Презентация лекции по геотехнике · Свайные фундаменты

Несущая способность сваи в глине

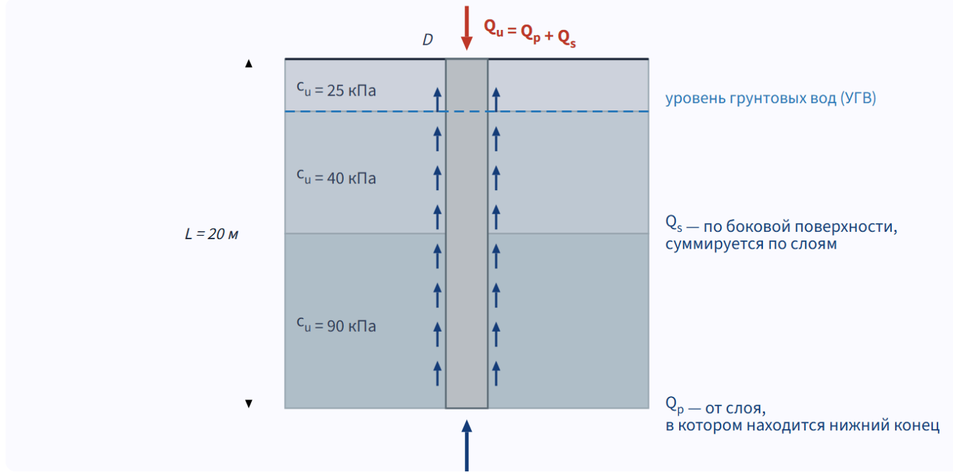
Лекция: недренированное сопротивление под нижним концом, сопротивление по боковой поверхности по методам α, λ и β, буровая свая. Теория каждого метода, затем пример расчёта.

Meyerhof · Vesic

Методы α · λ · β

Буровая свая

Примеры расчёта



Что мы изучим на этой лекции?

Умение объяснить, почему глина рассматривается как **недренированная** ($\varphi = 0$) и где эффективное напряжение всё же вступает в расчёт

Уметь вычислять **сопротивление под нижним концом** двумя методами: Meyerhof ($N^*_c = 9$) и Vesic (жёсткость)

Умение рассчитывать трение по боковой поверхности **тремя подходами**: α, λ и β

Умение применять особые правила для **буровой сваи**: $\alpha^* = 0$ на обоих участках длины, собственное выражение для нижнего конца

Получение **допускаемой несущей способности** и совместная интерпретация результатов подходов

ХОД ЛЕКЦИИ

Каждый метод излагается **в три шага**:

1 · **Теория**: как работает метод и почему именно так?

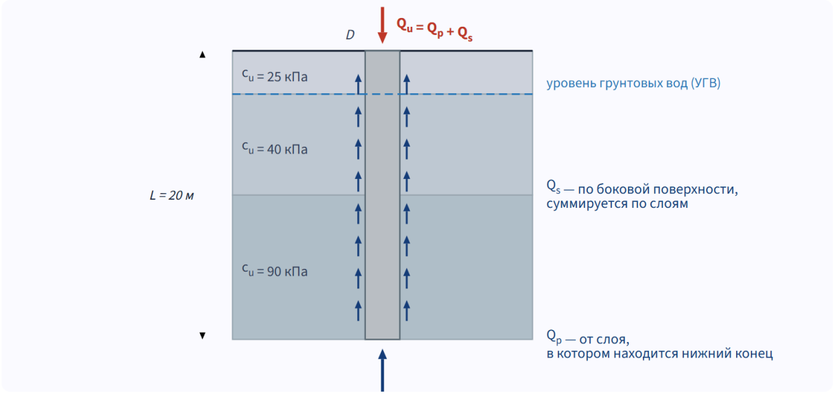
2 · **Условие**: дано и требуется определить

3 · **Решение**: пошагово, с числами

Большинство примеров выполняется для одной и той же сваи: трубчатой сваи длиной 20 m, проходящей через три слоя глины.

Нагрузка передаётся двумя путями

ТЕОРИЯ



Свая передаёт нагрузку грунту **одновременно двумя путями**: глина под остриём работает как глубокий фундамент с **сопротивлением под нижним концом** (Q_p), а глина вдоль боковой поверхности оказывает сопротивление за счёт **адгезии** (Q_s).

$$Q_u = Q_p + Q_s \qquad Q_{all} = \frac{Q_u}{FS}$$

В глине **сопротивление по боковой поверхности** суммируется по слоям; **сопротивление под нижним концом** определяется только тем слоем, в котором расположен нижний конец сваи.

В типичном профиле сопротивление под нижним концом составляет очень малую часть суммарного: в примере сваи около **одной девятой**; сопротивление по боковой поверхности — около восьми девятых. Неопределённость также сосредоточена главным образом в нём.

На этой лекции: **одиночная свая**, глина, забивная или буровая, постоянного сечения.

Почему глина рассматривается при φ = 0?

ТЕОРИЯ

В водонасыщенной глине нагрузка от сооружения прикладывается **намного быстрее**, чем может отжаться вода; глина срезается **без изменения объёма**. В этом случае прочность описывается единственным числом — **сопротивлением недренированному сдвигу** c_u, а угол внутреннего трения равен нулю.

$$\varphi = 0 \qquad \tau_f = c_u$$

Существенное отличие от песка: сопротивление больше не растёт пропорционально эффективному напряжению. Свая в глине — это не «свая в песке с другими числами».

Тем не менее **два метода** используют эффективное напряжение: метод λ (его среднее значение по длине) и метод β (полностью на нём основан). Поэтому **УГВ** здесь тоже имеет значение; на сопротивление под нижним концом и на метод α он не влияет.

ЭФФЕКТИВНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ (ДЛЯ λ И β)

$$\sigma' = \sum \gamma_i h_i \qquad \text{(выше УГВ)}$$
$$\sigma' = \sum (\gamma_{sat,i} - \gamma_w) h_i \qquad \text{(ниже УГВ)}$$

γ_W = 9.81 kN/m³

В слоистом грунте наклон эпюры σ′ меняется в каждом слое и на уровне УГВ

Условие

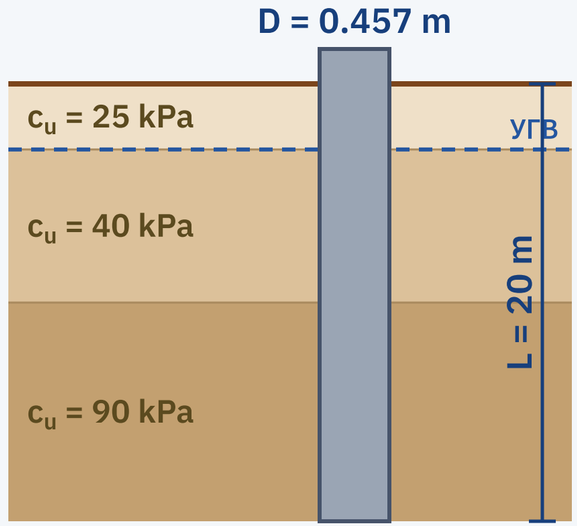
ПРИМЕР

Дано

Глина 1 (0–3 m)	$c_u = 25$ kPa, $\gamma = 16$ kN/m^3
Глина 2 (3–10 m)	$c_u = 40$ kPa, $\gamma = 17$ kN/m^3
Глина 3 (10–20 m)	$c_u = 90$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
Грунтовые воды (УГВ)	**на глубине 3.0 m**
Свая	**трубчатая свая, D = 0.457 m, L = 20 m**
Удельный вес воды	$\gamma_w = 9.81$ kN/m^3

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Определить на границах слоёв (3, 10 и 20 m) **эффективное вертикальное напряжение**, а по всей длине — **среднее эффективное напряжение** σ'_0.



Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

1 3 m (УГВ) и границы слоёв: ниже УГВ $\gamma' = \gamma - \gamma_w$

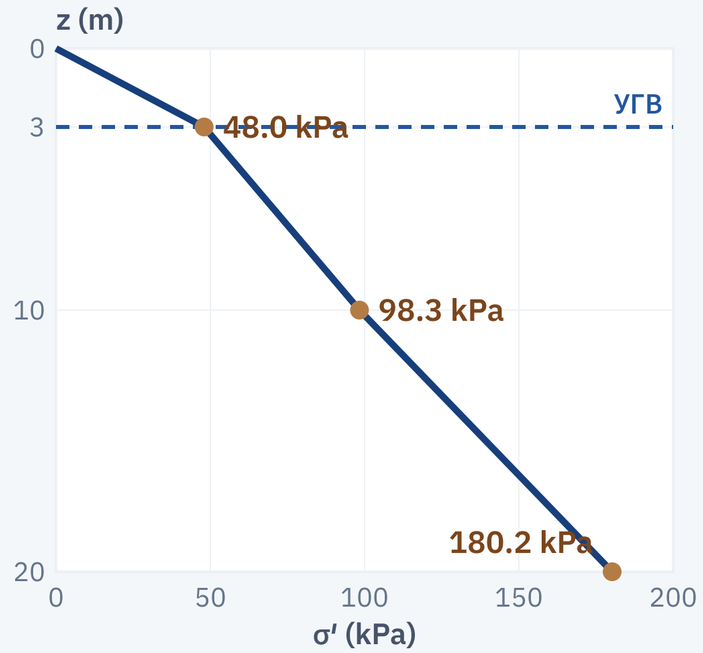
$$\sigma'(3) = 16(3) = \mathbf{48.0}\ \text{kPa}$$

2 Глубина 10 m (конец второго слоя)

$$\sigma'(10) = 48.0 + (17 - 9.81)(7) = \mathbf{98.3}\ \text{kPa}$$

3 Глубина 20 m (нижний конец сваи)

$$\sigma'(20) = 98.3 + (18 - 9.81)(10) = \mathbf{180.2}\ \text{kPa}$$



Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

4 Площадь эпюры σ′ в каждом слое (трапеция)

$$A_1 = \tfrac{1}{2}(0 + 48.0)(3) = 72.0$$
$$A_2 = \tfrac{1}{2}(48.0 + 98.3)(7) = 512.2$$
$$A_3 = \tfrac{1}{2}(98.3 + 180.2)(10) = 1{,}392.8$$

5 Среднее эффективное напряжение: общая площадь / длина

$$\bar{\sigma}'_o = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{L} = \frac{1{,}977.0}{20} = \mathbf{98.85}\ \text{kPa}$$

Среднее значение меньше половины значения на конце (98.8 < 90.1): напряжение не растёт линейно с глубиной, на УГВ наклон меняется. Это значение $\bar{\sigma}'_o$ будет использовано в методе λ.

Проверить решение в GeoTerva ↗

Сопротивление под нижним концом: глина под нижним концом сваи

ТЕОРИЯ

В недренированной водонасыщенной глине угол трения равен нулю; **нетто-предельное сопротивление под нижним концом** сваи равно произведению недренированного сцепления глины, залегающей под нижним концом, на коэффициент:

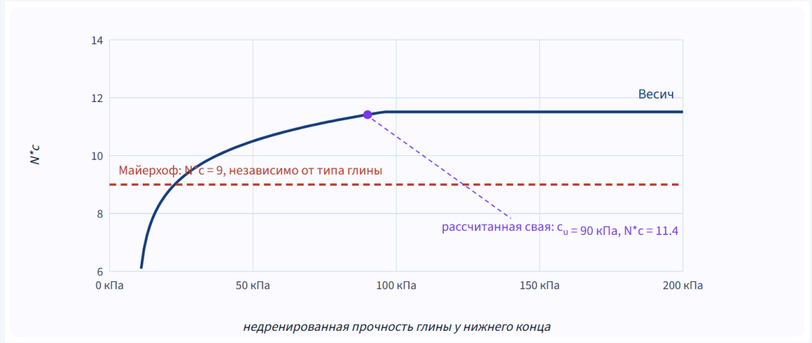
$$Q_p = A_p\, q_p = A_p\, c_u\, N_c^*$$

c_u : сопротивление недренированному сдвигу глины **под нижним концом**

N^*_c : коэффициент несущей способности (два подхода приведены ниже)

A_p : площадь нижнего конца сваи

> Прочность глины, **через которую проходит** свая, на нижний конец не влияет: эта прочность относится к боковой поверхности.



недренированная прочность глины у нижнего конца

Два подхода: Meyerhof принимает коэффициент равным **9**; Vesic связывает коэффициент с **жёсткостью** глины.

Meyerhof: постоянное значение девять

ТЕОРИЯ

В водонасыщенной глине в недренированных условиях предельная нагрузка нетто в форме Meyerhof определяется **классическим коэффициентом, равным девяти**:

$$Q_p \approx N_c^* \, c_u \, A_p = 9 \, c_u \, A_p$$

c_u : недренированное сцепление грунта ниже нижнего конца сваи

Других исходных данных не требуется; пока свая глубокая (достаточно нескольких диаметров), значение от глубины не зависит.

Простота — её сила, но в ней же и слабость: жёсткость глины не учитывается.

