

**Государственный университет морского и речного  
флота имени адмирала С.О. Макарова**

**КАФЕДРА ПОРТОВ, СТРОИТЕЛЬНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА, ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ**

**ЛЕКЦИЯ № 4**

# **Распределение напряжений в массиве грунта**

**по дисциплине: «Механика грунтов»**

**Специальность 270104.65 «Гидротехническое строительство»**

**Санкт-Петербург  
2013**

## **УЧЕБНЫЕ ВОПРОСЫ:**

1. Определение напряжений в грунтах.
2. Построение эпюры напряжений от собственного веса грунта.

## Литература

### Основная:

1. Кириллов В.М. Механика грунтов. Учебное пособие. СПб.: СПГУВК.2006.
2. Далматов Б.И., Бронин В.Н., Карлов В.Д. и др. Механика грунтов. Часть 1, Основы геотехники. М.,СПб.:изд.АСВ,2000.-201с.
3. Шишлов С.Б., Кириллов В.М. Инженерная геология и свойства грунтов. СПб.:СПГУВК,2005.-172с.

### Дополнительная:

- 1.Ухов С.Б., Семенов В.В., Знаменский В.В. Механика грунтов, основания и фундаменты. Учебное пособие. 4-е изд. М.: Высшая школа,2007.-566с.

# 1. Определение напряжений в грунтах

В теории линейно-деформируемых тел приняты следующие основные положения:

1. Грунт состоит обычно из трёх компонентов: минерального скелета, воды и воздуха, однако возможно его рассматривать как квазисплошное тело, то есть тело, имеющее свойства сплошного однородного тела, в котором трещины и пустоты отсутствуют. Грунт можно рассматривать как тело изотропное, обладающее одинаковыми деформационными свойствами в разных направлениях.

2. Для грунта характерно наличие остаточных деформаций. При полном снятии нагрузки все деформации не исчезают, а упругие (то есть восстанавливающиеся) бывают часто значительно менее неупругих (остаточных) деформаций. Поэтому в теории линейно-деформируемых тел рассматривается только процесс нагрузки, а процесс разгрузки, если в том есть необходимость, рассматривается особо.

3. Считается, что нагрузки на грунт не вызывают его разрушения и далеки от предельных, поэтому в грунтовом массиве не возникает трещин, разрывов, срезов и т.д., то есть не нарушается "квазисплошность".

4. Связь между полными напряжениями и общими деформациями принимается линейной. Таким образом считается справедливым закон Гука, связывающий напряжения и деформации. Деформации считаются малыми.

На грунт, как линейно-деформируемое тело, влияет ряд факторов, создающих напряжение в грунте:

- инженерно-геологические и гидрологические условия площадки;
- физико-механические свойства грунтов;
- характер режима нагружения фундамента;
- размеры, форма и жёсткость фундамента;
- глубина заложения фундамента;
- время действия нагрузки.

В грунте постоянно происходят различного рода перемещения:

- смещение частиц и их агрегатов в сторону заполнения пор;
- выдавливание воды и воздуха из пор;
- частичная поломка частиц и связей между ними, сопровождающаяся возникновением новых контактов;
- пружинистые деформации частиц пластинчатой, чешуйчатой, игольчатой формы:
- сжатие, защемление пузырьков газа, заключённых в закрытых порах грунта;
- расплющивание гидратных оболочек плёнок связной воды вокруг грунтовых частиц

# Распределение напряжений

Распределение напряжений в основании зависит от формы фундамента в плане. В строительстве наибольшее распространение получили ленточные, прямоугольные и круглые фундаменты. Таким образом, основное практическое значение имеет расчет напряжений для случаев плоской, пространственной и осесимметричной задач.

# Напряжения от вертикальной сосредоточенной нагрузки

Пусть рассматривается отдельный малозаглубленный фундамент и нужно определить напряжение  $\sigma_z$  в т.  $M$ , причем  $l > b$  (рис. а). Действие фундамента на грунт можно заменить сосредоточенной силой  $F_v$ , приложенной в центре подошвы (рис. б). Для этой задачи получено решение, дающее формулы для всех компонентов напряжений (Буссинеск)

Например, для напряжения  $\sigma_z$ :

$$\sigma_z = k \frac{F_v}{z^2},$$

где  $k$  - коэффициент, значения которого приведены в табл. 1.

