

**Курс лекций
«Механика грунтов»**

Список литературы

Справочно-нормативная литература

1. ГОСТ 25100 – 2011. Грунты. Классификация. М., издательство стандартов, 2011.

Основная литература

1. Цытович Н.А. Механика грунтов. М., СИ, 1979.

2. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. М., СИ, 1981 или 1988.

3. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М., СИ, 2007.

Дополнительная литература

1. Швецов Г.И. Инженерная геология, механика грунтов, основания и фундаменты. М., ВШ, 1987.
2. Малышев М.В., Болдырев Г.Г. Механика грунтов. Основания и фундаменты (в вопросах и ответах). М., АСВ, 2000.

Введение.

Основные понятия и определения.

**Краткие сведения из истории развития
механики грунтов, оснований и фундаментов**

Механика грунтов является составной частью общей механики и геомеханики.

В механике грунтов изучается поведение грунтовых массивов под воздействием нагрузки (в т.ч. собственного веса грунта).

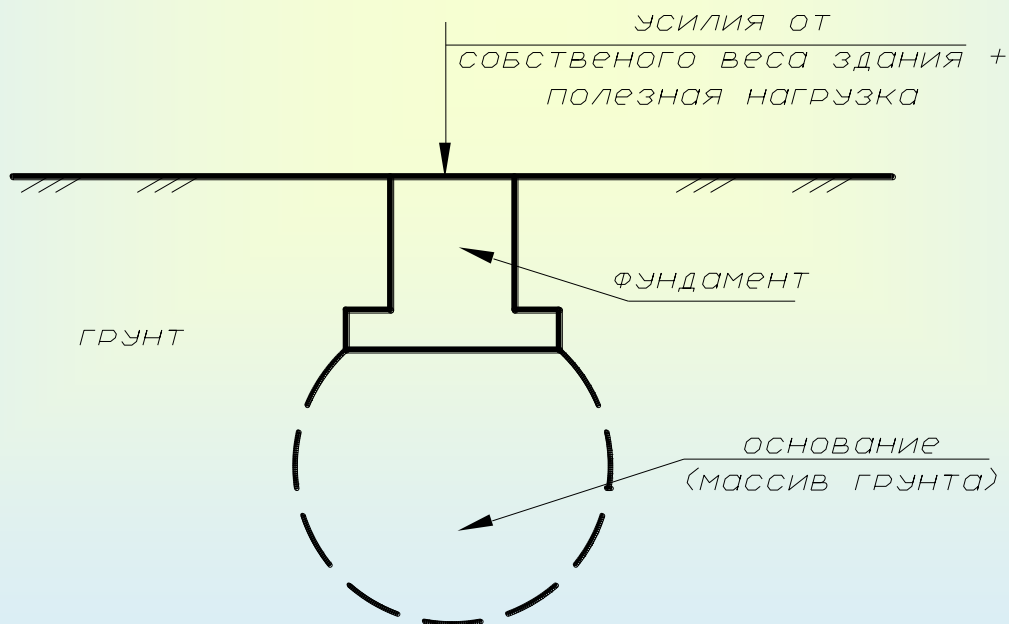
Механика грунтов – это научная база дисциплины «Основания и фундаменты».

Грунт – это любая горная порода или почва, а также отходы производственной или хозяйственной деятельности человека, представляет собой многокомпонентную систему, которая может изменяться во времени и использоваться как основание, среда или материал для возведения зданий или сооружений.

Грунты в своем естественном состоянии часто отождествляют с упругим полупространством и поэтому в механике грунтов используются закономерности других дисциплин.

Основание – это массив грунта, воспринимающий давление от фундамента.

Фундамент – это конструкция, служащая для передачи грунту (основанию) веса здания или сооружения, и действующих на него нагрузок.

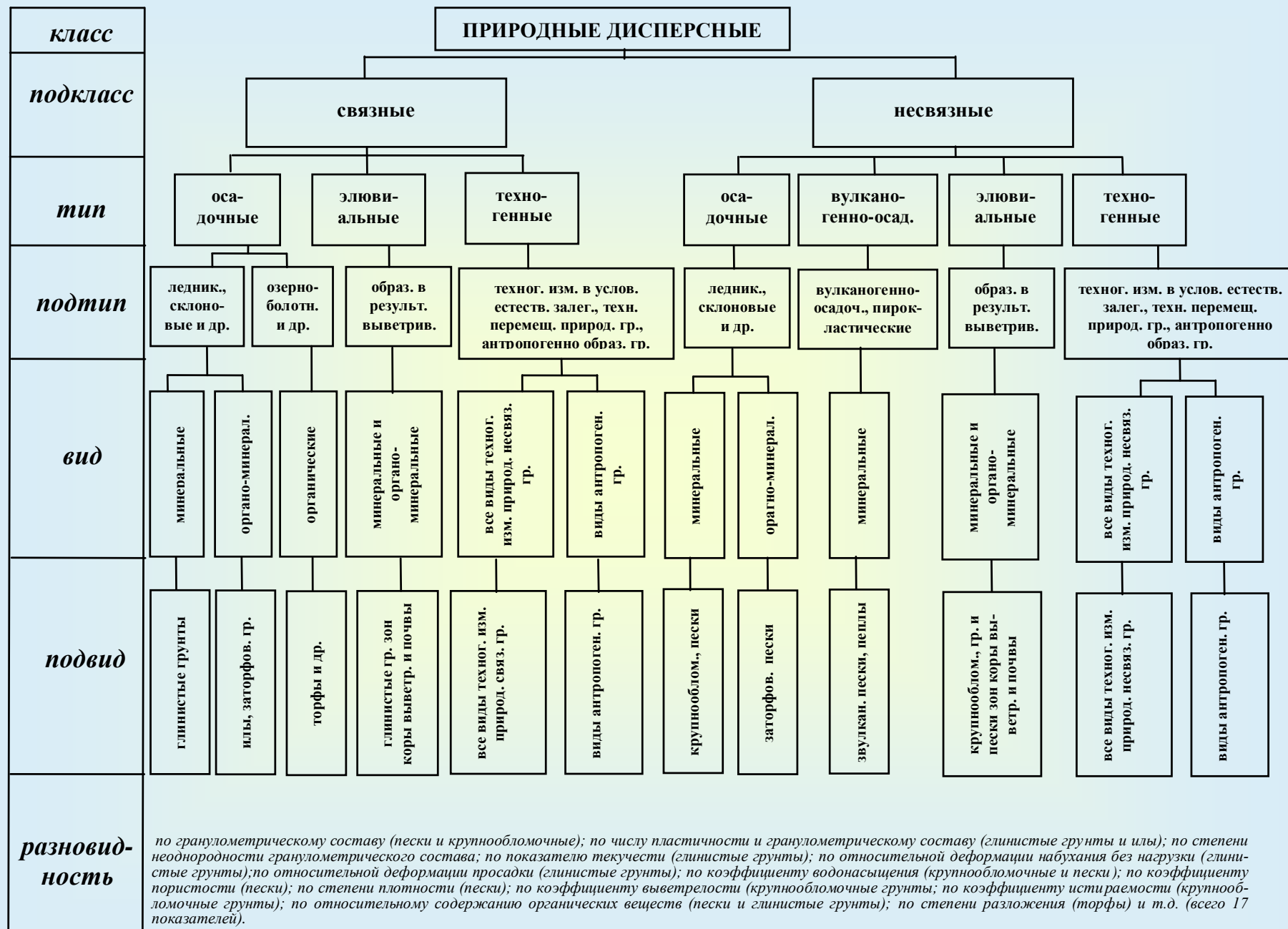


Классификация грунтов (ГОСТ 25100 – 2011)

Классификационные показатели:

- класс (подкласс)
- тип (подтип)
- вид (подвид)
- по разновидности
- по природе структурных связей;
- по генезису;
- по вещественному, петрографическому или литологическому составу;
- по количественным показателям состава, строения, состояния и свойств грунта.

класс	ПРИРОДНЫЕ СКАЛЬНЫЕ				
тип (под-тип)	<div>магматич. интрузивные</div> <div>магматич. эффузивные</div> <div>метаморфические</div> <div>осадо-чные</div> <div>вулкано-генноосад.</div> <div>элюви-ви-</div> <div>техно-генные</div>				
вид	<div>силикатные ультраоснов. состава</div> <div>силикатные основного состава</div> <div>силикатные среднего состава</div> <div>силикатные кислого состава</div> <div>силикатные ультраоснов. состава</div> <div>силикатные основного состава</div> <div>силикатные среднего состава</div> <div>силикатные кислого состава</div> <div>силикатные</div> <div>карбонатные</div> <div>железистые</div> <div>органо-минеральные</div> <div>силикатные</div> <div>карбонатные</div> <div>кремнистые</div> <div>сульфатные</div> <div>галогенные</div> <div>органо-минеральные</div> <div>силикатные</div> <div>хемогенно-силикатные</div> <div>минеральные</div> <div>все виды техногенно измененных природ. и антропогеннообразов. скальных гр. и преобраз. дисперсных гр. с прибор. цемент. связями</div>				
подвид-вид	<div>дуниты и др.</div> <div>габбро и др.</div> <div>диориты и др.</div> <div>граниты и др.</div> <div>пикриты и др.</div> <div>базальты и др.</div> <div>андезиты и др.</div> <div>дациты и др.</div> <div>сланцы и др.</div> <div>мраморы и др.</div> <div>железные руды</div> <div>горючие сланцы и др.</div> <div>песчаники и др.</div> <div>известняки и др.</div> <div>опокы и др.</div> <div>опокы и др.</div> <div>галиты и др.</div> <div>бурые угли и др.</div> <div>туфопесчаники, вулканические туфы и др.</div> <div>скальные гр. трещинных зон коры выветрив.</div> <div>все виды техногенно измененных грунтов</div>				
разновидность	по пределу прочности на одноосное сжатие под водой; по плотности скелета; по коэффициенту выветрелости; по степени размягчаемости; по степени растворимости; по степени водопроницаемости.				



Фазовый состав нескальных грунтов

Грунт состоит из различных элементов, которые можно выделить в три группы:

1. Твердые минеральные частицы

(твердая фаза)

2. Вода в различных видах и состояниях

(жидкая фаза)

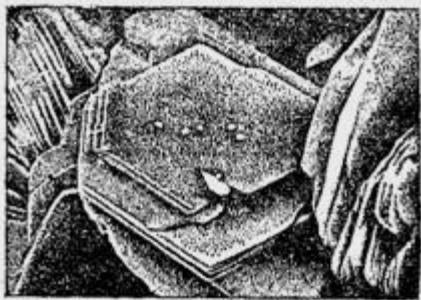
3. Газовые включения

(газообразная фаза)

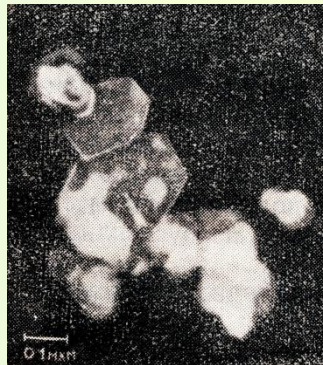
Твердая фаза

– представляет систему разнообразных по форме, составу и размерам твердых минеральных частиц.

по форме:



*пластинчатая форма
частиц каолинита*



*игольчатая форма
частиц аттапульгита*



Большое влияние оказывает содержание в грунте растворимых минералов.

Многие горные породы сложены растворимыми минералами:

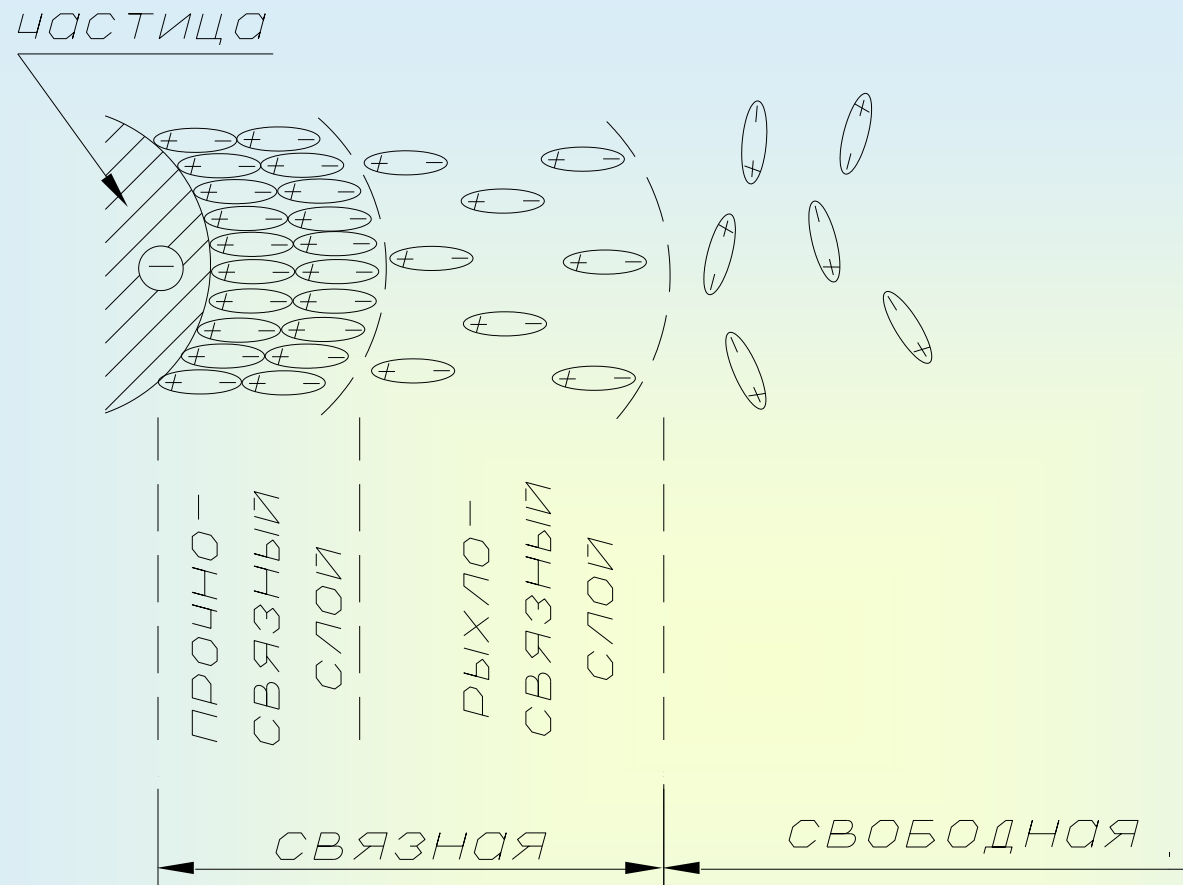
- гипс (водорастворим);*
- мрамор и известняк (быстрое разрушение от взаимодействия с кислотами);*
- лессовые грунты (водорастворимы).*

Жидкая фаза

Вода в грунте может быть в парообразном, жидком и твердом состоянии.

Жидкая вода *разделяется на кристаллизационную, связную и свободную.*

Кристаллизационная вода *находится внутри частиц грунта и участвует в строении кристаллизационных решеток минералов.*



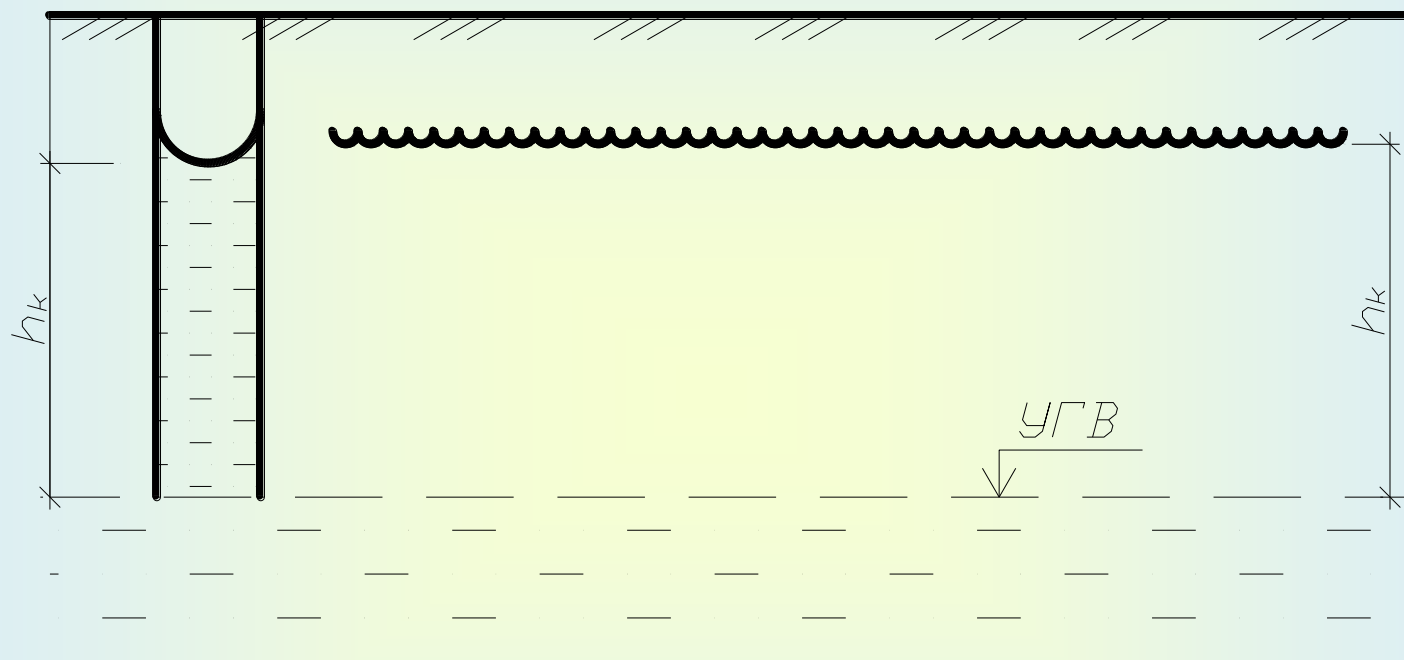
Прочносвязный слой – несколько рядов молекул, общая толщина слоя до 10^{-6} см, притяжение составляет несколько сотен МПа, плотность слоя достигает $1,2 - 2,4 \text{ г/см}^3$.

Свободная вода подразделяется на гравитационную и капиллярную.

