

Свайные фундаменты - Введение

Программа: Сваи, Свая СРТ, Куст свай

Задача данного инженерного руководства – разъяснить практическое использование программ расчета свайных фундаментов в GEO5.

Программный комплекс GEO5 содержит три программы для расчета свайных фундаментов – **Сваи, Свая СРТ и Куст свай**. В тексте ниже приведено более подробное пояснение с указанием, какую программу следует использовать в конкретных случаях – каждая отдельная программа описана в последующих главах.

Несущая способность по вертикальной нагрузке для свайных фундаментов определяется различными методами:

- **Статические испытания свай:** эти испытания обязательны в некоторых странах, а расчетное обоснование применяется только для предварительного рассмотрения свайного фундамента;
- **Расчет, основанный на параметрах сопротивления грунтов сдвигу:** используются расчетные методы NAVFAC DM 7.2, Tomlinson, CSN 73 1002 и Эффективные напряжения в программах **Сваи и Куст свай**;
- **Расчет, основанный на результатах зондирования:** программа **Свая СРТ**;
- **Расчет, основанный на уравнениях регрессионной кривой, полученной по результатам статических испытаний** (согласно Masopust): программа **Сваи**, несущая способность определяется по кривой нагрузки сваи в точке предельно допустимой осадки (CSN 73 1002 устанавливает величину $s_{lim} = 25,0$ мм);
- **Расчет, основанный на параметрах Мора-Кулона и напряженно-деформированном состоянии грунтов:** используется так называемый метод пружин в программах **Сваи и Куст свай**;
- **Численный расчет с использованием метода конечных элементов:** программа **МКЭ**.

Как видно из списка, расчеты свай могут выполняться различными методами с использованием различных исходных параметров. Следовательно, хотя результаты расчета могут совпадать, зачастую они значительно различаются.

Большим преимуществом GEO5 является возможность для пользователя применить различные методы расчета, и таким образом определить наиболее вероятное поведение свайного фундамента, что в свою очередь позволяет определить общую несущую способность или осадку одиночной сваи или свайного куста.

Несущая способность свайных фундаментов в программах GEO5 определяется только при вертикальной нагрузке (с единственным исключением: Куст свай – метод пружин). Горизонтальные усилия, действующие на фундамент, изгиб и вращение не оказывают влияния на расчет вертикальной несущей способности свай.

Расчет вертикальной несущей способности одиночной сваи в GEO5 – Сваи представлен в Инженерном руководстве №13 и №14, расчет той же сваи на основании испытаний зондирования (CPT) описан в Инженерном руководстве №15.

Горизонтальная несущая способность свайных фундаментов

Результатом расчета горизонтально нагруженной сваи является горизонтальная деформация сваи и эпюра внутренних усилий в теле сваи.

В случае одиночной сваи, ее горизонтальная деформация и армирование зависят от рассчитанного модуля горизонтальной реакции вмещающего грунта и нагрузки боковым усилием или изгибающим моментом. Выполнение расчета описано в Инженерном руководстве №16. Расчет для свайного куста представлен в Инженерном руководстве №18.

Осадка свайных фундаментов:

Фактическая несущая способность сваи напрямую связана с ее осадкой в связи с тем, что практически любая свая перемещается под заданной нагрузкой и получает вертикальные деформации.

Осадка одиночных свай определяется в программе Сваи с использованием следующих методов:

- **по методу Masopust:** (нелинейный метод): программа рассчитывает осадку одиночной сваи на основании регрессионных коэффициентов по боковой поверхности и под острием сваи.
- **по методу Poulos** (линейный метод): программа рассчитывает общую осадку на основании определения несущей способности основания по боковой поверхности R_s и по острию R_b .
- **по методу пружин:** программа рассчитывает кривую нагрузки на основании заданных параметров грунтов с использованием метода конечных элементов.

Программа Сваи воспроизводит кривую нагрузки (так называемую рабочую диаграмму) для всех методов.

Расчет осадки куста свай описан в Инженерном руководстве №17, осадка свай на основании зондирования СРТ представлена в Инженерном руководстве №15.

Выбор программы

1. **Выбор** основывается на жесткости ростверка. Если ростверк рассматривается как бесконечно жесткий, используется программа Куст свай. В остальных случаях рассчитываются отдельные сваи.
2. **Выбор** основывается на результатах геологических изысканий. При наличии результатов зондирования СРТ для расчета отдельной сваи или группы свай может использоваться программа Свая СРТ (см. Инж.руководство №15). В прочих случаях для расчета с использованием параметров грунтов применяется программа Сваи или Куст свай.



