пружины» выбрать типовую нагрузку, которая используется для расчета жесткости вертикальных пружин. В данном случае выбрать вариант «Загрузка №2 — Эксплуатационная».



Вкладка «Вертикальные пружины» – типовая нагрузка

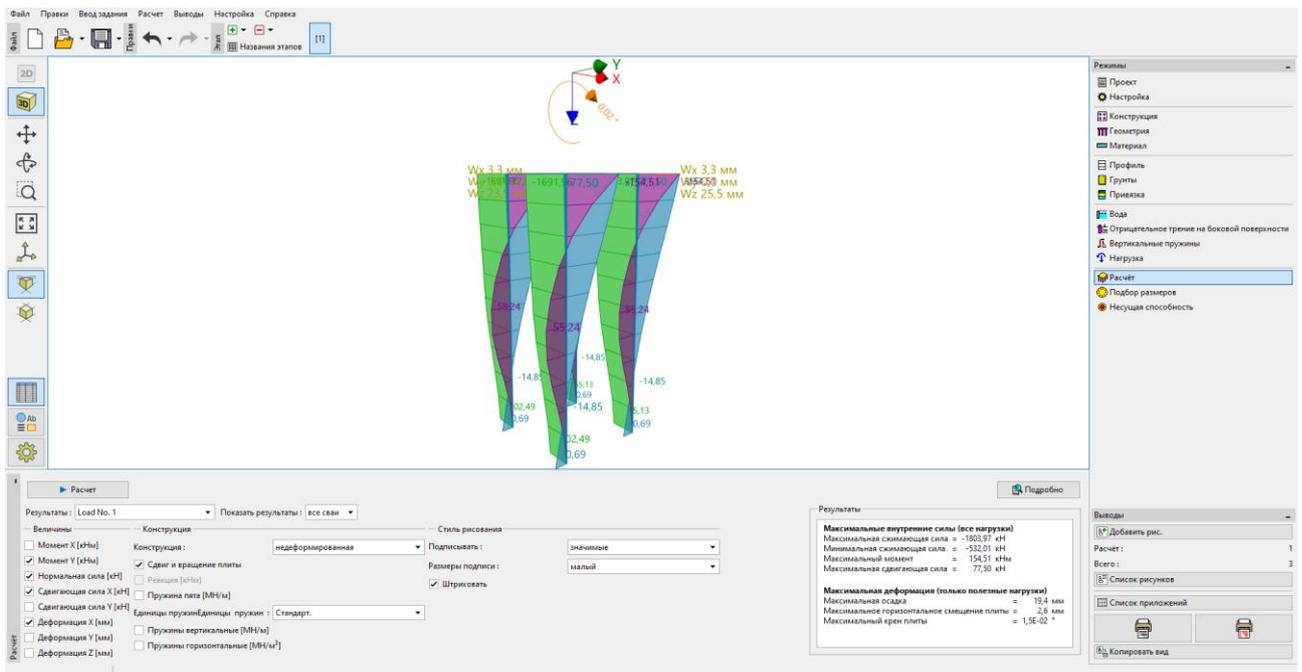
*Примечание: В качестве типовой следует применять полезную (рабочую) нагрузку, которая наилучшим образом характеризует поведение конструкции (более подробная информация в справке – F1). Процедура расчета вертикальных пружин заключается в следующем:*

- a) Расчётная нагрузка распределяется между отдельными сваями.*
- b) Размер вертикальных пружин в оболочке сваи и у основания определяется для отдельных свай в зависимости от нагрузки и параметров грунта.*

*Влияние нагрузки на расчётную жёсткость весьма значительно – например, для предварительно напряжённой сваи жёсткость пружины у основания всегда равна нулю. В связи с этим в некоторых случаях может оказаться наиболее подходящим вариантом выполнить расчет несколько раз для различных типовых нагрузок.*

## Расчёт: Метод пружины

Во вкладке «Расчёт» провести оценку куста свай для первоначальных настроек (**постоянный** модуль горизонтальной реакции грунта) и отобразить результаты, включая кривые внутренних усилий.



Вкладка «Расчёт» – метод пружины (постоянный модуль реакции грунта)

*Примечание: Жёсткость свай в кусте автоматически изменяется в зависимости от их расположения. Сваи на краю и внутри куста имеют уменьшенные размеры горизонтальной и поперечной жёсткости пружин по сравнению с одиночной свайей. Пружины на свайных основаниях не уменьшаются (более подробная информация в справке – F1).*

