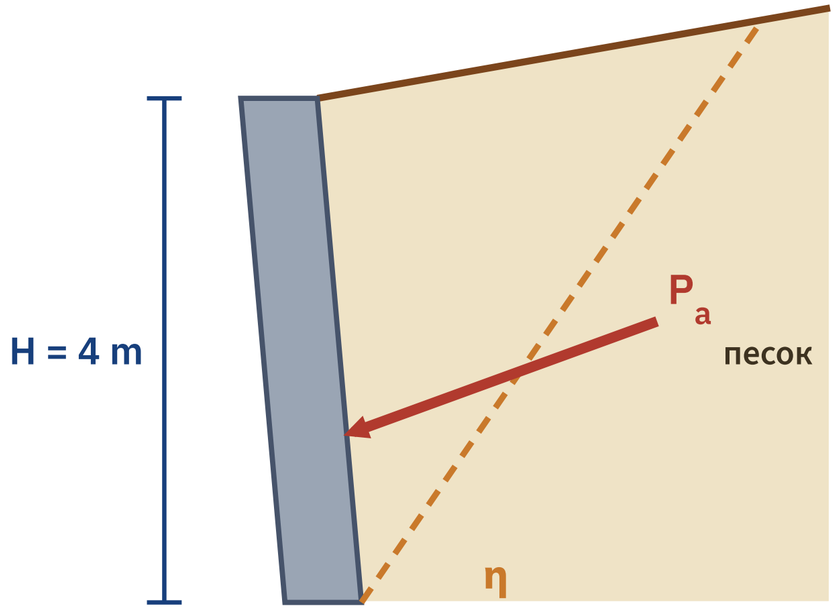
Лекция по геотехнике · Боковое давление грунта

Боковое давление грунта по Coulomb

Лекция: активное и пассивное давление грунта по Coulomb для плоской призмы скольжения за стеной, трение о стенку, наклонная грань стены и наклонная засыпка; пригрузка, грунтовые воды и слоистая засыпка; пример расчёта по каждой теме.

- Пробная призма
- Трение грунта о стенку δ′
- Активное и пассивное давление
- Пригрузка · вода · слой
- Связный слой



Что мы изучим на этой лекции?

- Идея **пробной призмы** Coulomb: равновесие трёх сил (W, F, P_a) и наиболее опасная призма
- Как угол трения грунта о стенку (δ′), наклон лицевой грани стены (θ) и уклон засыпки (α) изменяют **коэффициенты K_a и K_p**
- Понимать, что **активная** сила — **наибольшая** из значений для пробных призм, а **пассивная** — **наименьшая**
- Определение места приложения силы (H/3), её направления (δ′ от нормали к грани) и горизонтальной и вертикальной составляющих
- Учёт **пригрузки** ($q_e = q \cos\theta / \cos(\theta - \alpha)$), **грунтовых вод** и слоистой засыпки
- Когда решение Coulomb в пассивном случае **небезопасно**

ХОД ЛЕКЦИИ

Каждая тема излагается **в три шага**:

1 · **Теория**: в чём правило и почему оно таково?

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

3 · **Решение**: пошагово, с числами

Силы приведены на единицу длины стены (kN/m); углы — в градусах; θ — угол наклона лицевой грани стены к вертикали, α — угол наклона засыпки к горизонту.

Плоская призма Coulomb

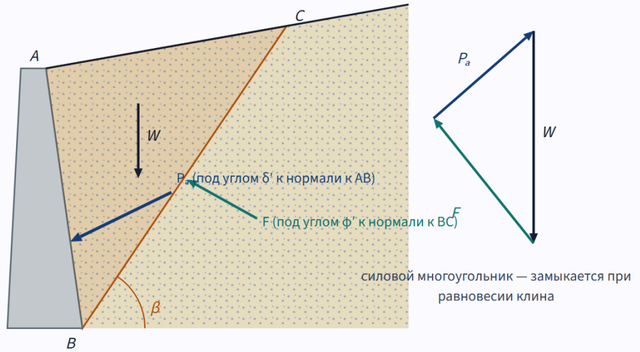
ТЕОРИЯ

Coulomb (1776) рассматривает грунт за стеной как **жёсткую призму**, скользящую по плоскости, проходящей через пятку стены, и, в отличие от Rankine, учитывает **трение** между стеной и грунтом. В несвязной засыпке на пробную призму действуют три силы:

W: вес призмы

F: равнодействующая на плоскости скольжения BC, отклонённая на φ′ от нормали к плоскости

P_a: сила на стену, отклонённая на угол δ′ от нормали к лицевой грани стены



Если плоскость составляет с горизонталью угол β, то по теореме синусов для силового многоугольника:

$$\frac{W}{\sin(90^\circ + \theta + \delta' - \beta + \varphi')} = \frac{P_a}{\sin(\beta - \varphi')}$$

$$P_a = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 \, \frac{\cos(\theta - \beta)\cos(\theta - \alpha)\sin(\beta - \varphi')}{\cos^2\theta \, \sin(\beta - \alpha) \, \sin(90^\circ + \theta + \delta' - \beta + \varphi')}$$

Условие

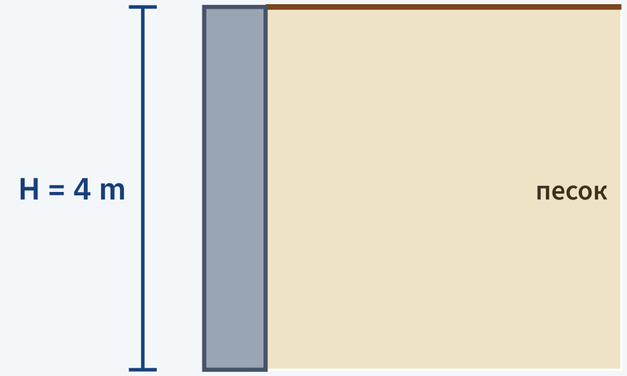
ПРИМЕР

Дано

Стена	$H = 4$ m, **вертикальная** ($\theta = 0$); **поверхность засыпки горизонтальная** ($\alpha = 0$)
Грунт	**сухой песок:** $\gamma = 17$ kN/m^3, $\varphi' = 32°$; **трение о стенку** $\delta' = 16° = \varphi'/2$

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Для пробных плоскостей β = 45°, 60° и 75°: **$P_a(\beta)$**; **наибольшая** сила и соответствующий ей угол β.