На основании **типа расчета** различают:

- **Расчет для дренированных условий:** в программах Сваи и Куст свай для расчетов в соответствии с методами *CSN 73 1002* или «Эффективные напряжения» используются эффективные параметры сопротивления сдвигу грунта φ_{ef} , c_{ef} .
- **Расчет для недренированных условий:** в программах Сваи и Куст свай используется единственное значение сопротивления недренированному сдвигу c_u . Вертикальная

несущая способность одиночной сваи определяется по *Tomlinson*, в то время как куст свай рассчитывается как цилиндр грунта (ячейка) по рекомендациям *FHWA*.

Метод NAVFAC DM 7.2 сочетает оба упомянутых метода: есть возможность для каждого слоя грунта указать режим дренирования – дренированный (для несвязных грунтов) или недренированный (для связных).

Общая формулировка задачи:

Необходимо выполнить расчет вертикальной несущей способности и осадки свайного фундамента (см. рисунок ниже) в заданных инженерно-геологических условиях; далее, следует определить горизонтальные деформации свай и подобрать армирование для отдельных свай. Свайный фундамент состоит из четырех буронабивных свай диаметром $d = 1,0$ м и длиной $l = 12,0$ м. Результирующие усилия от приложенных нагрузок N , M_y , H_x действуют по верхней поверхности ростверка и приложены к его центру. В качестве материала свай используется армированный бетон класса С 20/25.

Нагрузки, действующие на сваи

В целях упрощения задачи в программе рассматривается один этап нагружения.

Процедура определения нагрузок, действующих на сваи различается в зависимости от типа конструкции и последующего решения, например, будет ли рассчитываться отдельная свая или свайный куст.

Куст свай

Предполагается, что ростверк жестко объединяет сваи. В примере рассматривается ростверк толщиной $t = 1,0$ м. В этом случае определяется суммарная реакция в центре ростверка.

Примечание: Простой метод определения нагрузок на свайный куст с помощью любой из программ статического расчета описан в Справке к программе Куст свай "[Определение нагрузки на куст свай](#)".

а) Расчетные (предельные) нагрузки:

- Вертикальная нормальная сила: $N = 5680$ кН,
- Изгибающий момент: $M_y = 480$ кНм,
- Горизонтальная сила: $H_x = 310$ кН.

б) Нормативные (рабочие) нагрузки:

- Вертикальная нормальная сила: $N = 4000 \text{ кН}$,
- Изгибающий момент: $M_y = 320 \text{ кНм}$,
- Горизонтальная сила: $H_x = 240 \text{ кН}$.

