

Расчет вертикальной несущей способности одиночной сваи

Программа: Сваи

Файл: Demo_manual_13.gpi

Задачей данного инженерного руководства является объяснение использования программы GEO 5 – Сваи для расчета вертикальной несущей способности одиночной сваи в заданном примере.

Описание задачи

Общее описание задачи приведено в предыдущей главе 12. Свайные фундаменты – введение. Все расчеты вертикальной несущей способности одиночных свай будут выполняться в соответствии с EN 1997-1 (подход к расчету 2). Результирующее воздействие от компонент нагрузки N_1 , $M_{y,1}$, $H_{x,1}$ приложено к оголовку сваи.

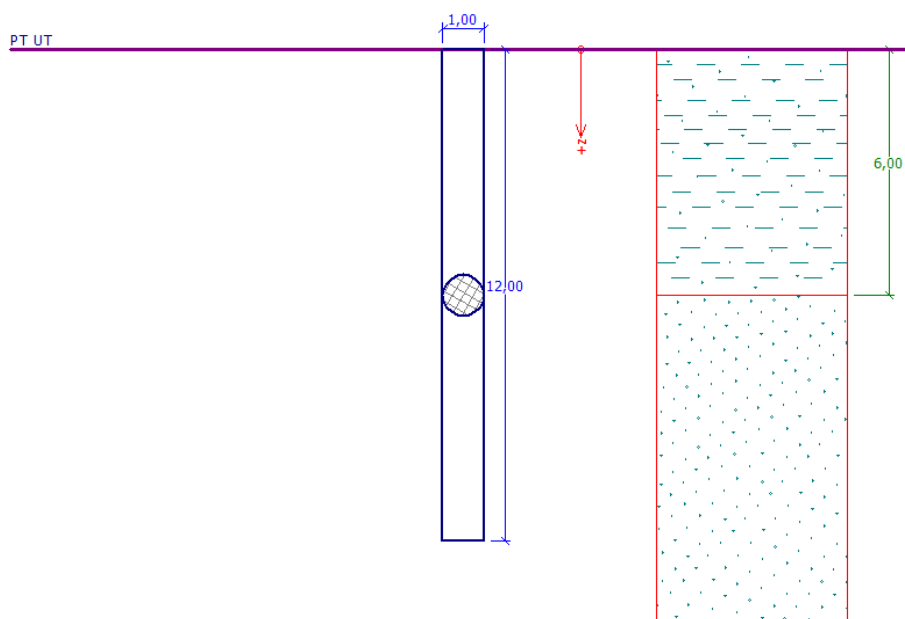


Схема задачи – одиночная свая

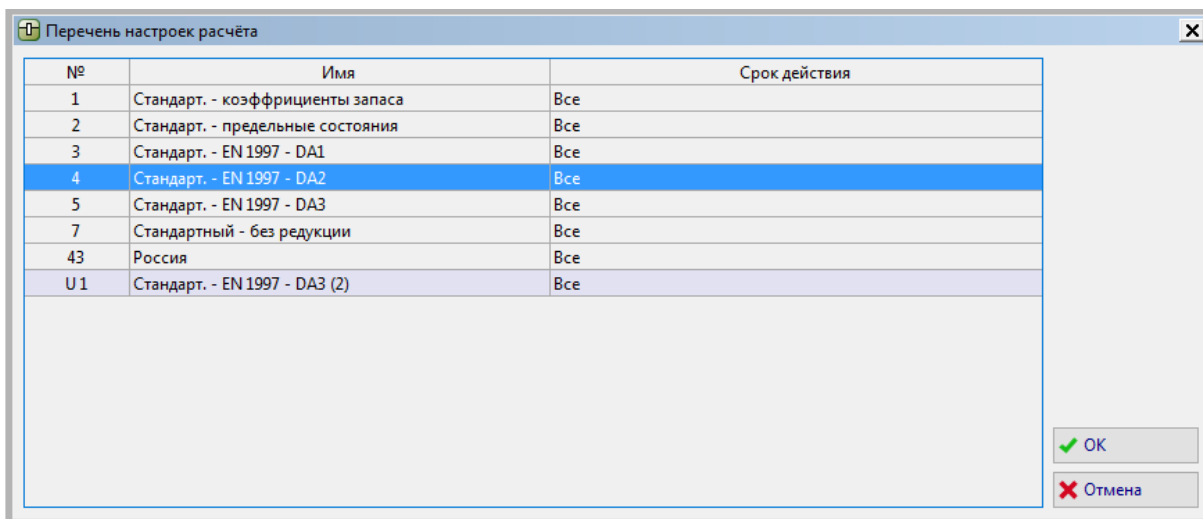
Решение

Для проведения расчета будет использоваться программа GEO5 – Сваи. В тексте ниже описано пошаговое решение задачи.

В данном расчете одиночная свая будет рассматриваться с позиции различных методов (NAVFAC DM 7.2, Эффективных напряжений и CSN 73 1002) с акцентом на **входные параметры**, влияющие на итоговый результат.

Ввод исходных данных

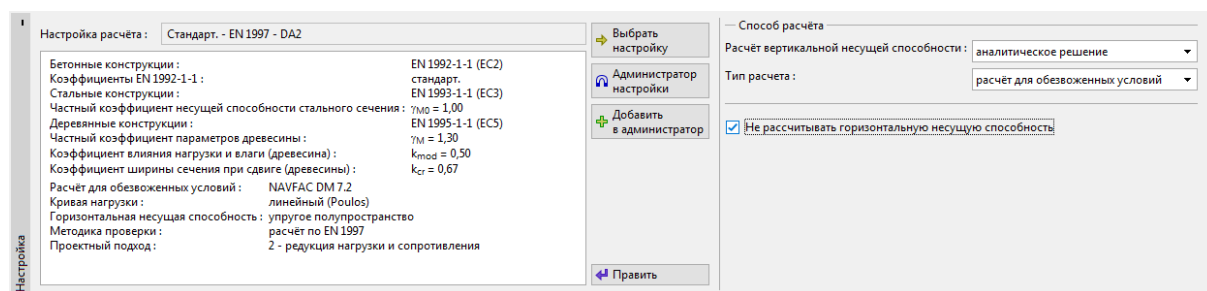
Вначале следует нажать кнопку «Выбрать настройку» (внизу экрана) на вкладке «Настройка» и выбрать опцию № 4 - «Стандарт – EN 1997 – DA2». Далее задается метод расчета вертикальной несущей способности сваи – *аналитическое решение*. В нашем случае, расчет производится в дренированном режиме.



