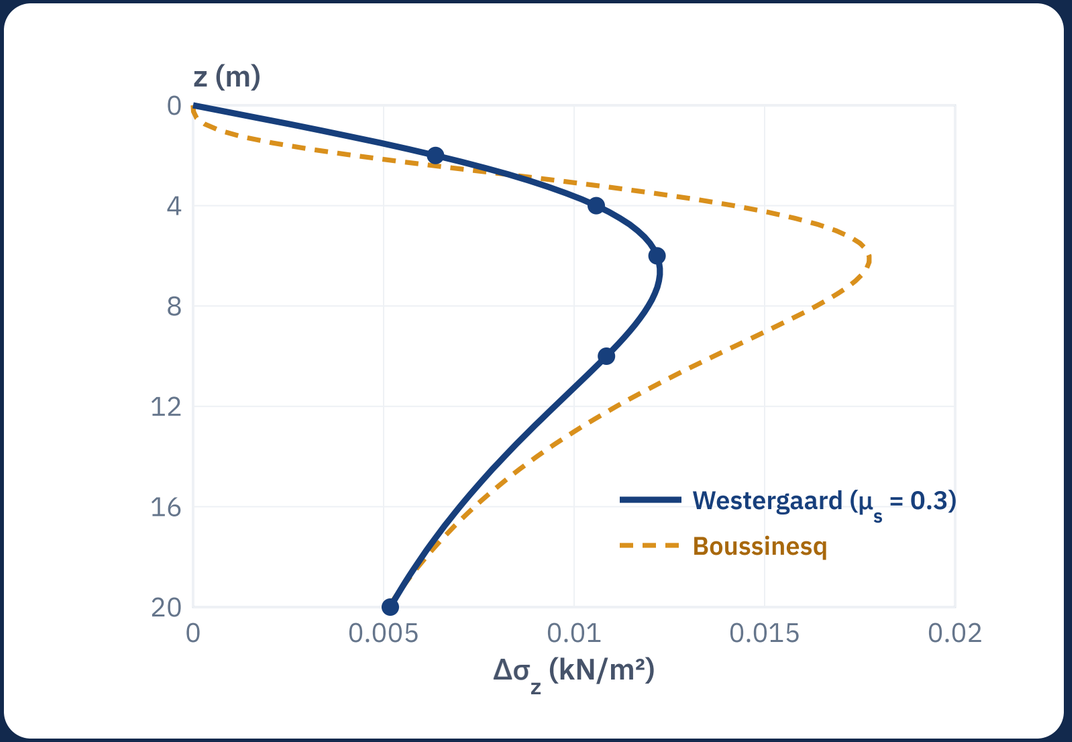
Презентация к лекции по геотехнике · Напряжения в грунтовом массиве

Westergaard: напряжение под сосредоточенной нагрузкой

Лекция: напряжение под сосредоточенной силой в слоистом грунте, боковые деформации которого ограничены жёсткими плитами; одна точка решается вручную от начала до конца.

- Среда Westergaard
- η и I_5
- Влияние μ_s
- Сравнение с Boussinesq
- Суперпозиция



Что мы изучим на этой лекции?

Среда Westergaard: идеализация упругого грунта, содержащая тонкие жёсткие горизонтальные пластины, не допускающие боковой деформации

Приращение вертикального напряжения под сосредоточенной нагрузкой: **η**, **коэффициент влияния I_5** и **$\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5$**

Где напряжение Westergaard меньше, а где больше напряжения **Boussinesq**; роль коэффициента Пуассона **μ_s**

Изменение с глубиной и с горизонтальным расстоянием, глубина максимального напряжения

Суперпозиция **нескольких сосредоточенных нагрузок**

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: P = 5 kN, точка A находится на расстоянии r = 5 m от нагрузки и на глубине z = 4 m; в грунте между пластинами $\mu_s = 0.3$.

