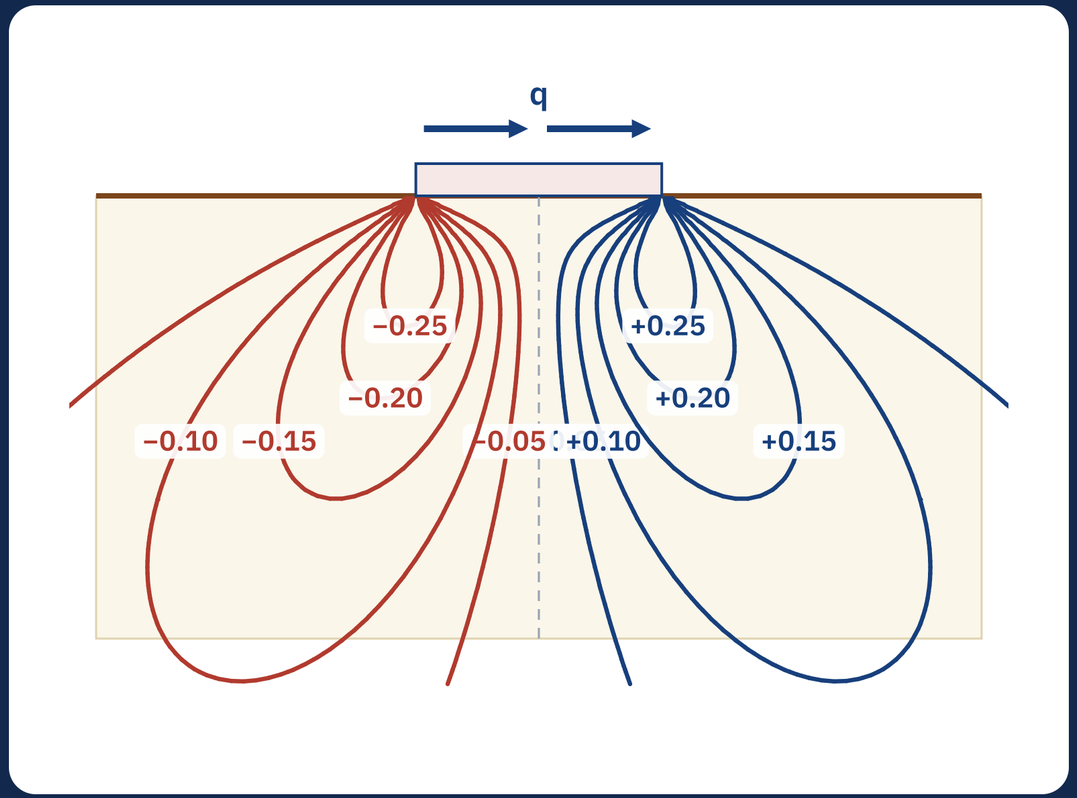
Презентация к лекции по геотехнике · Напряжения в грунтовом массиве

Напряжение под горизонтальной полосовой нагрузкой

Лекция: горизонтальные и наклонные полосовые нагрузки, действующие вдоль поверхности; одна точка вручную, наклон, профили по глубине и горизонтальные профили.

- Интеграл горизонтальной линейной нагрузки
- Наклонная нагрузка = вертикальная + горизонтальная
- Увеличение впереди, уменьшение сзади
- Суперпозиция
- Решается вручную



Что мы изучим на этой лекции?

Приращение вертикального напряжения под **толкающей** (горизонтальной) и **наклонной** полосовой нагрузкой, приложенной к поверхности: интеграл горизонтальной линейной нагрузки по ширине полосы

Уравнение горизонтальной полосы и то, что напряжение является **функцией одного лишь x**: возрастание перед нагрузкой, убывание за ней, нуль под осью

Разложение наклонной нагрузки на составляющие $q_v = q \cos \alpha$ и $q_h = q \sin \alpha$ и **суммирование** решений для вертикальной и горизонтальной полос

Одну точку **вручную от начала до конца** (A перед нагрузкой и B за ней); влияние угла наклона, глубины и нескольких полос — по таблицам

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 = 150 kN/m², наклон от вертикали α = 30°; B = 3 m; точка A при x = +2.25 m, z = 3 m.

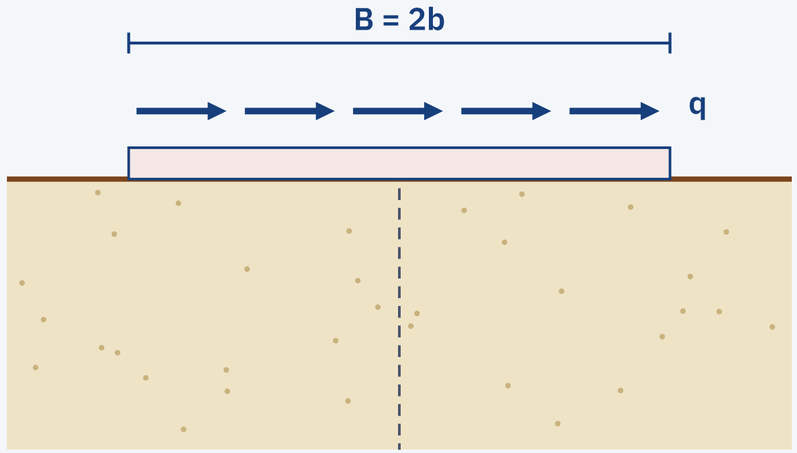
Полосовая нагрузка давит и вдоль поверхности

ТЕОРИЯ

Трение под скользящим фундаментом, распор на подошве подпорной стены, тормозное усилие транспортных средств на дороге: полоса также **толкает** вдоль поверхности