Диалоговое окно «Перечень настроек расчета»

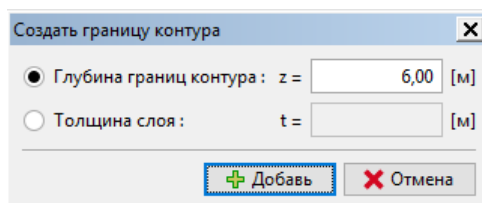
Для предварительного расчета сваи при таких настройках расчета по умолчанию используется метод NAVFAC DM 7.2 (см. рисунок ниже).

Горизонтальная несущая способность в данной задаче не рассматривается, поэтому следует отметить опцию «Не рассчитывать горизонтальную несущую способность»



Вкладка «Настройки»

Далее следует перейти во вкладку «Профиль», где указать новую границу на уровне 6,0 м.



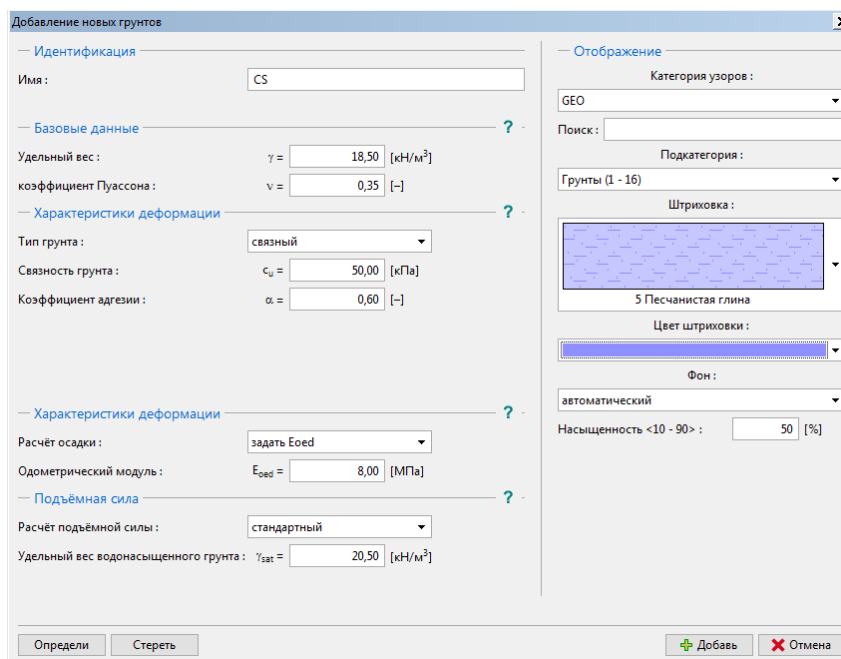
Вкладка «Профиль» - Добавление новой границы

Далее во вкладке «Грунты» задаются параметры грунтов, необходимые для расчета, и элементам разреза присваиваются соответствующие грунты. Метод **NAVFAC DM 7.2** требует указания разновидности грунта, относится ли он к связным или несвязным. Все перечисленные ниже параметры оказывают влияние на величину поверхностного трения R_s [кН].

Параметры грунта/ классификация	Удельный вес γ [кН/м ³]	Угол внутреннего трения φ_{ef} [кПа]	Удельное сцепление c_{ef}/c_u [кПа]	Коэффициент слипания α [-]	Коэффициент несущей способности β_p [-]
Суглинок (CS) твердой консистенции	18,5	24,5	- / 50	0,60	0,30
Песок средней крупности (S-F) средней плотности	17,5	29,5	0 / -	-	0,45

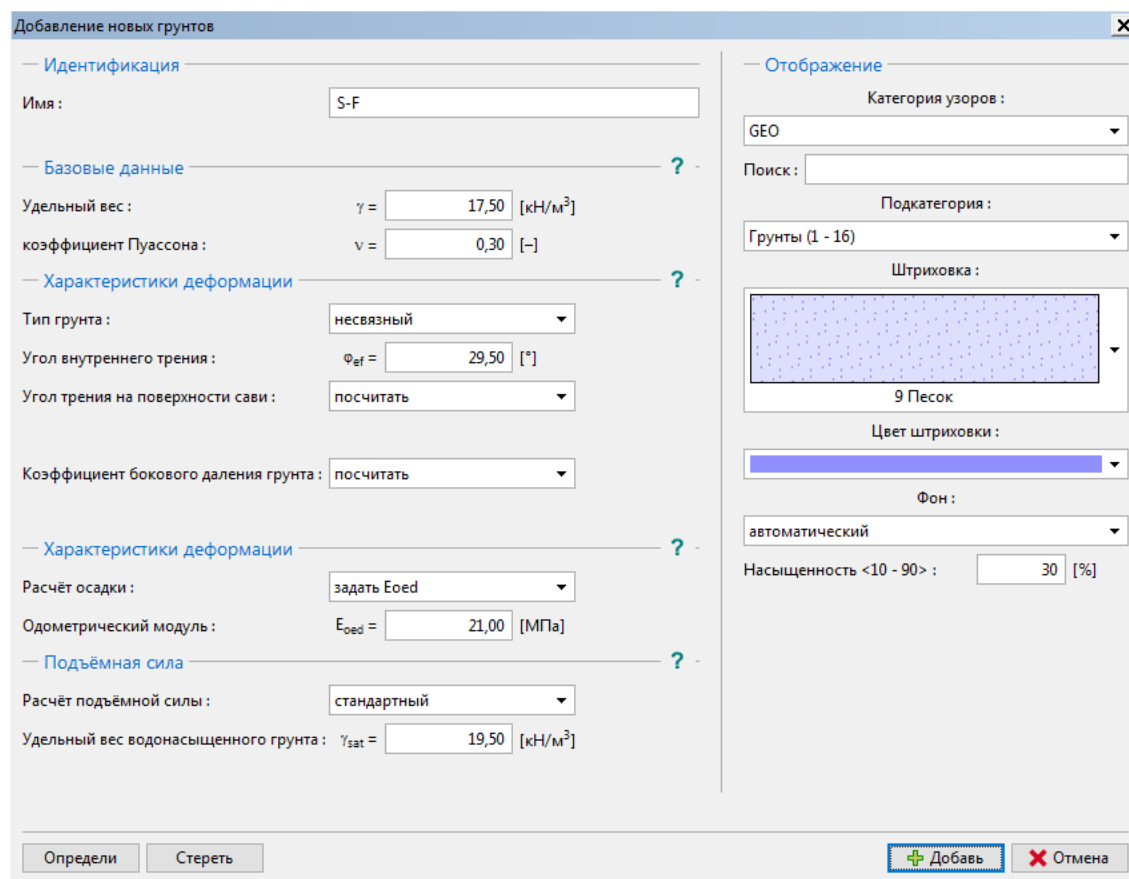
*Таблица параметров грунтов – Вертикальная несущая способность
(аналитическое решение)*