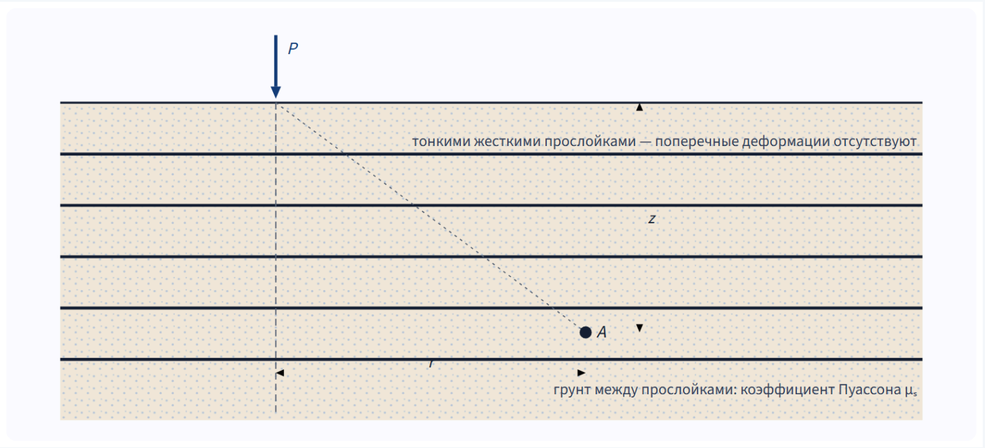
Грунт с жёсткой горизонтальной плитой

ТЕОРИЯ

Решения на основе Boussinesq опираются на интегрирование решения для сосредоточенной силы в **однородном и изотропном** полупространстве. Однако многие грунты **слоисты**

Пример: глина с тонкими прослоями песка, горизонтальная деформация которой ограничена более жёсткими слоями

Westergaard (1938) идеализировал такой грунт следующим образом: упругая среда, содержащая множество **тонких жёстких горизонтальных пластин**, не допускающих боковых деформаций



Приращение вертикального напряжения и η

ТЕОРИЯ

Приращение вертикального напряжения в точке A, находящейся на горизонтальном расстоянии **r** и глубине **z** от сосредоточенной силы **P**, приложенной к поверхности; μ_s — коэффициент Пуассона грунта между жёсткими плитами, r = √(x² + y²)

Решение, как и для Boussinesq I_1, переписывается через **коэффициент влияния**

$$\Delta\sigma_z = \frac{P\,\eta}{2\pi z^2}\left[\frac{1}{\eta^2 + (r/z)^2}\right]^{3/2}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{1-2\mu_s}{2-2\mu_s}}$$

$\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5$

ТЕОРИЯ

Решение Westergaard, как и решение Boussinesq, записывается в виде **$\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5$**; I_5 зависит только от **$r/(\eta z)$** и **η**

Для сравнения — решение Boussinesq: $\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_1$, I_1 зависит только от r/z (вертикальное напряжение не зависит от коэффициента Пуассона)

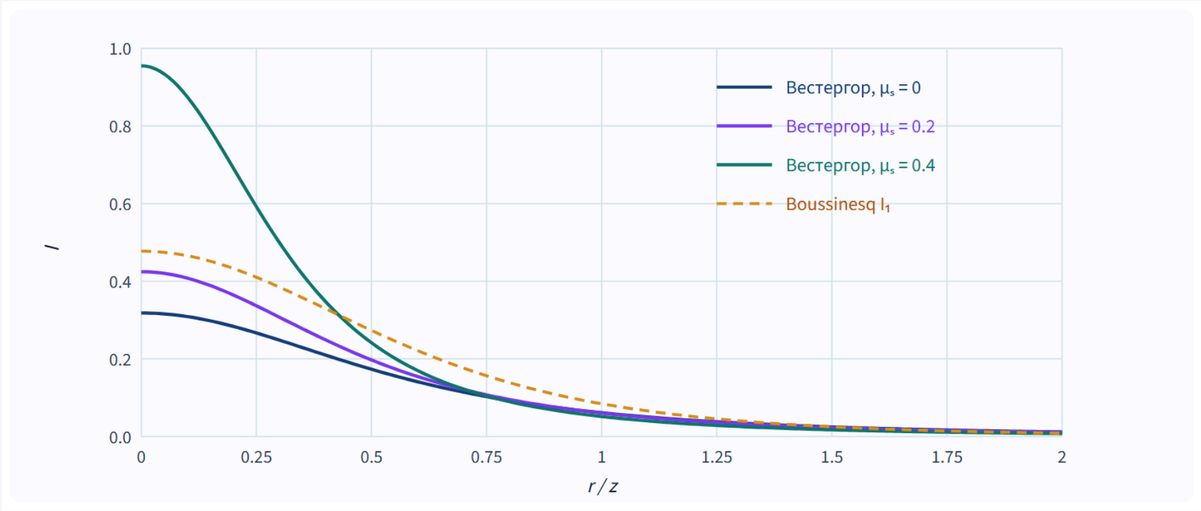
$$\Delta\sigma_z = \left(\frac{P}{z^2}\right) I_5 \qquad I_5 = \frac{1}{2\pi\eta^2}\left[\left(\frac{r}{\eta z}\right)^2 + 1\right]^{-3/2}$$