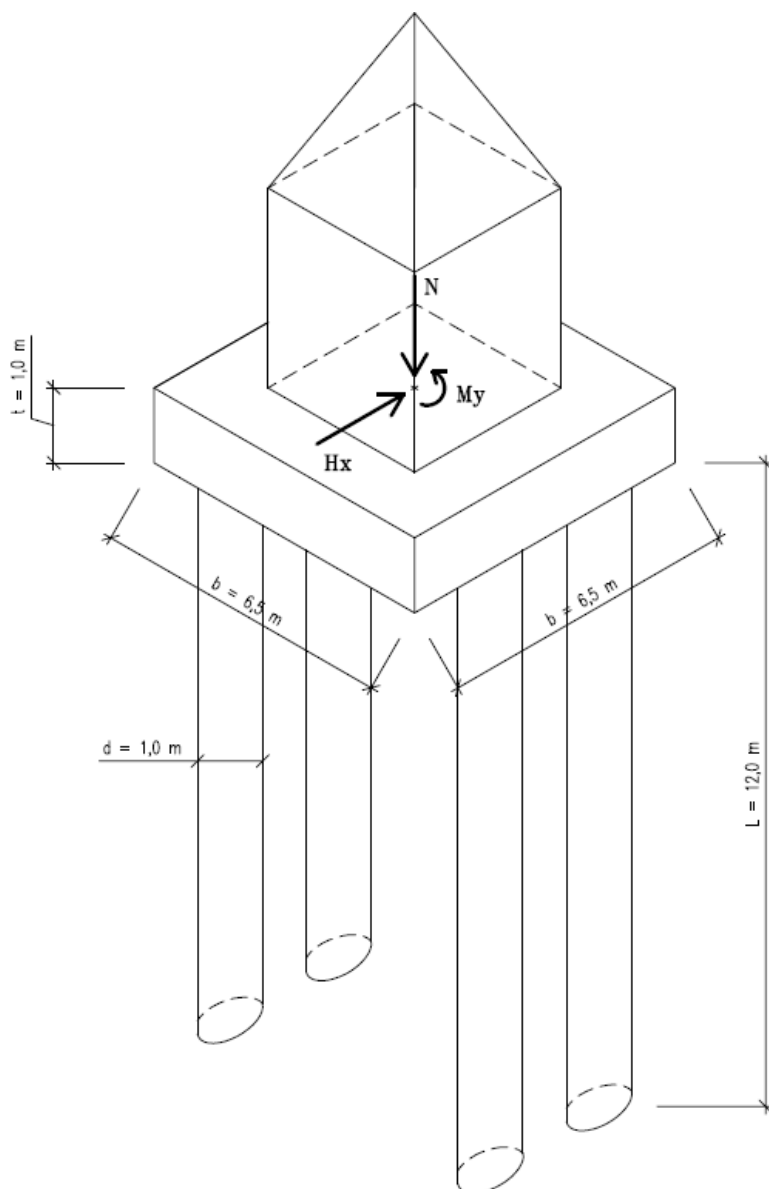


Схема рассматриваемой задачи – свайный фундамент

Одиночные сваи

В случае, если ростверк нельзя считать бесконечно жестким или здание опирается на оголовки свай без ростверка, то схема будет отличаться, и реакции на оголовках отдельных свай будут определяться в программе для статических расчетов (например, GEO5 – Плита, FIN 3D, SCIA Engineer, Dlubal RStab, и т.д.).

В данном примере расчета свай для упрощения рассматривается только один расчетный случай.

а) Расчетные (предельные) нагрузки:

- Вертикальная нормальная сила: $N_1 = 1450 \text{ кН}$,
- Изгибающий момент: $M_{y,1} = 120 \text{ кНм}$,
- Горизонтальная сила: $H_{x,1} = 85 \text{ кН}$.

б) Нормативные (рабочие) нагрузки:

- Вертикальная нормальная сила: $N_1 = 1015 \text{ кН}$,
- Изгибающий момент: $M_{y,1} = 80 \text{ кНм}$,
- Горизонтальная сила: $H_{x,1} = 60 \text{ кН}$.

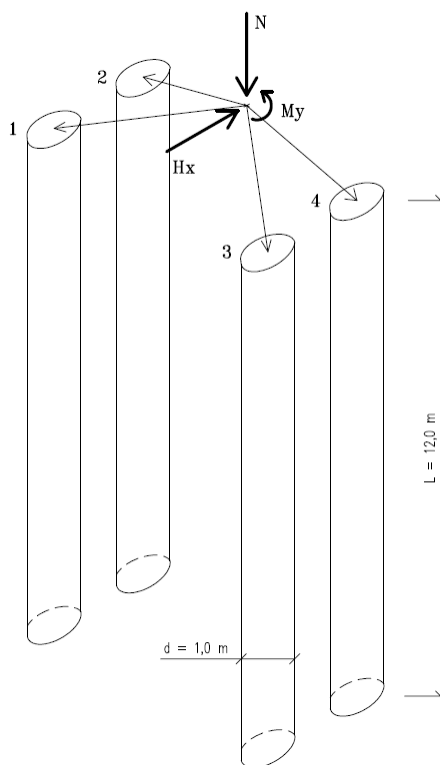


Схема действия нагрузок – распределение нагрузок между отдельными сваями

Примечание: Если предполагается, что размеры и армирование для всех свай совпадают, то их можно рассматривать как одну сваю с суммой нагрузок, действующих на все сваи.

Геологический разрез

- 0,0 до 6,0 м: Суглинок (CS, твердой консистенции),
- Более 6,0 м: Песок средней крупности (S-F, средней плотности).

Примечание: Основные параметры грунта одинаковы при расчете одиночных свай и куста свай. Их значения приведены в таблице ниже.

Параметры грунта/ классификация	Суглинок (CS) твердой консистенции	Песок средней крупности (S-F) средней плотности
Удельный вес γ [кН/м ³]	18,5	17,5
Удельный вес при полном водонасыщении γ_{sat} [кН/м ³]	20,5	19,5
Удельное сцепление c_{ef}/c_u [кПа]	14,0 / 50,0	0 / 0
Угол внутреннего трения φ_{ef} [°]	24,5	29,5
Коэффициент сцепления α [-]	0,6	–
Коэффициент несущей способности β_p [-]	0,3	0,45
Коэффициент Пуассона ν [-]	0,35	0,3
Одометрический модуль деформации E_{oed} [МПа]	8,0	21,0
Модуль деформации E_{def} [МПа]	5,0	15,5
Разновидность грунта	Глина (связный грунт)	Песок, щебень (несвязный грунт)
Угол распределения β [-]	10,0	15,0
Коэффициент постели k [МН/м ³]	60,0	150,0
Модуль сжимаемости в горизонтальном направлении n_k [МН/м ³]	–	4,5
Модуль упругости E [МПа]	5,0	15,5

Таблица параметров грунта – свайные фундаменты (сводная)

Список Инженерных руководств, относящихся к свайным фундаментам:

- № 12: Свайные фундаменты - введение
- № 13: Расчет вертикальной несущей способности одиночной сваи
- № 14: Расчет осадки одиночной сваи
- № 15: Расчет свай на основании зондирования СРТ
- № 16: Расчет горизонтальной несущей способности одиночной сваи
- № 17: Расчет вертикальной несущей способности и осадки куста свай
- № 18: Расчет деформации и определение размеров куста свай
- № 36: Проверка микросвайного фундамента