Для первого слоя грунта, рассматриваемого как недренируемый связный грунт (класс F4, твердая консистенция), необходимо дополнительно указать сопротивление недренированному сдвигу c_u [кПа], а также так называемый коэффициент слипания α [-]. Этот коэффициент определяется в зависимости от консистенции грунта, материала сваи и общего сцепления (более подробная информация приведена в разделе «Справка» - F1).



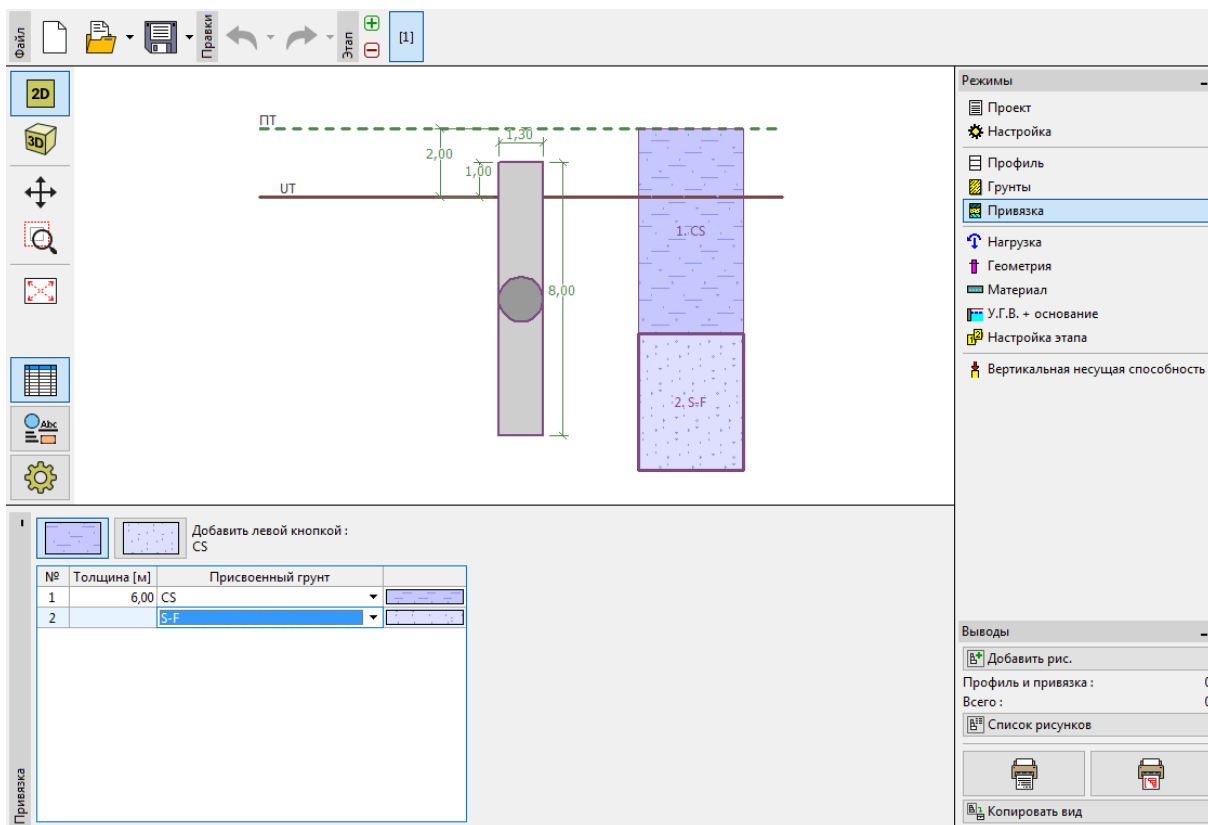
Диалоговое окно «Добавить грунт» - грунт CS

Второй слой грунта, который рассматривается как несвязный (класс S3, средней плотности) следует дополнительно указать угол трения на поверхности δ [°], который зависит от материала сваи. Далее следует ввести коэффициент бокового давления K [-], который определяется видом нагружения (сжатие – растяжение) и технологией устройства сваи (более подробная информация приведена в разделе «Справка» - F1). В целях упрощения задачи, используем опцию «вычислить» для каждого случая.



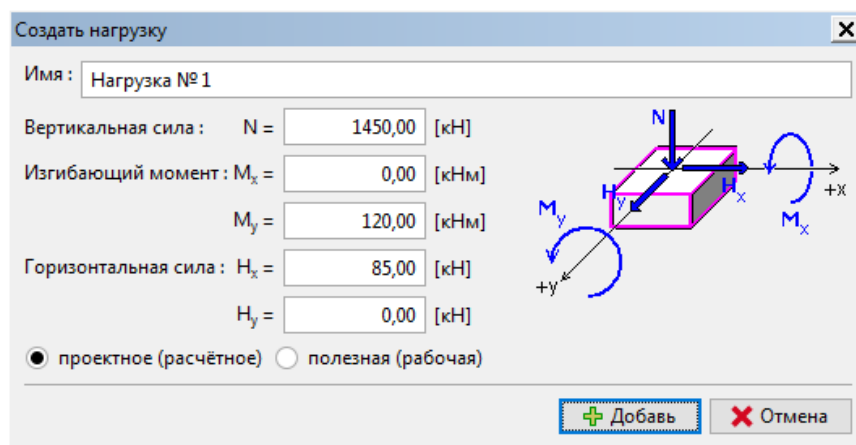
Диалоговое окно «Добавить новый грунт» - грунт S-F

Далее разновидности грунта присваются элементам разреза во вкладке «Привязка».



Вкладка «Привязка» - присвоение разновидностей грунта элементам разреза

Далее во вкладке «Нагрузка» следует указать нагрузку, действующую на сваю. Проектное (расчетное) значение нагрузки используется при расчете вертикальной несущей способности, в то время как нормативное (рабочее) значение используется при расчете осадки. Следовательно, вводится значение расчетной нагрузки, как показано на рисунке ниже.