Boussinesq: $$I_1 = \frac{3}{2\pi}\left[\left(\frac{r}{z}\right)^2 + 1\right]^{-5/2}$$

Изменение коэффициента влияния в зависимости от r/z

ТЕОРИЯ

r/z	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.5	2	3	5
$\mu_s = 0$	0.3183	0.3090	0.2836	0.2483	0.2099	0.1733	0.1411	0.0925	0.0613	0.0247	0.0118	0.0038	0.0009
$\mu_s = 0.2$	0.4244	0.4080	0.3646	0.3074	0.2491	0.1972	0.1547	0.0953	0.0604	0.0229	0.0107	0.0034	0.0008
$\mu_s = 0.4$	0.9549	0.8750	0.6916	0.4997	0.3480	0.2416	0.1700	0.0897	0.0516	0.0173	0.0076	0.0023	0.0005
Boussinesq I_1	0.4775	0.4657	0.4329	0.3849	0.3295	0.2733	0.2214	0.1386	0.0844	0.0251	0.0085	0.0015	0.0001



Westergaard и Boussinesq под нагрузкой

ТЕОРИЯ

Непосредственно под нагрузкой (r = 0) напряжение по Westergaard **ниже** напряжения по Boussinesq при $\mu_s = 0$: $I_5 = 1/\pi = 0.3183$; для Boussinesq $I_1 = 3/2\pi = 0.4775$. Жёсткие плиты распределяют нагрузку в стороны

Под нагрузкой напряжение **растёт с ростом μ_s**; при $\mu_s = 0.5$ $\eta = 0$, и решение **теряет силу**. Модуль принимает μ_s от 0 до 0.49

μ_s	0.00	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.45	0.49
η	0.7071	0.6667	0.6124	0.5774	0.5345	0.4082	0.3015	0.1400
η^2	0.5000	0.4444	0.3750	0.3333	0.2857	0.1667	0.0909	0.0196
I_5 (r = 0) = $1/(2\pi\eta^2)$	0.3183	0.3581	0.4244	0.4775	0.5570	0.9549	1.7507	8.1169

Суперпозиция

ТЕОРИЯ

Поскольку среда Westergaard **упругая**, напряжение от каждой нагрузки находится по **собственному расстоянию r** до точки A, а напряжения **суммируются**

Нагрузки располагаются на грунте в своих положениях; можно ввести не более восьми нагрузок, и никакие две не могут находиться в одном месте

Значение Boussinesq для сравнения суммируется таким же образом

$$\Delta\sigma_z = \sum_k \frac{P_k}{z^2}\, I_{5,k} \qquad r_k = \sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2} \qquad I_{5,k} = I_5\left(\frac{r_k}{\eta z}\right)$$

Условие

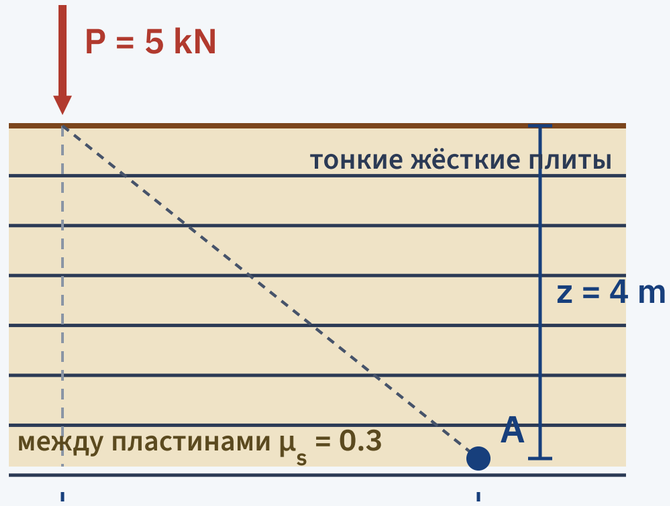
ПРИМЕР

Дано

Нагрузка	**на поверхности** $P = 5$ **kN,** $(x_L;\, y_L) = (0;\, 0)$
Точка A	$x = 3$ **m,** $y = 4$ **m,** $z = 4$ **m**
Грунт	**между пластинами** $\mu_s = 0.3$

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

η, **r/(ηz)**, коэффициент влияния $\mathbf{I_5}$, $\mathbf{\Delta\sigma_z}$ и сравнение с напряжением по Boussinesq.