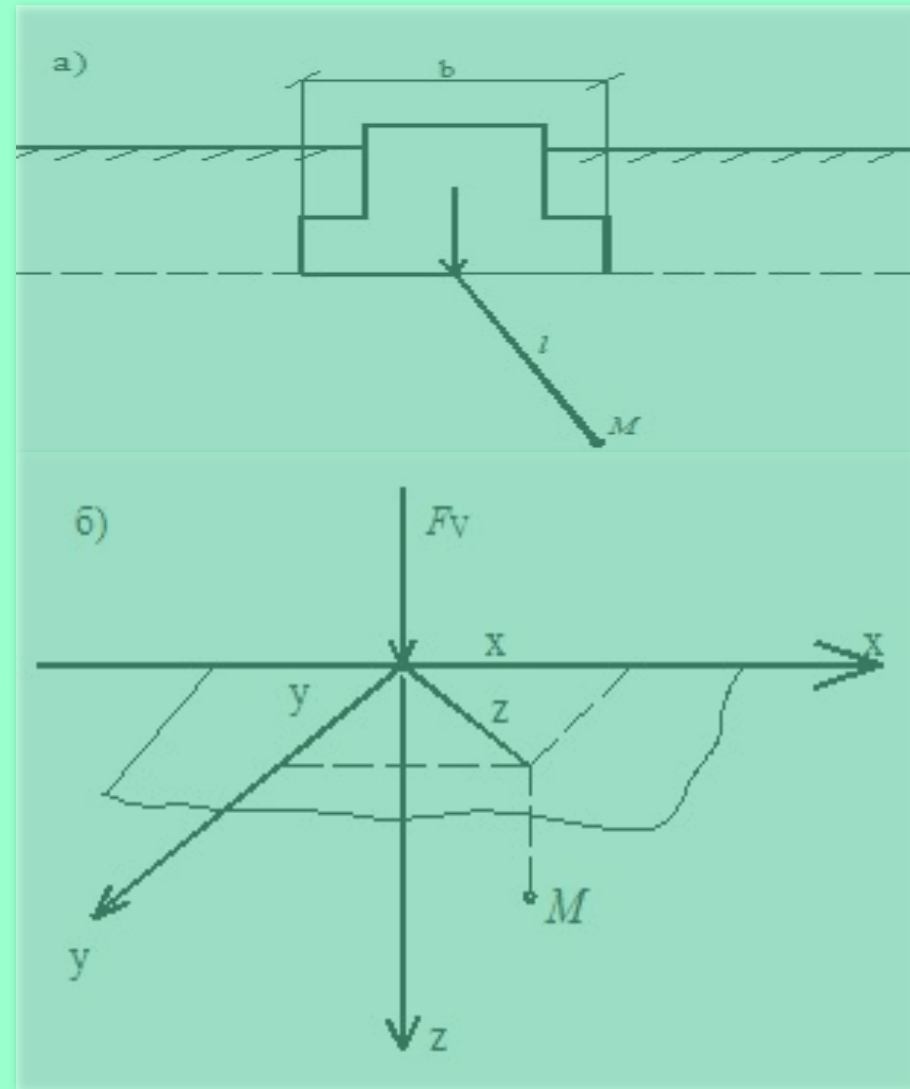
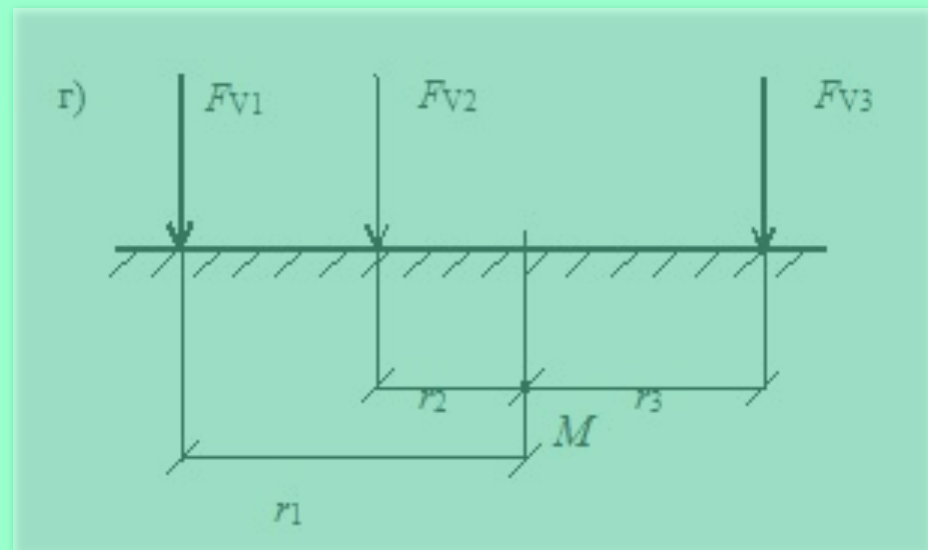