Диалоговое окно «Создать нагрузку»

Во вкладке «Геометрия» следует определить поперечное сечение сваи и указать основные размеры, то есть диаметр и длину. Далее указывается технология устройства сваи.

Геометрия

— Базовые размеры

Сечение сваи :

Диаметр сваи : $d =$ [м]

Длина сваи : $l =$ [м]

— Расположение


Вылет сваи : $h =$ [м]

Глубина планированного рельефа: $h_z =$ [м]

Материал сваи :

— Технология

Тип технологии :



Вкладка «Геометрия»

Во вкладке «Материал» вводятся параметры материала сваи – удельный вес конструкции $\gamma = 23,0 \text{ кН/м}^3$.

Материал

Удельный вес конструкции : $\gamma =$ [кН/м³]

— Бетон

C 20/25
 $f_{ck} = 20,00 \text{ МПа}$
 $f_{ctm} = 2,20 \text{ МПа}$
 $E_{cm} = 30000,00 \text{ МПа}$
 $G = 12500,00 \text{ МПа}$

— Арматура продольная

B500
 $f_{yk} = 500,00 \text{ МПа}$

— Арматура поперечная

B500
 $f_{yk} = 500,00 \text{ МПа}$

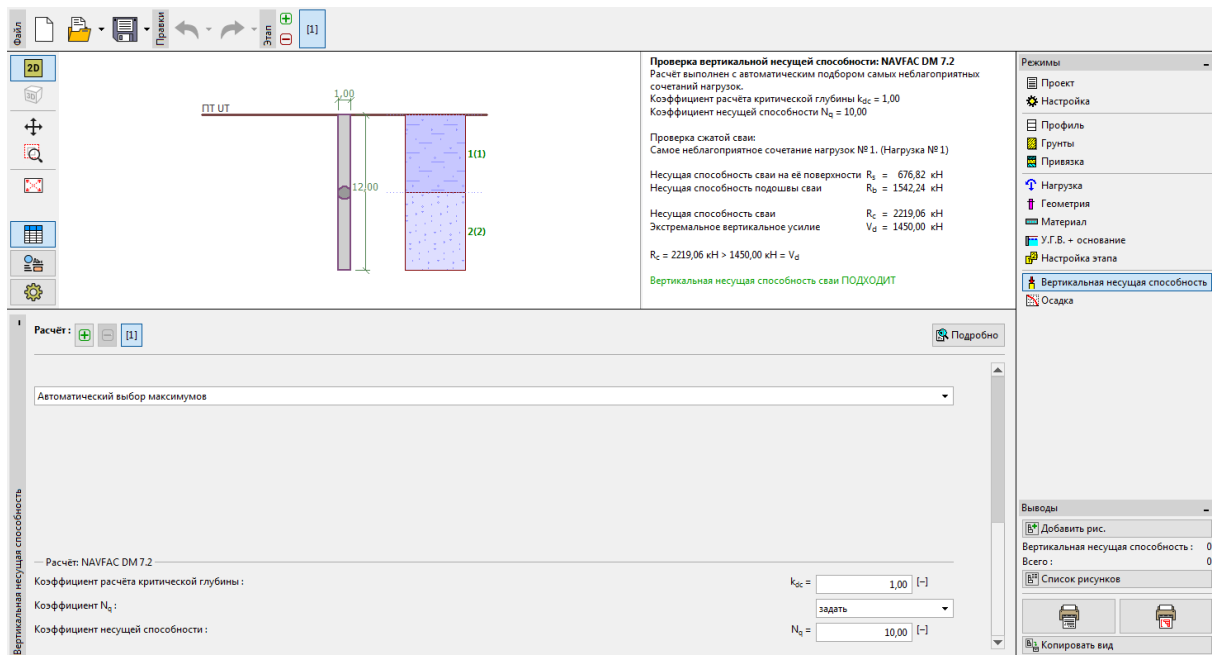
Вкладка «Материал»

Во вкладке «У.Г.В. + основание» никаких изменений не требуется. На вкладке «Настройка этапа» следует оставить «постоянную» проектную ситуацию (расчетный случай) и продолжить расчет на вкладке «Вертикальная несущая способность».

Расчет вертикальной несущей способности одиночной сваи – метод расчета NAVFAC DM 7.2

На вкладке «Вертикальная несущая способность» следует ввести параметры расчета, определяющие величину несущей способности сваи R_b [кН]. Сначала следует определить коэффициент критической глубины k_{dc} [-], вычисляемый по так называемой критической глубине, зависящей от плотности грунта (более подробная информация представлена в разделе «Справка» - F1). Примем данный коэффициент равным $k_{dc} = 1$.

Другим важным параметром является коэффициент несущей способности N_q [-], определяемый углом внутреннего трения φ_{ef} [°] в зависимости от технологии устройства сваи (более подробная информация представлена в разделе «Справка» - F1). В нашем случае принимается $N_q = 10,0$.



Вкладка «Вертикальная несущая способность» - расчет по методу NAVFAC DM 7.2

Расчетное значение вертикальной несущей способности сваи R_c [кН] складывается из бокового трения R_s и сопротивления под нижним концом R_b . Для обеспечения надежности данное значение должно превышать величину расчетно нагрузки V_d [кН], приложенной к оголовку сваи.

— **NAVFAC DM 7.2:** $R_c = 2219,06 \text{ кН} > V_d = 1450,0 \text{ кН}$ **ПОДХОДИТ**

Расчет вертикальной несущей способности одиночной сваи — метод эффективных напряжений

Теперь вернемся к исходным настройкам и выполним расчет вертикальной несущей способности одиночной сваи другими методами (Эффективных напряжений и CSN 73 1002).

Во вкладке «Настройки» нажмите кнопку «править». Далее, во вкладке «Сваи» выберите опцию «Эффективное напряжение». Прочие параметры остаются без изменений.