Решение (1/3)

РЕШЕНИЕ

1 Постоянная Westergaard η

$$\eta = \sqrt{\frac{1-2\mu_s}{2-2\mu_s}} = \sqrt{\frac{1-0.6}{2-0.6}} = \sqrt{0.2857} = \mathbf{0.5345}$$

2 Горизонтальное расстояние и r/(ηz)

$$r = \sqrt{x^2+y^2} = \sqrt{3^2+4^2} = \mathbf{5.00}\ \text{m}$$

$$\frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0.5345\,(4)} = \mathbf{2.3385}$$

η = **0.5345** (η² = 0.2857). Точка A удалена от нагрузки на **r = 5 m**; в решении Boussinesq это расстояние входило бы как r/z = 1.25, в решении Westergaard входит r/(ηz) = **2.3385**.

Решение (2/3)

РЕШЕНИЕ

3 Значение влияния I_5

$$I_5 = \frac{1}{2\pi\eta^2}\left[\left(\frac{r}{\eta z}\right)^2 + 1\right]^{-3/2} = \frac{1}{2\pi\,(0.2857)}\left[2.3385^2 + 1\right]^{-3/2}$$

$$= 0.5570 \times [6.4687]^{-3/2} = 0.5570 \times 0.06078 = \mathbf{0.03386}$$

4 Приращение вертикального напряжения

$$\Delta\sigma_z = \frac{P}{z^2} I_5 = \frac{5}{4^2}\,(0.03386) = 0.3125 \times 0.03386 = \mathbf{0.01058}\ \text{kN/m}^2$$

Сосредоточенная сила 5 kN на поверхности вызывает в точке A в среде Westergaard приращение **$\Delta\sigma_z$ = 0.01058 kN/m²** (I_5 = 0.03386).

Решение (3/3)

РЕШЕНИЕ

5 Проверка по первой форме уравнения

$$\Delta\sigma_z = \frac{P\eta}{2\pi z^2}\left[\frac{1}{\eta^2 + (r/z)^2}\right]^{3/2} = \frac{5\,(0.5345)}{2\pi\,(16)}\left[\frac{1}{0.2857 + 1.5625}\right]^{3/2} = \mathbf{0.01058}$$

6 Boussinesq (для сравнения)

$$I_1 = \frac{3}{2\pi}\left[\left(\frac{r}{z}\right)^2 + 1\right]^{-5/2} = \frac{3}{2\pi}\left[2.5625\right]^{-5/2} = \mathbf{0.04542}$$

$$\Delta\sigma_{z,B} = \frac{5}{4^2}\,(0.04542) = \mathbf{0.01419}\ \text{kN/m}^2 \qquad \frac{\Delta\sigma_z}{\Delta\sigma_{z,B}} = 0.745$$

Обе формулировки дают один и тот же результат. В этой точке напряжение Westergaard составляет около **74.5%** от напряжения Boussinesq: так как жёсткие пластины распределяют нагрузку в стороны, на средней глубине напряжение меньше.

Проверить решение в GeoTerva ↗

Условие

ПРИМЕР

Дано

Нагрузка и точка	$P = 5$ **kN; точка A находится на расстоянии** $r = 5$ **m от нагрузки;** $\mu_s = 0.3$
Глубины	$z = 2,\ 4,\ 6 \ldots 20$ **m (таблица профиля в модуле)**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

На каждой глубине: **r/(ηz)**, $\mathbf{I_5}$, напряжения по Westergaard и Boussinesq; **глубина наибольшего напряжения**.

Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

z (m)	r/(ηz)	I_5	$\Delta\sigma_z$ по Westergaard	$\Delta\sigma_z$ по Boussinesq	Отношение W/B
2	4.677	0.0051	**0.00636**	0.00422	1.509
4	2.339	0.0339	**0.01058**	0.01419	0.745
6	1.559	0.0877	**0.01218**	0.01774	0.686
8	1.169	0.1529	**0.01195**	0.01636	0.731
10	0.935	0.2170	**0.01085**	0.01367	0.794
12	0.780	0.2733	**0.00949**	0.01111	0.854
14	0.668	0.3202	**0.00817**	0.00902	0.905
16	0.585	0.3584	**0.00700**	0.00739	0.948
18	0.520	0.3892	**0.00601**	0.00612	0.982
20	0.468	0.4140	**0.00518**	0.00513	1.009

На глубине **z = 2 m** напряжение по Westergaard больше (0.00636 и 0.00422); **на средних глубинах оно меньше** (z = 6 m: 0.01218 и 0.01774); на глубине **z = 20 m** оба решения сближаются (0.00518 и 0.00513).

Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

1 вручную для z = 10 m

$$\frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0.5345\,(10)} = 0.9354$$

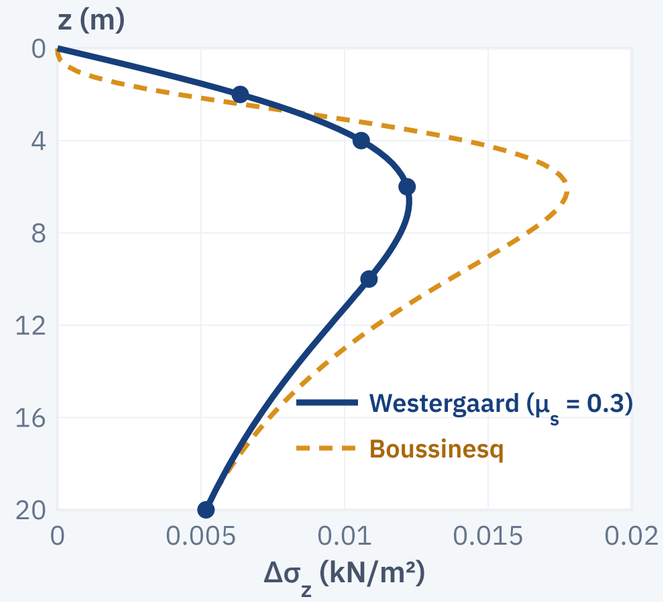
$$I_5 = 0.5570\,[1.8750]^{-3/2} = 0.2170$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{5}{10^2}\,(0.2170) = \mathbf{0.01085}\ \text{kN/m}^2$$

2 Глубина наибольшего напряжения ($d\Delta\sigma_z/dz = 0$)

$$\Delta\sigma_z = \frac{P\eta}{2\pi}\,z\,(r^2 + \eta^2 z^2)^{-3/2}$$

$$z^* = \frac{r}{\sqrt{2}\,\eta} = \frac{5}{1.4142\,(0.5345)} = \mathbf{6.61}\ \text{m}$$



Наибольшее напряжение: по Westergaard при **z = 6.61 m** (0.01225), по Boussinesq (z* = r√1.5) при **z = 6.12 m** (0.01775 kN/m²).

Проверить решение в GeoTerva ↗

Условие

ПРИМЕР

Дано

Нагрузка и точка	$P = 5$ **kN,** $r = 5$ **m,** $z = 4$ **m (точка из примера 1)**
Переменный	$\mu_s = 0;\ 0.1;\ 0.2;\ 0.3;\ 0.4;\ 0.45;\ 0.49$

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Для каждого μ_s **η**, **r/(ηz)**, $\mathbf{I_5}$, $\mathbf{\Delta\sigma_z}$ и отношение к Boussinesq.

Решение (1/3)

РЕШЕНИЕ

μ_s	η	$r/(\eta z)$	I_5	$\Delta\sigma_z$ (kN/m²)	$\Delta\sigma_z$ / Boussinesq
0.00	0.7071	1.768	0.03799	**0.01187**	0.836
0.10	0.6667	1.875	0.03732	**0.01166**	0.822
0.20	0.6124	2.041	0.03614	**0.01129**	0.796
0.30	0.5345	2.339	0.03386	**0.01058**	0.745
0.40	0.4082	3.062	0.02858	**0.00893**	0.629
0.45	0.3015	4.146	0.02257	**0.00705**	0.497
0.49	0.1400	8.927	0.01120	**0.00350**	0.247

В этой точке (r/z = 1.25) **с ростом μ_s напряжение по Westergaard уменьшается**: при μ_s = 0 оно равно 0.01187, при μ_s = 0.49 — 0.00350 kN/m². На оси нагрузки картина обратная (Пример 4): направление влияния зависит от положения точки.