Таблица 1 –Значения коэффициента

| $r/z$ | $\kappa$ | $r/z$ | $\kappa$ | $r/z$ | $\kappa$ |
|-------|----------|-------|----------|-------|----------|
| 0     | 0,48     | 0,6   | 0,22     | 1,5   | 0,025    |
| 0,1   | 0,46     | 0,7   | 0,18     | 1,8   | 0,02     |
| 0,2   | 0,43     | 0,8   | 0,14     | 2,0   | 0,009    |
| 0,3   | 0,38     | 0,9   | 0,11     | 2,5   | 0,003    |
| 0,4   | 0,33     | 1,0   | 0,08     | 3,0   | 0,0015   |
| 0,5   | 0,27     | 1,25  | 0,04     | 4,0   | 0,0004   |

Если необходимо определить напряжение от группы сосредоточенных сил, рассчитываются и суммируются напряжения от каждой силы (принцип суперпозиции):

$$\sigma_z = \frac{1}{Z^2} \sum_{i=1}^n \kappa_i F_{vi}$$



# Напряжения от нагрузки, равномерно распределенной на прямоугольной площадке

Пусть нагрузка  $p$  распределена на площадке с размерами  $b$  и  $l$ . Тогда напряжения в любой точке основания можно определить аналогично предыдущей формуле, приняв элементарную вертикальную нагрузку в виде  $dF = p \cdot dx \cdot dy$  и заменив суммирование интегрированием по площади. В итоге напряжение определяется по простой формуле:

$$\sigma_z = \alpha p,$$

где  $\alpha$  – коэффициент рассеяния напряжений с глубиной, зависящий от положения рассматриваемой точки и формы загруженной площадки.

Например, для точки на вертикали под центром площадки  $\alpha$  есть функция двух безразмерных параметров

$$\eta = l/b \text{ и } \xi = 2z/b$$

(табл. 2)

| Таблица 2 - Значение углов |       |                                                               |       |       |       |       |       |                      |
|----------------------------|-------|---------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|
| $2z/b$                     | Круг  | Значения $\alpha$ для прямоугольной площадки при $\eta = l/b$ |       |       |       |       |       |                      |
|                            |       | 1,0                                                           | 1,4   | 1,8   | 2,4   | 3,2   | 5     | Полоса<br>$l/b > 10$ |
| 0                          | 1,000 | 1,000                                                         | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000                |
| 0,4                        | 0,949 | 0,960                                                         | 0,972 | 0,975 | 0,976 | 0,977 | 0,977 | 0,977                |
| 0,8                        | 0,756 | 0,800                                                         | 0,848 | 0,866 | 0,876 | 0,879 | 0,881 | 0,881                |
| 1,2                        | 0,547 | 0,606                                                         | 0,682 | 0,717 | 0,739 | 0,749 | 0,754 | 0,755                |
| 1,6                        | 0,390 | 0,449                                                         | 0,532 | 0,578 | 0,612 | 0,629 | 0,639 | 0,642                |
| 2,0                        | 0,285 | 0,336                                                         | 0,414 | 0,462 | 0,505 | 0,530 | 0,545 | 0,550                |
| 2,4                        | 0,214 | 0,257                                                         | 0,325 | 0,374 | 0,419 | 0,449 | 0,470 | 0,477                |
| 2,8                        | 0,165 | 0,201                                                         | 0,260 | 0,304 | 0,349 | 0,383 | 0,410 | 0,420                |
| 3,2                        | 0,130 | 0,160                                                         | 0,210 | 0,251 | 0,294 | 0,329 | 0,360 | 0,374                |
| 3,6                        | 0,106 | 0,131                                                         | 0,173 | 0,209 | 0,250 | 0,285 | 0,319 | 0,337                |