Модуль выдаёт приращение вертикальных напряжений под **гибкой полосой**, несущей равномерное горизонтальное давление q, и, **методом суперпозиции**, под наклонной полосой; полоса имеет ширину B = 2b и бесконечную длину (плоская деформация)

Грунт представляет собой **однородное, изотропное, линейно-упругое** полупространство. $\Delta\sigma_z$ — только приращение от нагрузки и **может быть отрицательным** (уменьшение)



Разрез: горизонтальная нагрузка действует в направлении +x; полоса бесконечно простирается в направлении y

От горизонтальной линейной нагрузки к полосе

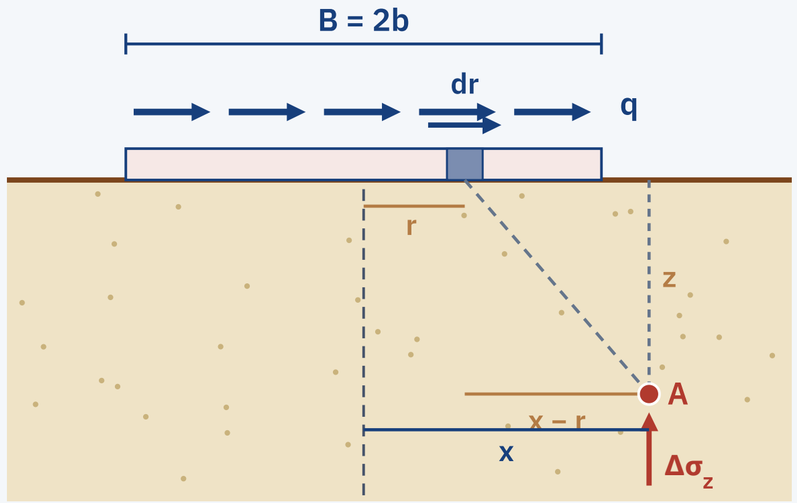
ТЕОРИЯ

Как и в случае вертикальной полосы, элементарная полоса шириной dr несёт **q dr** на единицу длины и ведёт себя как **горизонтальная линейная нагрузка**, действующая в направлении +x

$$d\sigma_z = \frac{2\,(q\,dr)\,(x-r)\,z^2}{\pi\,[(x-r)^2+z^2]^2}$$

При u = x − r первообразная равна −1/(u² + z²). В интервале −b ≤ r ≤ b интеграл сводится к разности двух линейных нагрузок:

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



$\Delta\sigma_z = 4bqxz^2 / \{\pi[(x^2 + z^2 - b^2)^2 + 4b^2z^2]\}$

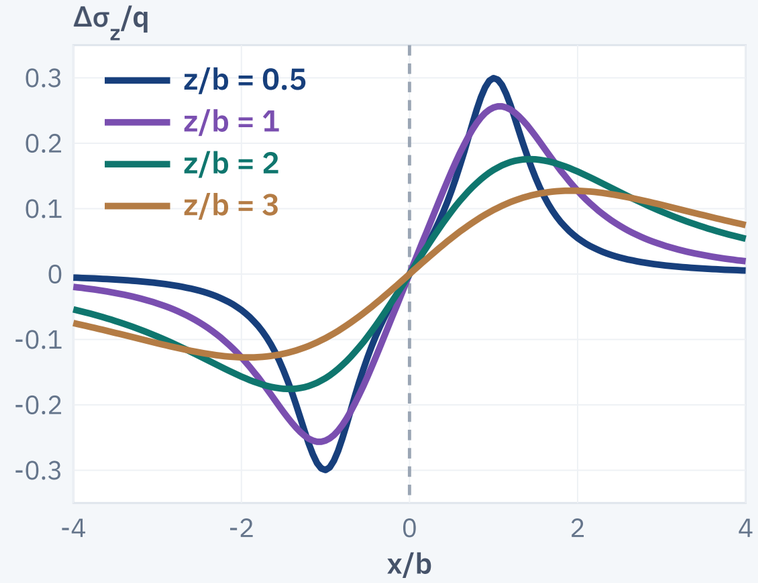
ТЕОРИЯ

Произведение двух знаменателей принимает вид (x² + z² – b²)² + 4b²z²; получается **уравнение горизонтальной полосы** (b = B/2):

$$\Delta\sigma_z = \frac{4\,b\,q\,x\,z^2}{\pi\,[(x^2+z^2-b^2)^2+4b^2z^2]} \qquad \frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{4XZ^2}{\pi\,[(X^2+Z^2-1)^2+4Z^2]}$$

Напряжение является **нечётной функцией** x: в точках +x и −x оно равно по величине и противоположно по знаку. **Перед** нагрузкой грунт вдавливается вниз, **за ней** — приподнимается; под осью полосы на любой глубине напряжение равно нулю

При X = x/b, Z = z/b **единое семейство кривых** справедливо для любых q и B. Численная проверка (q = 100, B = 4, x = 1, z = 1): интеграл горизонтальной линейной нагрузки вдоль полосы даёт **12.7324 kPa**, уравнение — **12.7324 kPa**