Решение (2/3)

РЕШЕНИЕ

1 $\mu_s = 0$

$$\eta^2 = \frac{1}{2} = 0.5000\,, \quad \eta = 0.7071\,, \quad \frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0.7071(4)} = 1.7678$$

$$I_5 = \frac{1}{\pi}\left[4.1250\right]^{-3/2} = 0.3183 \times 0.11936 = 0.03799$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0.03799) = \mathbf{0.01187}$$

При коэффициенте Пуассона, равном нулю, η = 1/√2 = 0.7071; в этой точке получается **$\Delta\sigma_z$ = 0.01187 kN/m²** (83.6% от значения Boussinesq).

Решение (3/3)

РЕШЕНИЕ

2 $\mu_s = 0.4$

$$\eta^2 = \frac{1 - 0.8}{2 - 0.8} = 0.1667\ , \quad \eta = 0.4082\ , \quad \frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0.4082(4)} = 3.0619$$

$$I_5 = 0.9549\,[10.3750]^{-3/2} = 0.9549 \times 0.02992 = 0.02858$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0.02858) = \mathbf{0.00893}$$

С ростом коэффициента Пуассона грунта между пластинами η уменьшается; r/(ηz) увеличивается, и I_5 в этой точке снижается: **0.01187 → 0.00893 kN/m²** (μ_s = 0 → 0.4).

Проверить решение в GeoTerva ↗

Условие

ПРИМЕР

Дано

Нагрузка	$P = 5$ **kN,** $\mu_s = 0.3$
Глубина	$z = 4$ **m; горизонтальное расстояние** $r = 0,\ 1,\ 2 \ldots 10$ **m**
Условие	**как соотносятся напряжения Westergaard и Boussinesq на оси нагрузки; при каком значении** μ_s **оба решения равны?**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

$\Delta\sigma_z$ под нагрузкой (r = 0), то же значение при $\mu_s = 0$ и **таблица горизонтального профиля**.

Решение (1/3)

РЕШЕНИЕ

1 r = 0 при $\mu_s = 0.3$

$$I_5(0) = \frac{1}{2\pi\eta^2} = \frac{1}{2\pi\,(0.2857)} = 0.5570 \qquad \Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0.5570) = \mathbf{0.1741}$$

$$\text{Boussinesq: } I_1(0) = \frac{3}{2\pi} = 0.4775 \;\Rightarrow\; \Delta\sigma_{z,B} = \frac{5}{16}\,(0.4775) = \mathbf{0.1492}$$

2 При $\mu_s = 0$ получаем r = 0

$$I_5(0) = \frac{1}{\pi} = 0.3183 \;\Rightarrow\; \Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0.3183) = \mathbf{0.0995} \qquad \frac{\Delta\sigma_z}{\Delta\sigma_{z,B}} = \frac{1/\pi}{3/2\pi} = \frac{2}{3}$$

μ_s = 0: Westergaard составляет **2/3** от Boussinesq (0.0995 и 0.1492); **μ_s = 0.3**: оно превышает значение Boussinesq (0.1741); два решения становятся равными при **μ_s = 0.25**.

Решение (2/3)

РЕШЕНИЕ

3 Значение μ_s, при котором два решения на оси равны

$$\frac{1}{2\pi\eta^2} = \frac{3}{2\pi} \Rightarrow \eta^2 = \frac{1}{3} = \frac{1-2\mu_s}{2-2\mu_s} \Rightarrow \mu_s = \mathbf{0.25}$$

4 Отношение на оси: Westergaard / Boussinesq = (1/2πη²) / (3/2π) = 1/(3η²)

μ_s	0.00	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.45	0.49
η^2	0.5000	0.4444	0.3750	0.3333	0.2857	0.1667	0.0909	0.0196
$\Delta\sigma_z$ Westergaard / Boussinesq	0.667	0.750	0.889	1.000	1.167	2.000	3.667	17.000

На оси нагрузки отношение быстро растёт с μ_s: при $\mu_s = 0$ оно равно 2/3, при $\mu_s = 0.25$ — 1, при $\mu_s = 0.45$ — 3.67; при приближении μ_s к 0.5 $\eta \to 0$, и отношение неограниченно возрастает.