Правка настройки для текущей задачи.: Свая

Материалы и стандарты | Сваи

Расчёт для обезвоженных условий: **Эффективное напряжение**

Расчёт для необезвоженных условий: Tomlinson

Кривая нагрузки: линейный (Poulos)

Горизонтальная несущая способность: упругое полупространство

Методика проверки: расчёт по EN 1997

Проектный подход: 2 - редукция нагрузки и сопротивления

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

— Коэффициенты редукции нагрузки (F) —

Постоянная нагрузка: $\gamma_G =$ [-] [-]

— Коэффициенты редукции сопротивления (R) —

Буровые сваи | Забивные сваи | CFA сваи

Коэффициент редукции сопротивления на боковой поверхности сваи: $\gamma_s =$ [-]

Коэффициент редукции сопротивления на подошве: $\gamma_b =$ [-]

Коэффициент редукции несущей способности растянутой сваи: $\gamma_{st} =$ [-]

OK Отмена

Диалоговое окно «Правка настройки для текущей задачи»

Далее следует перейти во вкладку «Грунты». Данный метод расчета требует дополнительного указания коэффициента несущей способности сваи β_p [-], который влияет на величину бокового трения R_s [кН]. Этот параметр определяется величиной угла внутреннего трения φ_{ef} [°] и разновидностью грунта (более подробная информация представлена в разделе «Справка» - F1).

Редактир.парам.грунта

— Идентификация —

Имя:

— Базовые данные — ?

Удельный вес: $\gamma =$ [кН/м³]

коэффициент Пуассона: $\nu =$ [-]

— Метод эффективных напряжений — ?

Коэффициент несущей способности сваи: $\beta_p =$ [-]

— Характеристики деформации — ?

Расчёт осадки: **здать Eoed**

Одометрический модуль: $E_{oed} =$ [МПа]

— Подъёмная сила — ?

Расчёт подъёмной силы: **стандартный**

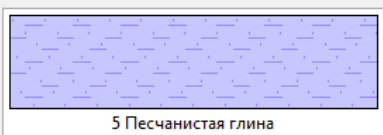
Удельный вес водонасыщенного грунта: $\gamma_{sat} =$ [кН/м³]

— Отображение —

Категория узоров: **GEO**

Поиск:

Подкатегория: **Грунты (1 - 16)**

Штриховка: 

5 Песчанистая глина

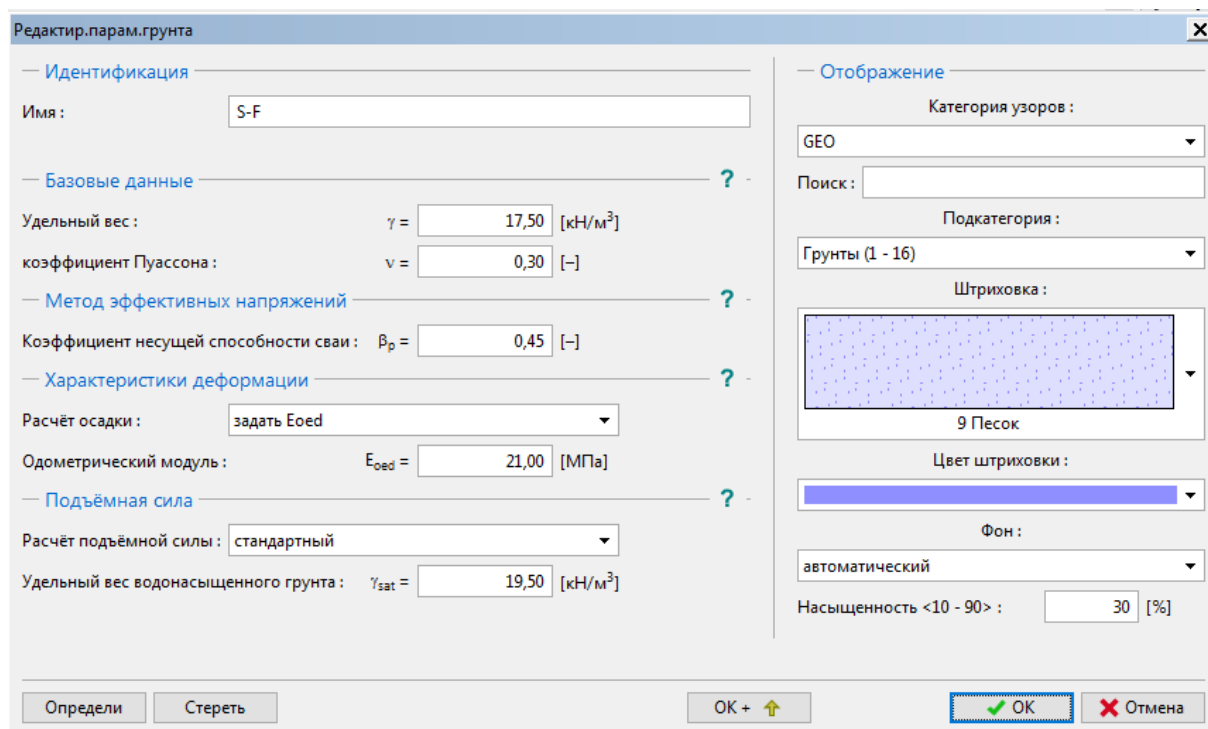
Цвет штриховки:

Фон: **автоматический**

Насыщенность <10 - 90>: [%]

Определить Стереть OK + ↓ OK Отмена

Диалоговое окно «Редактировать параметры грунта» - грунт CS



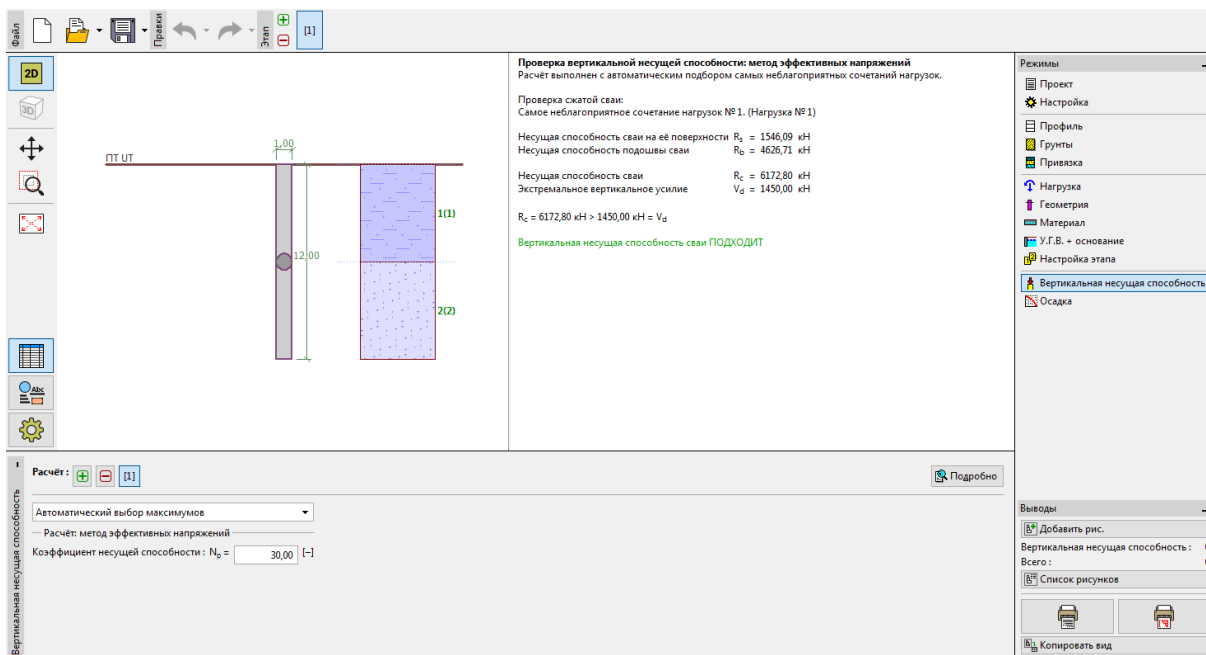
Диалоговое окно «Редактировать параметры грунта» - грунт S-F