Напряжение от горизонтальной полосы: нагрузка действует в сторону +x

Наклонная нагрузка = вертикальная составляющая + горизонтальная составляющая

ТЕОРИЯ

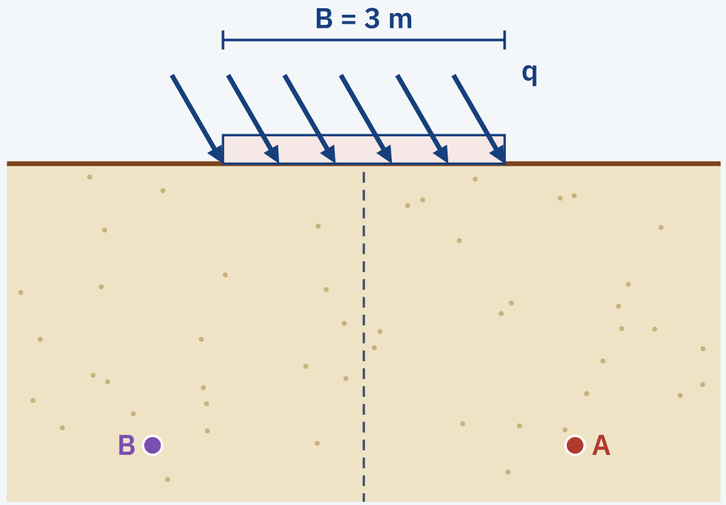
Наклонная нагрузка — это давление q, действующее под углом **α** к вертикали (α положителен в направлении +x; α = 90° — полностью горизонтальная нагрузка, α = 0 — вертикальная полоса)

$$q_v = q\cos\alpha \qquad q_h = q\sin\alpha$$

Вертикальная составляющая даёт напряжение от **вертикальной полосы**, горизонтальная — от **горизонтальной полосы**; они суммируются

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(v)} + \Delta\sigma_{z(h)} \qquad \Delta\sigma_{z(v)} = q_v\, I_v \qquad \Delta\sigma_{z(h)} = q_h\, I_h$$

I_V — чётная функция x, а I_h — нечётная функция x: в точке A перед нагрузкой горизонтальная составляющая **прибавляется**, в точке B за ней — **вычитается**



q = 150 kN/m², α = 30°, B = 3 m; A спереди, B сзади (x = ±2.25 m, z = 3 m)

Горизонтальная полоса: значения $\Delta\sigma_z/q_h$

ТЕОРИЯ

z/b \ x/b	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0
0.25	0.0000	0.0551	0.3134	0.0605	0.0165	0.0070	0.0037	0.0014
0.50	0.0000	0.1273	0.2996	0.1469	0.0551	0.0255	0.0138	0.0055
1.00	0.0000	0.1567	0.2546	0.2107	0.1273	0.0739	0.0449	0.0196
1.50	0.0000	0.1273	0.2037	0.2022	0.1567	0.1098	0.0753	0.0374
2.00	0.0000	0.0959	0.1592	0.1754	0.1567	0.1254	0.0955	0.0540
3.00	0.0000	0.0551	0.0979	0.1219	0.1273	0.1198	0.1058	0.0749
4.00	0.0000	0.0343	0.0637	0.0845	0.0959	0.0988	0.0955	0.0795

$\Delta\sigma_{z(h)} = q_h \cdot$ (табличное значение) при $x > 0$; в точках $x < 0$ значение то же, знак противоположный. Столбец $x = 0$ на любой глубине равен нулю; пиковое значение с глубиной уменьшается и удаляется от оси полосы.

Суперпозиция

ТЕОРИЯ

Так как грунт **упругий**, напряжение от каждой полосы находится отдельно, и результаты суммируются. Каждая полоса задаётся собственными q, наклоном α, шириной B и осевой линией; в модуле можно ввести не более восьми полос

Полосы **не могут перекрываться** (могут смыкаться по краю). Напряжение от каждой полосы находится **по собственному значению x**, то есть по расстоянию от точки A до осевой линии этой полосы; вертикальные и горизонтальные составляющие можно суммировать и по отдельности

$$\Delta\sigma_z = \sum_k \left(q_{v,k} I_{v,k} + q_{h,k} I_{h,k}\right) \qquad x_k = x_A - x_{c,k}$$

Если горизонтальная нагрузка полосы направлена в сторону −x (α < 0), q_h отрицательна: передней теперь является точка на стороне полосы **−x**

Условие

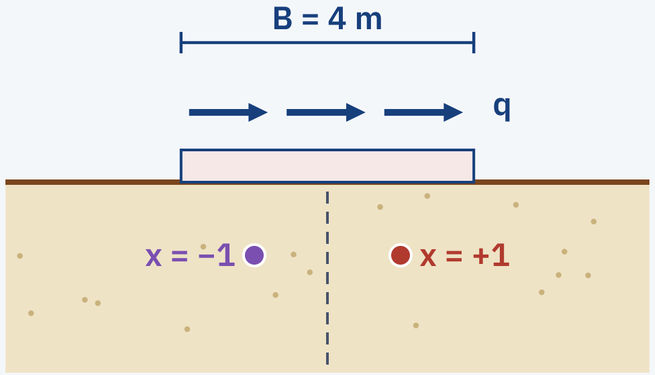
ПРИМЕР

Дано

Полосовая нагрузка	**Гибкая, горизонтальная (в направлении $+x$): $q = 100$ kN/m², $B = 4$ m ($b = B/2 = 2$ m); осевая линия $x = 0$**
Точки	**на глубине $z = 1$ m: $x = +1$ m (перед нагрузкой) и $x = -1$ m (за нагрузкой)**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

$\Delta\sigma_z$ и **$\Delta\sigma_z/q$**: по замкнутому уравнению для полосы; проверка **в разностной форме**.



Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

1 Величины в знаменателе (b = B/2 = 2 m)

$$x^2 + z^2 - b^2 = 1 + 1 - 4 = -2$$

$$(x^2 + z^2 - b^2)^2 + 4b^2z^2 = 4 + 4(4)(1) = \mathbf{20}$$

2 Значение влияния и напряжение

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{4b\,x\,z^2}{\pi\,[\ldots]} = \frac{4(2)(\pm1)(1)^2}{\pi\,(20)} = \pm\frac{8}{\pi\,(20)} = \pm\mathbf{0.1273}$$

$$\Delta\sigma_z = \pm0.1273\,(100) = \pm\mathbf{12.73}\ \text{kPa}$$

x = +1 m (перед нагрузкой): $\Delta\sigma_z$ = **+12.73 kPa**, грунт вдавливается вниз. **x = −1 m** (за нагрузкой): **−12.73 kPa**, напряжение уменьшается. Под осью на любой глубине $\Delta\sigma_z$ = 0.

Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

3 Разностная форма, x = +1 m

$$\Delta\sigma_z = \frac{q\,z^2}{\pi}\left[\frac{1}{(x-b)^2+z^2} - \frac{1}{(x+b)^2+z^2}\right] = \frac{100}{\pi}\left[\frac{1}{2} - \frac{1}{10}\right] = \frac{100}{\pi}(0.4) = \mathbf{12.73}\ \text{kPa}$$

4 Разностная форма, x = −1 m

$$\Delta\sigma_z = \frac{100}{\pi}\left[\frac{1}{(-1-2)^2+1} - \frac{1}{(-1+2)^2+1}\right] = \frac{100}{\pi}\left[\frac{1}{10} - \frac{1}{2}\right] = -\mathbf{12.73}\ \text{kPa}$$

Обе формы дают **одно и то же значение**: ±12.73 kPa. Модуль (α = 90°) даёт то же значение; знак определяется лишь тем, находится ли точка перед нагрузкой или за ней.

Проверить решение в GeoTerva ↗

Условие

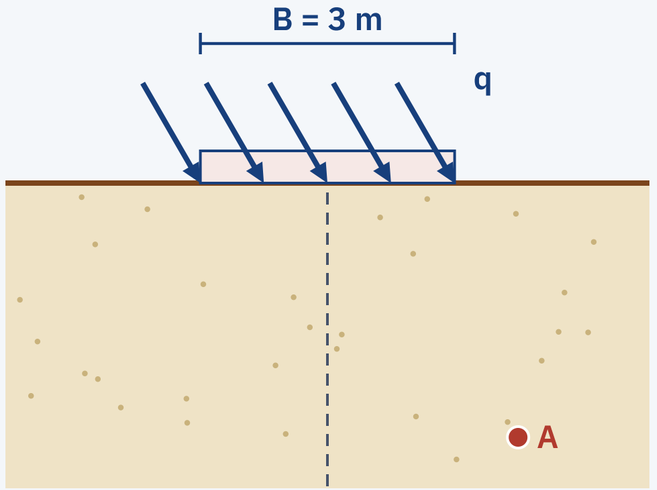
ПРИМЕР

Дано

Полосовая нагрузка	**Гибкая, отклонена от вертикали на $\alpha = 30^\circ$ (в направлении $+x$): $q = 150$ kN/m², $B = 3$ m ($b = 1.5$ m); линия оси $x = 0$**
Точка A	**Перед нагрузкой: $x = +2.25$ m, $z = 3$ m ($x/b = 1.5$; $z/b = 2$)**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

$\Delta\sigma_{z(v)}$, **$\Delta\sigma_{z(h)}$** и суммарное **$\Delta\sigma_z$**: путём разложения нагрузки на составляющие.



Решение (1/3)

РЕШЕНИЕ

1 Составляющие нагрузки и безразмерные расстояния

$$q_v = 150\cos 30^\circ = \mathbf{129.90}\ \text{kPa} \qquad q_h = 150\sin 30^\circ = \mathbf{75.00}\ \text{kPa}$$

$$\frac{x}{b} = \frac{2.25}{1.5} = 1.5 \qquad \frac{z}{b} = \frac{3}{1.5} = 2$$

2 Вертикальная составляющая: арктангенсы и алгебраический член (x − b = 0.75 m; x + b = 3.75 m)

$$A_1 = \tan^{-1}\frac{3}{0.75} = 1.3258 \qquad A_2 = \tan^{-1}\frac{3}{3.75} = 0.6747$$

$$T = \frac{3(3)\left(5.0625 - 9 - 2.25\right)}{(5.0625 + 9 - 2.25)^2 + 9(9)} = \frac{-55.6875}{220.535} = -0.2525$$

Точка A находится **вне** полосы (x = 2.25 m > b = 1.5 m): два арктангенса берутся непосредственно, поправка π не требуется.

Решение (2/3)

РЕШЕНИЕ

3 Напряжение от вертикальной составляющей

$$I_v = \frac{1}{\pi}\left[A_1 - A_2 - T\right] = \frac{1}{\pi}\left[1.3258 - 0.6747 - (-0.2525)\right] = \mathbf{0.2876}$$

$$\Delta\sigma_{z(v)} = 0.2876\,(129.90) = \mathbf{37.36}\ \text{kPa}$$

4 Напряжение от горизонтальной составляющей (b = 1.5 m)

$$x^2 + z^2 - b^2 = 5.0625 + 9 - 2.25 = 11.8125 \qquad 4b\,x\,z^2 = 4(1.5)(2.25)(9) = 121.5$$

$$I_h = \frac{121.5}{\pi\left[(11.8125)^2 + 4(2.25)(9)\right]} = \frac{121.5}{\pi\,(220.535)} = \mathbf{0.1754}$$

$$\Delta\sigma_{z(h)} = 0.1754\,(75.00) = \mathbf{13.15}\ \text{kPa}$$

Так как нагрузка наклонена под углом 30°, создаются напряжения от **вертикальной составляющей — 37.36 kPa** и от **горизонтальной составляющей — 13.15 kPa**; влияние горизонтальной составляющей в точке A положительно (спереди).