Решение (3/3)

РЕШЕНИЕ

r (m)	r/z	r/(ηz)	I_5	$\Delta\sigma_z$ по Westergaard	$\Delta\sigma_z$ по Boussinesq	Отношение W/B
0	0.00	0.000	0.5570	**0.17408**	0.14921	1.167
1	0.25	0.468	0.4140	**0.12938**	0.12822	1.009
2	0.50	0.935	0.2170	**0.06780**	0.08541	0.794
3	0.75	1.403	0.1089	**0.03403**	0.04889	0.696
4	1.00	1.871	0.0584	**0.01824**	0.02638	0.691
5	1.25	2.339	0.0339	**0.01058**	0.01419	0.745
6	1.50	2.806	0.0211	**0.00658**	0.00784	0.840
8	2.00	3.742	0.0096	**0.00300**	0.00267	1.123
10	2.50	4.677	0.0051	**0.00159**	0.00105	1.509

Напряжение по Westergaard на оси больше напряжения по Boussinesq; после **r/z ≈ 0.26** оно оказывается ниже напряжения по Boussinesq (r = 2 m: 0.06780 и 0.08541), а после **r/z ≈ 1.81** (r ≈ 7.2 m) вновь превышает его (r = 10 m: 0.00159 и 0.00105): вдали напряжение по Westergaard убывает медленнее.

Проверить решение в GeoTerva ↗

Условие

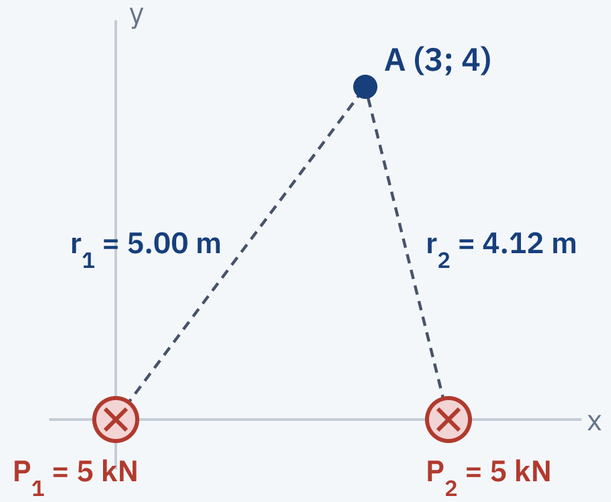
ПРИМЕР

Дано

Нагрузки	$P_1 = 5$ **kN,** $(0;\ 0)$ **и** $P_2 = 5$ **kN,** $(4;\ 0)$
Точка A	$x = 3$ **m,** $y = 4$ **m,** $z = 4$ **m**
Грунт	$\mu_s = 0.3$

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Значения **r**, $\mathbf{I_5}$, $\mathbf{\Delta\sigma_z}$ для каждой нагрузки; суммарное напряжение и сумма по Boussinesq.



Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

1 P_1 (0; 0)

$$r_1 = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5.000 \text{ m}$$

$$\frac{r_1}{\eta z} = \frac{5.000}{0.5345(4)} = 2.3385\,, \quad I_5 = 0.03386$$

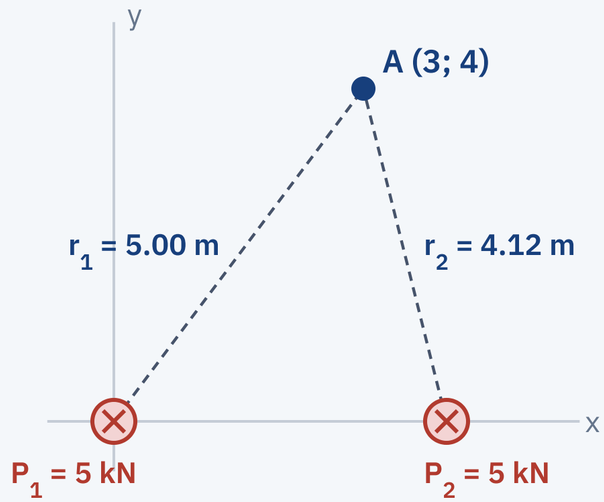
$$\Delta\sigma_{z(1)} = \frac{5}{16}\,(0.03386) = \mathbf{0.01058} \text{ kN/m}^2$$