# Определение напряжений в массиве грунта от сосредоточенной силы (задача Буссинеска, 1985 г.)



Полупространство  $\infty$   
простилающееся вниз

Определить значения

вертикальных напряжений  $\sigma_z$  и  
касательных напряжений  $\tau_{zx}; \tau_{zy}$   
в точке M, расположенной на  
площадке параллельной плоскости  
ограничивающий массив.

$$\sigma_z = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{\pi} \cdot \frac{\cos \beta}{R^2}$$

$$\tau_{zy} = K \cdot \frac{P \cdot Y}{Z^3}$$

$$\tau_{zx} = K \cdot \frac{P \cdot X}{Z^3}$$

$$K = f\left(\frac{r}{Z}\right) \quad - \text{опред. по таблице}$$

# Напряжения от полосовой равномерно распределенной нагрузки

Грунт работает в условиях плоской задачи. При этом нормальное напряжение вдоль оси  $y$  постоянно, касательные в плоскости  $xz$  отсутствуют и напряженное состояние в осях  $xoz$  характеризуется:

$$\sigma_x, \sigma_z, \tau$$

Такое напряженное состояние возникает под ленточными фундаментами стен, насыпями земляного полотна и др. Расчетная схема приведена на рис.. Требуется определить напряжения в произвольной точке  $M$ .

Очевидно, что для этого случая можно также использовать формулу

$$\sigma_z = \alpha p,$$

принимая  $\alpha$  по последнему столбцу табл. 2.

Формулы для главных напряжений

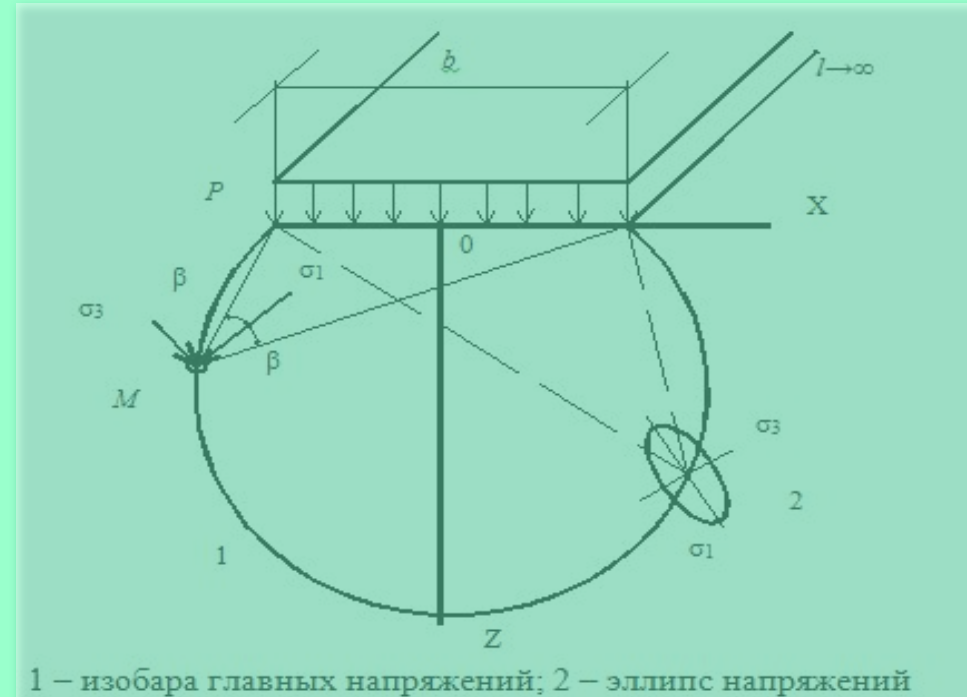
$$\sigma_1, \sigma_3$$

При этом в точках на осевой вертикали в силу симметрии будет  $\sigma_1 = \sigma_z$  и  $\sigma_3 = \sigma_x$ .