Решение

РЕШЕНИЕ

1 Вертикальная стена, горизонтальная засыпка: θ = α = 0 ⇒ $P_a(\beta) = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 \cdot \cos\beta \sin(\beta - \varphi') / [\sin\beta \cos(\beta - \varphi' - \delta')]$

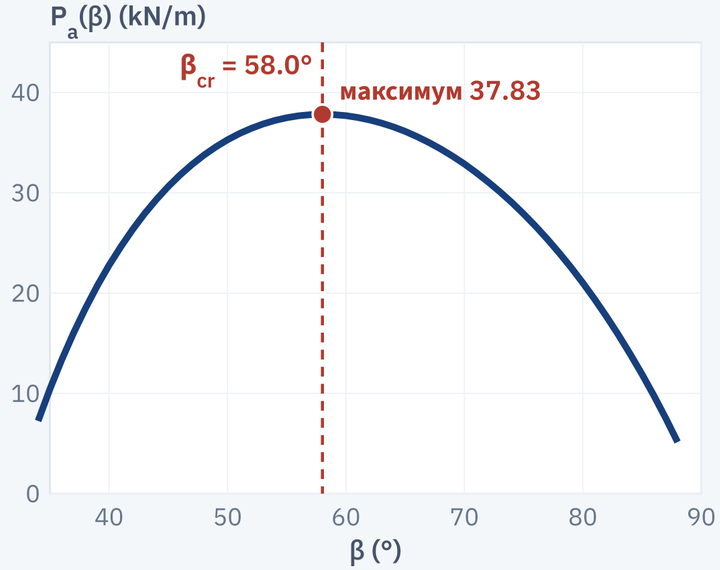
$$\beta = 45^\circ: \; P_a = \mathbf{30.64}\ \text{kN/m} \qquad \beta = 60^\circ: \; P_a = \mathbf{37.69}\ \text{kN/m}$$

$$\beta = 75^\circ: \; P_a = \mathbf{27.89}\ \text{kN/m}$$

2 Наибольшая пробная призма обрушения ($dP_a/d\beta = 0$)

$$\beta_{cr} = \mathbf{58.0}^\circ \qquad P_{a,max} = \mathbf{37.83}\ \text{kN/m}$$

Наибольшая из пробных призм — **37.83 kN/m** (β = 58.0°) — и есть активная сила Coulomb; более крутые или более пологие призмы требуют меньшей силы. Стена должна быть способна удерживать лишь наиболее опасную призму.



Проверить решение в GeoTerva ↗

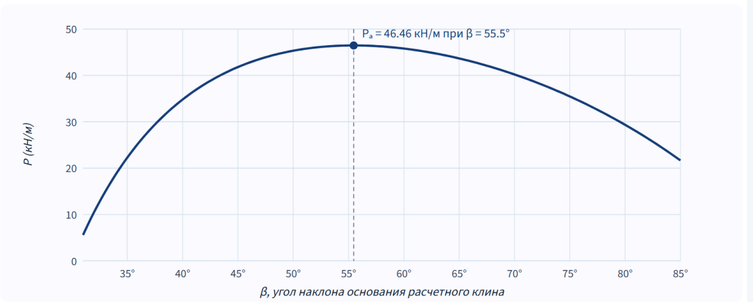
Коэффициент активного давления Coulomb K_a

ТЕОРИЯ

Неизвестным был только β. Наиболее опасная призма, которую должна удерживать стена, соответствует максимуму $P_a(\beta)$ ($dP_a/d\beta = 0$); решение:

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi' - \theta)}{\cos^2\theta\cos(\delta' + \theta)\left[1 + \sqrt{\dfrac{\sin(\delta' + \varphi')\sin(\varphi' - \alpha)}{\cos(\delta' + \theta)\cos(\theta - \alpha)}}\right]^2} \qquad P_a = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2$$

φ′	δ′ = 0°	δ′ = 5°	δ′ = 10°	δ′ = 15°	δ′ = 20°	δ′ = 25°
28°	0.3610	0.3448	0.3330	0.3251	0.3203	0.3186
32°	0.3073	0.2945	0.2852	0.2791	0.2755	0.2745
36°	0.2596	0.2497	0.2426	0.2379	0.2354	0.2350
40°	0.2174	0.2098	0.2045	0.2011	0.1994	0.1995



Сила действует на высоте **H/3** от основания и отклонена от нормали к грани стены на угол **δ′**; с горизонталью она составляет угол θ + δ′.

При α = θ = δ′ = 0 — Rankine. Трение о стенку **уменьшает** активную силу.

Условие

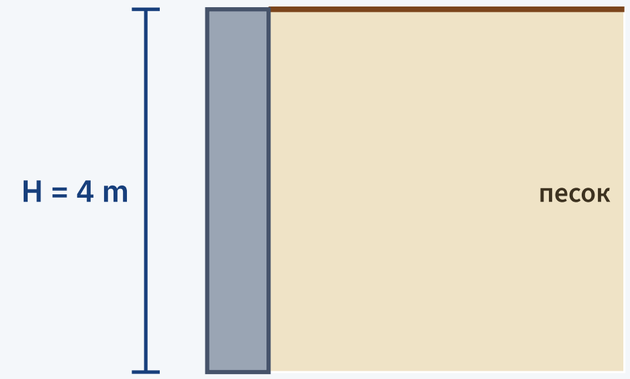
ПРИМЕР

Дано

Стена и грунт	**Стена из примера 1:** $H = 4$ m, $\theta = \alpha = 0$; $\gamma = 17$ kN/m^3, $\varphi' = 32^\circ$, $\delta' = 16^\circ$

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

K_a, **P_a**, высота приложения, горизонтальная и вертикальная составляющие; сравнение с Rankine.