Сопротивление под нижним концом невелико по сравнению с сопротивлением по боковой поверхности и потому очень слабо влияет на суммарную несущую способность; по этой причине простого значения часто достаточно.

Условие

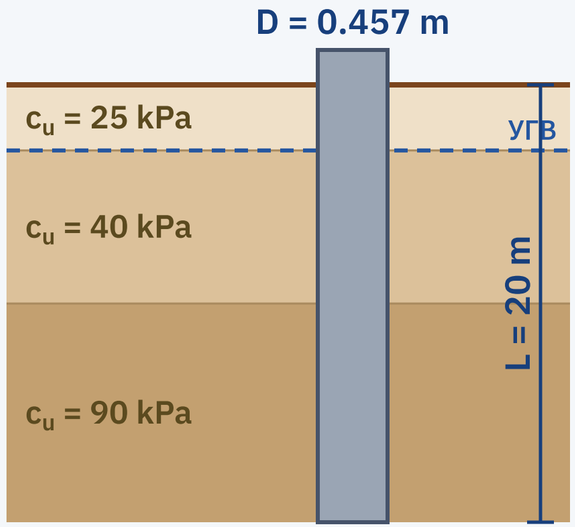
ПРИМЕР

Дано

Свая	**трубчатая свая, забивная**
Диаметр	**D = 0.457 m**
Длина	**L = 20 m**
Глина под нижним концом	$c_u = 90$ kPa

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Определить **сопротивление под нижним концом** сваи Q_p по методу **Meyerhof**.



Решение

РЕШЕНИЕ

1 Площадь нижнего конца сваи

$$A_p = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.457)^2}{4} = \mathbf{0.1640}\ \text{m}^2$$

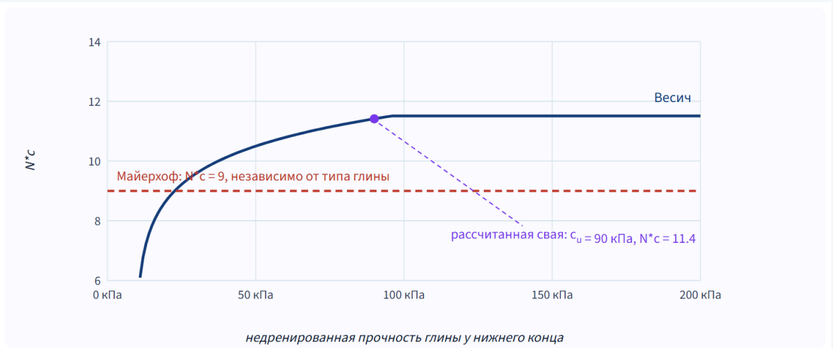
2 Удельное сопротивление под нижним концом (N*c = 9)

$$q_p = 9\, c_u = 9(90) = \mathbf{810}\ \text{kPa}$$

3 Сопротивление под нижним концом

$$Q_p = A_p\, q_p = 0.1640(810) = \mathbf{132.9}\ \text{kN}$$

Метод не потребовал других исходных данных: только c_u под нижним концом. Q_p = **132.9 kN**.



Проверить решение в GeoTerva ↗

Vesic: жёсткость входит в N*c

ТЕОРИЯ

Vesic, по теории **расширения полости**: коэффициент для случая φ = 0 находится из приведённого индекса жёсткости глины. В водонасыщенной глине изменение объёма в пластической зоне равно нулю; редукция выпадает, и $\mathbf{I_{rr} = I_r}$:

$$N_c^* = \frac{4}{3}\left(\ln I_{rr} + 1\right) + \frac{\pi}{2} + 1 \qquad I_r = \frac{E_s}{3\,c_u}$$

ЕДИНСТВЕННЫЕ ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ: c_u под нижним концом

O'Neill и Reese (1999): $I_r \approx 50$ ($c_u/p_a = 0.24$), 150 (0.48), 250 – 300 (≥ 0.96). Модуль приближает это следующим образом:

$$I_r = 347\,\frac{c_u}{p_a} - 33 \;\le\; 300$$

ЗАВИСИМОСТЬ N^*_c — I_{rr}

I_{rr}	N^*_c
10	6.97
20	7.90
40	8.82
60	9.36
80	9.75
100	10.04
200	10.97
300	11.51

С ростом I_{rr} коэффициент возрастает медленно: логарифмическая зависимость

Условие

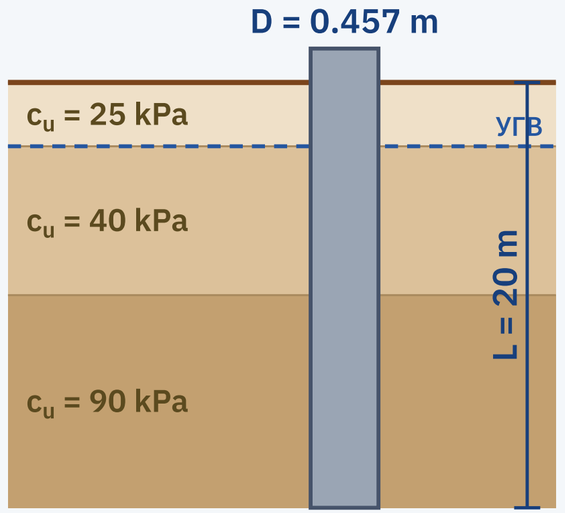
ПРИМЕР

Дано

Свая	**Как в примере 2: D = 0.457 m, L = 20 m**
Глина под нижним концом	$c_u = 90$ kPa
Атмосферное давление	$p_a = 100$ kPa

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

По методу **Vesic (1977)** найти **сопротивление под нижним концом** Q_p сваи и сравнить с результатом по Meyerhof.



Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

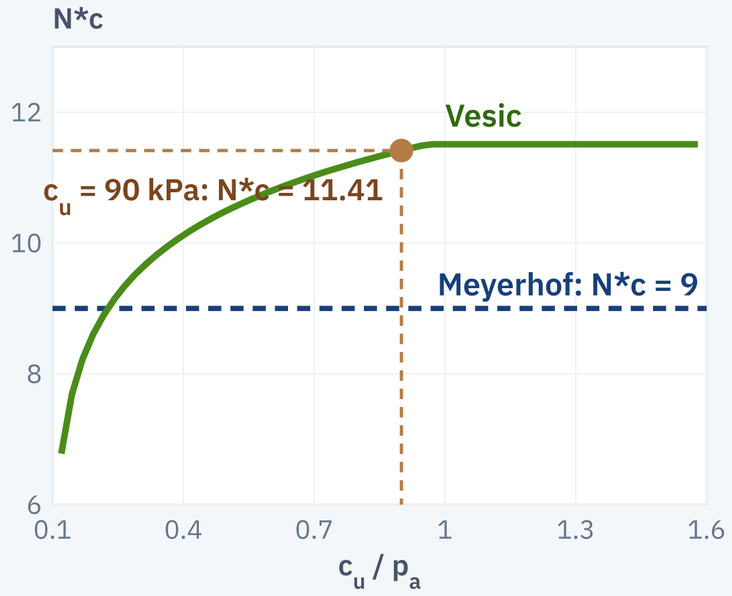
1 Индекс жёсткости ($I_{rr} = I_r$, так как в глине нет изменения объёма)

$$I_{rr} = I_r = 347\,\frac{90}{100} - 33 = \mathbf{279.3} \quad (\leq 300)$$

2 Коэффициент N*c

$$N_c^* = \frac{4}{3}\,(\ln 279.3 + 1) + \frac{\pi}{2} + 1 = \mathbf{11.41}$$

Зелёная кривая на графике — коэффициент Vesic: при c_u = 90 kPa **N^*_c = 11.41**, примерно на 27% больше, чем 9 у Meyerhof.



Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

3 Удельное сопротивление под нижним концом

$$q_p = c_u\, N_c^* = 90(11.41) = \mathbf{1{,}027}\ \text{kPa}$$

4 Сопротивление под нижним концом

$$Q_p = A_p\, q_p = 0.1640(1{,}027) = \mathbf{168.5}\ \text{kN}$$

Meyerhof: 132.9 kN, **Vesic: 168.5 kN**; разница около 27%. Поскольку сопротивление под нижним концом составляет небольшую часть общего, эта разница очень мало изменяет общую несущую способность.

Проверить решение в GeoTerva ↗

Сопротивление по боковой поверхности: именно здесь в основном формируется несущая способность

ТЕОРИЯ

В глине сопротивление по боковой поверхности сваи равно сумме удельного трения, взятой по этой поверхности:

$$Q_s = \sum f\, p\, \Delta L$$

Многие переменные, определяющие удельное трение, трудно измерить; поэтому существует **три подхода**:

Метод α: трение определяется только **сопротивлением недренированному сдвигу** (полные напряжения, краткосрочный режим)

Метод λ: сочетание **среднего эффективного напряжения** по длине со средней прочностью; единый коэффициент для всей сваи

Метод β: **эффективное напряжение** и угол внутреннего трения переформованного грунта (дренированные условия, длительный период)

В свае из примера на боковую поверхность приходится около **девяти десятых** общего сопротивления; здесь же сосредоточена и неопределённость.

α: доля прочности

ТЕОРИЯ

Удельное трение равно произведению недренированной прочности на **эмпирический коэффициент адгезии α**:

$$f = \alpha\, c_u \qquad Q_s = \sum \alpha\, c_u\, p\, \Delta L$$

α : коэффициент адгезии; с ростом прочности глины он **уменьшается** (более прочная глина мобилизует меньшую долю своей прочности)

α в действительности является функцией не только c_u, но и **эффективного напряжения** (рекомендации Sladen, Randolph–Murphy/API, NGI-99)

> Этот модуль интерполирует **таблицу (c_u/p_a – α)**, показанную сбоку; α слоя можно задать и вручную.

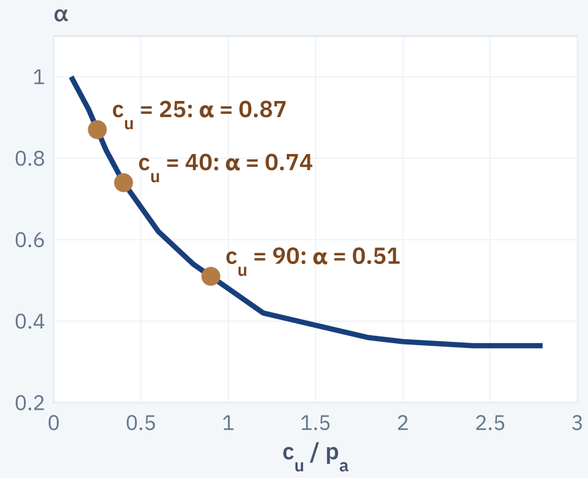


ТАБЛИЦА α (СВОДКА)

c_u / p_a	α

Условие

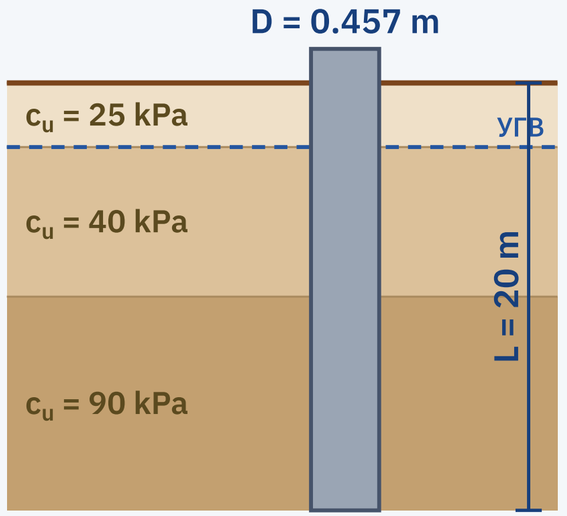
ПРИМЕР

Дано

Глина 1 (0–3 m)	$c_u = 25$ kPa, $\gamma = 16$ kN/m^3
Глина 2 (3–10 m)	$c_u = 40$ kPa, $\gamma = 17$ kN/m^3
Глина 3 (10–20 m)	$c_u = 90$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
Грунтовые воды (УГВ)	**на глубине 3.0 m**
Свая	**трубчатая свая, D = 0.457 m, L = 20 m**
Периметр	$p = \pi D = \pi(0.457) = 1.436$ m

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Определить по **методу α сопротивление по боковой поверхности** сваи Q_s. (α — линейной интерполяцией по таблице; p_a = 100 kPa)