Прочие вкладки остаются без изменений. Теперь следует вернуться во вкладку «Вертикальная несущая способность». Для метода «Эффективных напряжений» вначале следует задать коэффициент несущей способности N_p [-], который существенно влияет на несущую способность R_b [кН]. Этот параметр определяется углом внутреннего трения φ_{ef} [°] и разновидностью грунта (более подробная информация приведена в разделе «Справка» - F1).

Влияние данного параметра на результат показано в таблице:

- при $N_p = 10$ (свая упирается в глинистый грунт): $R_b = 154224$ кН,
- при $N_p = 30$ (свая упирается в песчаный грунт): $R_b = 462671$ кН,
- при $N_p = 60$ (свая упирается в гравелистый грунт): $R_b = 925342$ кН.

В данном примере рассматривается значение коэффициента несущей способности $N_p = 30$ (свая упирается в песчаный грунт). Ориентировочные значения N_p представлены в разделе «Справка» - F1.

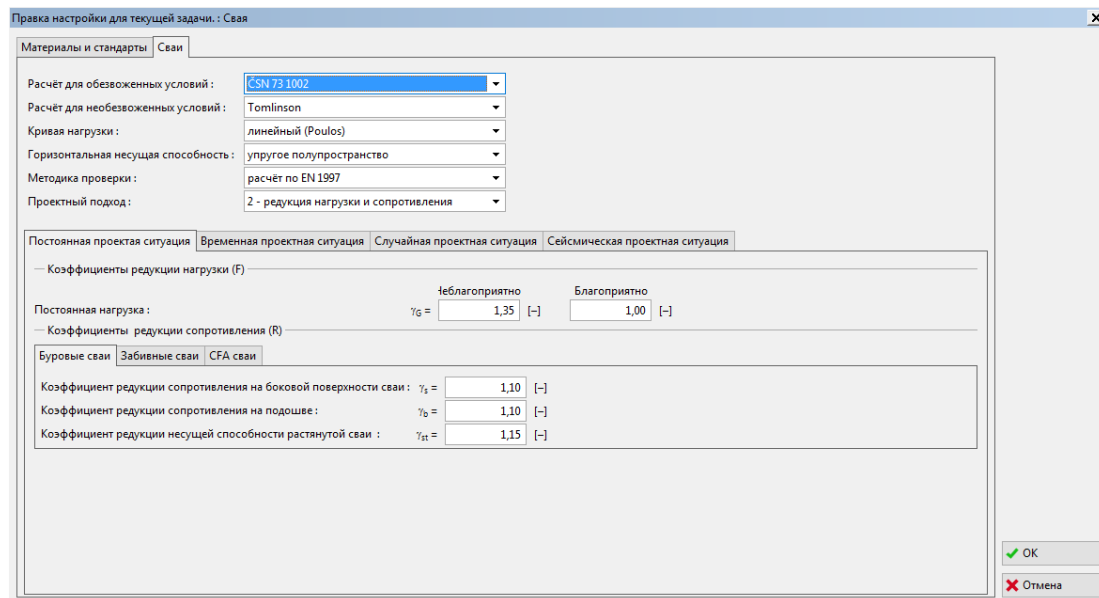


Вертикальная несущая способность – расчет методом эффективных напряжений

- **Эффективные напряжения:** $R_c = 6172,8$ кН $>$ $V_d = 1450,0$ кН **ПОДХОДИТ**

Расчет вертикальной несущей способности одиночной сваи – метод расчета CSN 73 1002

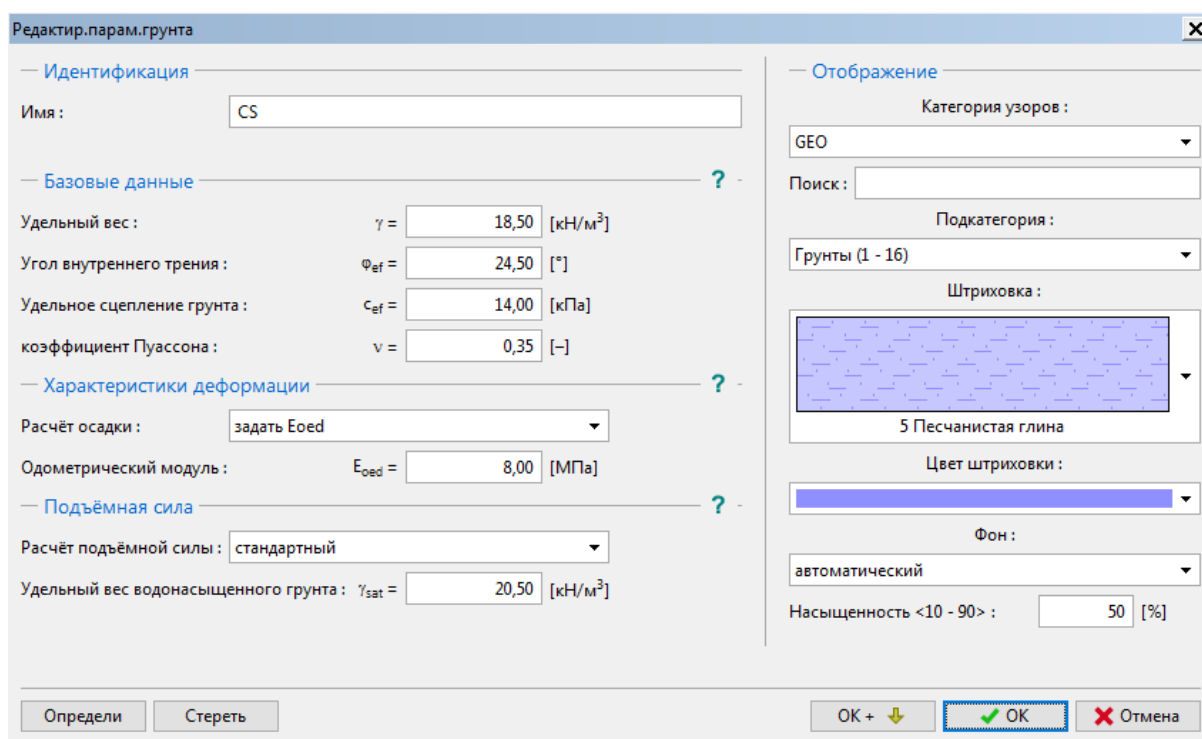
Далее следует вернуться во вкладку «Настройка» и изменить метод расчета на “CSN 73 1002” для дренированного режима нажатием кнопки «Править». Все остальные входные параметры остаются без изменений.