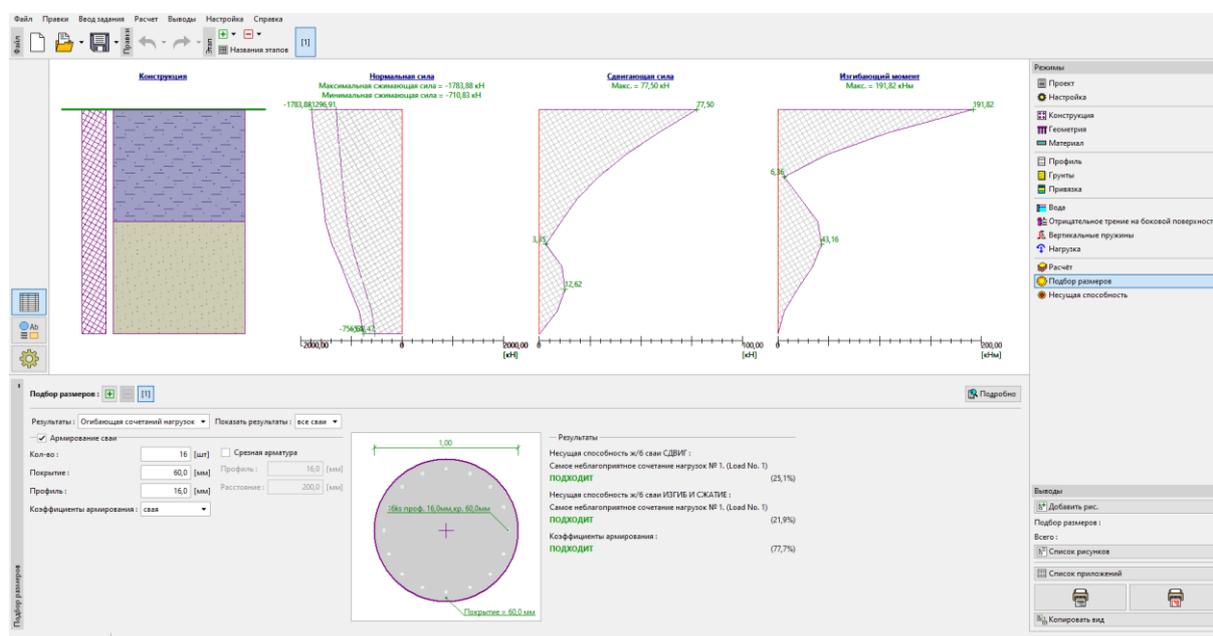
Результаты расчёта для первоначальных настроек (максимальной деформации):

- Максимальная осадка: 19,4 мм;
- Макс. горизонтальное смещение оголовка сваи: 2,6 мм;
- Максимальный поворот оголовка сваи:  $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ }^\circ$ .

## Подбор размеров

Перейти ко вкладке «Подбор размеров» и, аналогично главе 16. *Расчёт горизонтальной несущей способности одиночной сваи*, выбрать и оценить схему железобетонного армирования свай. Рассмотреть одинаковый коэффициент армирования для всех свай в кусте – **16 шт Ø 16 мм** и минимальное бетонное покрытие **60 мм**, в соответствии со степенью коррозионного воздействия ХС1.

Коэффициент армирования для куста свай с общей нагрузкой в данном случае считается соответствующим стандарту CSN EN 1536:1999 (аналогично приведённому в *главе 16*). В программе эта опция установлена как «свая» (более подробная информация в справке – F1).



*Вкладка «Подбор размеров» – результаты для каждой сваи в кусте по огибающей сочетаний нагрузок*

Результаты показывают использование поперечного сечения всех свай в кусте с точки зрения изгиба и условия минимального коэффициента армирования для всей огибающей сочетаний нагрузок:

- Несущая способность ж/б сваи (сдвиг): 25,1% **ПОДХОДИТ**
- Несущая способность ж/б сваи (изгиб): 21,9% **ПОДХОДИТ**
- Коэффициент ж/б армирования: 77,7% **ПОДХОДИТ**

## Результаты расчёта

Алгоритм для других расчётов в программе аналогичен алгоритму, применявшемуся в предыдущих задачах. Мы всегда будем изменять метод расчёта модуля упругости грунта во вкладке «Настройка», редактировать параметры грунта по мере необходимости, а затем проводить анализ куста свай во вкладках «Расчёт» и «Подбор размеров». Результаты представлены в следующих таблицах.

Модуль реакции грунта основания $k_h$ [МН/м <sup>3</sup> ]	Сила сжатия (максимальное, минимальное) [кН]	Максимальный изгибающий момент [кНм]	Максимальная сдвигающая сила [кН]
ПОСТОЯННЫЙ	-1803,97	154,51	77.50
	-532,01		
ЛИНЕЙНЫЙ (Bowles)	-1822,08	190,74	77.50
	-526,06		
по CSN 73 1004	-1815,70	177,97	77.50
	-528,18		
по VESIC	-1827,92	202,41	77.50
	-524,15		

Таблица результатов (внутренние силы) – Проверка куста свай (метод пружины)

Модуль реакции грунта основания $k_h$ [МН/м <sup>3</sup> ]	Максимальная осадка [мм]	Максимальное горизонтальное смещение [мм]	Максимальный поворот оголовка свай [°]	Несущая способность ж/б свай [%]
ПОСТОЯННЫЙ	19,4	2,6	$1,5 \cdot 10^{-2}$	20,8
ЛИНЕЙНЫЙ (Bowles)	19,9	3,5	$2 \cdot 10^{-2}$	22,1
по CSN 73 1004	19,8	3,3	$1,8 \cdot 10^{-2}$	21,6
по VESIC	20,1	4,7	$2,2 \cdot 10^{-2}$	22,6

Таблица результатов – смещение и подбор размеров куста свай

## Вывод

Значения максимальной осадки куста свай, смещения и поворота фундаментной плиты находятся в допустимых пределах.

Из результатов расчёта следует, что полученные значения внутренних сил по длине отдельных свай и максимальные деформации в оголовках свай в кусте отличаются незначительно, а влияние метода, выбранного для расчета модуля реакции грунта  $k_h$  не слишком существенно.

Предложенный арматурный каркас является подходящим. Также соблюдается основное условие по коэффициенту ж/б армирования свай.