Гравитационная вода обладает обычными общеизвестными свойствами и перемещается в порах грунта под действием напоров.

(крупнообломочные, гравелистые грунты)

Поднятие капиллярной воды обуславливается наличием в грунтах каналов, чем они тоньше, тем выше подъем.



песок крупный – 3,5 см;

песок средний – 35 см;

песок мелкий – 120 см;

супесь – 3,5 м;

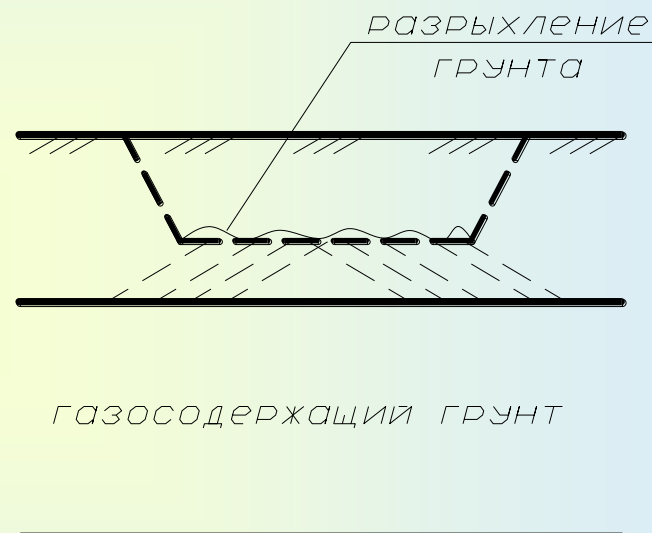
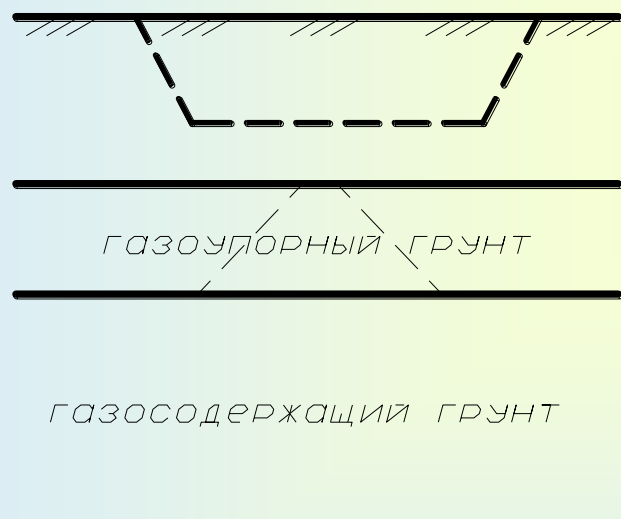
суглинок, глина – 6,5 м.

Газообразная фаза

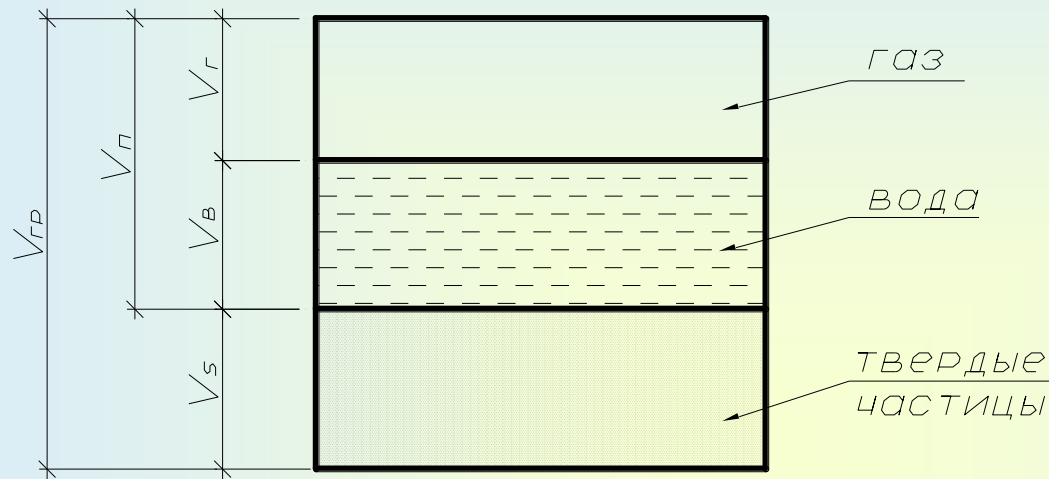
Содержание воды и газа в грунте зависит от объема его пор: чем больше поры заполнены водой, тем меньше в них содержится газов.

В верхних слоях грунта (\approx до 2 м) газовая составляющая представлена в основном атмосферным воздухом, ниже – метаном, азотом, сероводородом.

Уменьшение давления вследствие разработки котлована может привести к разрывам на поверхности грунта.



Физические характеристики грунтов



$$V_{гр} = V_s + V_n,$$

$$V_n = V_г + V_з,$$

$$m_{гр} = m_в + m_s,$$

$$q_{гр} = q_в + q_s.$$

$V_{гр}, m_{гр}, q_{гр}$ – соответственно объем, масса и вес грунта

$V_в, m_в, q_в$ – соответственно объем, масса и вес воды

V_s, m_s, q_s – соответственно объем, масса и вес твердых частиц

$V_г, V_n$ – объем газа и объем пор соответственно

Основные (базовые) характеристики

(определяются экспериментально)

1) плотность грунта, ρ , г/см³

(это отношение массы грунта к его объему)

$$\rho = \frac{m_s + m_e}{V_{гр}}$$

Методы определения: метод режущего кольца или парафинирования.

2) плотность твердых частиц грунта, ρ_s , г/см³

(это отношение твердых частиц к их объему)

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}$$



Метод определения: пикнометрический метод.

Основа метода заключается в определении объема твердых частиц по массе вытесненной ими воды.

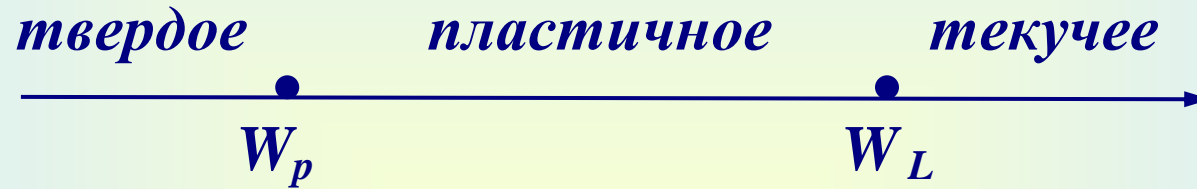
3) природная влажность грунта, W , % или д.е.

(это отношение массы воды к массе твердых частиц)

$$W = \frac{m_v}{m_s} = \frac{m_{gp} - m_s}{m_s}$$

Метод определения: метод высушивания.

Для глинистых грунтов:



3.1) влажность на границе раскатывания, W_p , % или д.е.

3.2) влажность на границе текучести, W_L , % или д.е.

Метод определения: метод высушивания.

Производные (расчетные) характеристики

1) удельный вес грунта, γ , кН/м³

$$\gamma = \frac{q_s + q_6}{V_{zp}}, \quad q = m \cdot g, \quad \Rightarrow$$

$$\gamma = \frac{m_s \cdot g + m_6 \cdot g}{V_{zp}} = \frac{(m_s + m_6)}{V_{zp}} \cdot g = \rho \cdot g,$$

$$\gamma = \rho \cdot g$$

2) удельный вес твердых частиц, γ_s , кН/м³

$$\gamma_s = \frac{q_s}{V_s}, \quad q = m \cdot g, \quad \Rightarrow$$

$$\gamma_s = \frac{m_s \cdot g}{V_s} = \frac{m_s}{V_s} \cdot g,$$

$$\gamma_s = \rho_s \cdot g$$

3) плотность сухого грунта, ρ_d , т/м^3 или г/см^3

$$\rho_d = \frac{m_s}{V_{zp}},$$

$$\rho = \frac{m_s + m_e}{V_{zp}}, \quad W = \frac{m_e}{m_s} \Rightarrow$$

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W}$$

4) удельный вес сухого грунта, γ_d , кН/м³

(это вес единицы объема абсолютно сухого грунта)

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + W}$$

5) *относительное содержание твердых частиц,*
m, % или д.е.

(это отношение объема твердых частиц к объему грунта)

$$m = \frac{V_s}{V_{gp}} \cdot 100 \%,$$

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}, \quad \rho_d = \frac{m_s}{V_{gp}} \Rightarrow$$

$$m = \frac{\rho_d}{\rho_s}$$

6) пористость грунта, n , % или д.е.

(это отношение объема пор к объему грунта)

$$n = \frac{V_n}{V_{gp}} \cdot 100 \%,$$

$$n + m = 1, \Rightarrow$$

$$n = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s}$$

7) коэффициент пористости, e , д.е.

(это отношение объема пор к объему твердых частиц)

$$\begin{aligned} e &= \frac{V_n}{V_s} = \frac{n}{m} = \frac{1-m}{m} = \\ &= \frac{1 - \cancel{\rho_d} / \cancel{\rho_s}}{\cancel{\rho_d} / \cancel{\rho_s}} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}, \\ e &= \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} \end{aligned}$$

8) степень влажности, S_r , д.е.

(это отношение объема воды в грунте природной влажности к объему воды при полном водонасыщении)

$$S_r = \frac{W}{W_{sat}},$$

W_{sat} – полная влагоемкость грунта,

$$W_{sat} = \frac{e \cdot \gamma_w}{\gamma_s} \Rightarrow S_r = \frac{W \cdot \gamma_s}{e \cdot \gamma_w}$$

(классификация грунтов по степени влажности –

см. лекцию 2, крупнообломочные грунты, п. 2)

9) удельный вес грунта во взвешенном в воде состоянии, γ_{sb} , кН/м³

(это вес единичного объема грунта, помещенного ниже уровня воды)

$$\gamma_{sb} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}$$

для глинистых грунтов

10.1) число пластичности, I_p , %

(определяет вид пылевато-глинистого грунта)

$$I_p = W_L - W_p$$

(классификация по числу пластичности грунтов –

см. лекцию 2, глинистые грунты, п.1)

10.2) показатель текучести, I_L , д.е.

(определяет консистенцию пылевато-глинистого грунтов)

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p}$$

(классификация по показателю текучести грунтов –

см. лекцию 2, глинистые грунты, п.2)

Основные закономерности механики грунтов.

Механические свойства грунтов

Кроме общих закономерностей сплошных тел, грунты, как дисперсные системы имеют свои закономерности.

К ним относятся:

- закон уплотнения (сжимаемости) грунтов;*
- закон Кулона (сопротивление грунтов сдвигу);*
- закон ламинарной фильтрации (водопроницаемость грунтов).*

Сжимаемость грунтов. Закон уплотнения

Сжимаемость грунтов заключается в способности изменять свое строение под действием нагрузок за счет уменьшения пористости (и в малой степени от сжимаемости самих частиц).

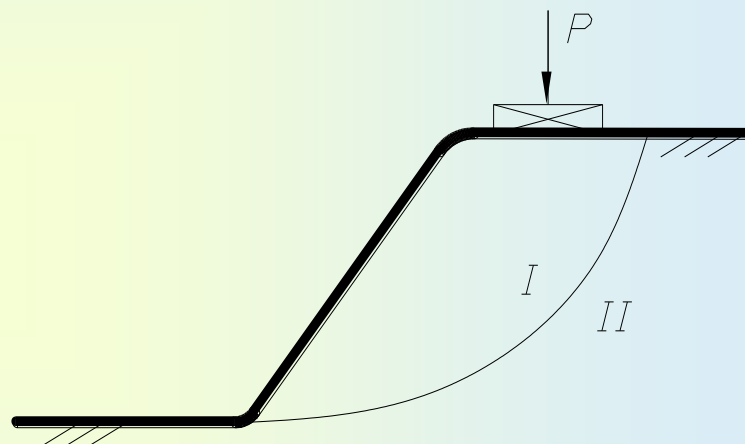
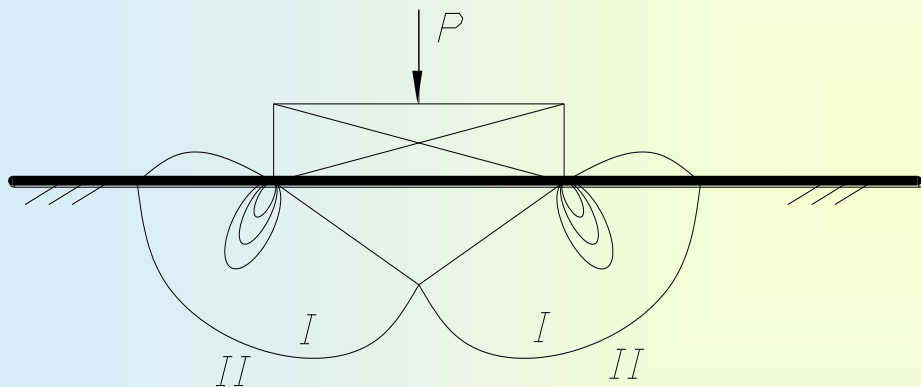
$$de = a \cdot d\sigma \quad \text{— закон сжимаемости}$$

При небольших изменениях давлений изменение коэффициента пористости прямопропорционально этим давлениям.

Методы определения
модуля деформации
(самостоятельно)

Сопротивление грунтов сдвигу.

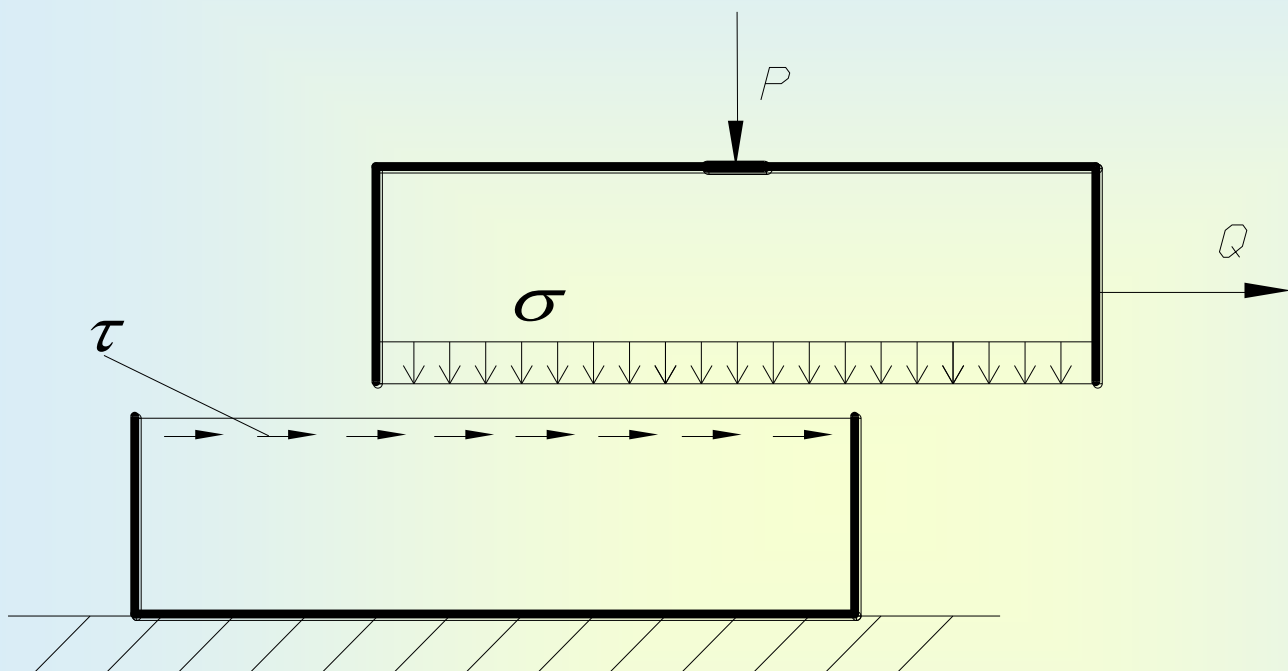
Закон Кулона



Прочность грунта определяется двумя характеристиками:

φ — угол внутреннего трения, град;

c — удельная сила сцепления, кПа



$$\sigma = \frac{P}{A}, \quad \tau = \frac{Q_{np}}{A}$$

Закон Кулона для несвязных грунтов

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Сопротивление несвязных грунтов срезам есть сопротивление трению, пропорциональное нормальным давлениям.

Закон Кулона для связных грунтов

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c$$

Сопротивление связных грунтов срезам есть функция первой степени от нормальных давлений.

Методы определения
прочностных показателей грунта

(φ, c)

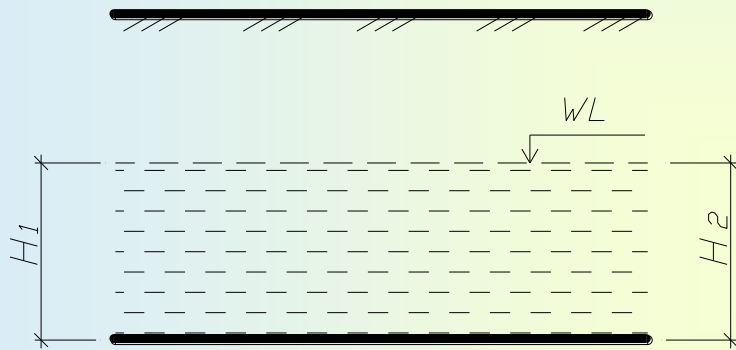
(самостоятельно)

Водопроницаемость грунтов.

Закон фильтрации

Фильтрацией называется движение свободной воды в порах грунта в условиях, когда поток воды почти полностью заполняет поры грунта.

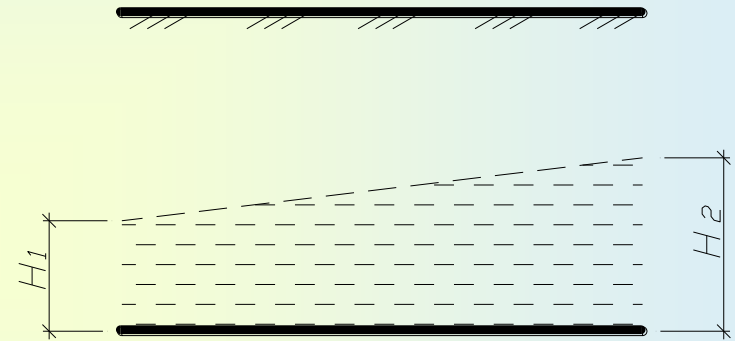
Фильтрация воды становится возможной только при создании разницы напоров.