Решение (3/3)

РЕШЕНИЕ

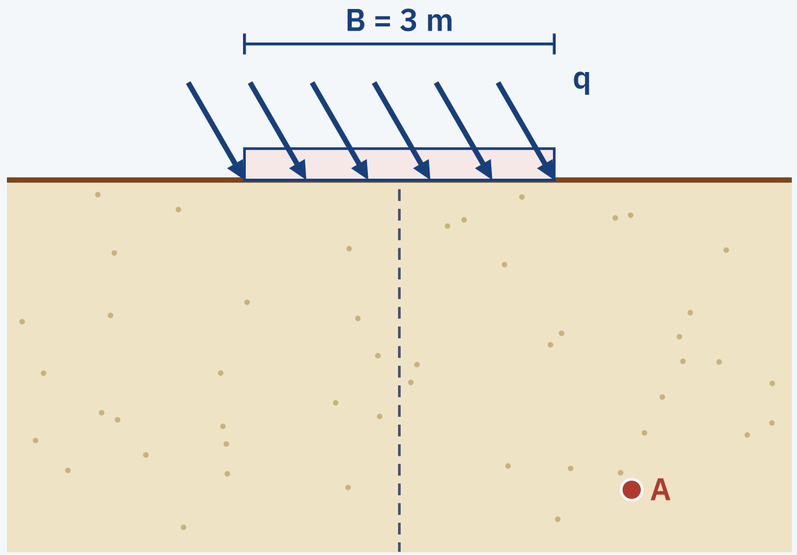
5 Суперпозиция

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(v)} + \Delta\sigma_{z(h)} = 37.36 + 13.15 = \mathbf{50.52}\ \text{kPa}$$

6 Проверка для горизонтальной составляющей в разностной форме

$$I_h = \frac{z^2}{\pi}\left[\frac{1}{(x-b)^2+z^2} - \frac{1}{(x+b)^2+z^2}\right]$$

$$= \frac{9}{\pi}\left[\frac{1}{9.5625} - \frac{1}{23.0625}\right] = \mathbf{0.1754}$$



$\Delta\sigma_z$ = 50.52 kPa; модуль даёт то же значение (вертикальная составляющая 37.36, горизонтальная 13.15). Если бы вертикальная нагрузка составляла 150 kPa (α = 0), в точке A было бы лишь 43.14 kPa.

Проверить решение в GeoTerva ↗

Условие

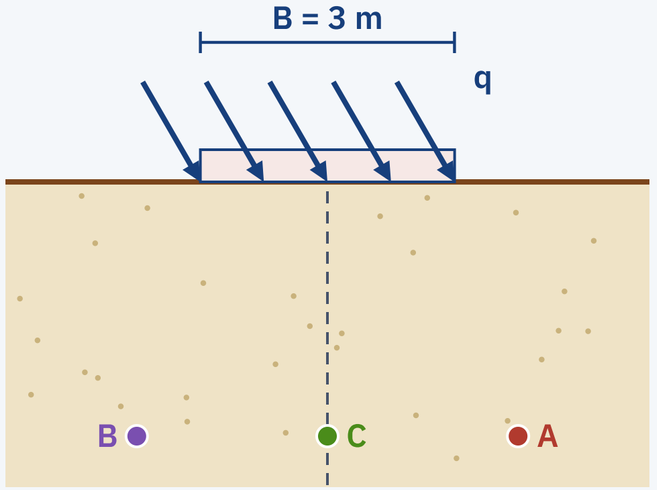
ПРИМЕР

Дано

Полосовая нагрузка	**Полосовая нагрузка из примера 2:** $q = 150$ **kN/m², ** $B = 3$ **m, ** $\alpha = 30^\circ$
Точки	**B:** $x = -2.25$ **m (за нагрузкой); C:** $x = 0$ **(ось);** $z = 3$ **m**
Наклон	$\alpha = 0,\ 15^\circ,\ 30^\circ,\ 45^\circ,\ 60^\circ,\ 75^\circ,\ 90^\circ$ **(в A и B)**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

$\Delta\sigma_z$ в точках **B** и **C** по симметрии; изменение напряжения в точках A и B при изменении α.



Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

1 Точка B (x = −2.25 m): вертикальная составляющая удваивается, горизонтальная — одинарная

$$\Delta\sigma_{z(v)}(B) = \Delta\sigma_{z(v)}(A) = 37.36 \text{ kPa} \qquad \Delta\sigma_{z(h)}(B) = -\Delta\sigma_{z(h)}(A) = -13.15 \text{ kPa}$$

$$\Delta\sigma_z(B) = 37.36 + (-13.15) = \mathbf{24.21} \text{ kPa}$$

2 Точка C (ось, x = 0): горизонтальная составляющая равна нулю; вертикальная составляющая — по формуле для точки под осью

$$I_v = \frac{2}{\pi}\left[\tan^{-1}\frac{b}{z} + \frac{bz}{b^2+z^2}\right] = \frac{2}{\pi}\left[0.4636 + 0.4000\right] = 0.5498$$

$$\Delta\sigma_z(C) = 0.5498\,(129.90) = \mathbf{71.42} \text{ kPa}$$

Перед нагрузкой (A) 50.52, **за ней** (B) 24.21, **под осью** (C) 71.42 kPa: на той же глубине горизонтальная составляющая добавляет 13.15 kPa в точке A и на столько же уменьшает в точке B. Модуль даёт для A и B те же значения.

Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

α (°)	q_v	q_h	A: $\Delta\sigma_{z(v)}$	A: $\Delta\sigma_{z(h)}$	A: $\Delta\sigma_z$	B: $\Delta\sigma_z$
0	150.00	0.00	43.14	0.00	**43.14**	**43.14**
15	144.89	38.82	41.67	6.81	**48.48**	**34.86**
30	129.90	75.00	37.36	13.15	**50.52**	**24.21**
45	106.07	106.07	30.51	18.60	**49.11**	**11.91**
60	75.00	129.90	21.57	22.78	**44.35**	**−1.21**
75	38.82	144.89	11.17	25.41	**36.58**	**−14.24**
90	0.00	150.00	0.00	26.31	**26.31**	**−26.31**

С ростом наклона вертикальная составляющая уменьшается, горизонтальная увеличивается. **В точке A** суммарное значение наибольшее около α ≈ 30° (50.5 kPa); при α = 90° остаётся только горизонтальная составляющая (26.3 kPa). **В точке B** напряжение при α = 60° со значением -1.21 kPa **переходит к уменьшению** и при α = 90° становится −26.3 kPa.

Проверить решение в GeoTerva ↗

Условие

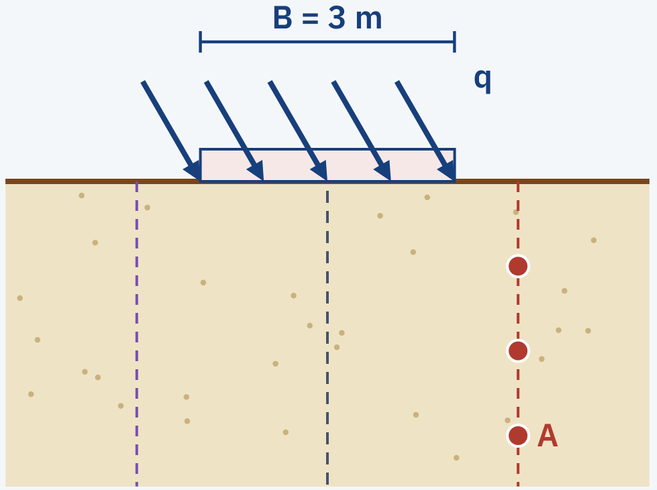
ПРИМЕР

Дано

Полосовая нагрузка	**Наклонная полоса из примера 2:** $q = 150$ **kN/m²,** $\alpha = 30°$**,** $B = 3$ **m**
Прямые	**Прямая A —** $x = +2.25$ **m, прямая B —** $x = -2.25$ **m**
Глубина	$z = 0.5$ **...** 12 **m**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Изменение $\Delta\sigma_{z(v)}$, $\Delta\sigma_{z(h)}$ и их суммы с глубиной; **глубина, на которой горизонтальная составляющая наибольшая**.

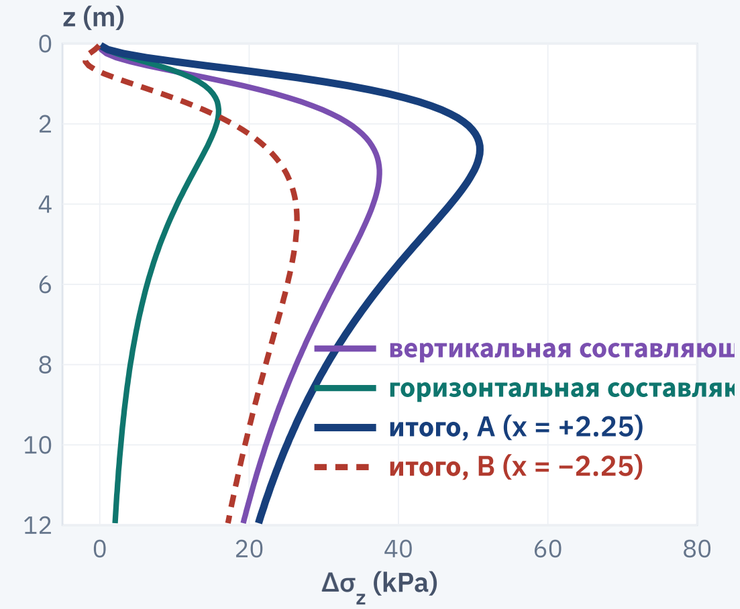


Решение

РЕШЕНИЕ

z (m)	z/b	A: $\Delta\sigma_{z(v)}$	A: $\Delta\sigma_{z(h)}$	A: $\Delta\sigma_z$	B: $\Delta\sigma_z$
0.5	0.33	5.17	6.93	**12.09**	**−1.76**
1.0	0.67	18.01	13.69	**31.71**	**4.32**
1.5	1.00	27.77	15.81	**43.57**	**11.96**
2.0	1.33	33.43	15.64	**49.08**	**17.79**
3.0	**2.00**	**37.36**	**13.15**	**50.52**	**24.21**
4.0	2.67	36.62	10.36	**46.98**	**26.26**
5.0	3.33	34.23	8.07	**42.30**	**26.16**
6.0	4.00	31.45	6.34	**37.79**	**25.11**
8.0	5.33	26.31	4.09	**30.40**	**22.22**
10.0	6.67	22.25	2.81	**25.06**	**19.44**
12.0	8.00	19.14	2.03	**21.17**	**17.11**

Под точкой A **вертикальная составляющая** достигает максимума при z ≈ 3.25 m (37.5 kPa); **горизонтальная составляющая** максимальна на меньшей глубине, при z ≈ 1.65 m (15.9 kPa), а затем затухает как 1/z². Под точкой B вблизи поверхности напряжение отрицательно (-1.76 kPa при z = 0.5 m).