Решение

РЕШЕНИЕ

1 Коэффициент (θ = α = 0)

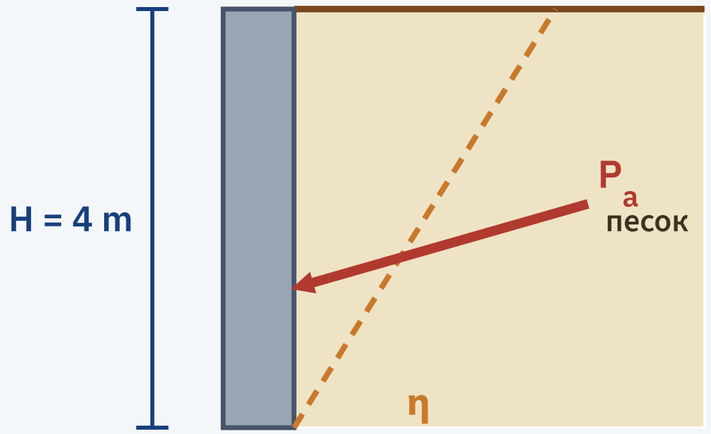
$$\sqrt{\frac{\sin 48^\circ \sin 32^\circ}{\cos 16^\circ}} = 0.6401$$

$$K_a = \frac{\cos^2 32^\circ}{\cos 16^\circ \,(1 + 0.6401)^2} = \frac{0.7192}{2.5856} = \mathbf{0.2782}$$

2 Сила, точка приложения и составляющие (δ′ = 16° к горизонтали)

$$P_a = \tfrac{1}{2}(0.2782)(17)(4)^2 = \mathbf{37.83}\ \text{kN/m} \qquad \bar{z} = \tfrac{4}{3} = 1.33\ \text{m}$$

$$P_h = P_a \cos 16^\circ = 36.36 \qquad P_v = P_a \sin 16^\circ = 10.43\ \text{kN/m}$$



P_a = **37.83 kN/m**; совпадает со значением для наибольшей из пробных призм (Пример 1). По Rankine (δ′ = 0, K_a = 0.3073) получилось бы 41.79 kN/m: трение по стене уменьшило силу на 9 %.

Проверить решение в GeoTerva ↗

Условие

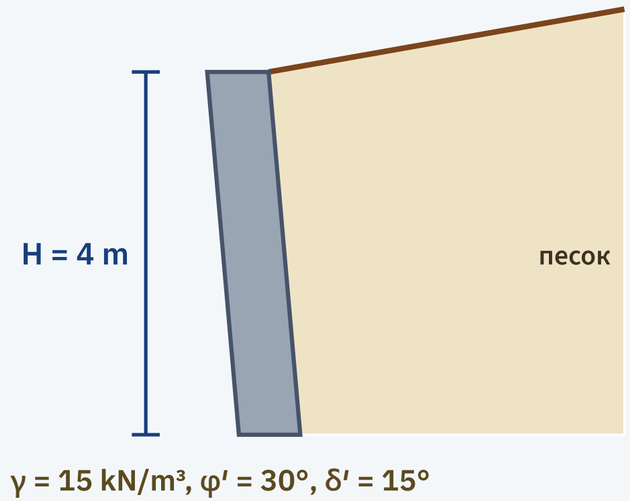
ПРИМЕР

Дано

Стена	$H = 4$ **m; грань наклонена от вертикали на** $\theta = 5^\circ$
Насыпной грунт	**уклон поверхности** $\alpha = 10^\circ$**;** $\gamma = 15$ kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ$
Трение грунта о стенку	$\delta' = 15^\circ$ **(**$\delta'/\varphi' = \frac{1}{2}$**)**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

K_a, **P_a**, её направление и положение; критическая призма β. Эта стена является начальной для модуля.



Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

1 Числитель и корневой член

$$\cos^2(30^\circ - 5^\circ) = 0.8214 \qquad \cos^2 5^\circ \cos(15^\circ + 5^\circ) = 0.9326$$

$$\sqrt{\frac{\sin 45^\circ \sin 20^\circ}{\cos 20^\circ \cos(-5^\circ)}} = \sqrt{0.2583} = 0.5083$$

2 Коэффициент

$$K_a = \frac{0.8214}{0.9326\,(1 + 0.5083)^2} = \mathbf{0.3872}$$

Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

3 Сила и положение

$$P_a = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_a = \tfrac{1}{2}(15)(4)^2(0.3872) = \mathbf{46.46}\ \text{kN/m}$$

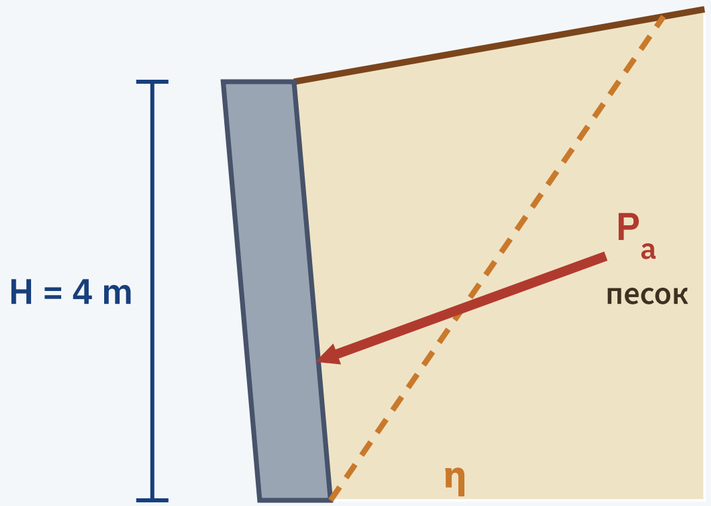
$$\bar{z} = \frac{H}{3} = \mathbf{1.33}\ \text{m}$$

4 Направление: δ′ = 15° от нормали, θ + δ′ = 20° от горизонтали

$$P_h = P_a \cos 20^\circ = 43.66\ \text{kN/m}$$

$$P_v = P_a \sin 20^\circ = 15.89\ \text{kN/m}$$

P_a = **46.46 kN/m**, на 1.33 m выше подошвы. Критическая призма образует с горизонталью угол **β ≈ 55.5°** (максимум среди пробных призм).