ВОДОУПОРНЫЙ ГРУНТ

$$H_1 = H_2$$

**фильтрация
не возможна**



ВОДОУПОРНЫЙ ГРУНТ

$$H_1 > H_2$$

**фильтрация
возможна**

Опытами установлено, что движение воды в грунте с достаточной для практических целей точностью можно считать параллельноструйной, т.е. ламинарной.

Закон ламинарной фильтрации

(закон Дарси)

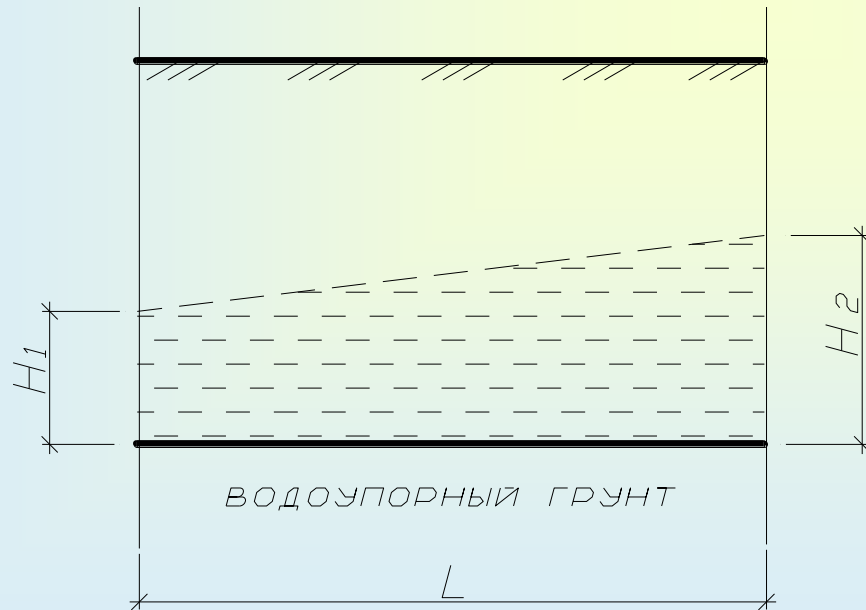
$$v = k_{\phi} \cdot I$$

Скорость фильтрации прямопропорциональна гидравлическому градиенту напора.

v – скорость фильтрации;

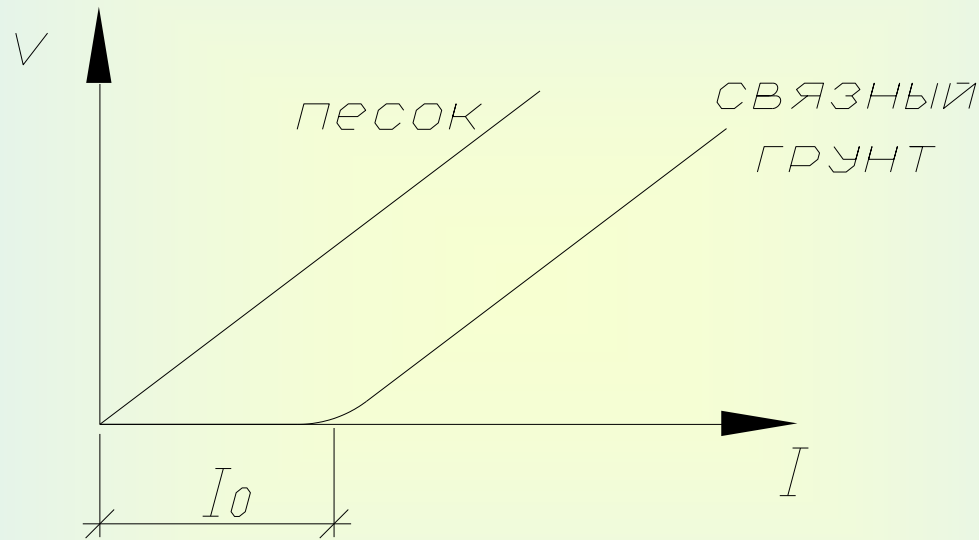
k_f – коэффициент фильтрации, равен скорости фильтрации при $I = 1$;

I – гидравлический градиент напора равный потере напора на отрезке пути фильтрации



$$I = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

Зависимость скорости фильтрации от гидравлического градиента напора



I_0 — начальный гидравлический градиент напора, при достижении которого начинается фильтрация воды в грунте

*Закон ламинарной фильтрации
для связных грунтов*

$$v = k_{\phi} \cdot (I - I_0)$$

Коэффициент фильтрации изменяется в широких пределах:

для песка: $k_{\phi} = 1 \cdot 10^{-2}$ см/с

для глины: $k_{\phi} = 1 \cdot 10^{-8}$ см/с

Методы определения
коэффициента фильтрации

(k_f)

(самостоятельно)

**Теория
распределения напряжений
в грунтовом массиве**

Для определения напряжений в грунтовом массиве используется теория линейно – деформируемых тел.

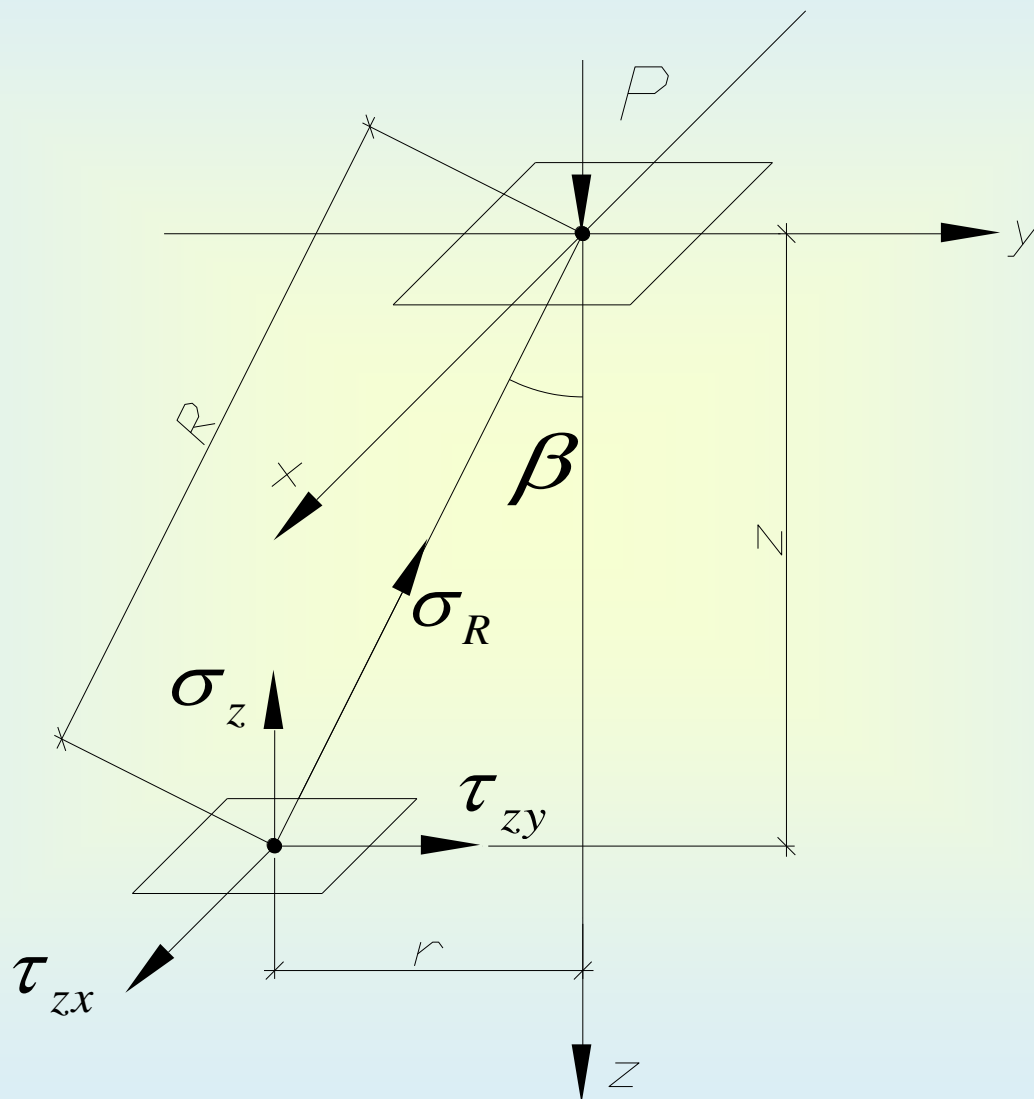
В механике грунтов для определения напряжений от внешних нагрузок используются решения следующих задач:

- 1. Задача Ж.Буссинеска (1885 год).*
- 2. Задача А.Лява (1935 год).*
- 3. Задача Фламана (1892 год).*

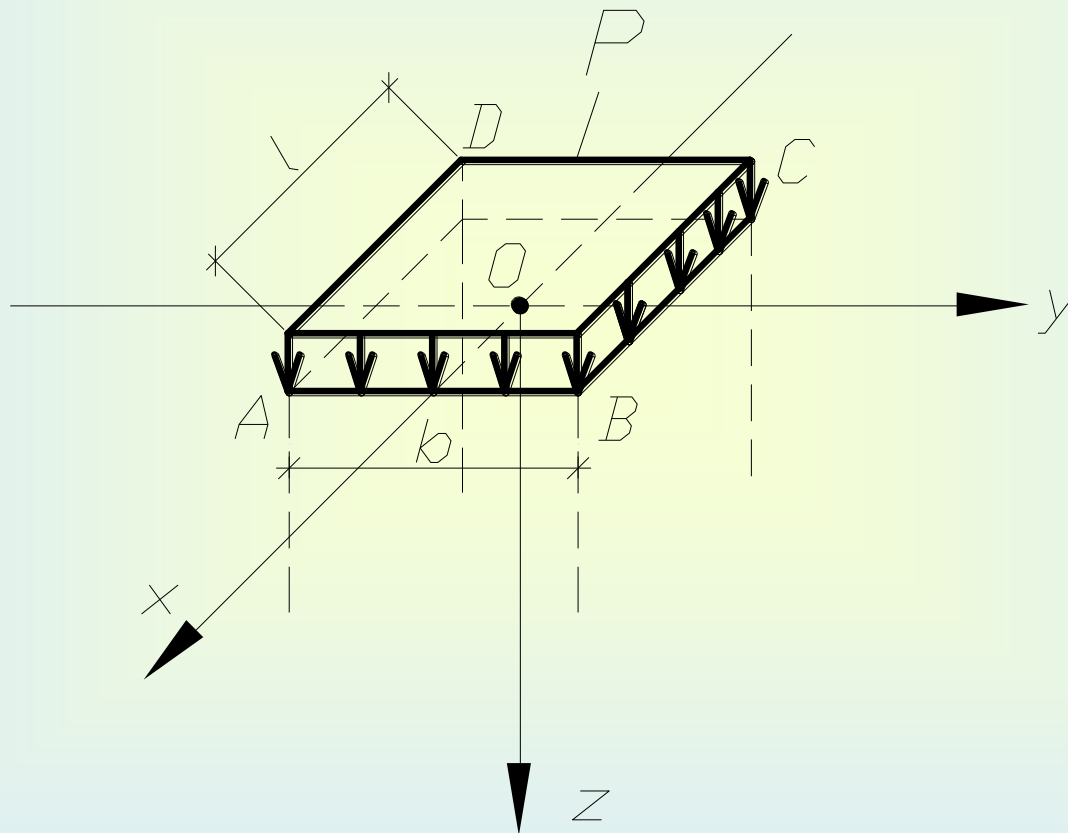
Предпосылки,
принятые при решении задач:

- 1. Среда линейно-деформируемая.*
- 2. Силы действуют на поверхность упругого полупространства.*
- 3. Среда однородна и изотропна.*
- 4. Собственный вес грунта в решениях задач не учитывается.*
- 5. Напряжения рассматриваются после стабилизации деформаций.*

1. Задача Ж.Буссинеска (1885 год)



2. Задача А.Лява (1935 год)



или

$$\sigma_{z,A} = K_{z,A} \cdot P,$$

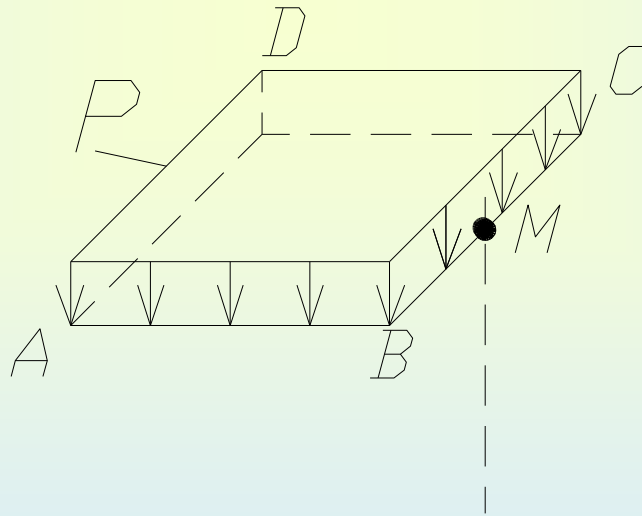
Аналогично, для точек, лежащих на перпендикуляре к плоскости загрузки в т.О:

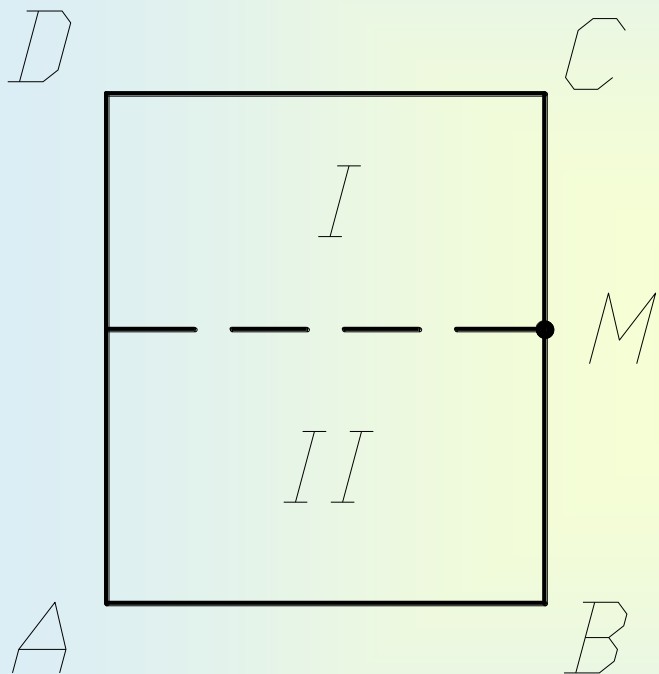
$$\sigma_{z,o} = K_{z,o} \cdot P,$$

где K_z – коэффициент влияния напряжений, определяемый по таблицам в зависимости от соотношений l к b и z к b .

Метод угловых точек

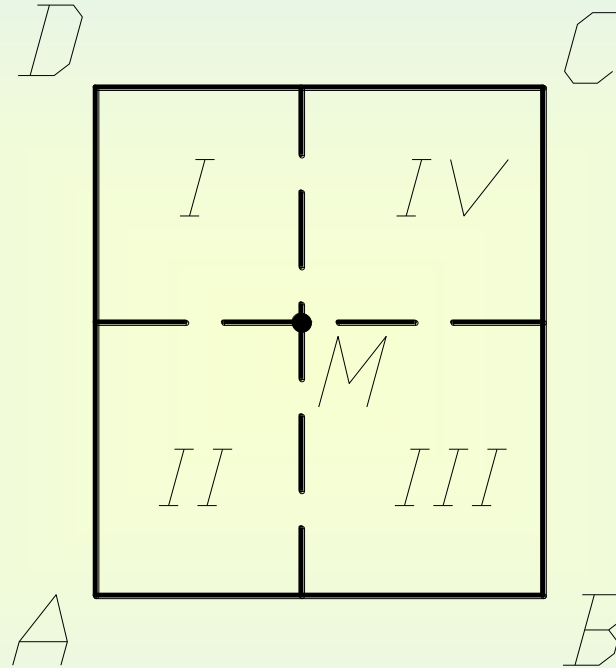
1 случай (вертикаль проходит через т.М, лежащую на контуре площади загрузки)





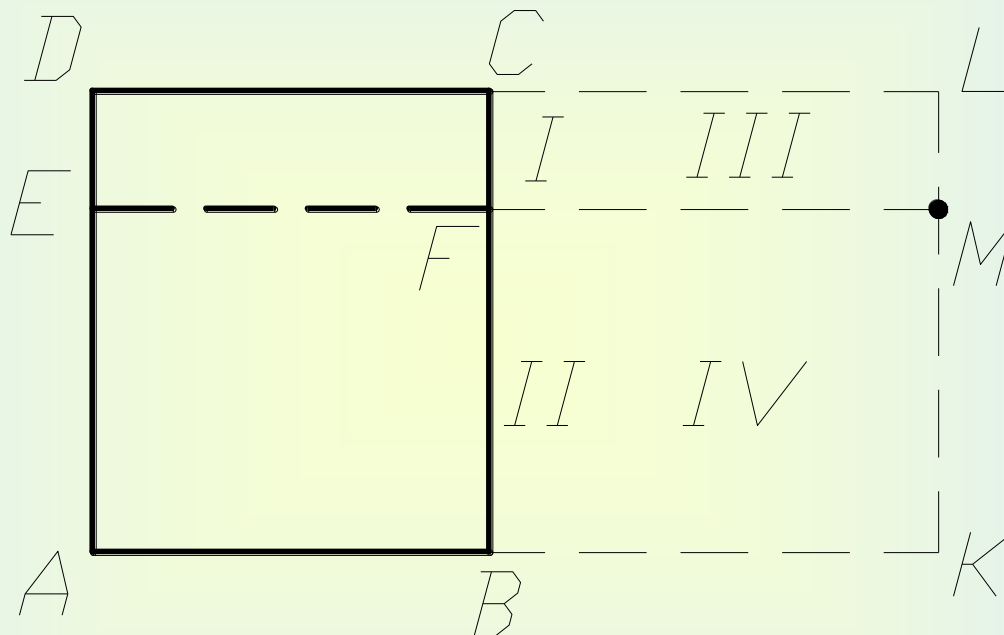
$$\sigma_{z,\mathcal{M}} = \left(K_{z,I} + K_{z,II} \right) \cdot P$$

