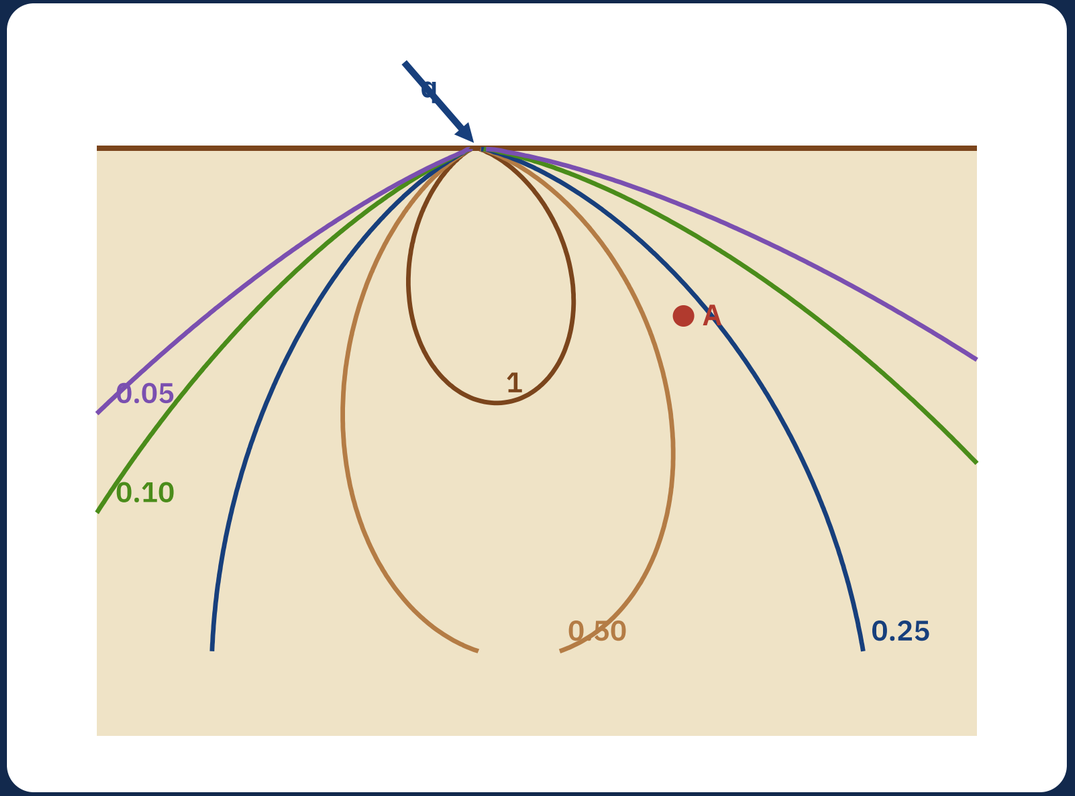
Презентация к лекции по геотехнике · Распределение напряжений в грунте

# Напряжение под горизонтальной линейной нагрузкой

Лекция: вертикальное напряжение в грунте от горизонтальной и наклонной линейной нагрузки; начальный пример решается вручную от начала до конца по составляющим, профили по глубине и в боковом направлении — в таблицах.




- Горизонтальная линейная нагрузка
- Составляющие наклонной нагрузки
- Правило знаков
- Суперпозиция
- Изолинии напряжений

# Что мы изучим на этой лекции?

Вертикальное напряжение от **горизонтальной** линейной нагрузки на поверхности (трение по подошве стены, тормозная сила, распор арки): $\Delta\sigma_z = (2q/\pi) \cdot z^2/(x^2 + z^2)^2$

**Правило знаков**: со стороны, куда нагрузка давит ($x > 0$), напряжение увеличивается, с другой стороны — уменьшается, а под нагрузкой равно нулю; наибольшее значение при $x/z = 1/\sqrt{3}$

**Разложение** наклонной линейной нагрузки на составляющие: $q_V = q \cos \alpha$, $q_H = q \sin \alpha$; суммирование двух напряжений

Влияние уклона откоса, глубины и бокового положения на напряжение; **суперпозиция** при нескольких нагрузках

Начальный пример модуля ($q = 10$ kN/m, $\alpha = 20°$) **вручную от начала до конца**; вклад отдельных компонентов в таблицах

ХОД ЛЕКЦИИ

Каждая тема излагается **в три шага**:

1 · **Теория**: формула и обоснование

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

3 · **Решение**: пошагово, с числами

Пример: $q = 10$ kN/m, $\alpha = 20°$ от вертикали; точка A: $x = 5$ m, $z = 4$ m.