Главные напряжения равны:

$$\left. \begin{matrix} \sigma_1 \\ \sigma_3 \end{matrix} \right\} = \frac{p}{\pi} (2\beta \pm \sin 2\beta),$$

где  $2\beta$  – угол, под которым видны края полосы из т.  $M$  (угол видимости)



Из формулы очевиден вид изолиний главных напряжений: это окружности с центром на оси  $z$ , проходящие через точку  $M$  и края полосы. Во всех точках  $2\beta = \text{const}$ , поскольку угол опирается на одну и ту же хорду – загруженную полосу шириной  $b$ . Напряженное состояние в любой точке удобно характеризовать эллипсом напряжений (см.рис.)

## 2. Построение эпюры напряжений от собственного веса грунта

Вертикальные напряжения от собственного веса грунта называют бытовыми давлениями, а график их изменения по глубине – эпюрой бытовых давлений. Напряжения от собственного веса грунта определяются на основании следующих упрощающих гипотез:

1) напряженным состоянием грунта при действии его собственного веса является осесимметричное компрессионное сжатие;

2) вертикальные напряжения в грунте определяются суммированием напряжений от веса элементарных слоев грунта;

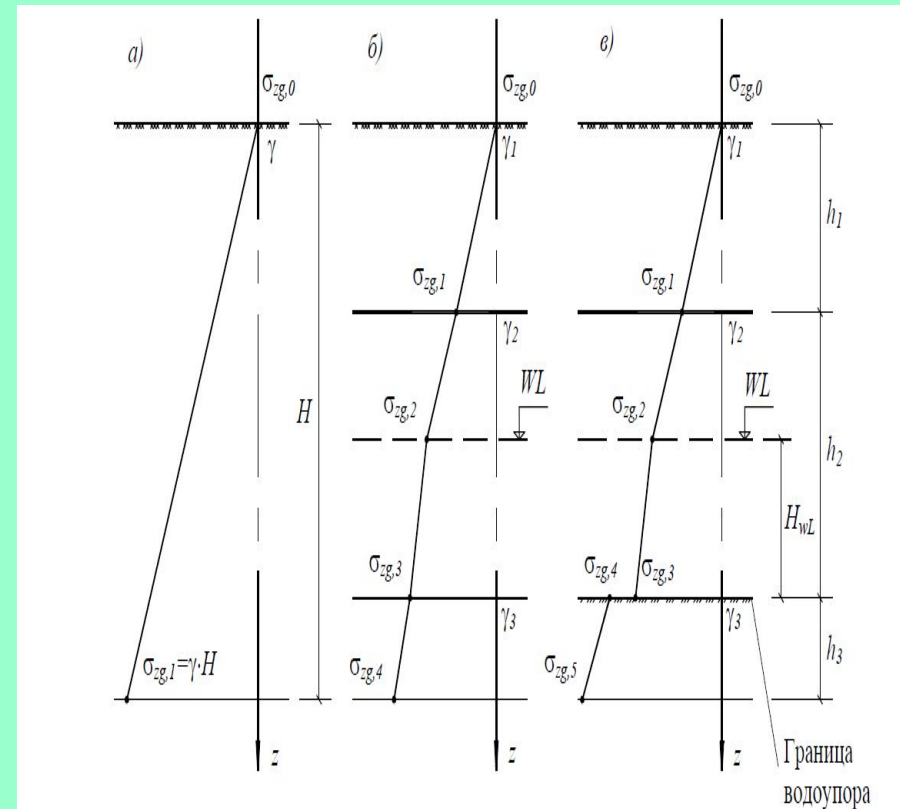
3) грунт, находящийся ниже уровня грунтовых вод, испытывает взвешивающее действие воды;

4) слой грунта, находящийся ниже водоносного слоя, называется водоупором и испытывает на своей поверхности гидростатическое давление водяного столба