Проверить решение в GeoTerva ↗

Условие

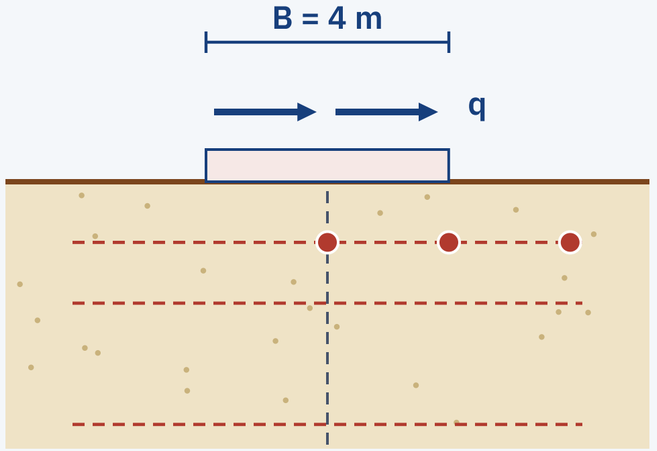
ПРИМЕР

Дано

Полосовая нагрузка	**Горизонтальная: $q = 100$ kN/m², $B = 4$ m ($b = 2$ m), в направлении $+x$**
Прямые	**Горизонтальные прямые на глубине $z = 1,\ 2,\ 4,\ 6$ m; $x = 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8$ m**
Ручной расчёт	**точка $z = 1$ m, $x = 2$ m (край)**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Изменение **$\Delta\sigma_z$** вдоль x на каждой глубине; **положение пикового значения** и изменение его величины с глубиной.



Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

1 Величины в знаменателе (b = 2 m)

$$x^2 + z^2 - b^2 = 4 + 1 - 4 = 1 \qquad (x^2 + z^2 - b^2)^2 + 4b^2 z^2 = 1 + 16 = 17$$

$$4b\,x\,z^2 = 4(2)(2)(1) = 16$$

2 Значение влияния и напряжение

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{16}{\pi\,(17)} = \mathbf{0.2996}$$

$$\Delta\sigma_z = 0.2996\,(100) = \mathbf{29.96}\ \text{kPa}$$

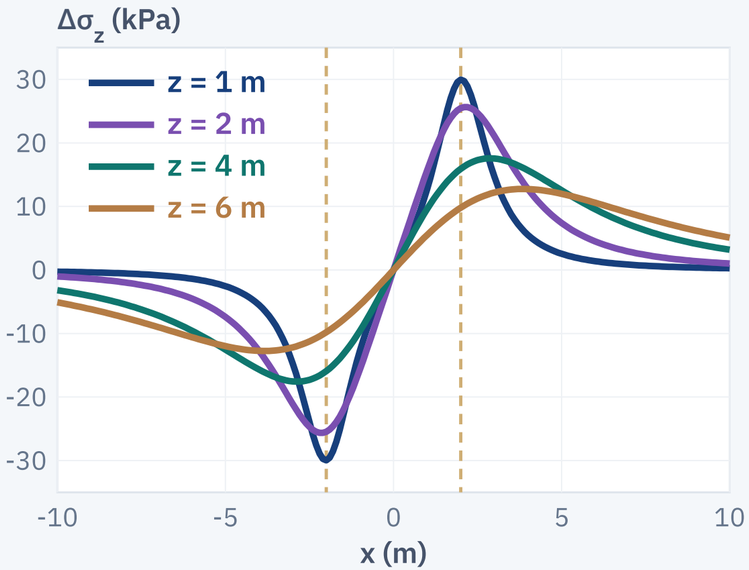
На переднем краю полосы (x = b) на глубине z = 1 m $\Delta\sigma_z$ = **29.96 kPa**: это очень близко к **пиковому значению** на прямой z = 1 m (x = 2.01 m, 29.96 kPa).

Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

z (m)	x = 1 m	x = 2 m	x = 3 m	x = 4 m	x = 6 m	x = 8 m	Пик: x (m)	Пик: $\Delta\sigma_z$
1	12.73	29.96	14.69	5.51	1.38	0.55	**2.01**	**29.96**
2	15.67	25.46	21.07	12.73	4.49	1.96	**2.15**	**25.65**
4	9.59	15.92	17.54	15.67	9.55	5.40	**2.87**	**17.57**
6	5.51	9.79	12.19	12.73	10.58	7.49	**3.84**	**12.75**

Максимум вблизи поверхности (z = 1 m) равен **30.0 kPa** и находится непосредственно под краем полосы; с глубиной он **уменьшается** (12.7 kPa при z = 6 m) и **удаляется от полосы** (x = 2.0 m → 3.8 m). Столбец x = 0 всегда нулевой; в точках x < 0 значения те же, знак обратный (нечётная симметрия).



Проверить решение в GeoTerva ↗

Условие

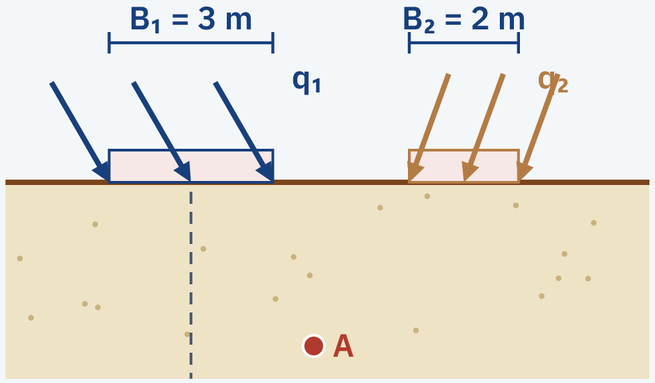
ПРИМЕР

Дано

1-я полоса	$q_1 = 150$ **kN/m²,** $\alpha_1 = 30^\circ$ **(**$+x$**),** $B_1 = 3$ **m,** $x_{c1} = 0$ **(–1.5 … 1.5 m) — полоса из Примера 2**
2-я полоса	$q_2 = 100$ **kN/m²,** $\alpha_2 = -20^\circ$ **(направление** $-x$**),** $B_2 = 2$ **m,** $x_{c2} = 5$ **m (4 … 6 m)**
Точка A	$x = 2.25$ **m,** $z = 3$ **m (между двумя полосами)**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Доля 2-й полосы (вертикальная, горизонтальная) и **суммарное** $\Delta\sigma_z$; эпюра по глубине.