Проверить решение в GeoTerva ↗

Условие

ПРИМЕР

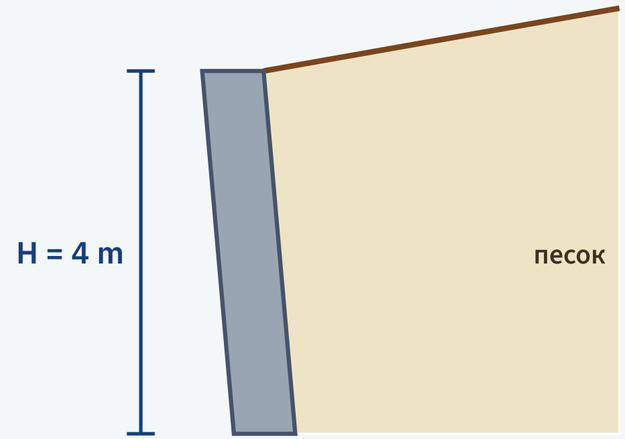
Дано

Стена и засыпка	**Стена из Примера 3: $\theta = 5^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\varphi' = 30^\circ$; для сравнения — вертикальная стена, горизонтальная засыпка ($\theta = \alpha = 0$)**
Переменная	$\delta' = 0^\circ,\ 5^\circ,\ 10^\circ,\ 15^\circ,\ 20^\circ,\ 25^\circ,\ 30^\circ$

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Для каждого δ′ — **K_a**; при каком δ′ значение K_a **наименьшее**?

Рекомендуемый диапазон δ′/φ′.



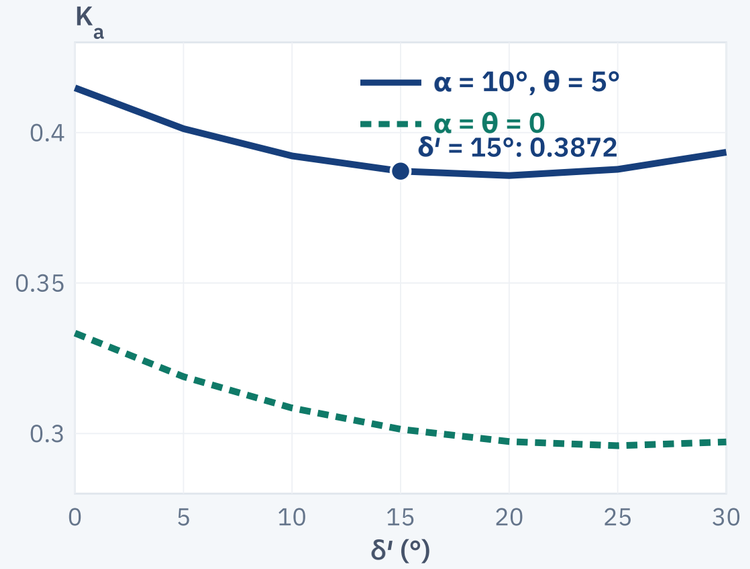
Решение

РЕШЕНИЕ

1 Семь значений δ′ по одной и той же формуле

δ′	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
K_a (θ = 5°, α = 10°)	0.4149	0.4013	0.3923	0.3872	0.3857	0.3878	0.3935
K_a (θ = α = 0)	0.3333	0.3189	0.3085	0.3014	0.2973	0.2959	0.2972

С ростом δ′ значение K_a сначала **уменьшается** (от 0.415 при δ′ = 0 до 0.387 при 15°), достигает минимума при δ′ ≈ 20–25° и затем снова **возрастает**. На практике принимают δ′ = (1/2 – 2/3)φ′; принимать δ′ = φ′ нельзя считать идущим в запас, поскольку это зависит от смещения стены вниз относительно грунта.



Проверить решение в GeoTerva ↗

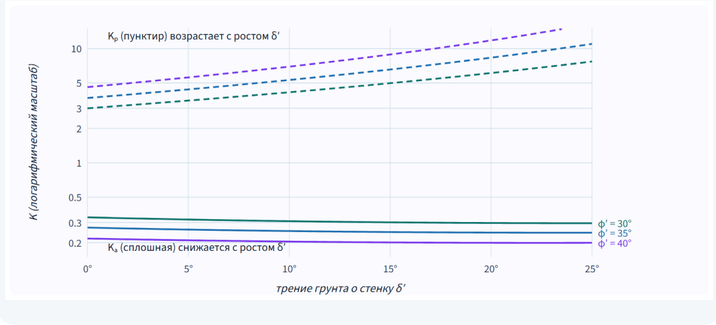
Коэффициент пассивного давления Coulomb K_p

ТЕОРИЯ

При вдавливании стены в грунт равнодействующая и сила на стену отклоняются от нормалей **на другую сторону**; пассивная сила — **наименьшая** из значений для пробных призм:

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi' + \theta)}{\cos^2\theta\cos(\delta' - \theta)\left[1 - \sqrt{\dfrac{\sin(\varphi' + \delta')\sin(\varphi' + \alpha)}{\cos(\delta' - \theta)\cos(\alpha - \theta)}}\right]^2} \qquad P_p = \tfrac{1}{2}K_p\gamma H^2$$

φ′	δ′ = 0°	δ′ = 5°	δ′ = 10°	δ′ = 15°	δ′ = 20°
15°	1.698	1.901	2.131	2.403	2.735
20°	2.040	2.313	2.635	3.029	3.525
25°	2.464	2.833	3.285	3.855	4.597
30°	3.000	3.505	4.143	4.977	6.105
35°	3.690	4.391	5.309	6.555	8.324
40°	4.599	5.593	6.946	8.872	11.771



Трение грунта о стенку **быстро увеличивает** силу пассивного давления (φ′ = 30°: при δ′ = 0 → 20° K_p возрастает с 3.00 до 6.11).

При большом δ′ плоская призма даёт **завышенное** пассивное сопротивление (небезопасно): модуль логарифмической спирали.