Решение

РЕШЕНИЕ

1 Значения α: по таблице для c_u/p_a = 0.25; 0.40; 0.90

$$\alpha_1 = 0.87,\ \alpha_2 = 0.74,\ \alpha_3 = 0.51$$

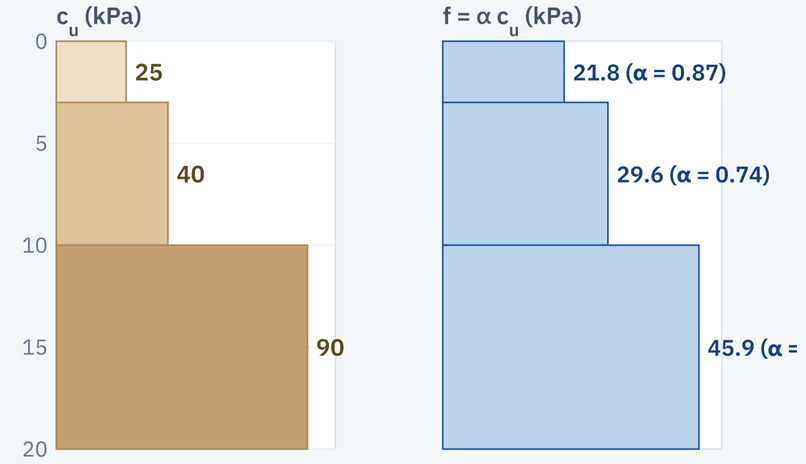
2 Удельное трение в каждом слое f = α c_u

$$f_1 = 21.8\ ,\ f_2 = 29.6\ ,\ f_3 = 45.9\ \text{kPa}$$

3 Q_s = p Σ f H

$$Q_s = 1.436\,[21.8(3) + 29.6(7) + 45.9(10)] = \mathbf{1{,}050}\ \text{kN}$$

Вклады: 94 + 297 + 659 = **1,050 kN**. Самая прочная глина даёт наибольшее f, но при меньшей доле c_u (α = 0.51).



Проверить решение в GeoTerva ↗

λ: единое среднее значение для всей длины

ТЕОРИЯ

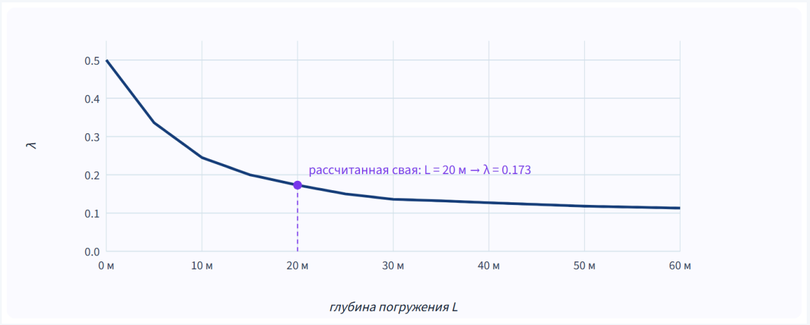
Vijayvergiya и Focht (1972): **вытесняемый сваей грунт** на каждой глубине создаёт пассивное боковое давление, и из него получается среднее удельное трение:

$$f_{av} = \lambda\,(\bar{\sigma}'_o + 2\,\bar{c}_u) \qquad Q_s = p\,L\,f_{av}$$

$\bar{\sigma}'_o$: **среднее эффективное вертикальное напряжение** по заглублённой длине (площадь эпюры σ′ / L)

$\bar{c}_u$: среднее сопротивление недренированному сдвигу, **взвешенное по толщине слоёв**: $(c_{u1}L_1 + c_{u2}L_2 + \ldots)/L$

λ : коэффициент, зависящий от **длины** сваи (рядом)



λ — ДЛИНА ЗАДЕЛКИ

L (m)	λ
0	0.500
5	0.336
10	0.245
15	0.200
20	0.173
30	0.136
40	0.127

Условие

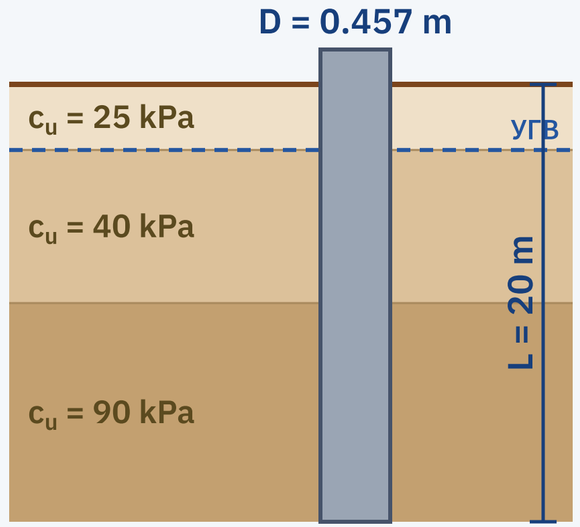
ПРИМЕР

Дано

Глина 1 (0–3 m)	$c_u = 25$ kPa, $\gamma = 16$ kN/m^3
Глина 2 (3–10 m)	$c_u = 40$ kPa, $\gamma = 17$ kN/m^3
Глина 3 (10–20 m)	$c_u = 90$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
Грунтовые воды (УГВ)	**на глубине 3.0 m**
Свая	**трубчатая свая, D = 0.457 m, L = 20 m**
Среднее эффективное напряжение	$\bar{\sigma}'_o = 98.85$ kPa **(Пример 1)**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Определить **сопротивление по боковой поверхности** Q_s сваи **методом λ**.



Решение

РЕШЕНИЕ

1 Средняя прочность (средневзвешенная по толщине)

$$\bar{c}_u = \frac{25(3) + 40(7) + 90(10)}{20} = \mathbf{62.75}\ \text{kPa}$$

2 λ (L = 20 m, по таблице) и среднее удельное трение

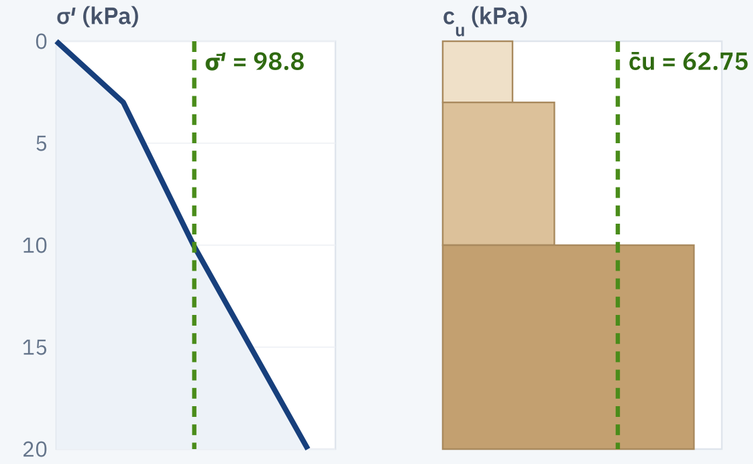
$$\lambda = 0.173$$

$$f_{av} = \lambda(\bar{\sigma}'_o + 2\bar{c}_u) = 0.173\,(98.85 + 2(62.75)) = \mathbf{38.81}\ \text{kPa}$$

3 Сопротивление по боковой поверхности

$$Q_s = p\,L\,f_{av} = 1.436(20)(38.81) = \mathbf{1{,}114}\ \text{kN}$$

Метод λ объединяет два средних значения: **1,114 kN**. На графике слева — площадь $\bar{\sigma}'_o$, справа — линия $\bar{c}_u$.