Решение (1/3)

РЕШЕНИЕ

1 2-я полоса: $x_2 = 2.25 - 5 = -2.75$ m ($|x_2| = 2.75$ m), b = 1 m; $\alpha_2 = -20°$

$$q_v = 100\cos 20^\circ = \mathbf{93.97}\ \text{kPa} \qquad q_h = 100\sin(-20^\circ) = -\mathbf{34.20}\ \text{kPa}$$

2 Вертикальная составляющая (симметрия: для $|x_2| = 2.75$ m)

$$A_1 = \tan^{-1}\frac{3}{1.75} = 1.0427 \quad A_2 = \tan^{-1}\frac{3}{3.75} = 0.6747 \quad T = \frac{2(3)(-2.4375)}{(15.5625)^2 + 36} = -0.0526$$

$$\Delta\sigma_{z(v)} = \frac{93.97}{\pi}[A_1 - A_2 - T] = 0.1339\,(93.97) = \mathbf{12.58}\ \text{kPa}$$

Решение (2/3)

РЕШЕНИЕ

3 Горизонтальная составляющая: q_h отрицательно, x_2 отрицательно → $\Delta\sigma_{z(h)}$ положительно

$$I_h(|x|) = \frac{4b\,x\,z^2}{\pi\left[(x^2+z^2-b^2)^2+4b^2z^2\right]} = \frac{4(1)(2.75)(9)}{\pi\left[(15.5625)^2+36\right]} = \mathbf{0.1133}$$

$$\Delta\sigma_{z(h)} = (-34.20)\left(-0.1133\right) = \mathbf{3.87}\ \text{kPa}$$

4 Суперпозиция (1-я полоса: Пример 2)

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(1)} + \Delta\sigma_{z(2)} = (37.36 + 13.15) + (12.58 + 3.87)$$

$$= 50.52 + 16.45 = \mathbf{66.97}\ \text{kPa}$$

$\Delta\sigma_z$ = 66.97 kPa (вертикальные составляющие 49.94, горизонтальные составляющие 17.03 kPa). Модуль даёт те же значения для двух полос.

Решение (3/3)

РЕШЕНИЕ

z (m)	1-я полоса (kPa)	2-я полоса (kPa)	Итого (kPa)	доля 2-й полосы
1	31.71	4.25	**35.96**	%12
2	49.08	12.18	**61.26**	%20
3	50.52	16.45	**66.97**	%25
4	46.98	17.48	**64.45**	%27
6	37.79	15.83	**53.62**	%30
8	30.40	13.38	**43.79**	%31
12	21.17	9.71	**30.89**	%31

В приповерхностном слое преобладает полоса 1; на **z = 12 m** доля полосы 2 возрастает до 31% суммы. Горизонтальные составляющие двух полос в точке A складываются в одном направлении (обе направлены к A): нагрузки отталкивают грунт навстречу друг другу.

Проверить решение в GeoTerva ↗

Резюме

Главное

Горизонтальная полосовая нагрузка: $\Delta\sigma_z = 4bqxz^2 / \{\pi[(x^2 + z^2 - b^2)^2 + 4b^2z^2]\}$, $b = B/2$; эквивалентная форма $(qz^2/\pi)[1/((x - b)^2 + z^2) - 1/((x + b)^2 + z^2)]$. **Нечётная функция** от x: + впереди, − сзади, 0 под осью

Наклонная полоса: $q_v = q \cos\alpha$, $q_h = q \sin\alpha$; $\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(v)} + \Delta\sigma_{z(h)}$. Вертикальная составляющая — чётная функция x, горизонтальная — нечётная

Пример (q = 150 kPa, α = 30°, B = 3 m; z = 3 m): A (x = +2.25): 37.36 + 13.15 = **50.52 kPa**; B (x = −2.25): 37.36 − 13.15 = **24.21 kPa**; горизонтальная полоса (q = 100, B = 4; x = ±1, z = 1): **±12.73 kPa**

Влияние параметров: с ростом α суммарное напряжение в точке A наибольшее при α ≈ 30°, в точке B напряжение убывает при α ≥ 60°; для горизонтальной полосы оно убывает по мере того, как пик опускается глубже и удаляется от полосы

Суперпозиция: каждая полоса со своими значениями x и α; в примере с двумя наклонными полосами 50.52 + 16.45 = **66.97 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 выдаёт те же значения. Модуль открывается с начальными данными q = 150 kN/m², α = 30°, B = 3 m и точкой A (x = +2.25 m, z = 3 m); при вводе x = −2.25 m получается точка B, при вводе α = 90° — полностью горизонтальная полоса.

GeoTerva

Геотехнические расчёты онлайн

От теории к практике

Ввести в GeoTerva собственные полосы (q, наклон, B, осевая линия) и точку A; модуль одновременно выдаёт напряжение, линии равных напряжений, профиль по глубине, пошаговое решение и отчёт.

Открыть модуль →

Страница теории →

Открыть на телефоне
Для пробных модулей регистрация не требуется.