# Горизонтальные и наклонные линейные нагрузки

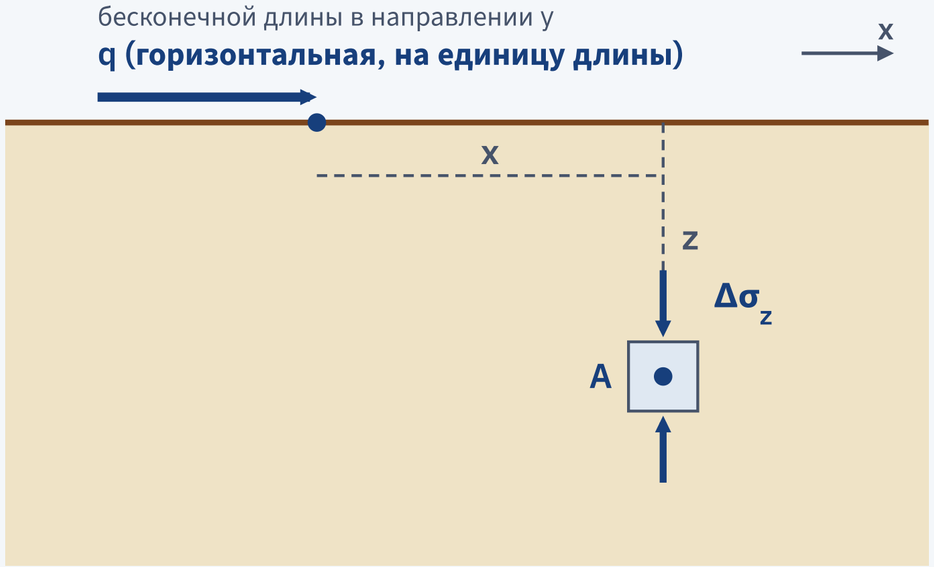
ТЕОРИЯ

Линейная нагрузка может не только давить на поверхность вниз, но и действовать вдоль неё; примеры — трение по подошве стены, тормозная сила железнодорожного состава и распор арки.

Модуль рассчитывает приращение вертикального напряжения под горизонтальной линейной нагрузкой, а также под наклонной линейной нагрузкой — путём суммирования двух составляющих.

Гибкая линейная нагрузка бесконечно длинна в направлении y, q — нагрузка на единицу длины, и в каждом поперечном сечении выполняется условие плоской деформации.

Грунт — однородное, изотропное, линейно-упругое полупространство; $\Delta\sigma_z$ — лишь приращение напряжения, создаваемое нагрузкой.



# Значение $\Delta\sigma_z$ от горизонтальной линейной нагрузки

ТЕОРИЯ

Для горизонтальной линейной нагрузки упругое решение даёт приращение вертикального напряжения в точке A в виде $\Delta\sigma_z = (2q/\pi)\, x\, z^2/(x^2 + z^2)^2$.

Знак напряжения зависит от значения x: вертикальное напряжение возрастает на стороне, в направлении которой действует нагрузка ($x > 0$), уменьшается на другой стороне и равно нулю непосредственно под нагрузкой ($x = 0$).

В безразмерном виде получается $\Delta\sigma_z/(q/z) = (2/\pi)(x/z) / [(x/z)^2 + 1]^2$; одна кривая используется при любых q и z.

$$\Delta\sigma_z = \frac{2q}{\pi}\,\frac{x\,z^2}{(x^2+z^2)^2}$$

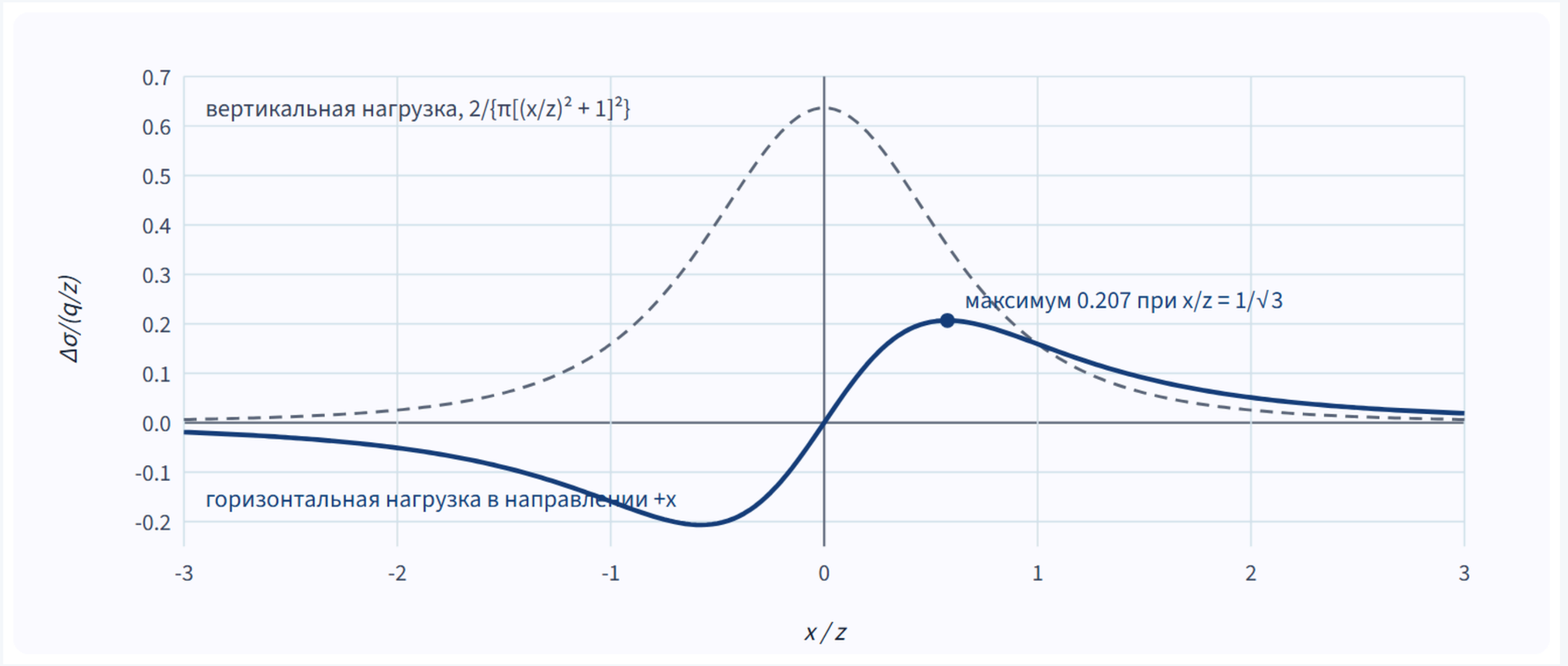
$$\frac{\Delta\sigma_z}{q/z} = \frac{2}{\pi}\,\frac{x/z}{[(x/z)^2+1]^2}$$