Диалоговое окно «Правка настройки для текущей задачи»

Примечание: Порядок расчета представлен в публикации **«Pile foundations – Comments on CSN 73 1002» (Chapter 3: Designing, part B – General solution according to group 1 of the limit states theory, page 15)** («Свайные фундаменты – комментарии к CSN 73 1002», Глава 3: Расчет, часть B – Общее решение по теории первой группы предельных состояний, стр. 15). Алгоритм программы полностью основан на зависимостях, представленных в данном тексте, за исключением расчетных коэффициентов, которые определяются выбранным методом расчета (более подробная информация представлена в разделе «Справка» - F1).

Далее следует вернуться во вкладку «Грунт», где необходимо указать эффективные параметры сопротивления сдвигу для каждой разновидности грунта.



The dialog box is titled "Редактир.парам.грунта" (Edit soil parameters). It is divided into two main sections: "Идентификация" (Identification) and "Отображение" (Display).

Идентификация (Identification):

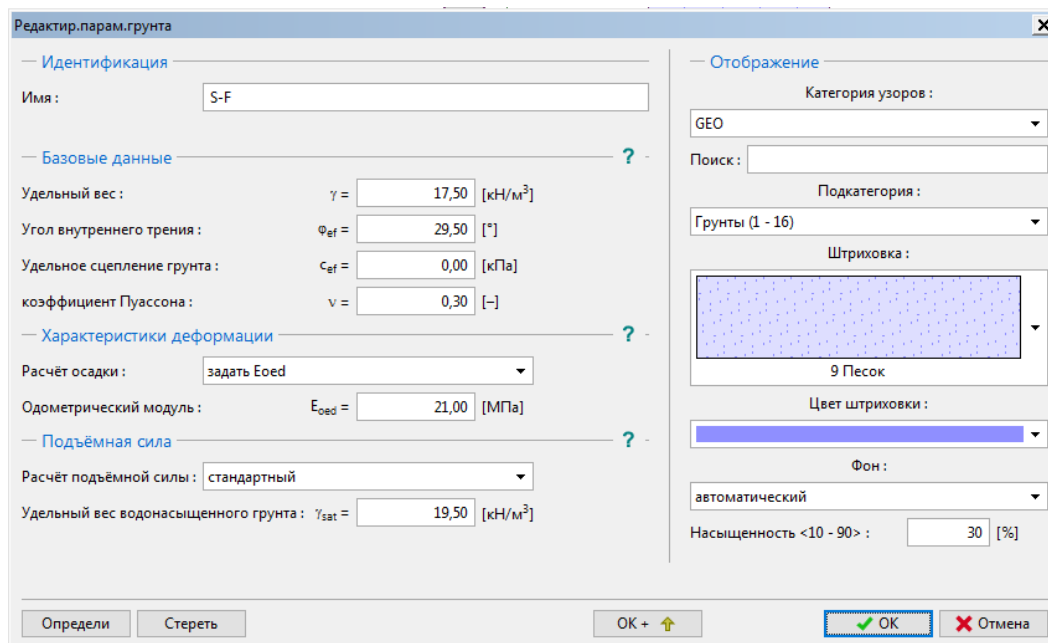
- Имя:** CS
- Базовые данные (Basic data):**
 - Удельный вес: $\gamma = 18,50$ [кН/м³]
 - Угол внутреннего трения: $\varphi_{ef} = 24,50$ [°]
 - Удельное сцепление грунта: $c_{ef} = 14,00$ [кПа]
 - коэффициент Пуассона: $\nu = 0,35$ [-]
- Характеристики деформации (Deformation characteristics):**
 - Расчёт осадки: задать E_{oed}
 - Одометрический модуль: E_{oed} = 8,00 [МПа]
- Подъёмная сила (Buoyancy force):**
 - Расчёт подъёмной силы: стандартный
 - Удельный вес водонасыщенного грунта: $\gamma_{sat} = 20,50$ [кН/м³]

Отображение (Display):

- Категория узоров:** GEO
- Поиск:** (empty field)
- Подкатегория:** Грунты (1 - 16)
- Штриховка:** 5 Песчанистая глина (with a corresponding pattern preview)
- Цвет штриховки:** (blue color selection)
- Фон:** автоматический
- Насыщенность <10 - 90>:** 50 [%]