Проверить решение в GeoTerva ↗

β: эффективное напряжение и перемятая корка

ТЕОРИЯ

Подход Burland на основе эффективных напряжений (с поправкой Meyerhof на переуплотнение): недренированная прочность вообще не учитывается; расчёт ведётся по **вертикальному эффективному напряжению** и дренированному углу внутреннего трения **переформованной** глины (c′ = 0):

$$f = \beta\,\sigma'(z) \qquad \beta = K\tan\delta,\quad \delta = \varphi'_R$$

$$\beta = (1-\sin\varphi'_R)\tan\varphi'_R\sqrt{OCR}$$

K : коэффициент бокового давления; в запас принимается **для состояния покоя**, для переуплотнённой глины увеличивается пропорционально √OCR При OCR = 1 выражение само переходит в форму для нормально консолидированной глины



φ′R и OCR **вводятся**, а не определяются по грунту с помощью корреляций (в модуле начальные значения φ′R = 30°, OCR = 1).

f вместе с σ′(z) **возрастает с глубиной** в пределах слоя; на границе, где меняется β, имеет скачок.

Условие

ПРИМЕР

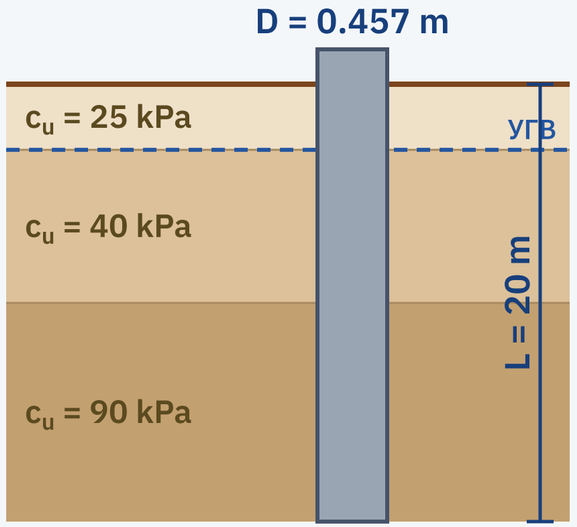
Дано

Глина 1 (0–3 m)	$c_u = 25$ kPa, $\gamma = 16$ kN/m^3
Глина 2 (3–10 m)	$c_u = 40$ kPa, $\gamma = 17$ kN/m^3
Глина 3 (10–20 m)	$c_u = 90$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
Грунтовые воды (УГВ)	**на глубине 3.0 m**
Угол трения грунта нарушенной структуры	$\varphi'_R = 30^\circ$ **(три слоя)**
Коэффициент переуплотнения	$OCR = 1;\ 1;\ 2$ **(слой 3 переуплотнённый)**
Свая	**D = 0.457 m, L = 20 m**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Определить по **методу β сопротивление по боковой поверхности** Q_S сваи.

(Средние по слоям значения σ′ — из площадей Примера 1.)



Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

1 Коэффициенты β

$$\beta_{1,2} = (1 - \sin 30^\circ)\tan 30^\circ = \mathbf{0.289} \qquad \beta_3 = 0.289\sqrt{2} = \mathbf{0.408}$$

2 Средние эффективные напряжения в слое (площадь / толщина)

$$\bar{\sigma}'_1 = \frac{72}{3} = 24.0, \quad \bar{\sigma}'_2 = \frac{512.2}{7} = 73.2, \quad \bar{\sigma}'_3 = \frac{1{,}392.8}{10} = 139.3 \text{ kPa}$$

Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

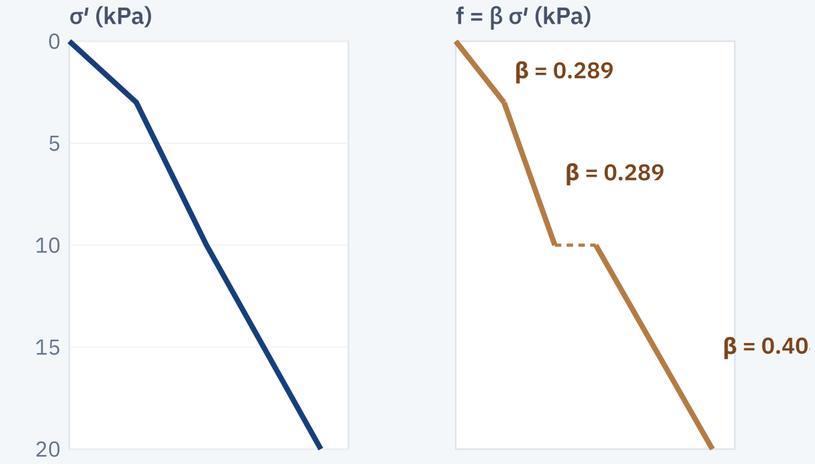
3 Среднее удельное трение по боковой поверхности в слое $\bar{f} = \beta\,\bar{\sigma}'$

$$\bar{f}_1 = 6.93, \quad \bar{f}_2 = 21.12, \quad \bar{f}_3 = 56.86 \text{ kPa}$$

4 Сопротивление по боковой поверхности $Q_s = p\,\Sigma\, \bar{f}\, H$

$$Q_s = 1.436\,[6.93(3) + 21.12(7) + 56.86(10)] = \mathbf{1{,}058} \text{ kN}$$

Среднее значение — это **истинный интеграл** напряжения в слое (а не среднее по двум концам): если УГВ пересекает слой, эти два значения могут отличаться более чем на 10%. Результат — **1,058 kN**.



Проверить решение в GeoTerva ↗

Три подхода, одна и та же свая

ТЕОРИЯ



В этом разрезе три значения отличаются друг от друга **на несколько процентов**. Но **в принципе** они не совпадают; согласие — особенность этого разреза.

В очень **длинной** свае λ снижается из-за коэффициента

В **переуплотнённой** глине β возрастает с √OCR

В **мягкой** нормально уплотнённой глине α возрастает вплоть до полной прочности грунта

Трезвая оценка: сопротивление по боковой поверхности в глине известно с неопределённостью около **одной пятой расчётного значения**. Поэтому на крупных объектах **испытание нагрузкой** оправдывает свою стоимость.