Условие

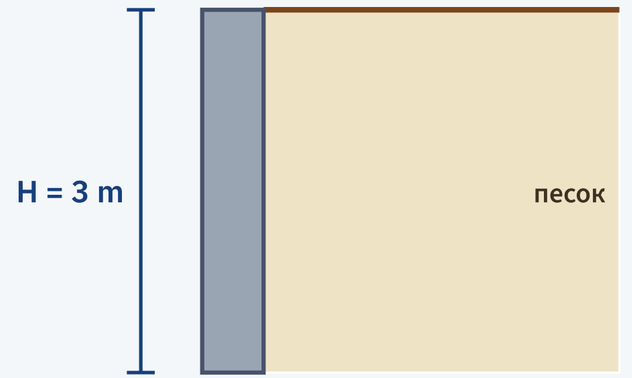
ПРИМЕР

Дано

Стена	$H = 3$ **m, вертикальная; горизонтальная засыпка**
Грунт	**сухой песок:** $\gamma = 15.7$ kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ$
Трение грунта о стенку	$\delta' = 0^\circ,\ 10^\circ,\ 15^\circ,\ 20^\circ$

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Для каждого δ′: **K_p**, **P_p** и их составляющие; для δ′ = 15° — сравнение с решениями для криволинейной поверхности (302–326 kN/m).



γ = 15.7 kN/m³, φ′ = 30° (пассивное давление)

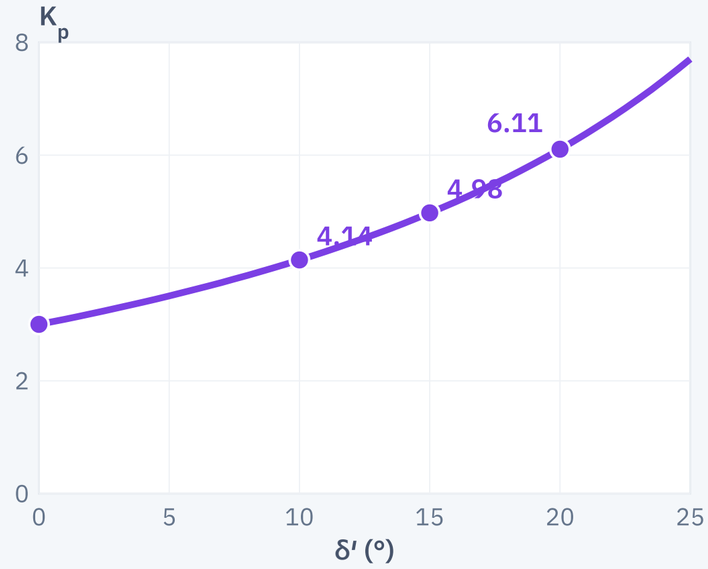
Решение

РЕШЕНИЕ

1 Формула K_p, $P_p = ½K_pγH^2 = ½K_p(15.7)(9) = 70.65\ K_p$

δ′	K_p	P_p (kN/m)	P_h	P_v	β (критическая призма)
0°	3.000	212.0	212.0	0.0	30.0°
10°	4.143	292.7	288.3	50.8	23.4°
15°	4.977	351.6	339.6	91.0	20.7°
20°	6.105	431.3	405.3	147.5	18.1°

При изменении δ′ от 0 до 20° P_p возрастает с 212.0 до 431.3 kN/m: то есть в **2.0 раза**. При δ′ = 15° по Coulomb получается 351.6 kN/m; решения с криволинейной поверхностью лежат в диапазоне 302–326 kN/m, то есть плоская призма даёт пассивное сопротивление примерно на **8% больше** (в небезопасную сторону).



Проверить решение в GeoTerva ↗

Расширение решения Coulomb в модуле

ТЕОРИЯ

Пригрузка q (вертикальная, на единицу площади наклонной поверхности) добавляется к весу каждой пробной призмы в той же пропорции, что и грунт; критическая призма и K_a не меняются.

Эквивалентное напряжение на единицу вертикальной глубины:

$$q_e = q\,\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)} \qquad P_a = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2 + K_a q_e H$$

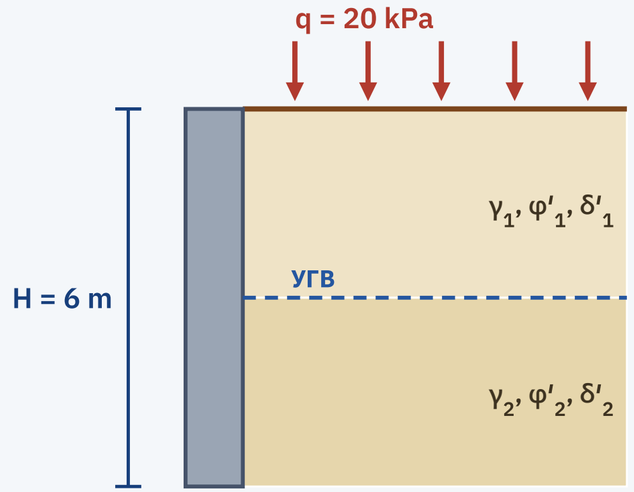
Первая часть расположена на H/3 выше основания, вторая — на H/2. **При слоистой засыпке** (границы горизонтальны, толщины измеряются по вертикали от верха A лицевой грани стены) каждый слой получает собственный коэффициент K_i со своими γ, φ′ и δ′:

$$\sigma'_v = q_e + \sum \gamma_i h_i \qquad \sigma' = K_i\,\sigma'_v\cos\theta$$

σ′ действует на единицу длины грани стены под углом δ′ слоя к нормали; на границе, где K изменяется, давление скачкообразно меняется.

Ниже **грунтовых вод** (горизонтальный уровень z_w): $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$; $u = \gamma_w(z - z_w)$ добавляется **по нормали** к стене. Силы раскладываются на составляющие, нормальные (N) и параллельные (T) грани, и суммируются: $P = \sqrt{(N^2 + T^2)}$, $\beta = \tan^{-1}(T/N)$.