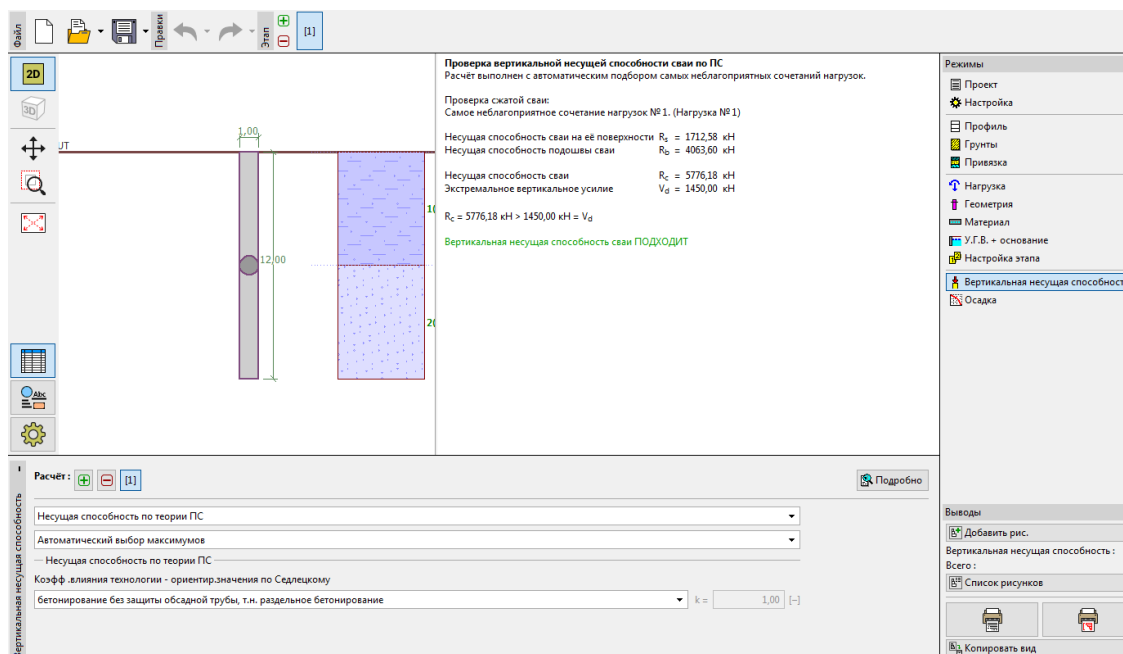
Buttons at the bottom: Определи, Стереть, OK + ↓, OK (highlighted with a green checkmark), and Отмена.

Диалоговое окно «Редактировать параметры грунта» - грунт CS



Диалоговое окно «Редактировать параметры грунта» - грунт S-F

Далее следует выполнить повторный расчет сваи во вкладке «Вертикальная несущая способность». Коэффициент технологического влияния остается равным 1,0 (расчет вертикальной несущей способности выполняется без учета снижения вследствие технологии устройства).



Проверка вертикальной несущей способности сваи по ПС
Расчёт выполнен с автоматическим подбором самых неблагоприятных сочетаний нагрузок.

Проверка сжатой сваи:
Самое неблагоприятное сочетание нагрузок № 1. (Нагрузка № 1)

Несущая способность сваи на её поверхности $R_c = 1712,58$ кН
Несущая способность подошвы сваи $R_b = 4063,60$ кН

Несущая способность сваи $R_c = 5776,18$ кН
Экстремальное вертикальное усилие $V_d = 1450,00$ кН

$R_c = 5776,18$ кН > $1450,00$ кН = V_d
Вертикальная несущая способность сваи ПОДХОДИТ

Расчёт: [+] [-] [1]

Несущая способность по теории ПС

Автоматический выбор максимумов

Несущая способность по теории ПС

Коэфф. влияния технологии - ориентир значения по Седлецкому

бетонирование без защиты обсадной трубы, т.е. раздельное бетонирование $k = 1,00$ [-]

Режимы

- Проект
- Настройка
- Профиль
- Грунты
- Привязка
- Нагрузка
- Геометрия
- Материал
- У.Г.В. + основание
- Настройка этапа
- Вертикальная несущая способность**
- Осадка

Выводы

[X] Добавить рис.

Вертикальная несущая способность: 0

Всего: 0

[X] Список рисунков

[X] Копировать вид

Вкладка «Вертикальная несущая способность – расчет в соответствии с CSN 73 1002»

— **CSN 73 1002:** $R_c = 5776,18$ кН > $V_d = 1450,0$ кН

ПОДХОДИТ

Результаты расчета вертикальной несущей способности одиночной сваи

Значения полной несущей способности сваи R_c различаются в зависимости от используемого метода расчета и используемых входных параметров:

NAVFAC DM 7.2:	коэффициент сцепания α [-],
	угол поверхностного трения δ [°],
	коэффициент бокового давления K [-],
	коэффициент критической глубины k_{dc} [-],
	коэффициент несущей способности N_q [-].
Эффективные напряжения:	коэффициента несущей способности сваи β_p [-],
	коэффициент несущей способности N_p [-].
CSN 73 1002:	удельное сцепление c_{ef} [кПа],
	угол внутреннего трения φ_{ef} [°]

Результаты расчета вертикальной несущей способности одиночной сваи в дренированных условиях в зависимости от метода расчета представлены в таблице:

EN 1997-1, DA2 (дренированные условия) Метод расчета	Несущая способность по боковой поверхности R_s [кН]	Несущая способность под нижним концом R_b [кН]	Вертикальная несущая способность R_c [кН]
NAVFAC DM 7.2	676,82	1542,24	2219,06
Эффективные напряжения	1546,09	4626,71	6172,80
CSN 73 1002	1712,58	4063,60	5776,18

Сводные результаты – вертикальная несущая способность сваи в дренированных условиях

Полная несущая способность центрально нагруженной одиночной сваи R_c выше, чем величина действующей расчетной нагрузки V_d . Условие обеспечения надежности выполнено; следовательно, проектируемая свая удовлетворяет требованиям.

Заключение

Из результатов расчета следует, что общая вертикальная несущая способность сваи различается в каждом расчете. Это вызвано как различными входными параметрами, так и различными методами расчета.

Расчет свай в основном зависит от выбранного метода расчета и входных параметров, описывающих поведение грунта. При проектировании следует использовать тот метод, для которого имеются необходимые входные параметры, например, полученные в ходе инженерно-геологических изысканий или на основании местного опыта проектирования.

Совершенно неприемлемо выполнять расчет сваи всеми возможными методами, а далее выбирать лучший или худший результат.

В Чехии и Словакии разработчики программного комплекса GEO5 рекомендуют выполнять расчет вертикальной несущей способности одиночной сваи двумя методами:

- С учетом предельно допустимой осадки $s_{lim} = 25$ мм (метод **Masopust**, основанный на уравнениях регрессионных кривых).
- В соответствии с **CSN 73 1002**. Порядок расчета совпадает с представленным в CSN, но коэффициенты нагрузки и расчета, снижающие параметры грунтов или сопротивление сваи задаются по EN 1997-1. Таким образом, данный расчет полностью удовлетворяет требованиям EN 1997-1.