2 случай (т.М лежит внутри контура площади загруз-
жения)



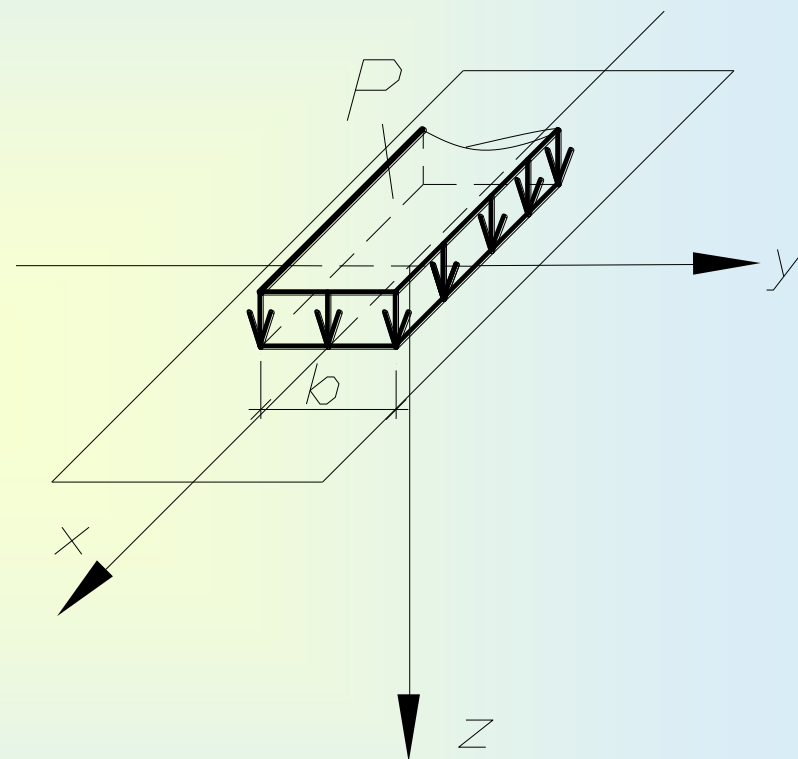
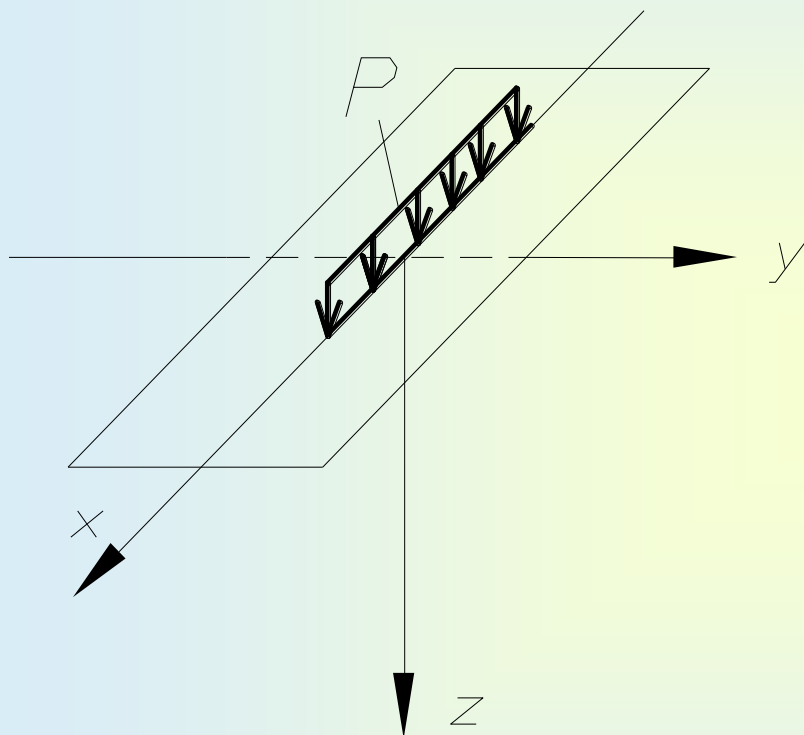
$$\sigma_{z,M} = (K_{z,I} + K_{z,II} + K_{z,III} + K_{z,IV}) \cdot P$$

3 случай (т.М лежит вне контура площади загрузки)



$$\sigma_{z,M} = (K_{z,I} + K_{z,II} - K_{z,III} - K_{z,IV}) \cdot P$$

3. Задача Фламана (1892 год)

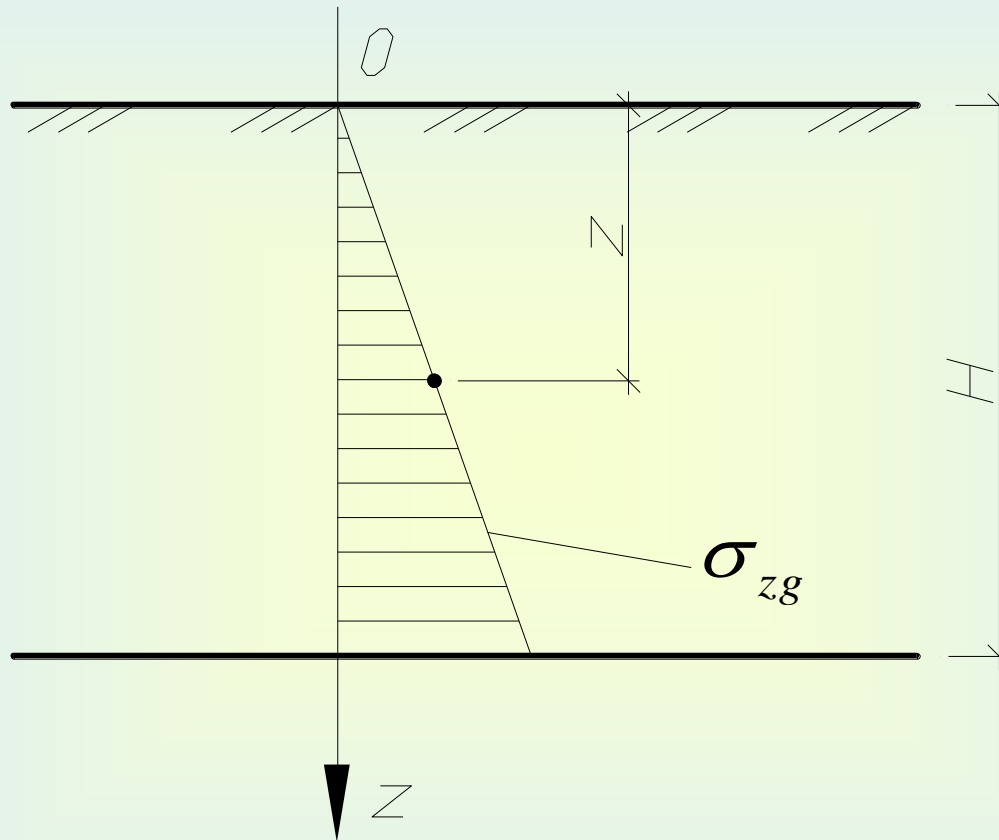


Напряжения
от собственного веса грунта

$$\sigma_{zg} = \gamma \cdot z,$$

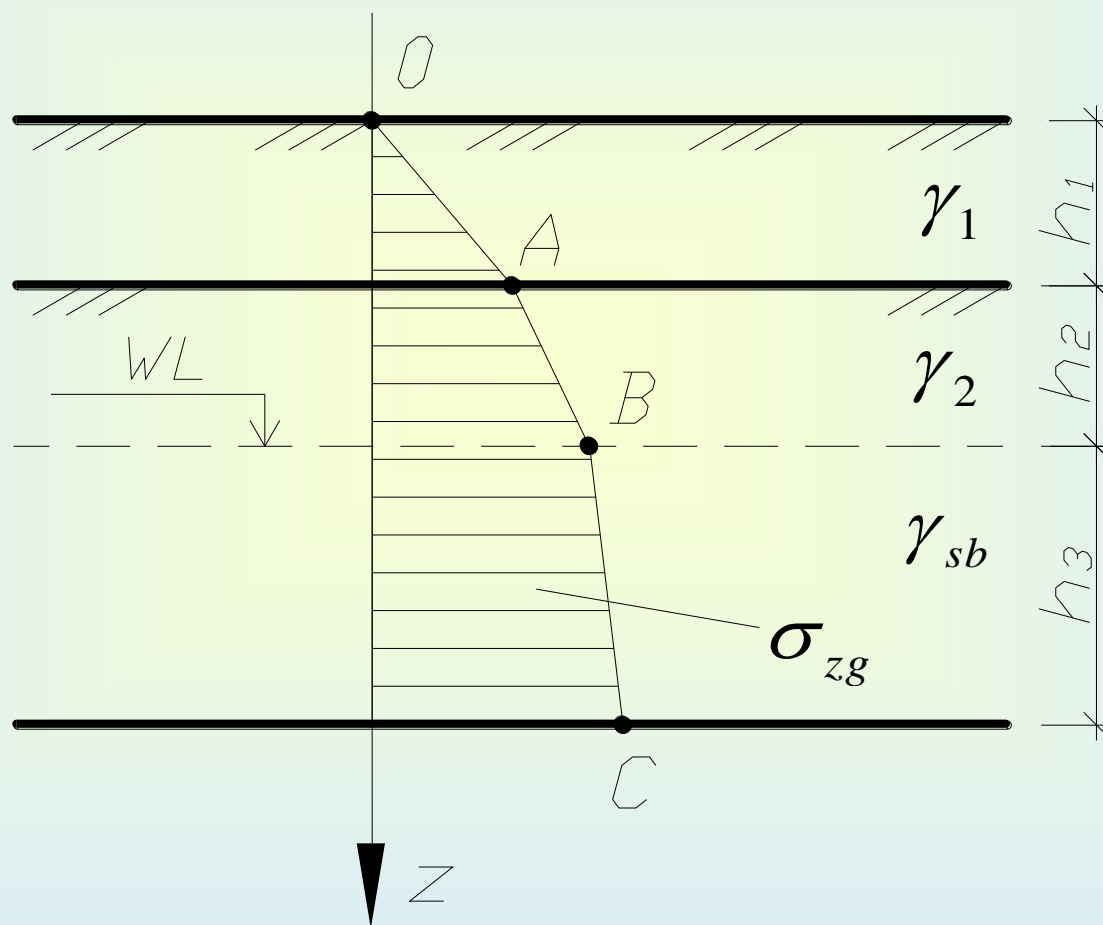
где z – глубина расположения рассматриваемой точки,
 γ – удельный вес грунта

1 случай – при однородном напластовании грунта



$$\sigma_{zg} = \gamma \cdot z$$

**2 случай – при неоднородном напластовании грунта и
наличии грунтовых вод**



m. O:

$$\sigma_{zg,O} = 0$$

m. A:

$$\sigma_{zg,A} = \gamma_1 \cdot h_1$$

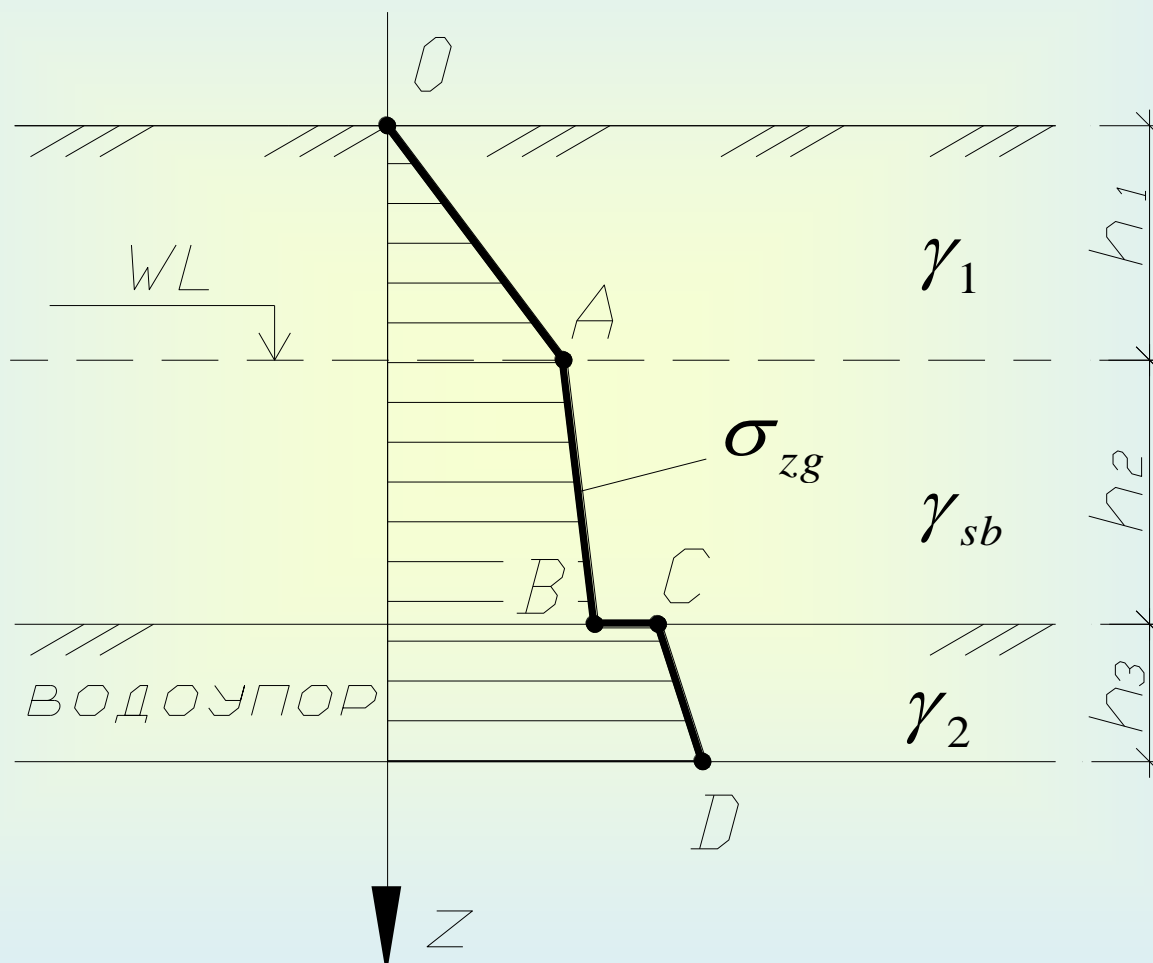
m. B:

$$\sigma_{zg,B} = \sigma_{zg,A} + \gamma_2 \cdot h_2$$

m. C:

$$\sigma_{zg,C} = \sigma_{zg,B} + \gamma_{sb} \cdot h_3$$

3 случай – при наличии водоупорного слоя грунта



т. О:

$$\sigma_{zg,O} = 0$$

т. А:

$$\sigma_{zg,A} = \gamma_1 \cdot h_1$$

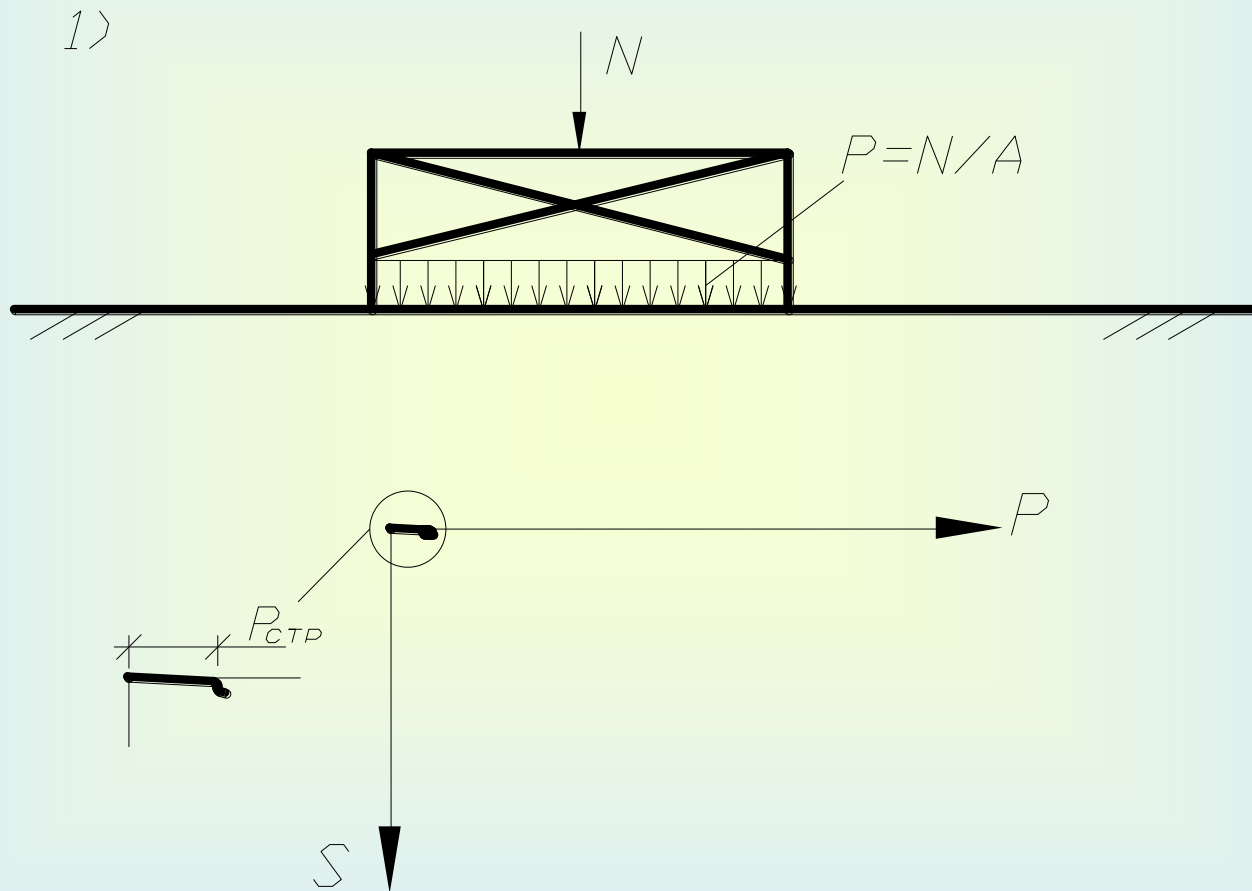
т. В (чуть выше водоупора):