СЛОИСТАЯ ЗАСЫПКА И ВОДА



Условие

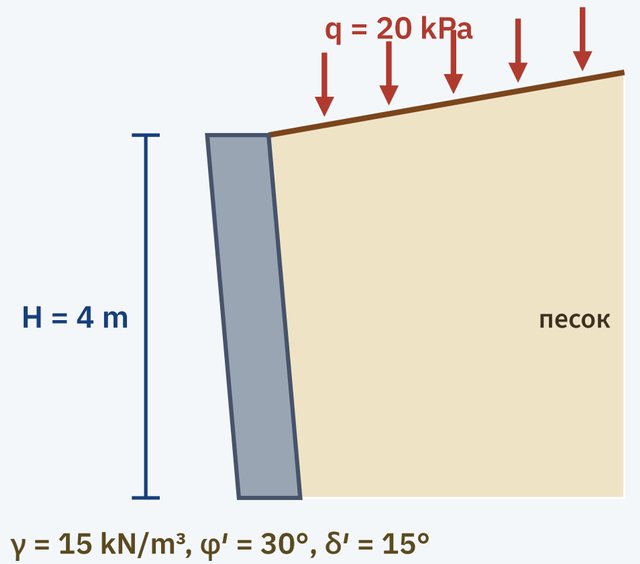
ПРИМЕР

Дано

Стена и грунт	**Стена из примера 3:** $H = 4$ **m,** $\theta = 5^\circ,\ \alpha = 10^\circ$**;** $\gamma = 15$ kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ,\ \delta' = 15^\circ$
Пригрузка	**равномерно распределённая нагрузка** $q = 20$ **kPa на наклонной поверхности (перпендикулярно поверхности)**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

$\mathbf{q_e}$, суммарное $\mathbf{P_a}$ и высота приложения; доля пригрузки.



Решение

РЕШЕНИЕ

1 Эквивалентное вертикальное напряжение

$$q_e = q\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)} = 20\frac{\cos 5^\circ}{\cos(-5^\circ)} = \mathbf{20.00}\ \text{kPa}$$

2 Силы от грунта и пригрузки (K_a = 0.3872)

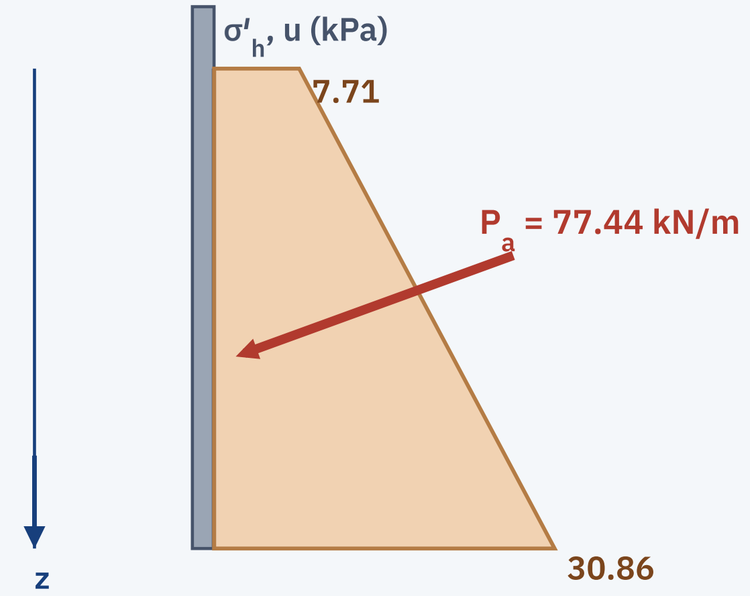
$$P_\gamma = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2 = 46.46\ \text{kN/m}\ \ (H/3 = 1.33\ \text{m})$$

$$P_q = K_a q_e H = 0.3872(20)(4) = 30.97\ \text{kN/m}\ \ (H/2 = 2.00\ \text{m})$$

3 Сумма и положение

$$P_a = 46.46 + 30.97 = \mathbf{77.44}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{46.46(1.33) + 30.97(2.00)}{77.44} = \mathbf{1.60}\ \text{m}$$



Пригрузка увеличила силу на 67 % (P_a = 77.44 kN/m); точка приложения поднялась с 1.33 m до **1.60 m**.

Проверить решение в GeoTerva ↗

Условие

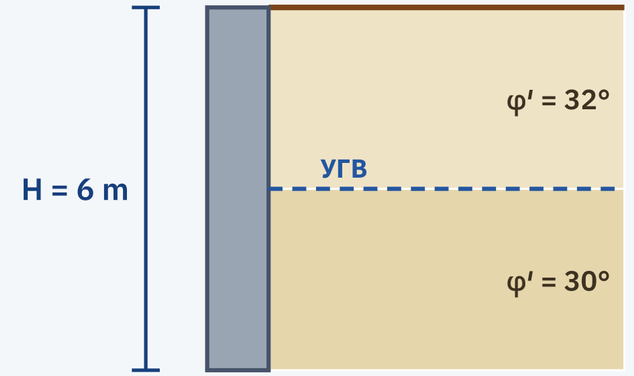
ПРИМЕР

Дано

Стена	$H = 6$ **m, вертикальная; горизонтальная засыпка; без пригрузки**
Слой 1 (0–3 m)	$\gamma = 17$ kN/m^3, $\varphi' = 32°$, $\delta' = 16°$
Слой 2 (3–6 m)	$\gamma_{sat} = 19$ kN/m^3, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$
Уровень грунтовых вод	**На глубине 3 m**

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

Давления в каждом слое; силы от грунта и воды; **P**, β и высота приложения.



Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

1 Коэффициенты

$$K_1(32^\circ, 16^\circ) = \mathbf{0.2782} \qquad K_2(30^\circ, 15^\circ) = \mathbf{0.3014}$$

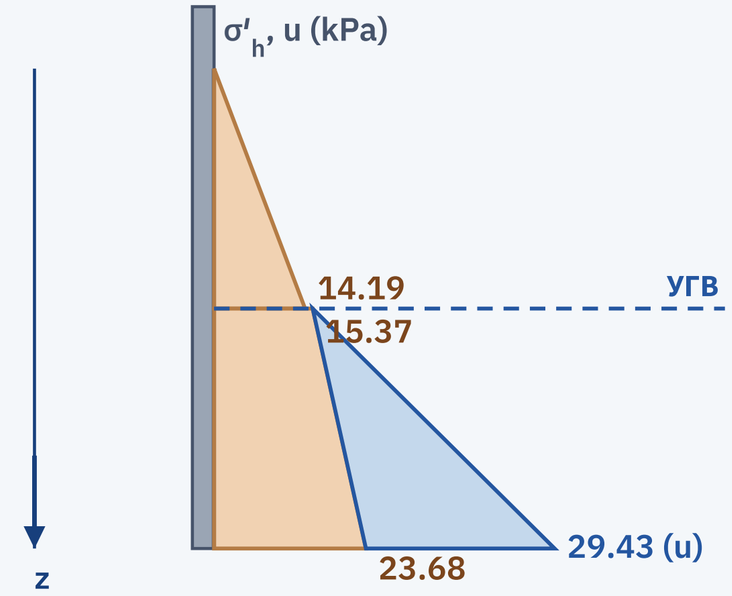
2 Напряжения: $\sigma'_v(3) = 17(3) = 51$; $\sigma'_v(6) = 51 + 3(19 - 9.81) = 78.57$ kPa

$$p_1 = 0.2782(51) = \mathbf{14.19}\ \text{kPa (вверху)}$$

$$p_2 = 0.3014(51) = \mathbf{15.37}\ \text{kPa (внизу)}$$

$$p(6) = 0.3014(78.57) = \mathbf{23.68}\ \text{kPa}$$

$$u(6) = 9.81(3) = \mathbf{29.43}\ \text{kPa}$$



Решение (2/2)

РЕШЕНИЕ

3 Силы от грунта (действующие на грань, каждый слой со своим углом δ′): треугольник · прямоугольник · треугольник

$$P_s = \tfrac{1}{2}(3)(14.19) + 3(15.37) + \tfrac{1}{2}(3)(8.31) = 21.28 + 46.12 + 12.47 = 79.86 \text{ kN/m}$$

$$P_w = \tfrac{1}{2}(29.43)(3) = 44.14 \text{ kN/m (перпендикулярно стене)}$$

4 Составляющие, равнодействующая и положение

$$N = N_s + N_w = 77.04 + 44.14 = 121.18 \qquad T = 21.03 \text{ kN/m}$$

$$P = \sqrt{N^2 + T^2} = \mathbf{123.00} \text{ kN/m} \qquad \beta = \tan^{-1}\frac{T}{N} = 9.84^\circ \qquad \bar{z} = \mathbf{1.69} \text{ m}$$

Равнодействующая составляет **123.00 kN/m** (грунт 79.86 + вода 44.14) и расположена на 1.69 m выше подошвы. Сила от воды составляет 55% от силы от грунта; на границе слоёв p скачком изменяется с 14.19 до 15.37 kPa (меняется K).

Проверить решение в GeoTerva ↗

Условие

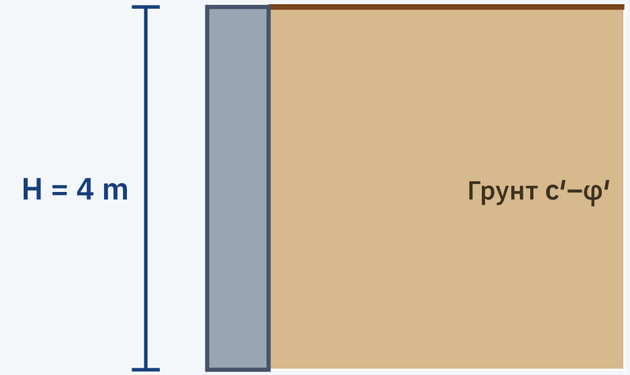
ПРИМЕР

Дано

Стена	$H = 4$ **m, вертикальная; горизонтальная засыпка**
Грунт	**c′–φ′:** $\gamma = 18$ kN/m^3, $\varphi' = 25°$, $c' = 10$ **kPa;** $\delta' = 12.5° = \varphi'/2$

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ

K_a, глубина зоны растяжения z_0, **P_a** с трещиной и без неё; сравнение с Rankine.



γ = 18, φ′ = 25°, c′ = 10 kPa, δ′ = 12.5°

Решение (1/2)

РЕШЕНИЕ

1 Коэффициент Coulomb и слагаемое со сцеплением (адгезия не учитывается)

$$K_a(25^\circ, 12.5^\circ) = \mathbf{0.3674} \qquad \sigma' = K_a \sigma'_v - 2c'\sqrt{K_a}$$

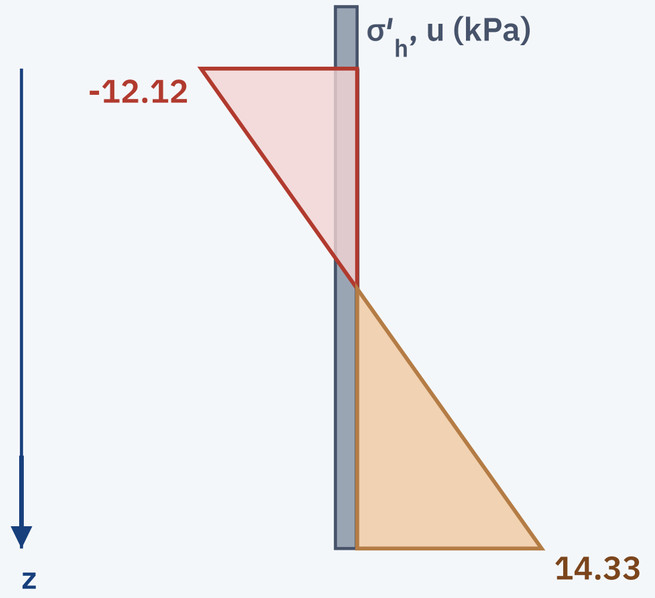
$$2c'\sqrt{K_a} = 2(10)(0.6061) = 12.12 \text{ kPa}$$