Характерные эпюры распределения бытовых напряжений

**а**-однородный массив;. **б**- массив из трех инженерно-геологических элементов;

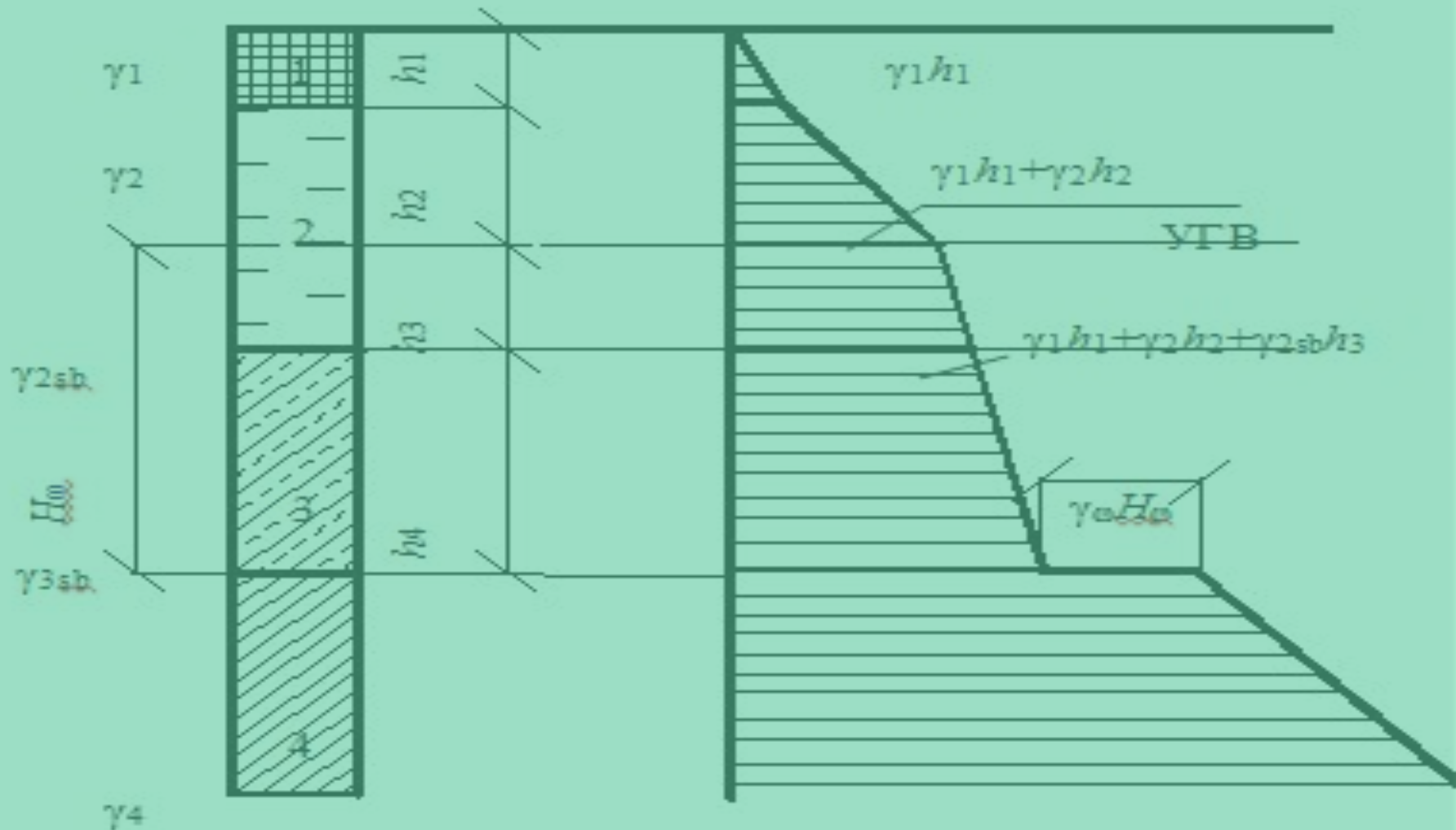
**в**- то же, но третий слой является водоупором



# Эпюра напряжений:

1 – насыпной слой с удельным весом  $\gamma_1$ ;

2 – песок; 3 – супесь; 4 – суглинок



Спасибо за внимание