$$\sigma_{zg,B} = \sigma_{zg,A} + \gamma_{sb} \cdot h_2$$

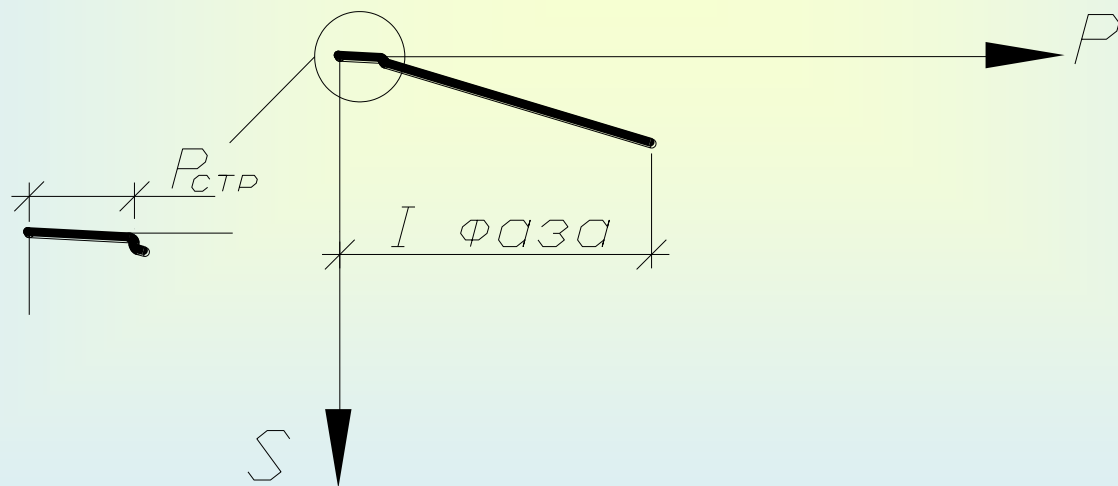
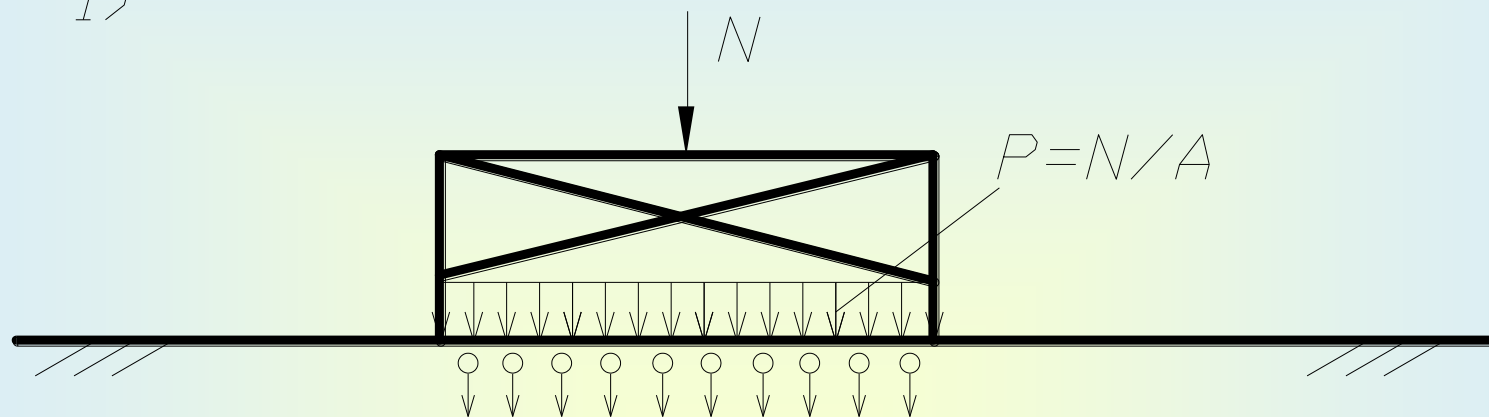
т. С (на водоупоре):

$$\sigma_{zg,C} = \sigma_{zg,B} + \gamma_w \cdot h_3$$

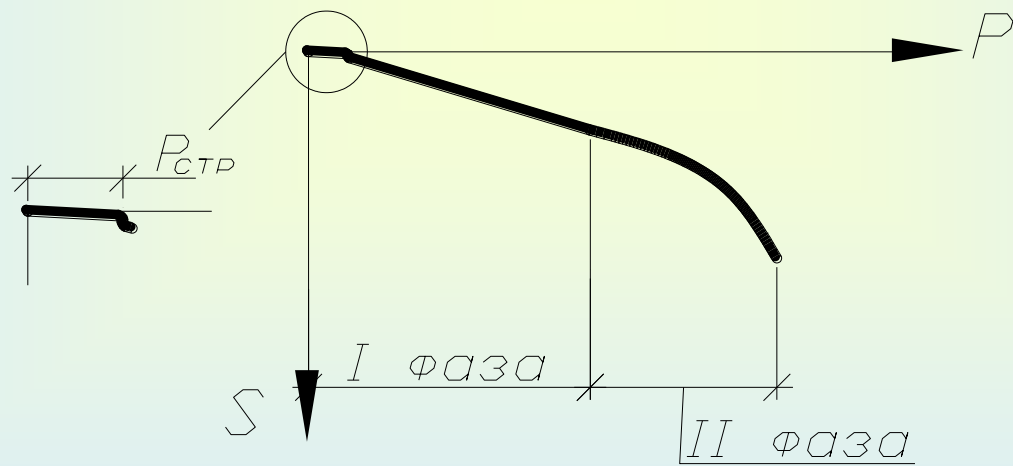
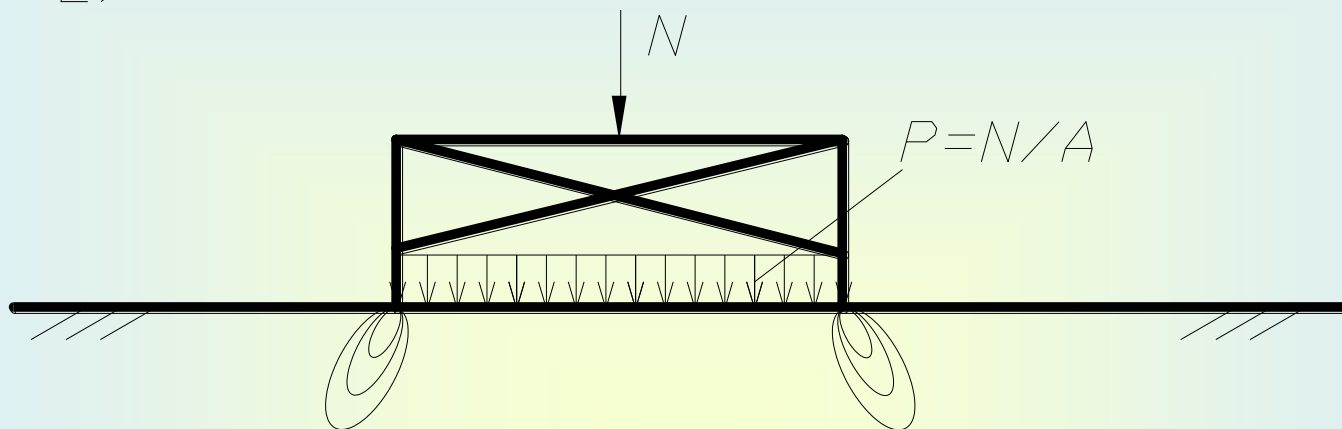
Фазы напряженного состояния грунта



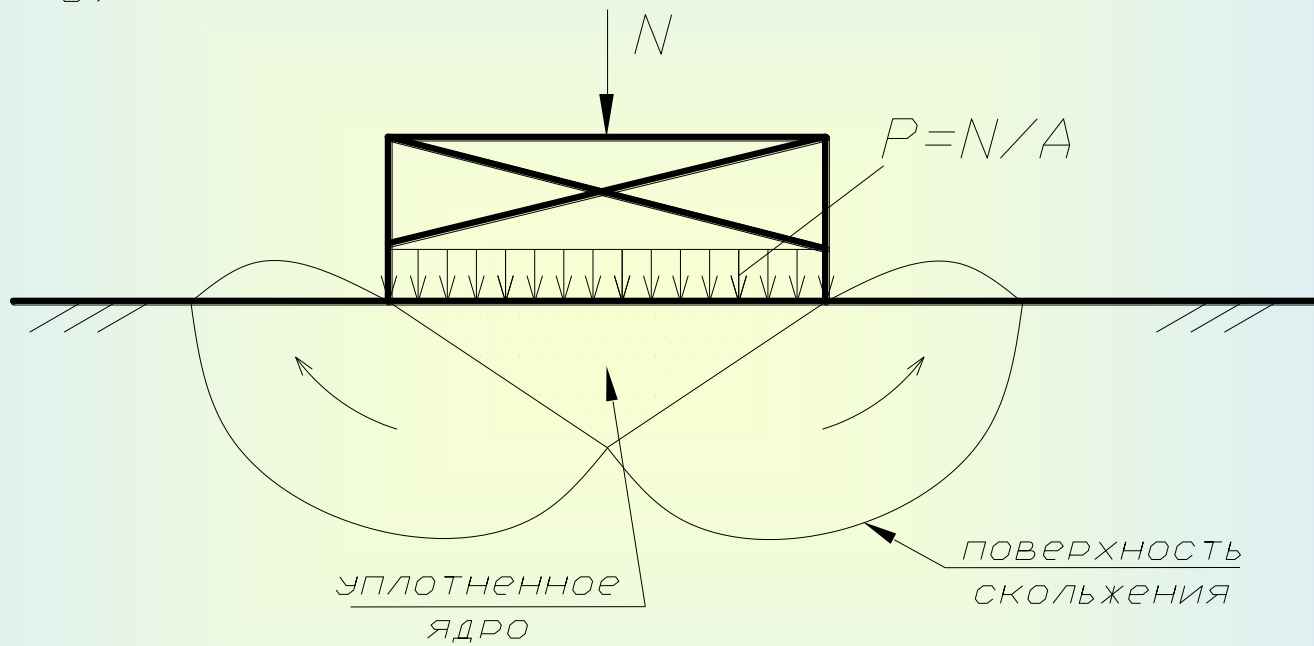
1)

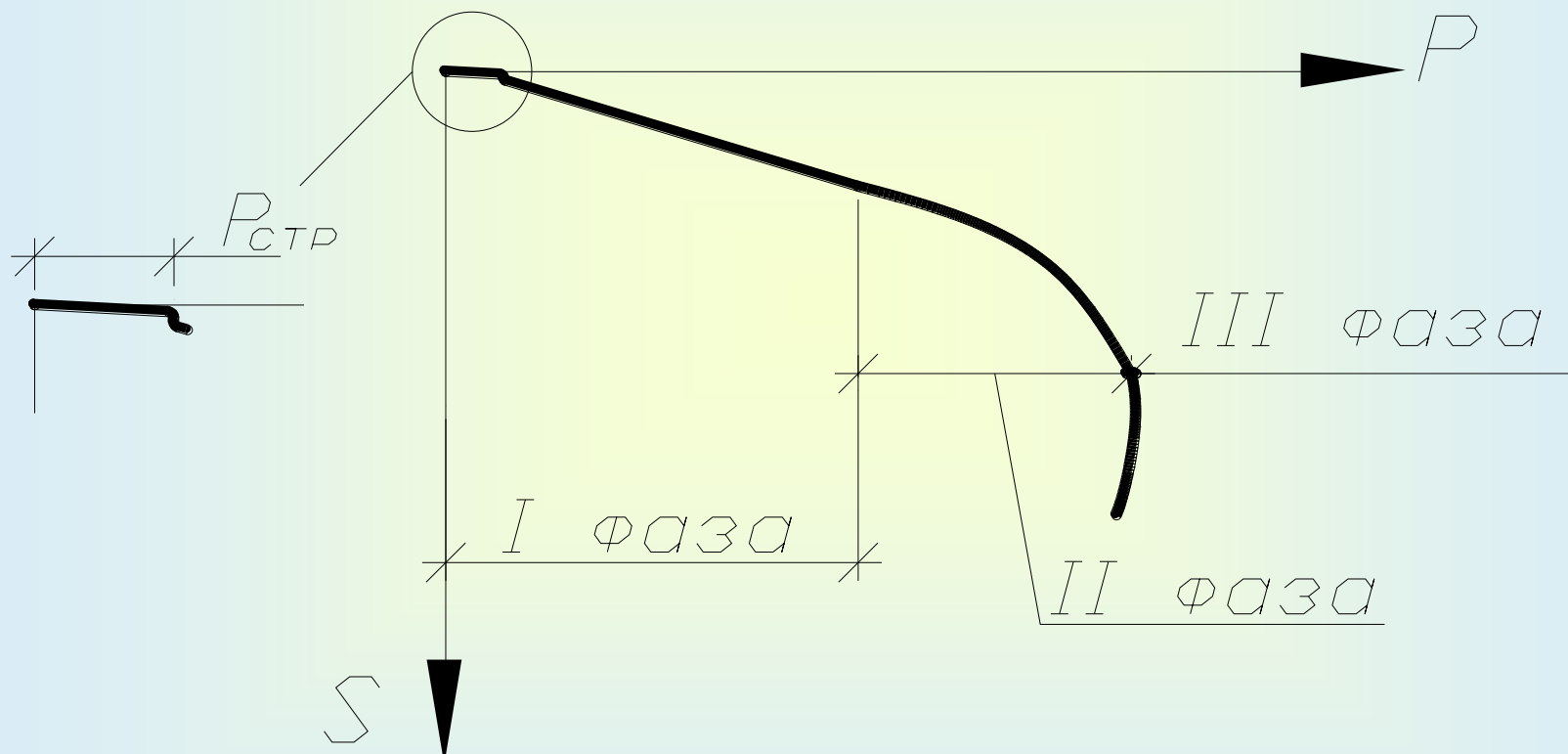


2)



3)

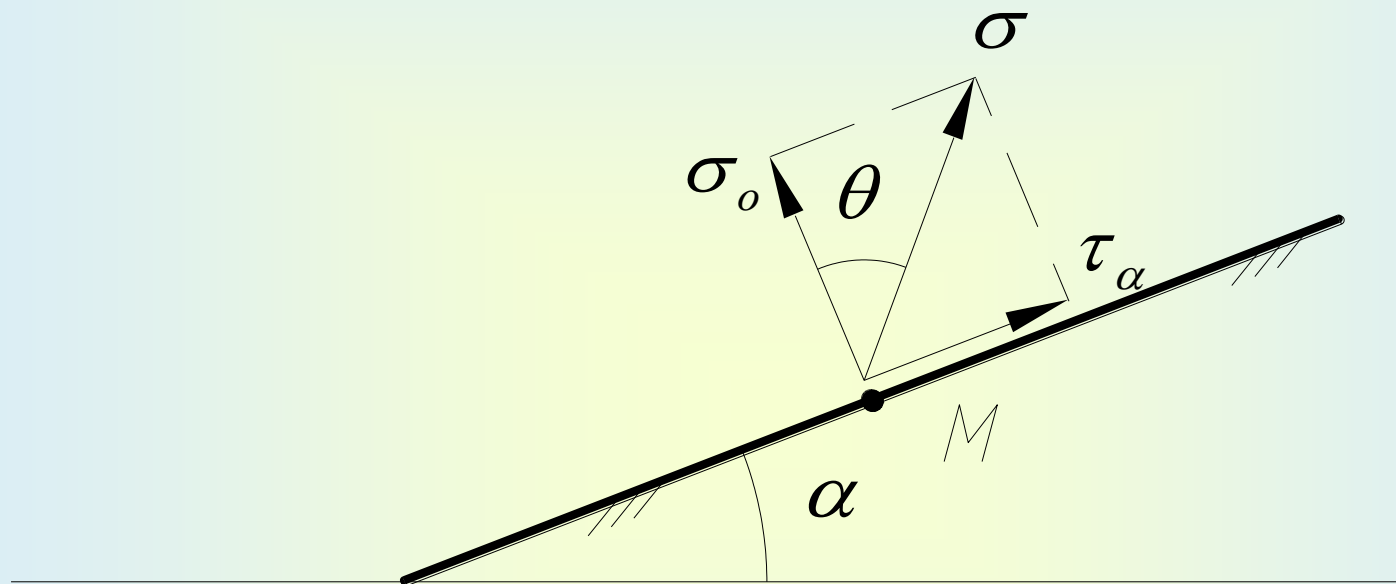




Условия

предельного напряженного состояния (равновесия)

грунтов



$$\sigma_o = \sigma_\alpha + P_e,$$

где σ_o – общие нормальные напряжения в точке (с учетом сил связности);

σ_α – нормальные напряжения без учета сил связности;

P_e – силы связности;

τ_α – касательные напряжения

общая запись условия предельного равновесия

$$\tau_{\alpha} = f \cdot (\sigma_{\alpha} + P_e),$$

где f – коэффициент внутреннего трения

$$f = \operatorname{tg} \varphi$$

Уравнения равновесия:

для сыпучих грунтов

$$\tau \leq \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

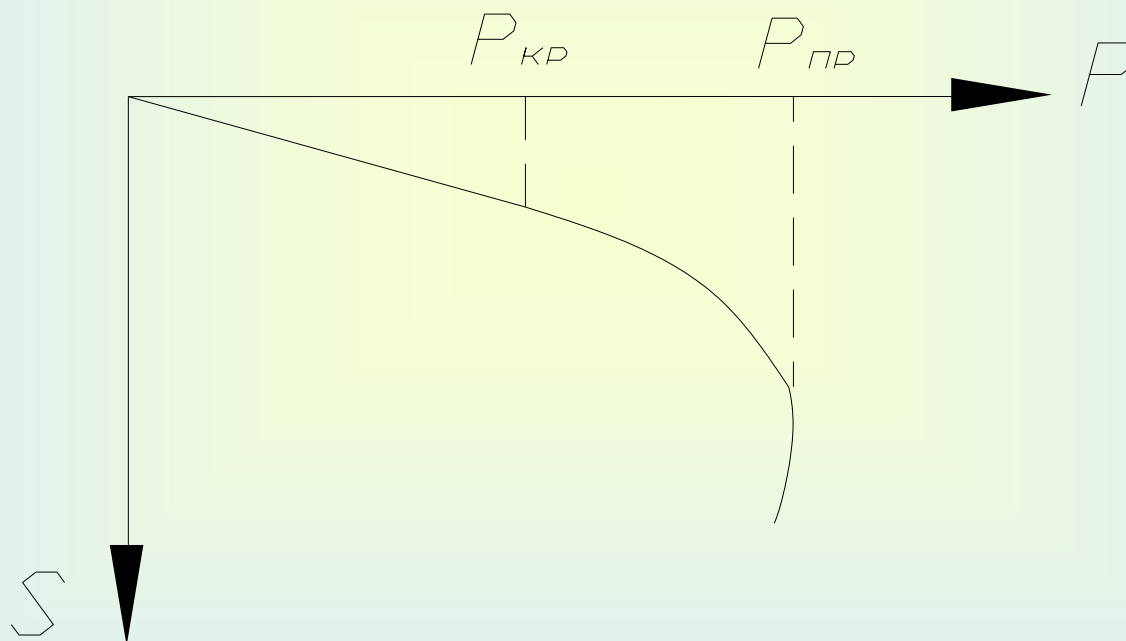
$$\sin \varphi \leq \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2}$$

для связных грунтов

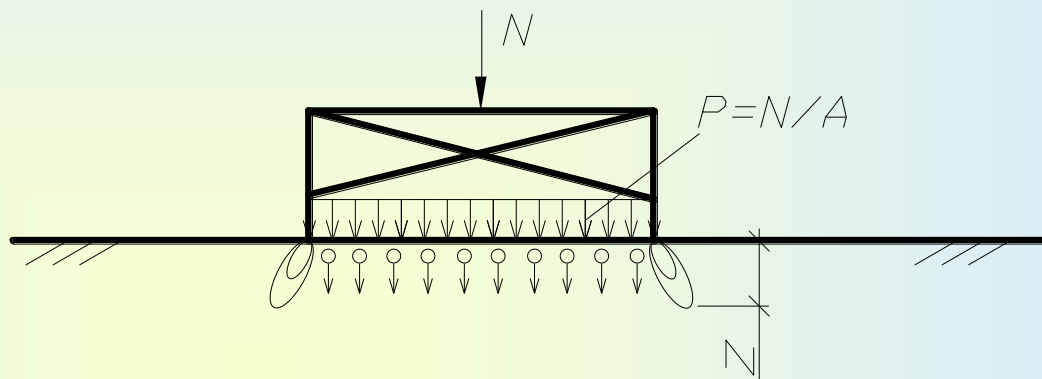
$$\tau \leq \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c,$$

$$\sin \varphi \leq \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2 + 2P_e}$$

Критическая и предельная нагрузки (давления)
на основание



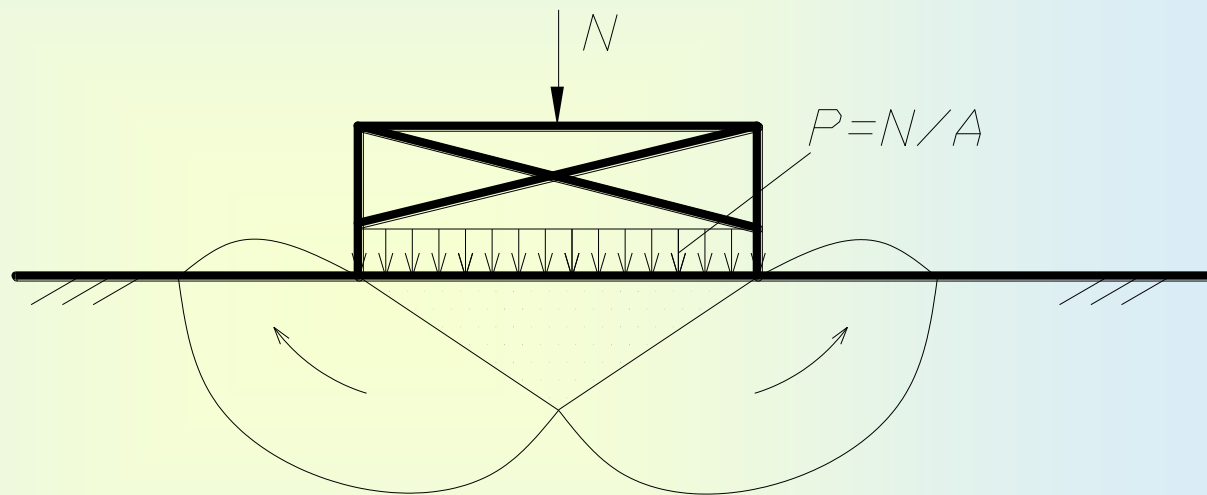
$P_{кр}$
при $z \rightarrow 0$



$P_{кр}$ – критическая нагрузка на основание, соответствует окончанию фазы уплотнения и началу возникновения зон сдвигов в грунте ($z \rightarrow 0$).

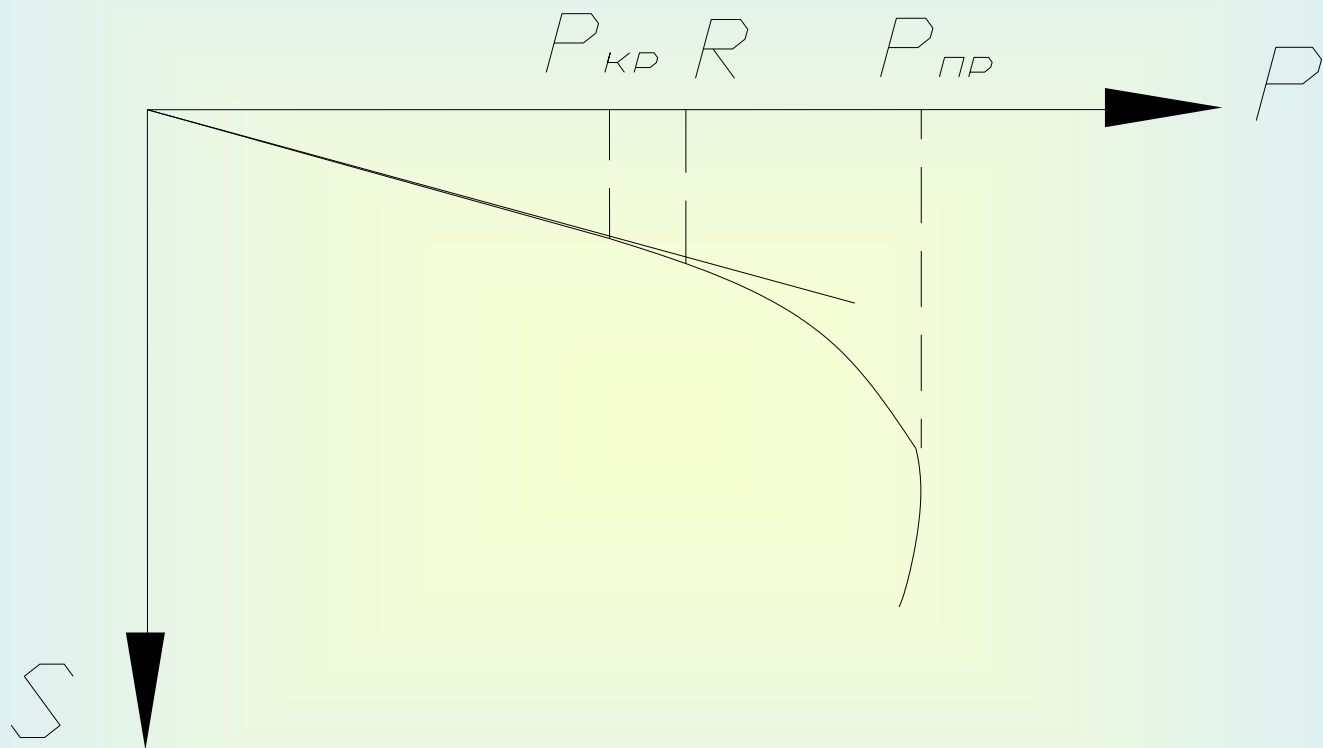
На графике – граница I и II фаз.

P_{np}

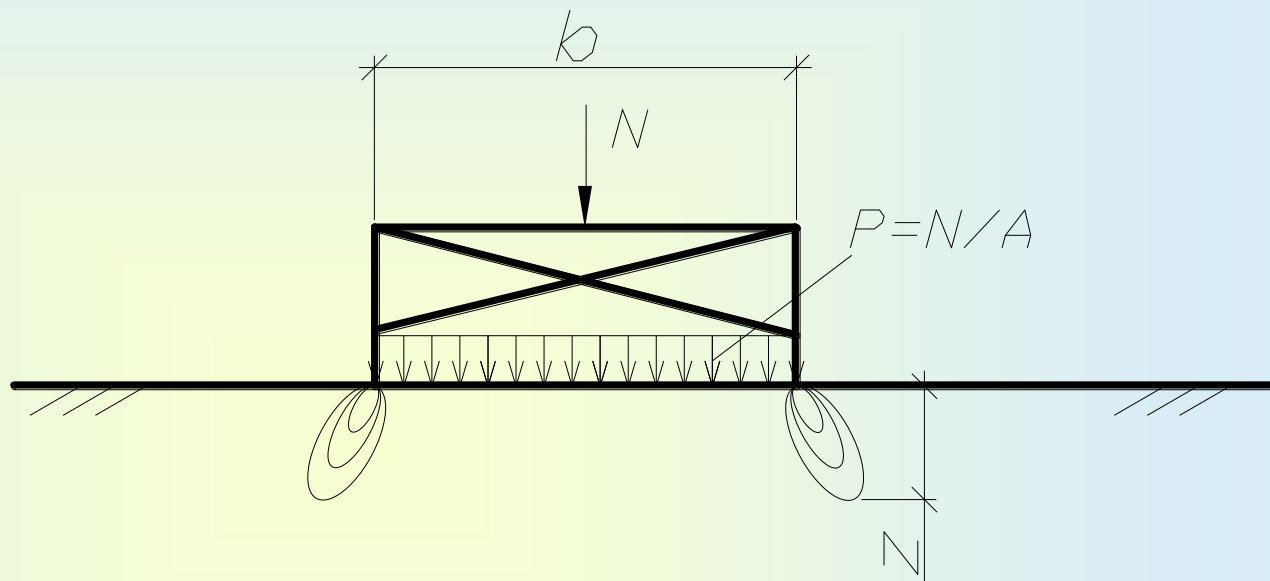


$R_{пр}$ – предельная нагрузка на основание, при которой развиваются зоны пластических деформаций под всей площадью загрузки, полностью исчерпывается несущая способность грунта и происходит разрушение грунта.

На графике – граница II и III фаз (деформации могут увеличиваться без приложения дополнительной нагрузки).



R
npu $z=0,25b$



Для практических целей расчета допускается развитие зон пластических деформаций на максимально возможную глубину

$$z = z_{max} = 0,25 \cdot b,$$

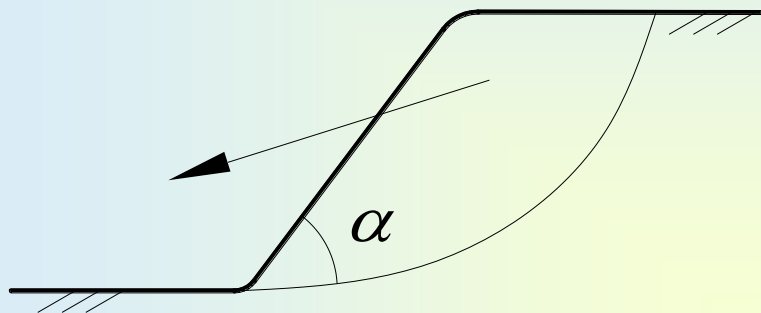
и при этих условиях получена величина R (расчетное сопротивление грунта).

Понятие об устойчивости откосов

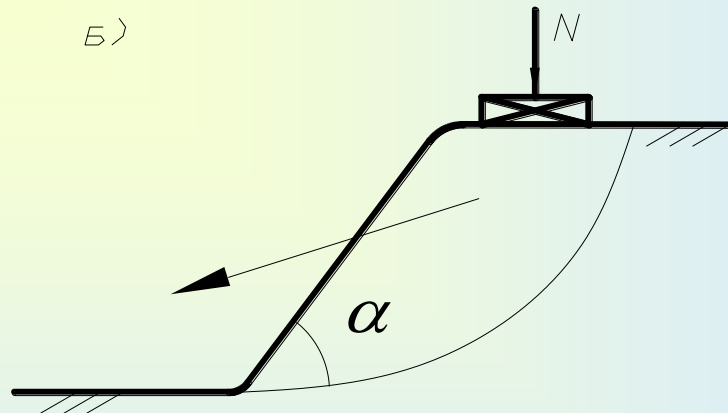
Основной причиной нарушения устойчивости откоса является достижение грунтом предельного равновесия и его превышение.

Нарушение равновесия сопровождается движением больших масс грунта и происходит внезапно.

a)



б)



Устойчивость откоса будет обеспечена при назначении такого угла α , при котором не произойдет нарушения его равновесия от внешних нагрузок и собственного веса грунта.

Меры по увеличению устойчивости откоса:

- упрочивание откоса;*
- осушение грунтов откоса;*
- закрепление грунтов в откосе;*
- поддержание откоса подпорной стенкой.*

**Давление грунта
на подпорные стенки
(ограждающие конструкции)**

Определение давлений грунта на ограждающие конструкции производится на базе теории предельного напряженного состояния.

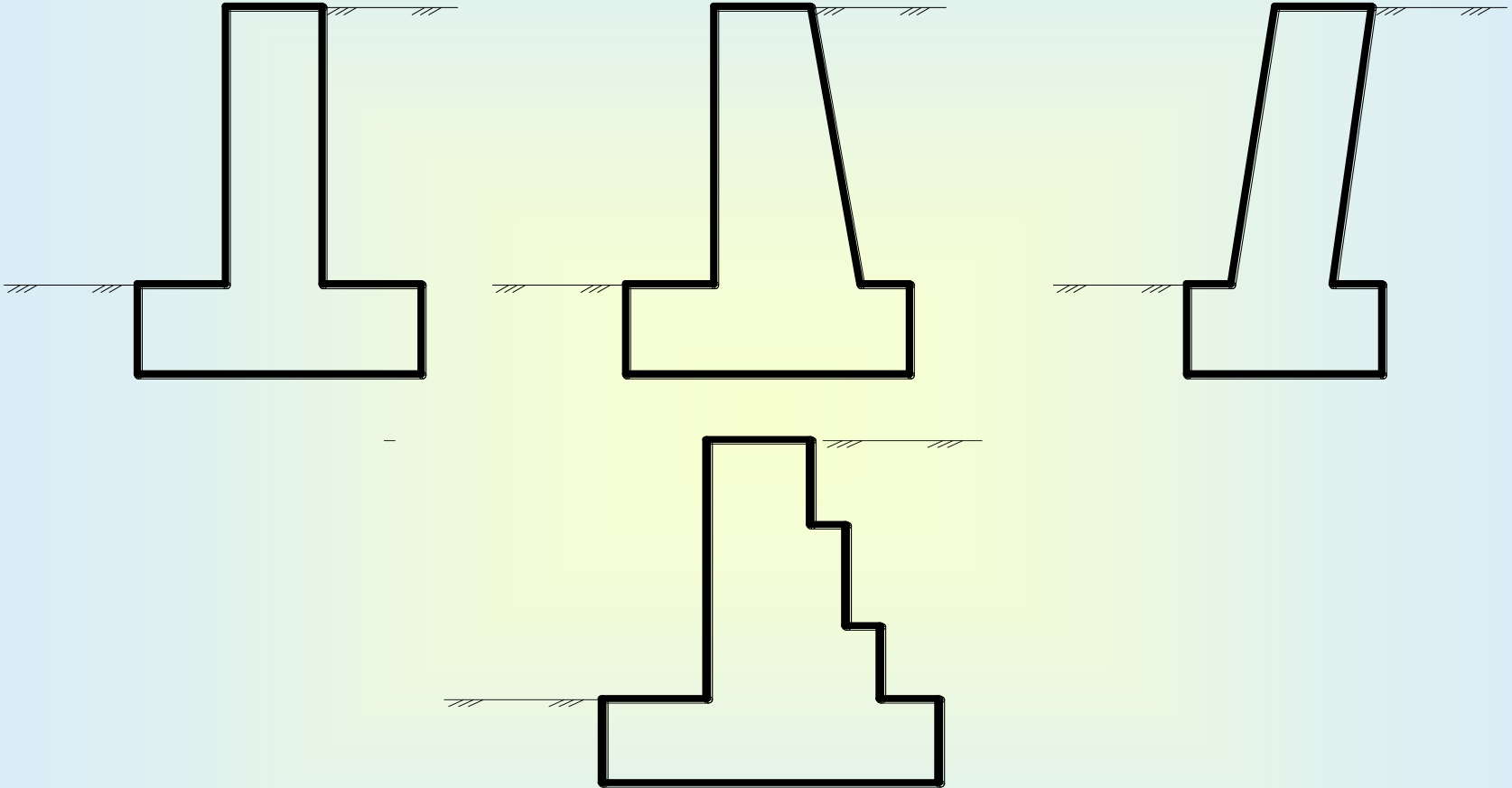
Если крутизна откоса более предельной, то для его удержания применяются подпорные сооружения (подпорные стенки – ПС).

Подпорные стены различают:

— массивные;

— тонкостенные.