ЗНАЧЕНИЯ $\Delta\sigma_z/(q/z)$ (МОДУЛЬ)

| x/z | $\Delta\sigma_z/(q/z)$ | x/z | $\Delta\sigma_z/(q/z)$ |
|---|---|---|---|
| 0.00 | 0.000 | 0.70 | 0.201 |
| 0.10 | 0.062 | 0.80 | 0.189 |
| 0.20 | 0.118 | 0.90 | 0.175 |
| 0.30 | 0.161 | 1.00 | 0.159 |
| 0.40 | 0.189 | 1.25 | 0.121 |
| 0.50 | 0.204 | 1.50 | 0.090 |
| 0.60 | 0.207 | 2.00 | 0.051 |

# $\Delta\sigma_z/(q/z)$ в зависимости от x/z

ТЕОРИЯ




Зависимость Δσz/(q/z) от x/z под горизонтальной линейной нагрузкой (сплошная линия) и, штриховой линией, под вертикальной нагрузкой той же интенсивности. Горизонтальная нагрузка направлена в сторону +x.

# Составляющие и суперпозиция

ТЕОРИЯ

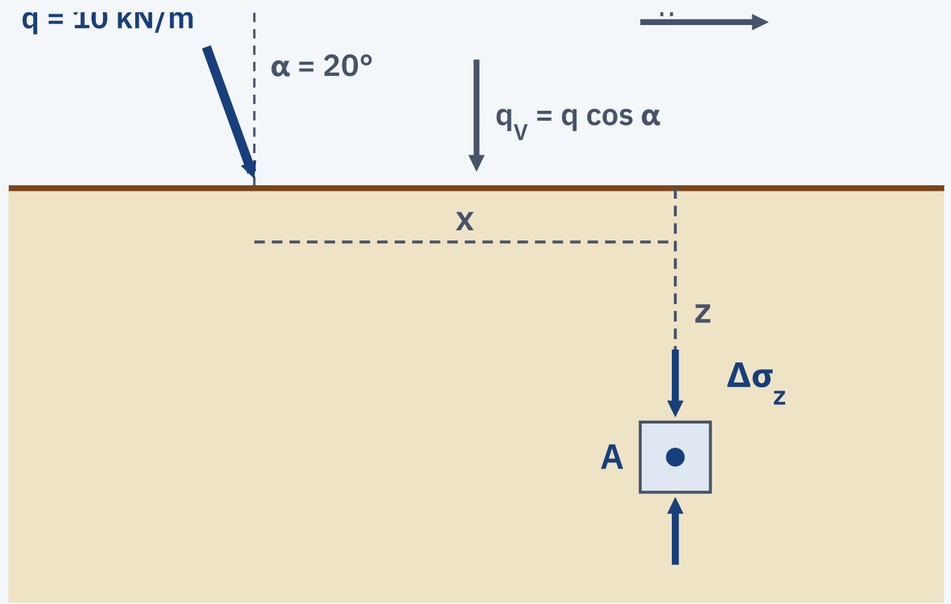
Наклонная линейная нагрузка — это сумма составляющих линейной нагрузки q, наклонённой на угол α от вертикали; поскольку грунт упругий, напряжения от составляющих складываются.

α = 90° соответствует полностью горизонтальной нагрузке, а α = 0 — вертикальной.

Дополнительные линейные нагрузки, каждая со своей величиной, наклоном и положением, вводятся по одной командой «Добавить линейную нагрузку» (не более восьми; две нагрузки не могут находиться в одном положении).

$$q_V = q\cos\alpha, \qquad q_H = q\sin\alpha$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{2q_V\,z^3}{\pi\left(x^2+z^2\right)^2} + \frac{2q_H}{\pi}\,\frac{x\,z^2}{\left(x^2+z^2\right)^2}$$



# Условие

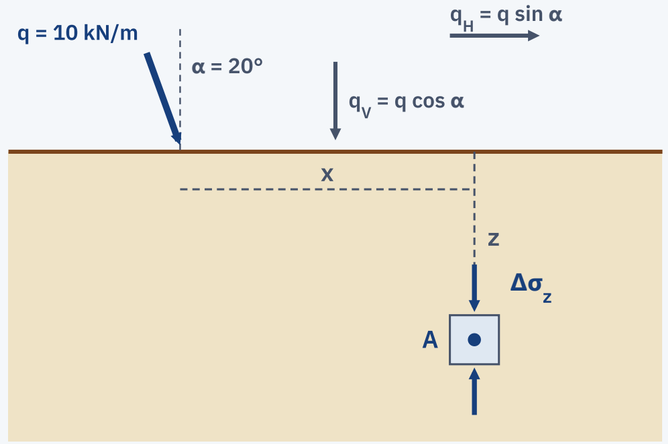
ПРИМЕР

## Дано

| | |
|---|---|
| Нагрузка | **линейная нагрузка $q = 10$ kN/m, наклонена от вертикали на $\alpha = 20°$ (горизонтальная составляющая направлена в сторону $+x$), $x_L = 0$** |
| Точка A | $x = 5$ m, $z = 4$ m |
| Грунт | **однородная упругая полубесконечная среда; плоская деформация** |

### ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

$q_V$, $q_H$; значение $\Delta\sigma_z$ от каждой составляющей и суммарное $\Delta\sigma_z$.



# Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

**1** Составляющие наклонной нагрузки (α = 20°)

$$q_V = q\cos\alpha = 10\cos 20^\circ = \mathbf{9.397}\ \text{kN/m}$$

$$q_H = q\sin\alpha = 10\sin 20^\circ = \mathbf{3.420}\ \text{kN/m}$$

**2** Напряжение от вертикальной составляющей (x = 5, z = 4)

$$\Delta\sigma_{z(V)} = \frac{2q_V z^3}{\pi\left(x^2+z^2\right)^2} = \frac{2(9.397)(4^3)}{\pi(5^2+4^2)^2} = \frac{1{,}202.8}{\pi\,(1{,}681)} = \mathbf{0.22776}\ \text{kPa}$$

Только вертикальная составляющая даёт **0.22776 kPa**; вклад горизонтальной составляющей приведён на следующей странице.

# Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

**3** Напряжение от горизонтальной составляющей (x = 5 m: сторона, на которую давит нагрузка, знак положительный)

$$\Delta\sigma_{z(H)} = \frac{2q_H}{\pi}\,\frac{xz^2}{(x^2+z^2)^2} = \frac{2(3.420)(5)(4^2)}{\pi(5^2+4^2)^2} = \frac{547.23}{\pi\,(1{,}681)} = \mathbf{0.10362}\ \text{kPa}$$

**4** Суперпозиция

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(V)} + \Delta\sigma_{z(H)} = 0.22776 + 0.10362 = \mathbf{0.33138}\ \text{kPa}$$

**$\Delta\sigma_z$ = 0.33138 kPa** (вертикальная 0.22776 + горизонтальная 0.10362). Проверка: при x/z = 1.25 $\Delta\sigma_{z(V)}/(q_V/z)$ = 0.0970, $\Delta\sigma_{z(H)}/(q_H/z)$ = 0.1212; произведения равны 0.22776 и 0.10362 kPa. Модуль выдаёт то же значение.

Проверить решение в GeoTerva ↗

# Условие

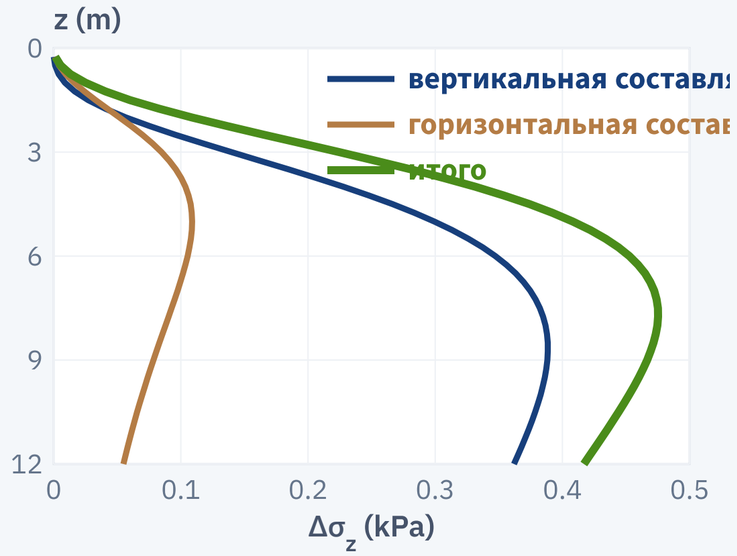
ПРИМЕР

## Дано

| | |
|---|---|
| Нагрузка | **Нагрузка из примера 1:** $q = 10$ **kN/m,** $\alpha = 20°$**,** $x_L = 0$ |
| Точки | $x_A = 5$ **m;** $z = 1.2; 2.4;$ **...;** $12$ **m (строки профиля модуля)** |

## ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Для каждой глубины — **$\Delta\sigma_{z(V)}$**, **$\Delta\sigma_{z(H)}$** и суммарное значение; подробное решение для z = 5 m; глубины, на которых составляющие наибольшие.



# Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

**1** Вертикальная составляющая (x = 5, z = 5: $x^2 + z^2 = 50$)

$$\Delta\sigma_{z(V)} = \frac{2(9.397)(5^3)}{\pi(50)^2} = \frac{2{,}349.2}{7{,}854.0} = \mathbf{0.29911}\ \text{kPa}$$

**2** Горизонтальная составляющая

$$\Delta\sigma_{z(H)} = \frac{2(3.420)(5)(5^2)}{\pi(50)^2} = \frac{855.05}{7{,}854.0} = \mathbf{0.10887}\ \text{kPa}$$

**3** Итого

$$\Delta\sigma_z = 0.29911 + 0.10887 = \mathbf{0.40798}\ \text{kPa}$$

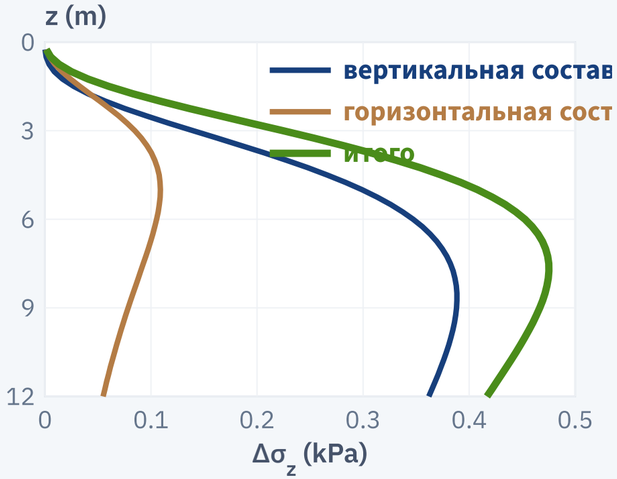
При z = 5 m $\Delta\sigma_z$ = 0.40798 kPa; это больше значения при z = 4 m (0.33138 kPa). Таблица приведена на следующей странице.

# Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

| z (m) | $\Delta\sigma_{z(V)}$ (kPa) | $\Delta\sigma_{z(H)}$ (kPa) | Суммарное $\Delta\sigma_z$ (kPa) |
|---|---|---|---|
| 1.2 | 0.01479 | 0.02243 | **0.03721** |
| 2.4 | 0.08740 | 0.06628 | **0.15368** |
| 3.6 | 0.19370 | 0.09792 | **0.29161** |
| 4.8 | 0.28667 | 0.10869 | **0.39536** |
| 6.0 | 0.34726 | 0.10533 | **0.45259** |
| 7.2 | 0.37817 | 0.09559 | **0.47376** |
| 8.4 | 0.38829 | 0.08412 | **0.47241** |
| 9.6 | 0.38559 | 0.07309 | **0.45868** |
| 10.8 | 0.37563 | 0.06330 | **0.43893** |
| 12.0 | 0.36194 | 0.05489 | **0.41683** |

Напряжение от горизонтальной составляющей максимально на глубине z = x = 5 m ($q_H/(2\pi x)$ = 0.10887 kPa), затем убывает; вертикальная составляющая максимальна при z = √3·x = 8.66 m (0.3886 kPa). Суммарное напряжение достигает наибольшего значения 0.4753 kPa при z ≈ 7.7 m.




Проверить решение в GeoTerva ↗

# Условие

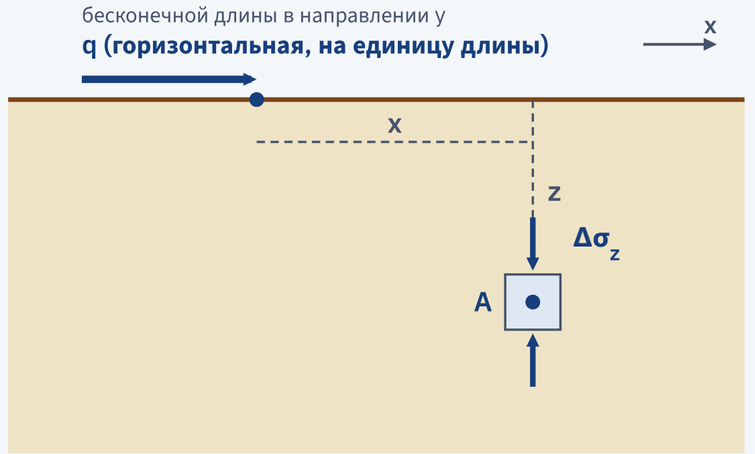
ПРИМЕР

## Дано

| | |
|---|---|
| Нагрузка | **горизонтальная линейная нагрузка** $q = 20$ **kN/m** ($\alpha = 90°$)**, в направлении** $+x$**,** $x_L = 0$ |
| Точки | $z = 3$ **m;** $x = -6; -3; -1.73; 0; 1.73; 3;$ $6$ **m** ($x/z = -2$ **...** $2$**)** |

### ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Для каждой точки — **x/z**, **$\Delta\sigma_z/(q/z)$** и **$\Delta\sigma_z$**; сравнение с вертикальной нагрузкой той же интенсивности; наибольшее значение.



# Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

**1** x = 3 m (x/z = 1): сторона, в которую направлено действие нагрузки

$$\Delta\sigma_z/(q/z) = \frac{2}{\pi}\cdot\frac{1}{(1^2+1)^2} = \frac{1}{2\pi} = 0.15915$$

$$\Delta\sigma_z = 0.15915\,(20/3) = \mathbf{1.0610}\ \text{kPa} \qquad (x = -3\ \text{m}:\ -\mathbf{1.0610}\ \text{kPa})$$

**2** Наибольшее значение: x/z = 1/√3 = 0.5774 (x = 1.732 m)

$$\Delta\sigma_z/(q/z) = \frac{2}{\pi}\cdot\frac{0.5774}{(1/3+1)^2} = 0.20675$$

$$\Delta\sigma_z = 0.20675\,(20/3) = \mathbf{1.3783}\ \text{kPa}$$

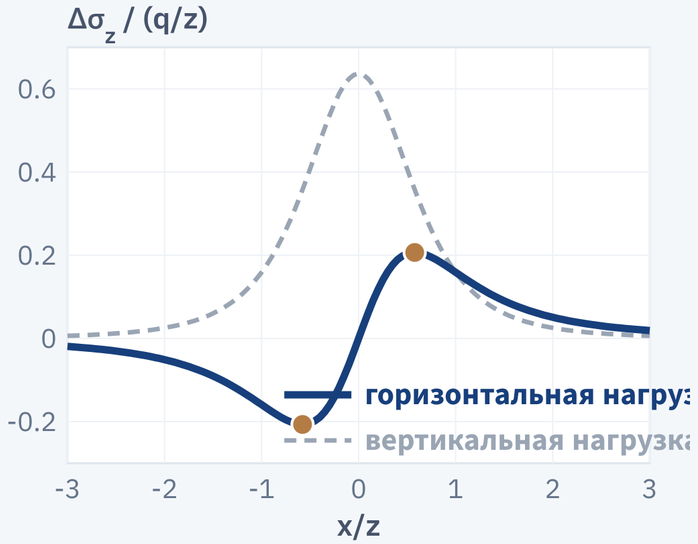
Под горизонтальной нагрузкой (x = 0) напряжение **равно нулю**; на стороне, куда направлена нагрузка, оно возрастает, а на противоположной убывает на ту же величину. Наибольшее значение 0.2067·(q/z) = 1.378 kPa достигается при x/z = 0.5774.

# Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

| x (m) | x/z | $\Delta\sigma_z/(q/z)$ | Горизонтальная нагрузка $\Delta\sigma_z$ (kPa) | Вертикальная нагрузка, то же q (kPa) |
|---|---|---|---|---|
| −6.00 | −2.000 | −0.0509 | **−0.3395** | 0.1698 |
| −3.00 | −1.000 | −0.1592 | **−1.0610** | 1.0610 |
| −1.73 | −0.577 | −0.2067 | **−1.3783** | 2.3873 |
| 0.00 | 0.000 | 0.0000 | **0.0000** | 4.2441 |
| 1.73 | 0.577 | 0.2067 | **1.3783** | 2.3873 |
| 3.00 | 1.000 | 0.1592 | **1.0610** | 1.0610 |
| 6.00 | 2.000 | 0.0509 | **0.3395** | 0.1698 |

Для горизонтальной нагрузки кривая **антисимметрична** относительно x = 0 (нечётная функция); кривая вертикальной нагрузки чётная и имеет наибольшее значение под нагрузкой (4.244 kPa). При x/z = 1 обе нагрузки дают одинаковую величину (1.061 kPa).




Проверить решение в GeoTerva ↗

# Условие

ПРИМЕР

**Дано**

| | |
|---|---|
| Нагрузка | $q = 10$ **kN/m, наклон** $\alpha$ **от вертикали;** $x_L = 0$ |
| Точка A | $x = 5$ **m,** $z = 4$ **m** |
| Уклоны | $\alpha = 0;\ 10;\ 20;\ 30;\ 45;\ 60;\ 90^\circ$ |

**ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ**

Для каждого угла наклона — $\mathbf{q_V}$, $\mathbf{q_H}$, $\mathbf{\Delta\sigma_{z(V)}}$, $\mathbf{\Delta\sigma_{z(H)}}$ и сумма; подробно для α = 45°; угол наклона, при котором сумма наибольшая.

# Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

**1** Коэффициенты для единичной нагрузки (x = 5, z = 4): каждая составляющая умножается на свой коэффициент

$$a = \frac{2z^3}{\pi(x^2+z^2)^2} = \frac{128}{5{,}281.0} = 0.024238$$

$$b = \frac{2xz^2}{\pi(x^2+z^2)^2} = \frac{160}{5{,}281.0} = 0.030297 \qquad \Delta\sigma_z = q\,(a\cos\alpha + b\sin\alpha)$$

**2** α = 45° ($q_V = q_H$ = 7,071 kN/m)

$$\Delta\sigma_z = 10\,(0.024238)(0.7071) + 10\,(0.030297)(0.7071)$$
$$= 0.17139 + 0.21423 = \mathbf{0.38562}\ \text{kPa}$$

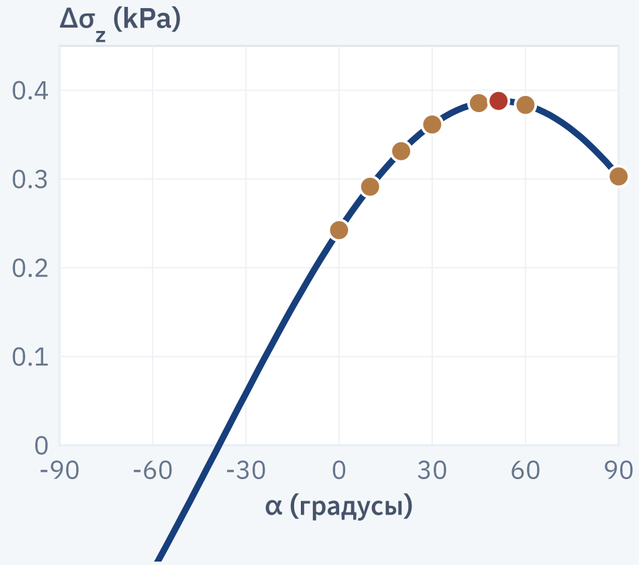
Проверка: так как x/z = 1.25, b/a = 1.25; суммарное значение наибольшее при условии tan α = b/a = x/z: для α = 51.34° $\Delta\sigma_z = q\sqrt{(a^2 + b^2)}$ = **0.38799 kPa**.

# Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

| α (°) | $q_V$ (kN/m) | $q_H$ (kN/m) | $\Delta\sigma_{z(V)}$ (kPa) | $\Delta\sigma_{z(H)}$ (kPa) | Суммарное $\Delta\sigma_z$ (kPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 10.000 | 0.000 | 0.24238 | 0.00000 | **0.24238** |
| 10 | 9.848 | 1.736 | 0.23870 | 0.05261 | **0.29131** |
| 20 | 9.397 | 3.420 | 0.22776 | 0.10362 | **0.33138** |
| 30 | 8.660 | 5.000 | 0.20991 | 0.15149 | **0.36139** |
| 45 | 7.071 | 7.071 | 0.17139 | 0.21423 | **0.38562** |
| 60 | 5.000 | 8.660 | 0.12119 | 0.26238 | **0.38357** |
| 90 | 0.000 | 10.000 | 0.00000 | 0.30297 | **0.30297** |

Вертикальная нагрузка (α = 0) даёт 0.24238 kPa; по мере наклона нагрузки в сторону точки A в работу включается горизонтальная составляющая, и сумма возрастает: наибольшее значение 0.3880 kPa при α ≈ 51.3°. При полностью горизонтальной нагрузке (α = 90°) оно снижается до 0.3030 kPa. Отрицательный α направляет горизонтальную составляющую от A и уменьшает сумму (рисунок).