У буровой сваи свои правила

ТЕОРИЯ

Скважина бурится, бетон укладывается: грунт не вытесняется; глина на стенке скважины впитывает воду и **размягчается**, под нижним концом скапливается осыпавшийся материал, и для развития сопротивления под нижним концом требуется **большая осадка**. Методика O'Neill и Reese изменяет обе составляющие.

$\alpha^* = 0$ (верхний 1.5 m и ниже $1D$) $\alpha^* = 0.55$ (в остальных точка

α* = 0.55 ($c_u/p_a \le 1.5$), снижается до 0.45 при 2.5

Верхние 1.5 m — наиболее нарушенный грунт, в наибольшей степени склонный отходить от боковой поверхности сваи; нижний участок длиной в один диаметр — длина, на которой нижний конец уже приводит грунт в движение

Толщины слоёв не меняются: глубина и σ′ остаются такими же, как в профиле, меняется только длина, воспринимающая трение



$$q_p = \min\left[6c_{ub}\left(1 + 0.2\frac{L}{D_b}\right),\ 9c_{ub},\ 40p_a\right]$$

c_{ub}: среднее значение c_u в зоне **$2D_b$** под основанием. Если $D_b > 1.91$ m, q_p уменьшается с помощью $F_r \le 1$.

Условие

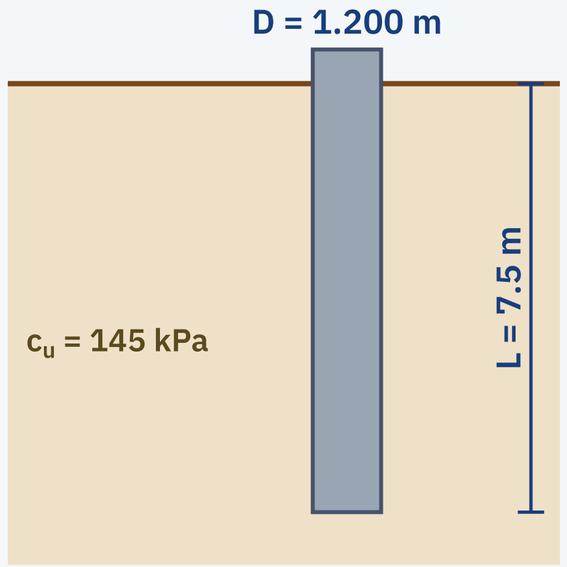
ПРИМЕР

Дано

Свая	**буровая свая, круглое сечение**
Диаметр и длина	**$D = D_b = 1.2$ m, $L = 7.5$ m**
Глина (однородная)	$c_u = 145$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
Грунтовые воды	**нет**
Коэффициент запаса	**FS = 3**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Определить **сопротивление под нижним концом**, **сопротивление по боковой поверхности** и **допустимую несущую способность** буровой сваи.



Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

1 Средняя прочность в зоне $2D_b$ под нижним концом сваи и выражение для сопротивления под ним

$$c_{ub} = 145 \text{ kPa} \qquad 6c_{ub}\left(1 + 0.2\frac{7.5}{1.2}\right) = 1{,}957.5\ ; \quad 9c_{ub} = 1{,}305\ ; \quad 40p_a = 4\,000$$

2 q_p = наименьшее из трёх; поскольку $D_b = 1.2$ m ≤ 1.91 m, $F_r = 1$

$$q_p = \min(1{,}957.5;\ 1{,}305;\ 4\,000) = \mathbf{1{,}305} \text{ kPa}$$

3 Площадь основания и сопротивление под нижним концом

$$A_b = \frac{\pi(1.2)^2}{4} = 1.131 \text{ m}^2 \qquad Q_p = A_b\, q_p = \mathbf{1{,}476} \text{ kN}$$

Определяющим является $9c_{ub}$: формула $6c_{ub}(1 + 0.2L/D_b)$ дала бы большее значение, но вступило в действие ограничение $9c_u$. Q_p = **1,476 kN**.

Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

4 α* и длина, воспринимающая трение (не учитываются 1.5 m сверху и 1D снизу)

$$\alpha^* = 0.55 \quad (c_u/p_a = 1.45 \le 1.5)$$

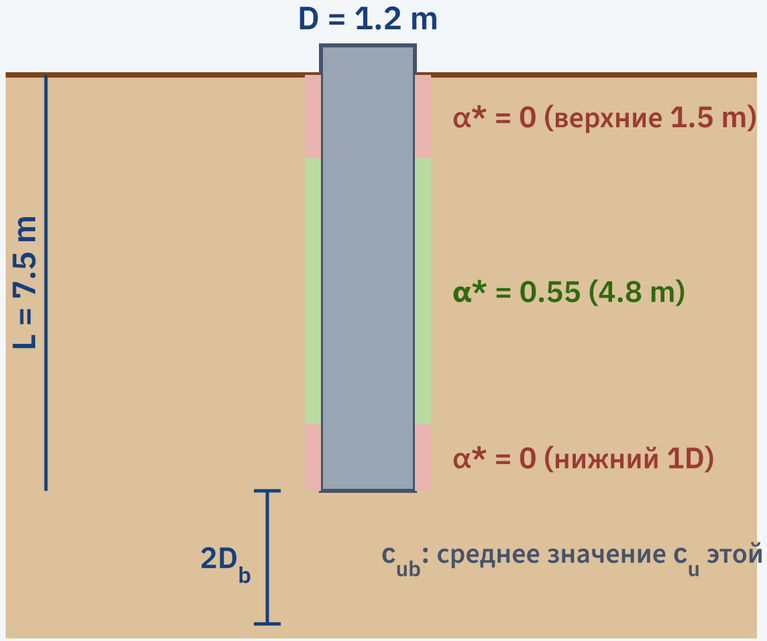
$$L_{eff} = 7.5 - 1.5 - 1.2 = \mathbf{4.8}\ \text{m}$$

5 Сопротивление по боковой поверхности

$$Q_s = \pi D\, \alpha^* c_u\, L_{eff} = \pi(1.2)(0.55)(145)(4.8) = \mathbf{1{,}443}\ \text{kN}$$

6 Предельная и допускаемая несущая способность

$$Q_u = 1{,}476 + 1{,}443 = 2{,}919\ \text{kN} \qquad Q_{all} = \frac{Q_u}{3} = \mathbf{973}\ \text{kN}$$