Массивные подпорные стены

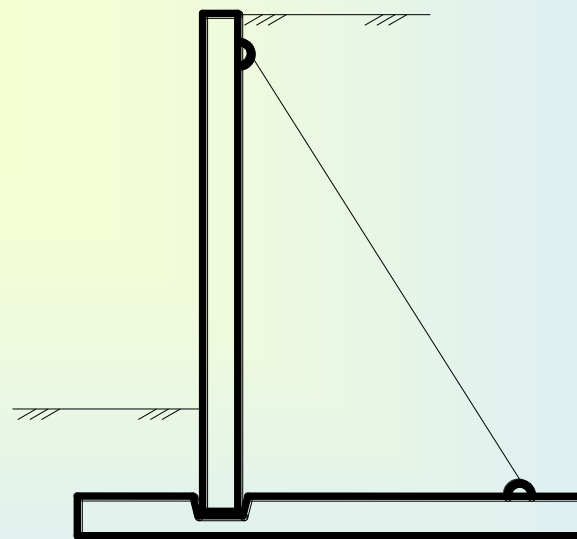
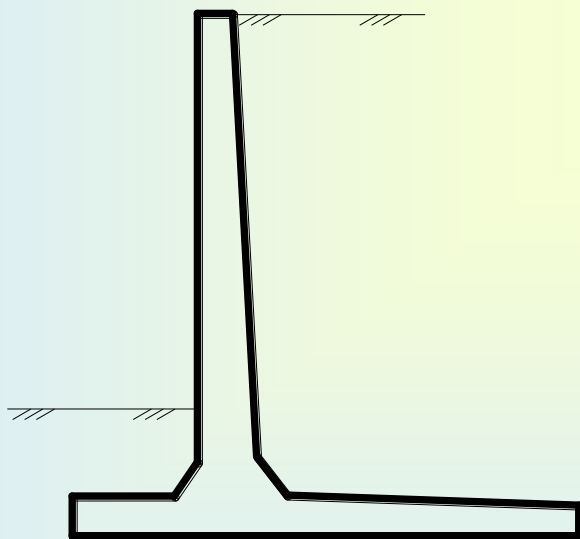


Устойчивость на сдвиг и опрокидывание массивных стен обеспечивается их собственным весом.

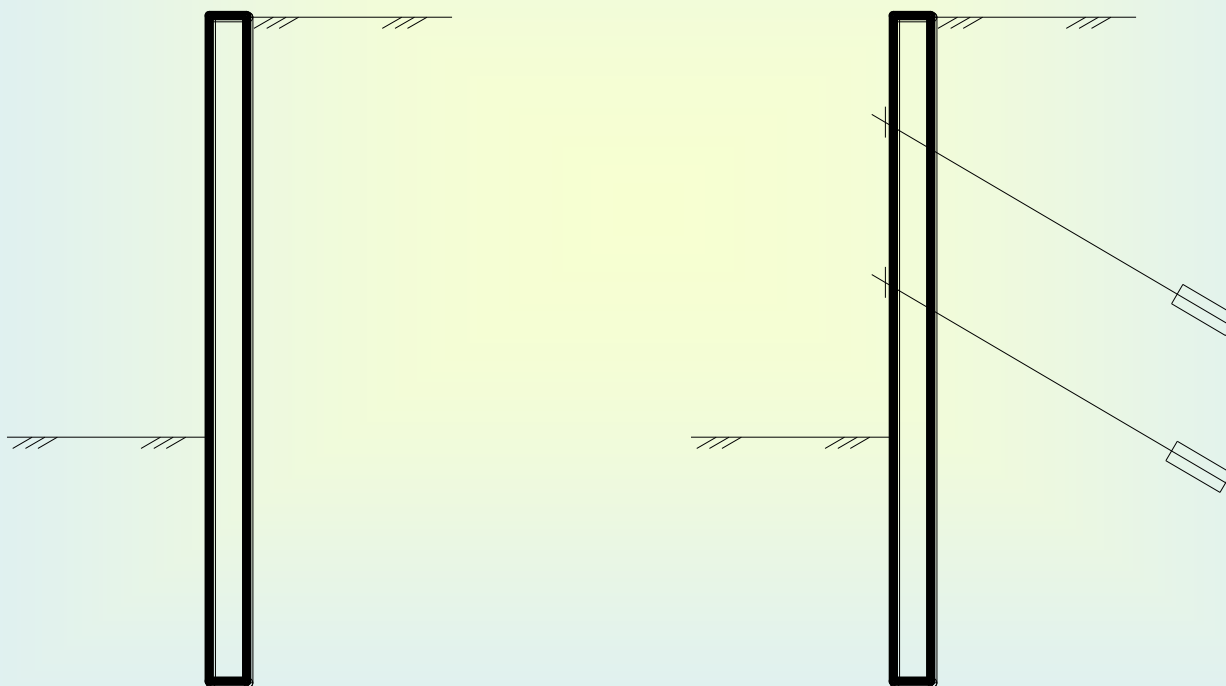
Тонкостенные подпорные стены

Устойчивость тонкостенных стен обеспечивается собственным весом стены и грунта, вовлекаемого ею в работу, либо их защемлением в грунте.

*Тонкостенные
(традиционные)*

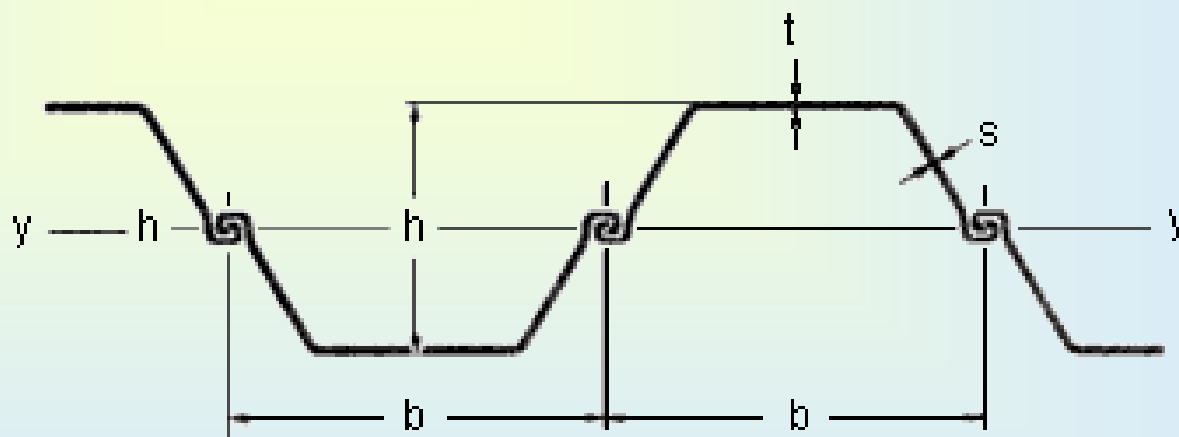


*Тонкостенные
(заземленные)*





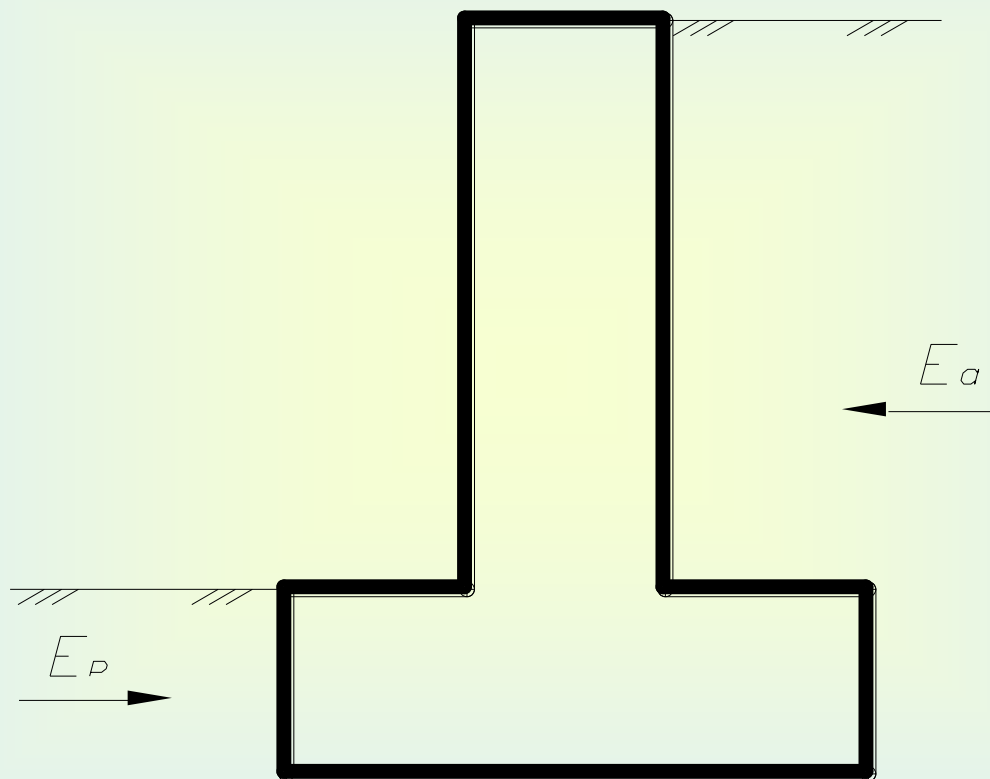
шпунтовые ограждения



Различают активное и пассивное давление грунта на подпорные стены.

Активное – это давление грунта на стену, реализуемое в направлении ее возможного смещения, действует со стороны грунта засыпки.

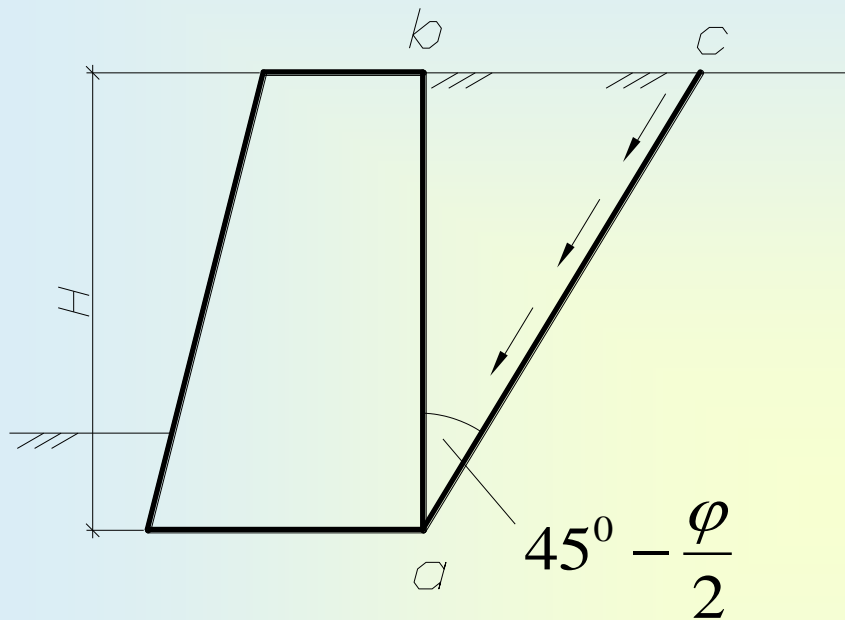
Пассивное – это давление грунта на стену в направлении противоположном ее возможному смещению (пассивный отпор).



Определение
активного давления грунта

*Допущения,
принятые для определения активного давления грунта*

- 1. Поверхность скольжения грунта плоская.*
- 2. Из всех возможных поверхностей скольжения, выбирается та, при которой давление грунта на подпорную стену будет максимальным.*
- 3. Грунт рассматривается однородным.*
- 4. Трение грунта о стенку отсутствует.*



*abc – призма обрушения
грунта*

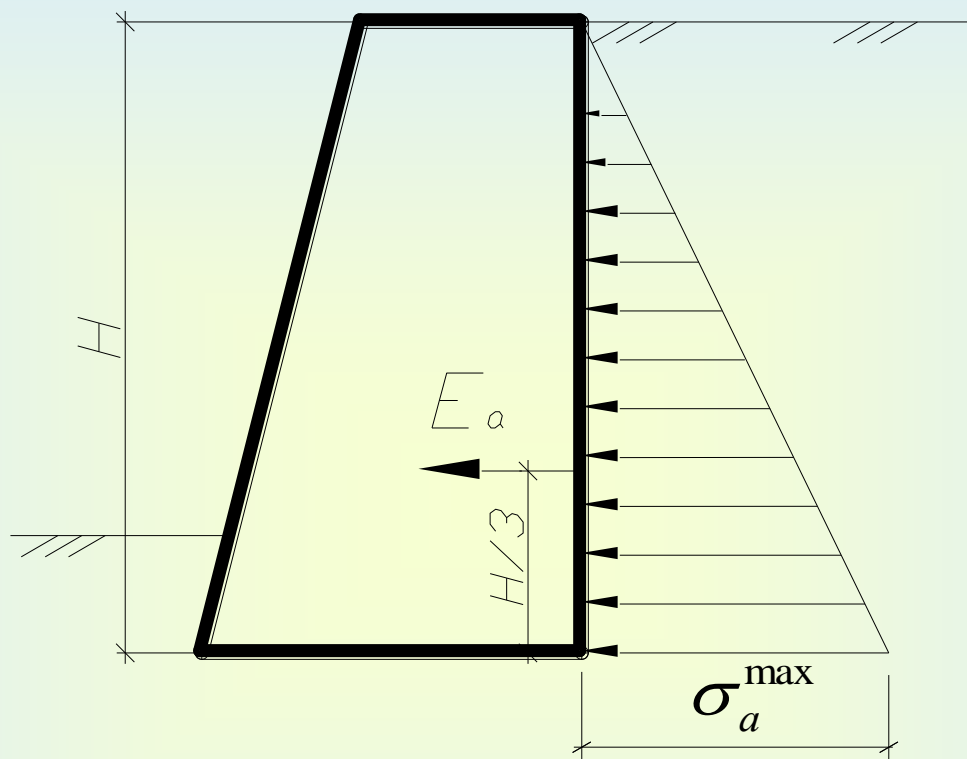
*ac – прямолинейная
поверхность
скольжения*

для сыпучих грунтов

$$\sigma_a = \gamma \cdot z \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right),$$

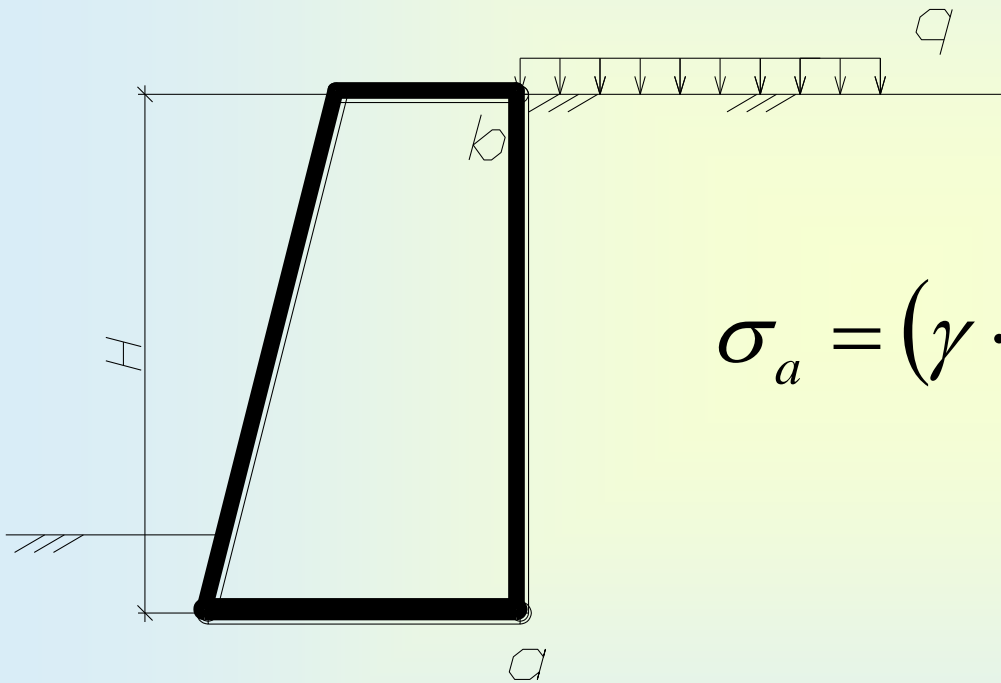
$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \text{ — коэффициент}$$

активного давления



$$E_a = \frac{1}{2} \cdot \sigma_a^{\max} \cdot H$$

*на поверхности грунта засыпки действует пригрузка
интенсивностью q .*



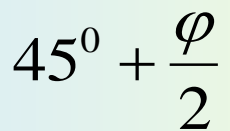
$$\sigma_a = (\gamma \cdot z + q) \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

грунт засыпки связный

$$\sigma_a = \gamma \cdot z \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - 2c \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right),$$

$$h_c = \frac{2c}{\gamma \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}$$

Определение
пассивного давления грунта



$a_1 c_1$ – **прямолинейная**
поверхность
скольжения

для сыпучих грунтов

$$\sigma_p = \gamma \cdot z \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right),$$

$$\lambda_p = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \text{ — коэффициент}$$

пассивного давления

для связных грунтов

$$\sigma_p = \gamma \cdot z \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) + 2c \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

**Деформации грунтов
и методы определения осадок**

Виды деформаций оснований

1. Осадка – деформации, происходящие в результате уплотнения грунта под воздействием внешних нагрузок без коренного изменения структуры грунта.

2. Просадка – деформации, происходящие в результате уплотнения грунта под воздействием внешних нагрузок и собственного веса грунта с коренным изменением структуры грунта.