Проверить решение в GeoTerva ↗

# Условие

ПРИМЕР

**Дано**

| | |
|---|---|
| Нагрузка | **Нагрузка из примера 1:** $q = 10$ **kN/m,** $\alpha = 20^\circ$ **(давит в направлении** $+x$**),** $x_L = 0$ |
| Точки | $z = 4$ **m;** $x = -10; -5; 0; 5; 10$ **m** |

**ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ**

Для каждой точки $\Delta\sigma_{z(V)}$, $\Delta\sigma_{z(H)}$ и сумма; подробно для x = −5 m и x = 0; асимметрия кривой.

# Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

**1** x = −5 m (сторона, на которую нагрузка не давит): вертикальная составляющая та же, горизонтальная составляющая отрицательна

$$\Delta\sigma_{z(V)} = \frac{2(9.397)(4^3)}{\pi((-5)^2+4^2)^2} = 0.22776 \text{ kPa}$$

$$\Delta\sigma_{z(H)} = \frac{2(3.420)(-5)(4^2)}{\pi(41)^2} = \mathbf{-0.10362} \text{ kPa}$$

$$\Delta\sigma_z = 0.22776 + (-0.10362) = \mathbf{0.12414} \text{ kPa}$$

**2** x = 0 (прямо под нагрузкой): горизонтальная составляющая равна нулю

$$\Delta\sigma_{z(V)} = \frac{2q_V}{\pi z} = \frac{2(9.397)}{\pi(4)} = \mathbf{1.49557} \text{ kPa}, \qquad \Delta\sigma_{z(H)} = 0$$

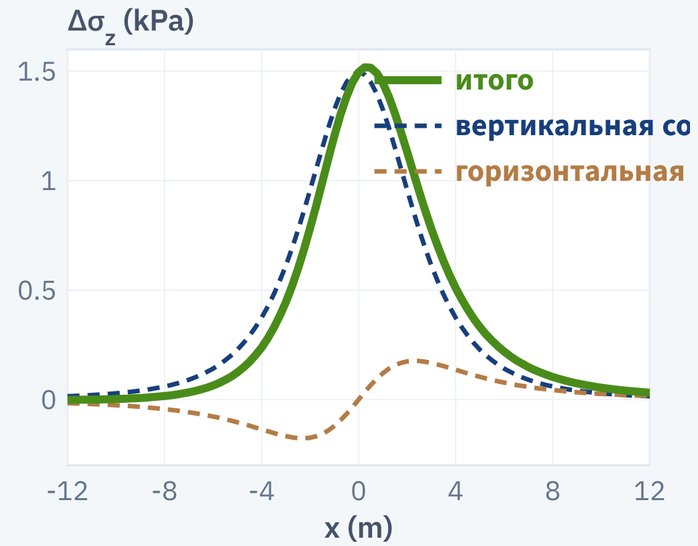
При x = +5 m — 0.3314 kPa, при x = −5 m — 0.1241 kPa: на том же расстоянии со стороны, в которую направлена нагрузка, напряжение **в 2.67 раза** больше. Вертикальная составляющая — чётная функция, горизонтальная — нечётная.

# Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

| x (m) | $\Delta\sigma_{z(V)}$ (kPa) | $\Delta\sigma_{z(H)}$ (kPa) | Суммарное $\Delta\sigma_z$ (kPa) |
|---|---|---|---|
| −10 | 0.02845 | −0.02589 | **0.00256** |
| −5 | 0.22776 | −0.10362 | **0.12414** |
| 0 | 1.49557 | 0.00000 | **1.49557** |
| 5 | 0.22776 | 0.10362 | **0.33138** |
| 10 | 0.02845 | 0.02589 | **0.05434** |

Суммарная кривая наибольшая под нагрузкой (x = 0) (1.4956 kPa) и медленнее убывает на стороне, в направлении которой действует нагрузка: при x = 10 m — 0.05434, при x = −10 m — лишь 0.00256 kPa.




Проверить решение в GeoTerva ↗

# Условие

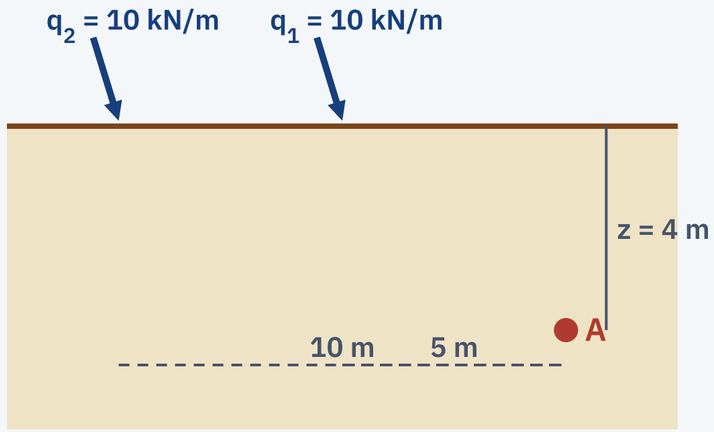
ПРИМЕР

**Дано**

| | |
|---|---|
| Нагрузки | **нагрузка 1:** $q_1 = 10$ **kN/m,** $\alpha_1 = 20^\circ$, $x_{L1} = 0$**; нагрузка 2:** $q_2 = 10$ **kN/m,** $\alpha_2 = 20^\circ$, $x_{L2} = -5$ **m** |
| Точка A | $x_A = 5$ **m;** $z = 4$ **m (затем** $2; 6; 8; 12$ **m)** |

**ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ**

Вклад нагрузки 2 (вертикальный и горизонтальный), сумма двух нагрузок; профиль по глубине.



# Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

**1** Нагрузка 2 (x = 5 – (–5) = 10 m): те же составляющие $q_V = 9.397$, $q_H = 3.420$ kN/m

$$\Delta\sigma_{z(V)} = \frac{2(9.397)(4^3)}{\pi(10^2+4^2)^2} = \frac{1{,}202.8}{42{,}273.3} = 0.02845$$

$$\Delta\sigma_{z(H)} = \frac{2(3.420)(10)(4^2)}{\pi(10^2+4^2)^2} = \frac{1{,}094.5}{42{,}273.3} = 0.02589 \qquad \Delta\sigma_{z(2)} = \mathbf{0.05434}\ \text{kPa}$$

**2** Итого: вклад нагрузки 1 равен значению из примера 1

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(1)} + \Delta\sigma_{z(2)} = 0.33138 + 0.05434 = \mathbf{0.38573}\ \text{kPa}$$

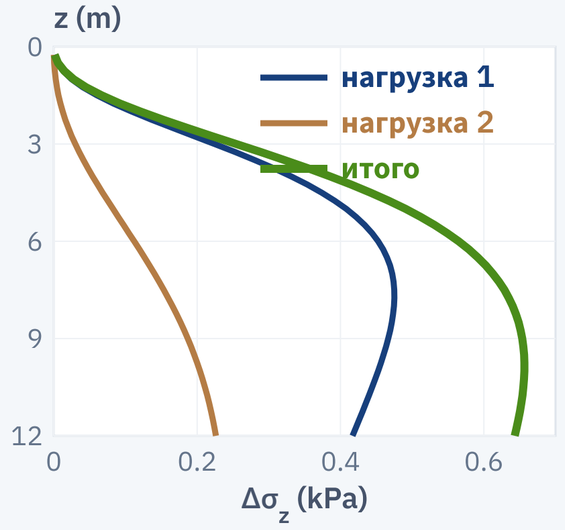
**$\Delta\sigma_z$ = 0.38573 kPa** (вертикальные составляющие 0.25621, горизонтальные составляющие 0.12951). Нагрузка 2 добавляет лишь 0.05434 kPa: она расположена на расстоянии 10 m.

# Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

| z (m) | Нагрузка 1: V + H | Нагрузка 2: V + H | Суммарное $\Delta\sigma_z$ (kPa) |
|---|---|---|---|
| 2 | 0.0569 + 0.0518 = 0.1087 | 0.0044 + 0.0081 = 0.0125 | **0.1212** |
| 4 | 0.2278 + 0.1036 = 0.3314 | 0.0285 + 0.0259 = 0.0543 | **0.3857** |
| 6 | 0.3473 + 0.1053 = 0.4526 | 0.0699 + 0.0424 = 0.1122 | **0.5648** |
| 8 | 0.3867 + 0.0880 = 0.4746 | 0.1139 + 0.0518 = 0.1657 | **0.6403** |
| 12 | 0.3619 + 0.0549 = 0.4168 | 0.1736 + 0.0527 = 0.2263 | **0.6431** |

На каждой глубине вертикальные и горизонтальные составляющие нагрузок суммируются отдельно, а результат есть сумма от двух нагрузок. Суммарное значение составляет 0.6403 kPa при z = 8 m и 0.6431 kPa при z = 12 m; доля нагрузки 2 с глубиной возрастает.




Проверить решение в GeoTerva ↗

Резюме

# Главное

**Горизонтальная нагрузка**: $\Delta\sigma_z = (2q/\pi) \cdot z^2/(x^2 + z^2)^2$; со стороны, в которую она направлена ($x > 0$), напряжение возрастает, с противоположной — убывает, под нагрузкой равно нулю; наибольшее значение $0.2067 \cdot (q/z)$ достигается при $x/z = 1/\sqrt{3}$

**Наклонная нагрузка**: $q_V = q \cos\alpha$ и $q_H = q \sin\alpha$; $\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(V)} + \Delta\sigma_{z(H)}$ (в упругом грунте напряжения от составляющих суммируются)

**Пример (q = 10 kN/m, α = 20°; A: x = 5, z = 4 m)**: $q_V = 9.397$, $q_H = 3.420$ kN/m; $\Delta\sigma_{z(V)} = 0.22776$ + $\Delta\sigma_{z(H)} = 0.10362$ = **0.33138 kPa**

**Наклон и глубина**: суммарное значение наибольшее при $\tan\alpha = x/z$ ($\alpha = 51.3°$); горизонтальная составляющая достигает максимума при $z = x$, вертикальная — при $z = \sqrt{3} \cdot x$

**Две стороны**: 0.3314 при $x = +5$ m и 0.1241 kPa при $x = -5$ m; для **двух нагрузок** составляющие суммируются отдельно (в примере 0.3857 kPa)

# Список литературы

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning.

**ПРИМЕЧАНИЕ**

Все числовые примеры получены с помощью собственного расчётного ядра модуля; модуль даёт те же значения. Начальные данные модуля: нагрузка q = 10 kN/m, α = 20° и точка A (x = 5 m, z = 4 m).

GeoTerva

Геотехнические расчёты онлайн

# От теории к практике

Введите в GeoTerva собственные горизонтальные или наклонные линейные нагрузки, их наклоны, положения и свою точку; модуль одновременно выдаёт вклад вертикальной и горизонтальной составляющих, суммарное значение $\Delta\sigma_z$, профиль по глубине, линии равных напряжений, пошаговое решение и отчёт.

**Открыть модуль →** **Страница теории →**

**Открыть на телефоне**
Для пробных модулей регистрация не требуется.