2 Вверху, в основании и на глубине зоны растяжения

$$\sigma'(0) = -\mathbf{12.12} \text{ kPa (растяжение)}$$

$$\sigma'(4) = 0.3674(18)(4) - 12.12 = \mathbf{14.33} \text{ kPa}$$

$$z_0 = \frac{2c'}{\gamma\sqrt{K_a}} = \frac{20}{18(0.6061)} = \mathbf{1.83} \text{ m}$$



Решение (2/2)

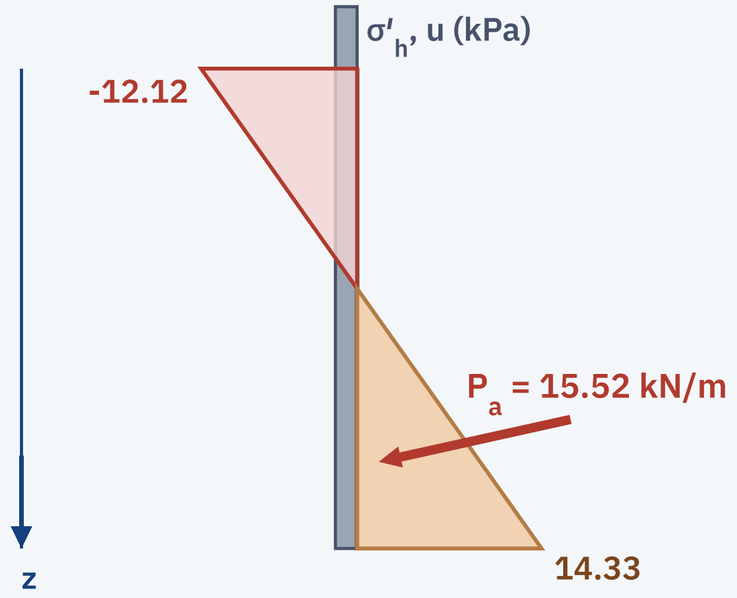
РЕШЕНИЕ

3 Сила с учётом трещины (только положительный треугольник)

$$P_a = \tfrac{1}{2}(14.33)(4 - 1.83) = \mathbf{15.52}\ \text{kN/m} \qquad \bar{z} = 0.72\ \text{m}$$

без трещины: $P_a = 4.41$ kN/m

С трещиной P_a = **15.52 kN/m**; без трещины (с учётом отрицательной зоны) — 4.41 kN/m: если учитывать зону растяжения, сила получается намного меньше действительной. По Rankine (δ′ = 0) получилось бы 18.59 kN/m.



Проверить решение в GeoTerva ↗

Область применения решения Coulomb

ТЕОРИЯ

Поверхность скольжения плоская. В активном случае это хорошее приближение реальной поверхности; в пассивном случае при больших δ' она отклоняется от криволинейной поверхности, и сопротивление получается **завышенным** (осторожность при $\delta' > \varphi'/3$; см. модуль логарифмической спирали).

Угол трения грунта о стену δ' — исходная величина: он зависит от материала стены и от перемещения грунта относительно стены; ориентировочно $\delta' = (1/2 – 2/3)\varphi'$ (бетон–песок).

Связный слой: член, учитывающий сцепление, принимается в форме Rankine, а коэффициент K — по Coulomb для данного слоя; адгезия между стеной и грунтом не учитывается; зона растяжения исключается за счёт трещины.

Решение для слоистого грунта — инженерное расширение модуля (в литературе замкнутого решения Coulomb для слоистого грунта нет); для одного слоя оно сводится к замкнутому решению, а при $\delta' = 0$ и горизонтальной засыпке — к решению Rankine.

Сейсмическое воздействие рассматривается в модуле Mononobe–Okabe; решение Coulomb — статическое.

Резюме

Главное

Призма: W, F (под углом φ' к нормали), P (под углом δ' к нормали); $P_a(\beta)$ по теореме синусов; **активное давление = наибольшая** призма, **пассивное = наименьшая** призма

$\mathbf{K_a} = \cos^2(\varphi' - \theta) / \{\cos^2\theta \cos(\delta' + \theta)[1 + \sqrt{(\ldots)}]^2\}$; сила приложена на высоте H/3 от подошвы под углом $\theta + \delta'$ к горизонтали; при $\delta' = 0$ и ровной геометрии получается решение Rankine

Трение о стенку уменьшает активное давление (вплоть до $\delta' \approx 2\varphi'/3$) и быстро увеличивает пассивное; в пассивном случае при больших δ' плоская призма небезопасна

Пригрузка $q_e = q \cos\theta / \cos(\theta - \alpha)$: $P = \frac{1}{2}K\gamma H^2 (H/3) + K\, q_e\, H\, (H/2)$

Слоистый грунт + вода: $\sigma' = K_i \sigma'_v \cos\theta$, скачок на границе; u нормально к стене; $P = \sqrt{(N^2 + T^2)}$, $\beta = \tan^{-1}(T/N)$

Связный слой: $\sigma' = K\sigma'_v - 2c'\sqrt{K}$, зона отрицательных значений в пределах трещины отрыва отбрасывается

Список литературы

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

Coulomb, C.A. (1776). Essai sur une application des règles de Maximis et Minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture. Mémoires de Mathématique et de Physique, Académie Royale des Sciences, Paris, 7, 343–382.

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning — a surcharge on a sloping backfill.

ПРИМЕЧАНИЕ

Все числовые примеры получены с помощью собственного расчётного ядра модуля; модуль даёт те же значения. Модуль открывается со стеной из Примера 3 (θ = 5°, α = 10°, δ′ = 15°).

GeoTerva

Геотехнические расчёты онлайн

От теории к практике

Ввести в GeoTerva наклон собственной стены, наклон засыпки, трение по стене, слои, пригрузку и грунтовые воды; модуль одновременно выдаёт силу, её направление и высоту приложения.

Открыть модуль →

Страница теории →

Открыть на телефоне
Для пробных модулей регистрация не требуется.