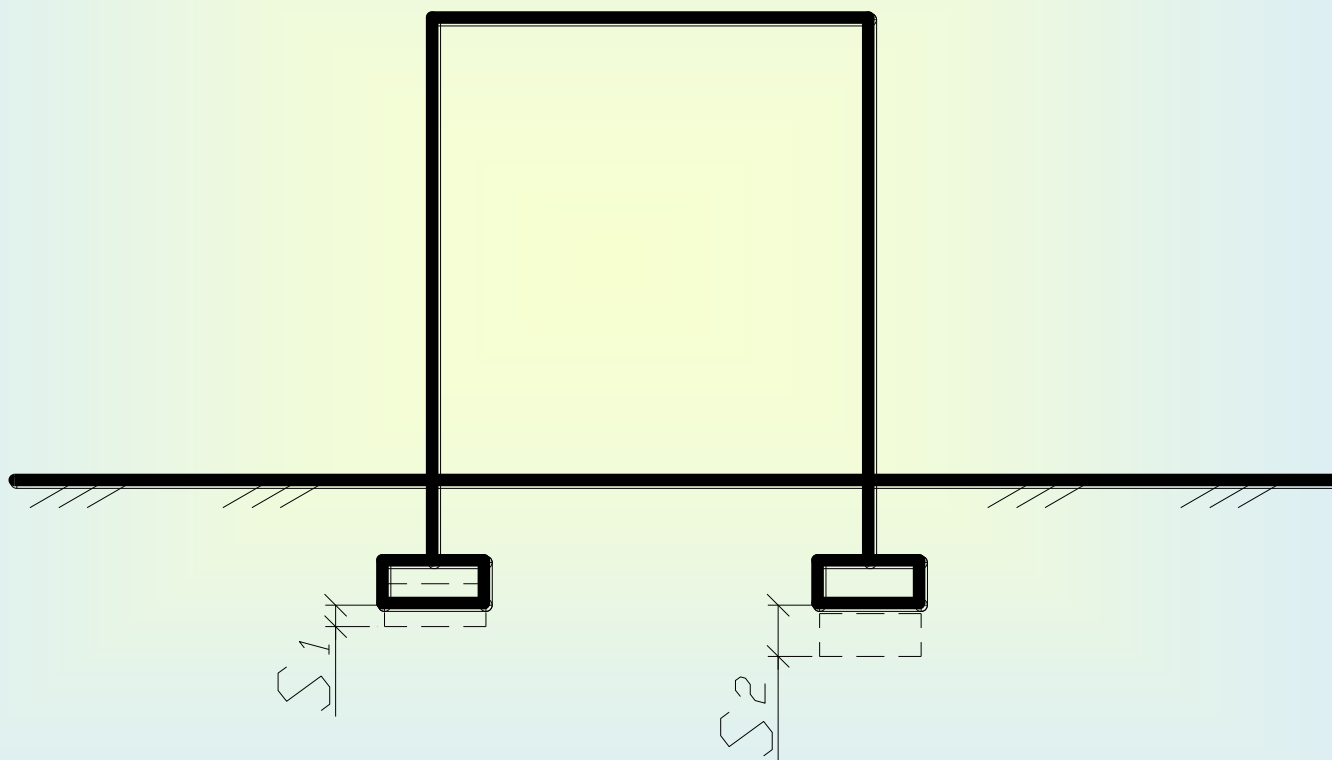
3. Подъем и усадка – деформации, связанные с изменением объема некоторых видов грунтов при изменении их влажности или температуры.

4. Оседание – деформации, вызванные разработкой полезных ископаемых, изменением гидрогеологических условий.

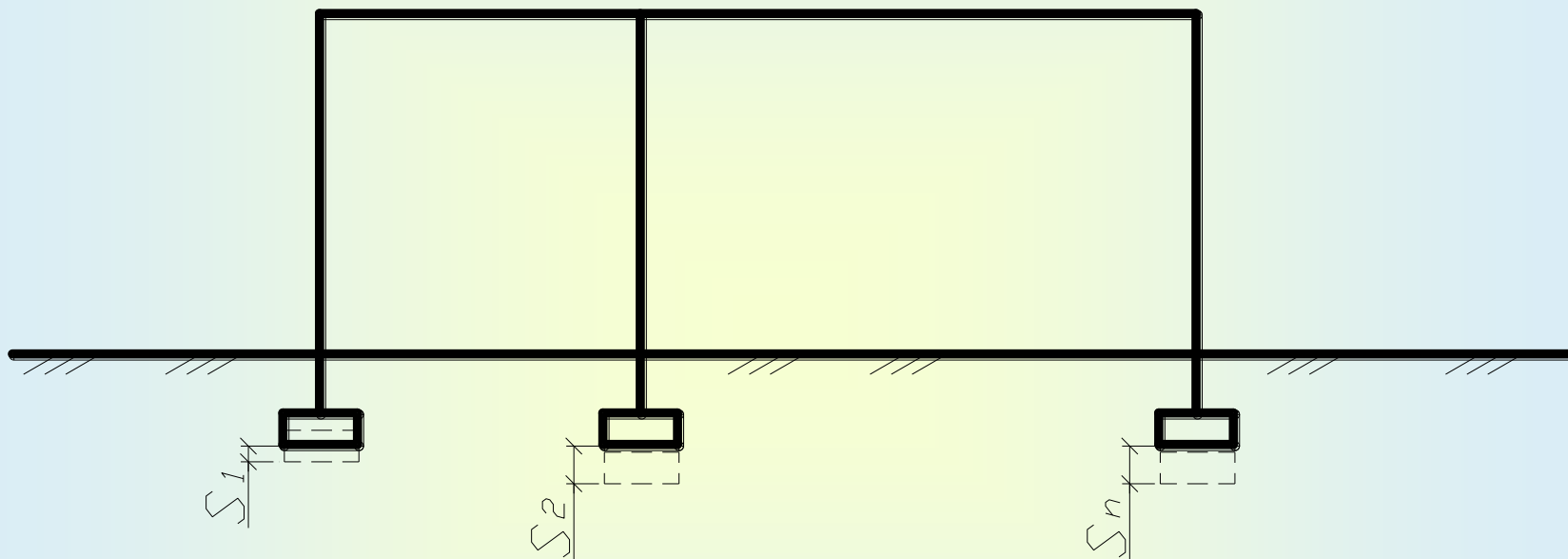
5. Горизонтальное перемещение – деформации, связанные с действием горизонтальных нагрузок на основание.

Виды совместных деформаций
основания и сооружения
(расчетные деформации)

1. Абсолютная осадка (подъем) основания отдельного фундамента, S , см.

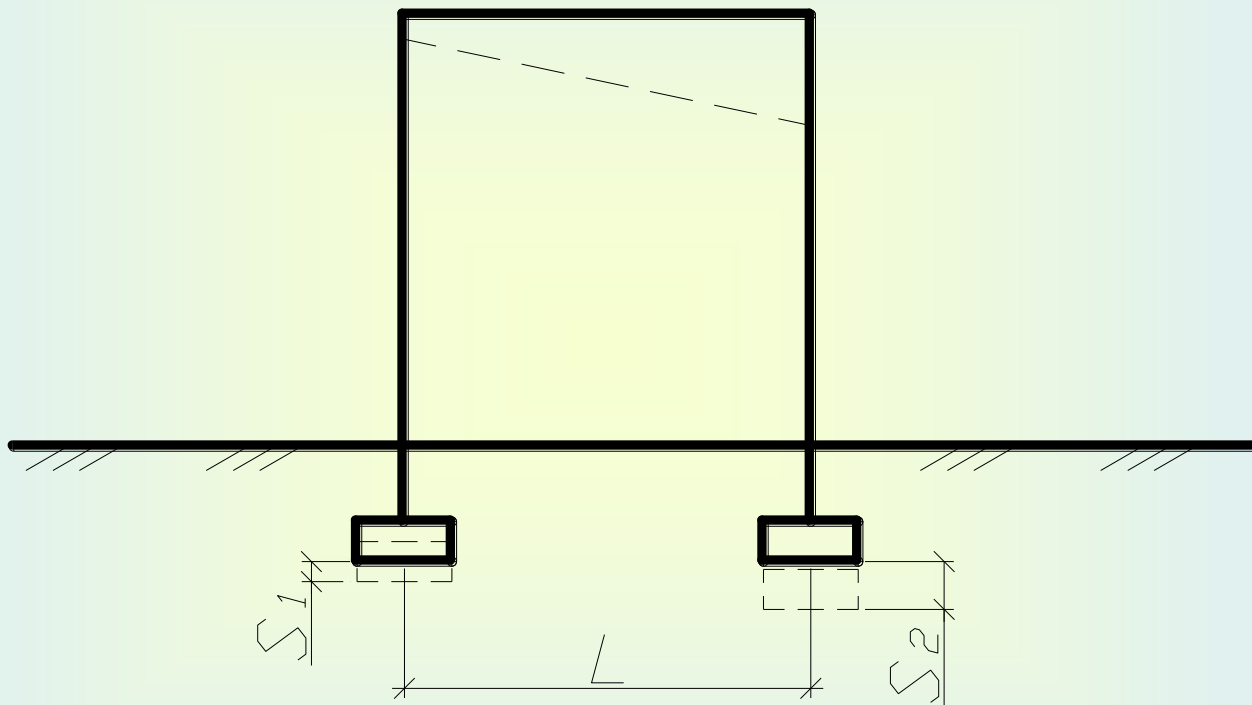


2. Средняя осадка основания сооружения.



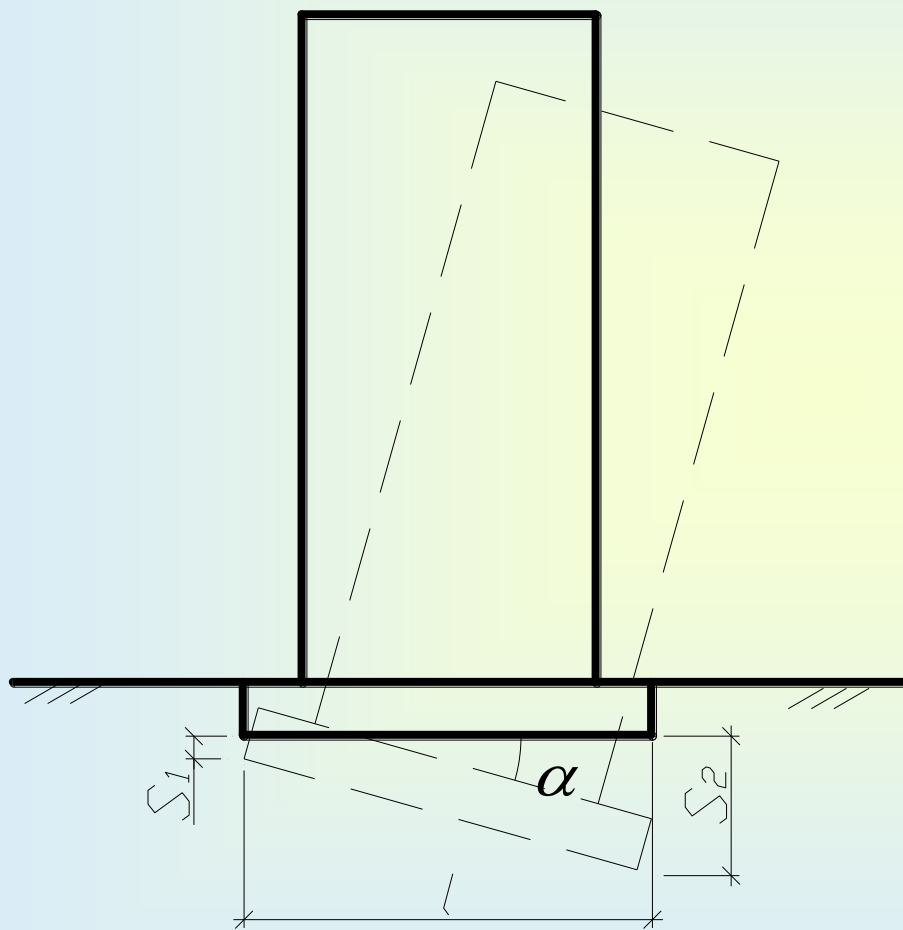
$$\bar{S} = \frac{S_1 \cdot A_1 + S_2 \cdot A_2 + \dots + S_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

3. Относительная разность осадок (подъемов) двух фундаментов.



$$\frac{\Delta S}{l} = \frac{|S_i| - |S_{i-1}|}{L}$$

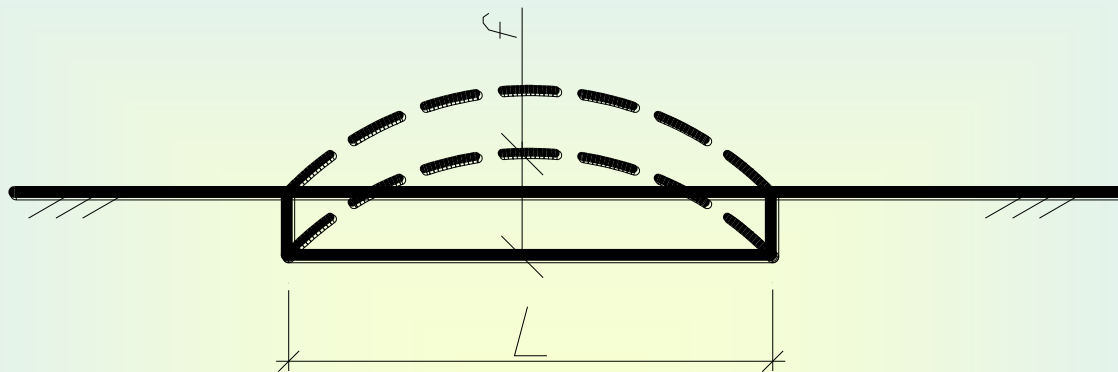
4. Крен фундамента (сооружения).



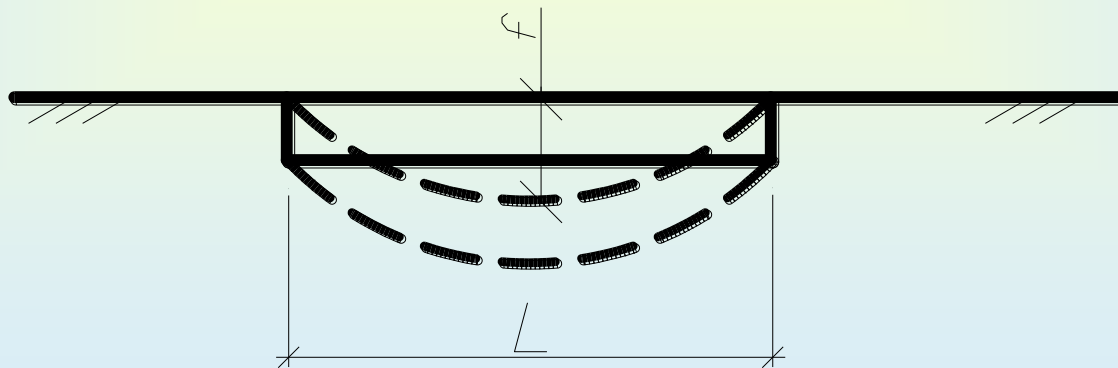
$$i = \operatorname{tg} \alpha = \frac{|S_1 - S_2|}{l}$$

5. Относительный прогиб или выгиб (f/l).

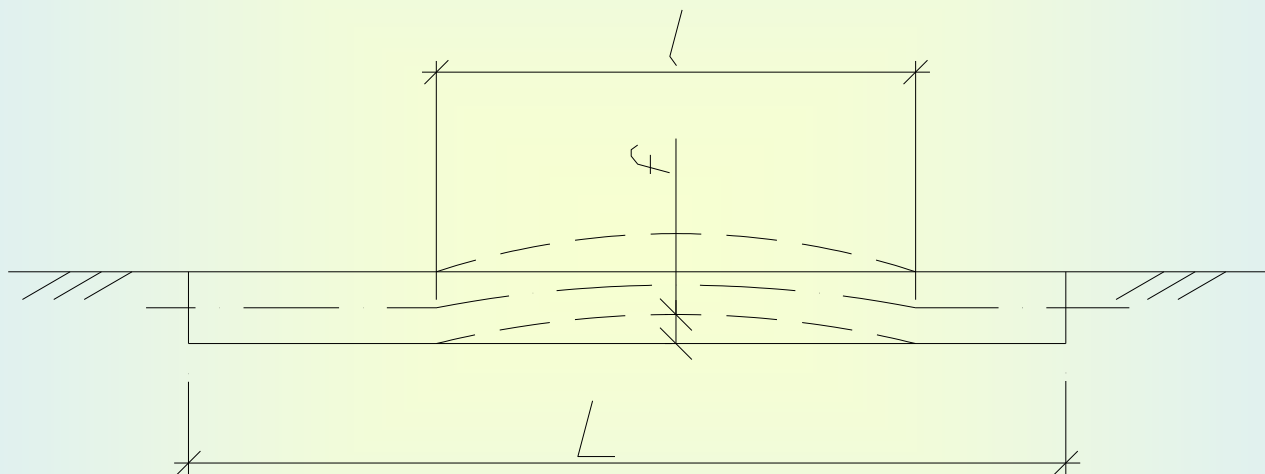
выгиб



прогиб

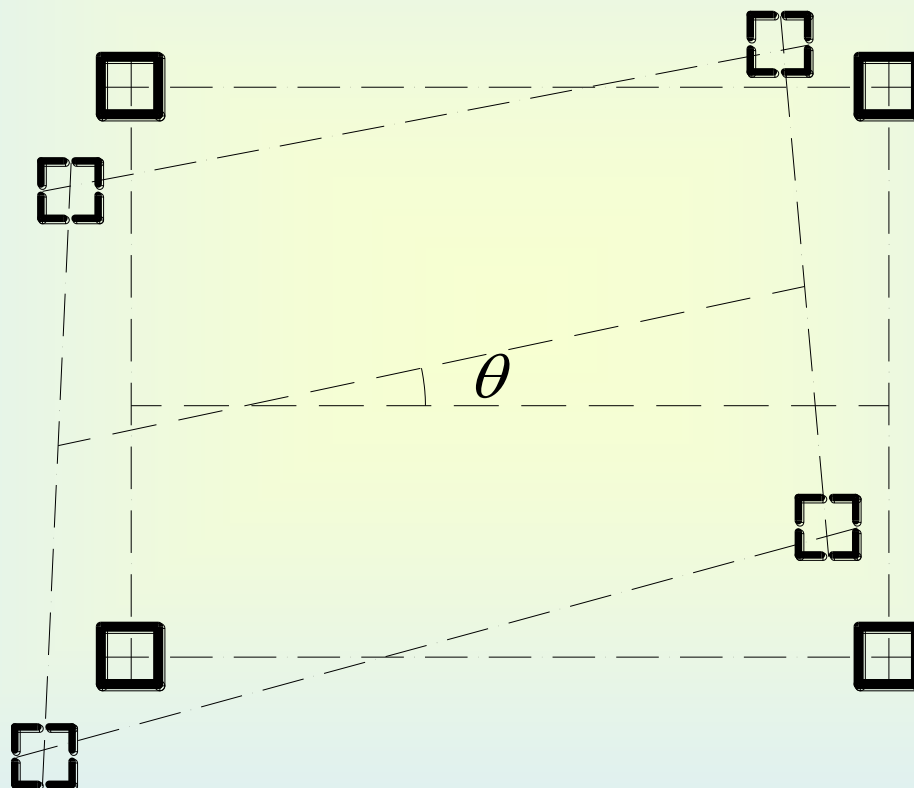


6. Кривизна изгибаемого участка (ρ).



$$\rho = \frac{f}{l}$$

7. Относительный угол закручивания сооружения (θ).



8. Горизонтальное смещение (u).