Проверить решение в GeoTerva ↗

Сумма с единым коэффициентом запаса

ТЕОРИЯ

Предельная несущая способность равна сумме двух составляющих; допускаемая несущая способность находится применением **единого коэффициента запаса ко всей этой сумме**:

$$Q_{all} = \frac{Q_p + Q_s}{FS}$$

Для одиночной сваи обычно **FS = 2.5 – 4**

Верхняя граница: если грунт известен лишь по нескольким скважинам, если глина **жёсткая и трещиноватая** либо **испытание нагрузкой** не планируется

Методы для нижнего конца и боковой поверхности могут выбираться **независимо** друг от друга; результаты интерпретируются совместно

Условие

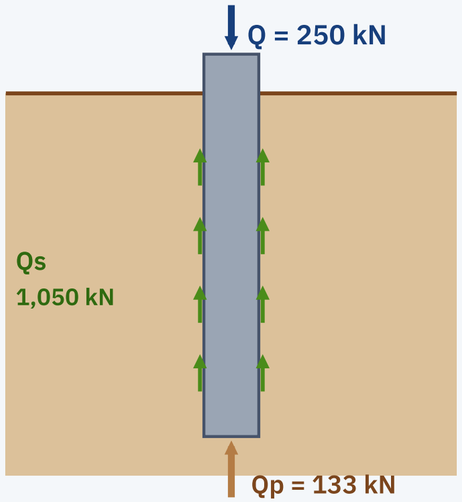
ПРИМЕР

Дано

Сопротивление под нижним концом	**Q_p = 132.9 kN (Meyerhof, Пример 2)**
Сопротивление по боковой поверхности	**Q_s = 1,050 kN (метод α, пример 4)**
Коэффициент запаса	**FS = 4**
Рабочая нагрузка на сваю	**Q = 250 kN**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Чему равна **допускаемая несущая способность** сваи Q_{all}? **Достаточна** ли рабочая нагрузка?



Решение

РЕШЕНИЕ

1 Предельная несущая способность

$$Q_u = Q_p + Q_s = 132.9 + 1{,}050.1 = \mathbf{1{,}183}\ \text{kN}$$

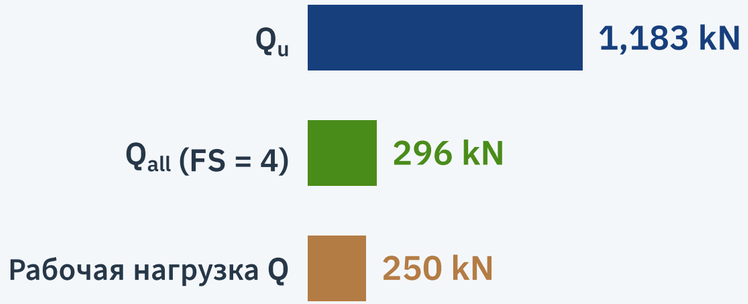
2 Допускаемая несущая способность

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} = \frac{1{,}183}{4} = \mathbf{296}\ \text{kN}$$

3 Проверка

$$Q = 250\ \text{kN} \ \leq \ Q_{all} = 296\ \text{kN} \ \Rightarrow \ \text{достаточно}$$

Коэффициент использования Q / Q_{all} = 250 / 296 = **0.85**. Сопротивление по боковой поверхности составляет около 89 % суммарного.



Проверить решение в GeoTerva ↗

Та же свая: Q_u и Q_{all} (FS = 4)

ТЕОРИЯ

Q_u · Q_{all} (kN)

	Q_s: α 1,050 kN	Q_s: λ 1,114 kN	Q_s: β 1,058 kN
Q_p: Meyerhof 132.9 kN	1,183 · **296**	1,247 · **312**	1,191 · **298**
Q_p: Vesic 168.5 kN	1,219 · **305**	1,283 · **321**	1,227 · **307**

По шести сочетаниям Q_u изменяется лишь в пределах **1,183 – 1,283 kN**: так как сопротивление под нижним концом невелико, выбор очень мало влияет на сумму; основное различие — в сопротивлении по боковой поверхности.

Интерпретировать диапазон, а не опираться на одно число

Сопротивление по боковой поверхности составляет **около девяти десятых** суммарного

На крупных объектах проверить **испытанием сваи нагрузкой**

Резюме

Главное

Глина **недренированная** ($\varphi = 0$, $\tau_f = c_u$); сопротивление не пропорционально эффективному напряжению

Нижний конец: Meyerhof $N^*_c = 9$; Vesic $N^*_c = f(I_{rr})$, $I_r \approx 347c_u/p_a - 33$; сопротивление под нижним концом составляет малую часть суммарного

α: $f = \alpha c_u$ · **λ**: $f_{av} = \lambda(\bar{\sigma} + 2\bar{c}_u)$ · **β**: $f = \beta\sigma'$, $\beta = (1 - \sin\varphi'_R)\tan\varphi'_R\sqrt{OCR}$

Буровая свая: $\alpha^* = 0$ (верхние 1.5 m, нижние 1D), $q_p = \min[6c_{ub}(1 + 0.2L/D_b), 9c_{ub}, 40p_a]$

$Q_{all} = (Q_p + Q_s)/FS$, $FS = 2.5 - 4$

Список литературы

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning; эта страница основана на данном источнике.

Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd ed. Wiley — значения α из таблицы 2.

O’Neill, M.W. and Reese, L.C. (1999). Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. FHWA-IF-99-025 — коэффициент α для буронабивных свай и индекс жёсткости глины.

Reese, L.C. and O’Neill, M.W. (1989). Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. FHWA — базовое выражение для буронабивной сваи в глинистом грунте.

Burland, J.B. (1973). Shaft friction of piles in clay — a simple fundamental approach. Ground Engineering, 6(3), 30–42.

Meyerhof, G.G. (1976). Bearing capacity and settlement of pile foundations. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 102(GT3), 197–228 — поправка на √OCR для метода β.

Vijayvergiya, V.N. and Focht, J.A. (1972). A new way to predict the capacity of piles in clay. Offshore Technology Conference, Paper 1718, Houston.

Vesic, A.S. (1977). Design of Pile Foundations. NCHRP Synthesis of Highway Practice 42, Transportation Research Board.

ПРИМЕЧАНИЕ

Рисунки в этой презентации взяты со страницы теории GeoTerva; все числовые примеры получены с помощью собственной расчётной библиотеки модуля, и модуль даёт те же значения.

GeoTerva

Геотехнические расчёты онлайн

От теории к практике

Пошагово рассчитать в GeoTerva пример сваи из этой презентации: числа совпадают.

Открыть модуль →

Страница теории →

Открыть на телефоне
Для пробных модулей регистрация не требуется.