2 P_2 (4; 0)

$$r_2 = \sqrt{(3-4)^2 + 4^2} = 4.123 \text{ m}$$

$$\frac{r_2}{\eta z} = \frac{4.123}{0.5345(4)} = 1.9284\,, \quad I_5 = 0.05434$$

$$\Delta\sigma_{z(2)} = \frac{5}{16}\,(0.05434) = \mathbf{0.01698} \text{ kN/m}^2$$



Нагрузка 2 ближе: **0.01698**; нагрузка 1: **0.01058 kN/m²**.

Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

1 Напряжения суммируются

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(1)} + \Delta\sigma_{z(2)} = 0.01058 + 0.01698 = \mathbf{0.02756}\ \text{kN/m}^2$$

$$\Delta\sigma_{z,B} = 0.01419 + 0.02442 = 0.03862\ \text{kN/m}^2$$

2 Профиль по глубине под той же точкой (сумма двух нагрузок)

z (m)	2	4	6	8	10	12	16	20
$\Delta\sigma_z$ по Westergaard	0.0174	0.0276	0.0301	0.0282	0.0247	0.0210	0.0150	0.0108
$\Delta\sigma_z$ по Boussinesq	0.0137	0.0386	0.0430	0.0371	0.0298	0.0237	0.0153	0.0105

В точке A (z = 4 m) две нагрузки вместе создают **$\Delta\sigma_z$ = 0.02756 kN/m²**; сумма по Boussinesq равна 0.03862 kN/m². Итог — сумма значений, найденных для каждой нагрузки по отдельности; значение для одной нагрузки (Пример 1) является частью этой суммы.

Проверить решение в GeoTerva ↗

Резюме

Главное

Среда Westergaard: тонкие жёсткие горизонтальные пластины препятствуют боковым деформациям; $\mathbf{\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5}$, $I_5 = [1/(2\pi\eta^2)]\,[(r/\eta z)^2 + 1]^{-3/2}$, $\eta = \sqrt{[(1 - 2\mu_s)/(2 - 2\mu_s)]}$

Пример (P = 5 kN, r = 5 m, z = 4 m, μ_s = 0.3): η 0.5345; r/(ηz) 2.339; I_5 0.03386 → **$\Delta\sigma_z$ = 0.01058 kN/m²**; Boussinesq 0.01419

На оси нагрузки $I_5 = 1/(2\pi\eta^2)$: при $\mu_s = 0$ получаем $1/\pi = 0.3183$ (Boussinesq $3/2\pi = 0.4775$); напряжение растёт с μ_s, а при $\mu_s = 0.5$ решение теряет применимость

Глубина: на промежуточных глубинах напряжение по Westergaard меньше, на большой глубине оба решения сближаются; наибольшее напряжение наблюдается при $z = r/(\sqrt{2}\,\eta) = 6.61$ m (Boussinesq: $r\sqrt{1.5} = 6.12$ m)

Суперпозиция: каждая нагрузка рассматривается со своим расстоянием r, напряжения складываются (в примере две нагрузки: 0.02756 kN/m²)

Список литературы

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

Westergaard, H.M. (1938). A problem of elasticity suggested by a problem in soil mechanics: soft material reinforced by numerous strong horizontal sheets. In Contributions to the Mechanics of Solids, Stephen Timoshenko 60th Anniversary Volume. Macmillan, New York, 268–277.

ПРИМЕЧАНИЕ

Все числовые примеры получены с помощью собственного расчётного ядра модуля; модуль даёт те же значения. Начальный пример модуля: P = 5 kN, r = 5 m, μ_s = 0.3 и z = 4 m.

GeoTerva

Геотехнические расчёты онлайн

От теории к практике

Введите в GeoTerva свои сосредоточенные нагрузки, точку A и значение μ_s; модуль одновременно выдаёт η, коэффициент влияния I_5, вклад каждой нагрузки, сравнение с Boussinesq, профиль по глубине, пошаговое решение и отчёт.

Открыть модуль →

Страница теории →

Открыть на телефоне
Для пробных модулей регистрация не требуется.