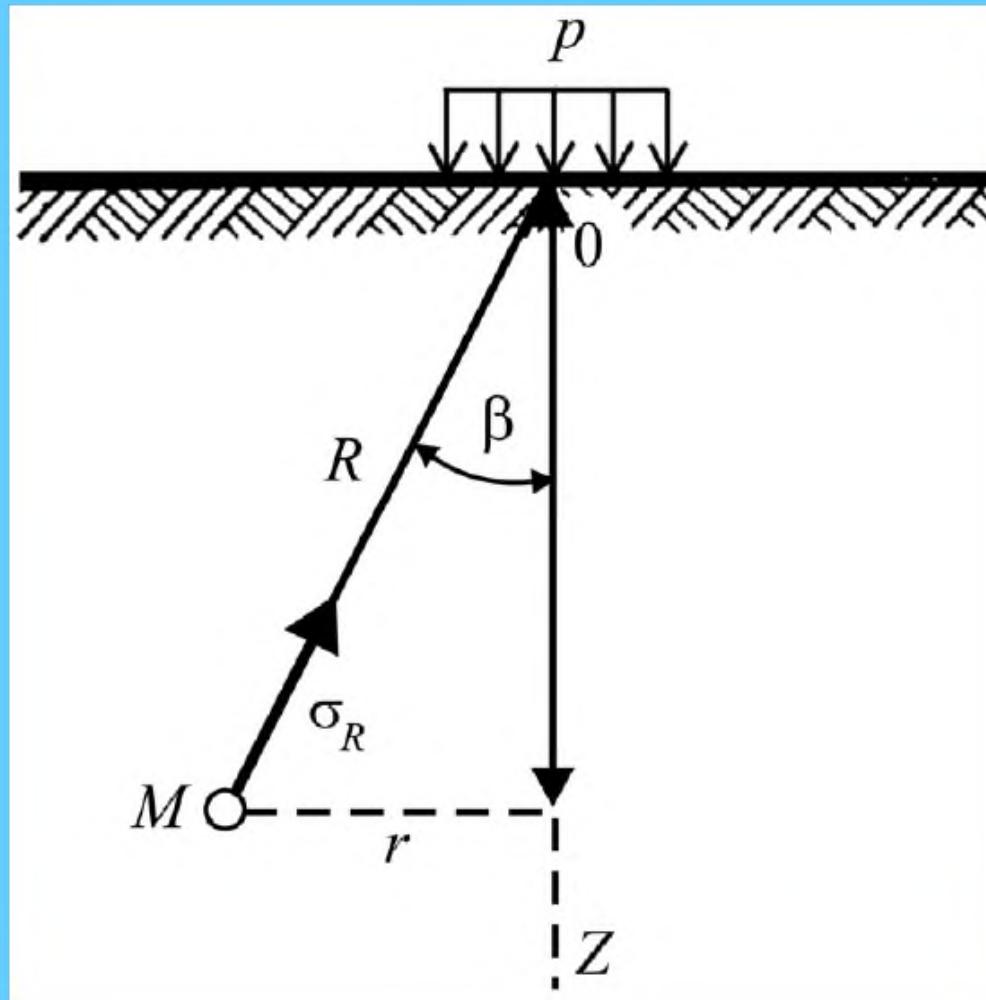


Дорожное грунтоведение

**(лекционный и практический
материал для занятий 02.11.2020)**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ ГРУНТА



Вопросы определения напряжений в массиве грунта имеют важное значение для оценки прочности и устойчивости грунтов основания, расчета деформации грунтов активной зоны и определения давления на подпорные стенки.

Кроме того, для расчета конструкций фундаментов зданий и сооружений нужно знать реактивные напряжения, возникающие в контакте фундамента и основания.

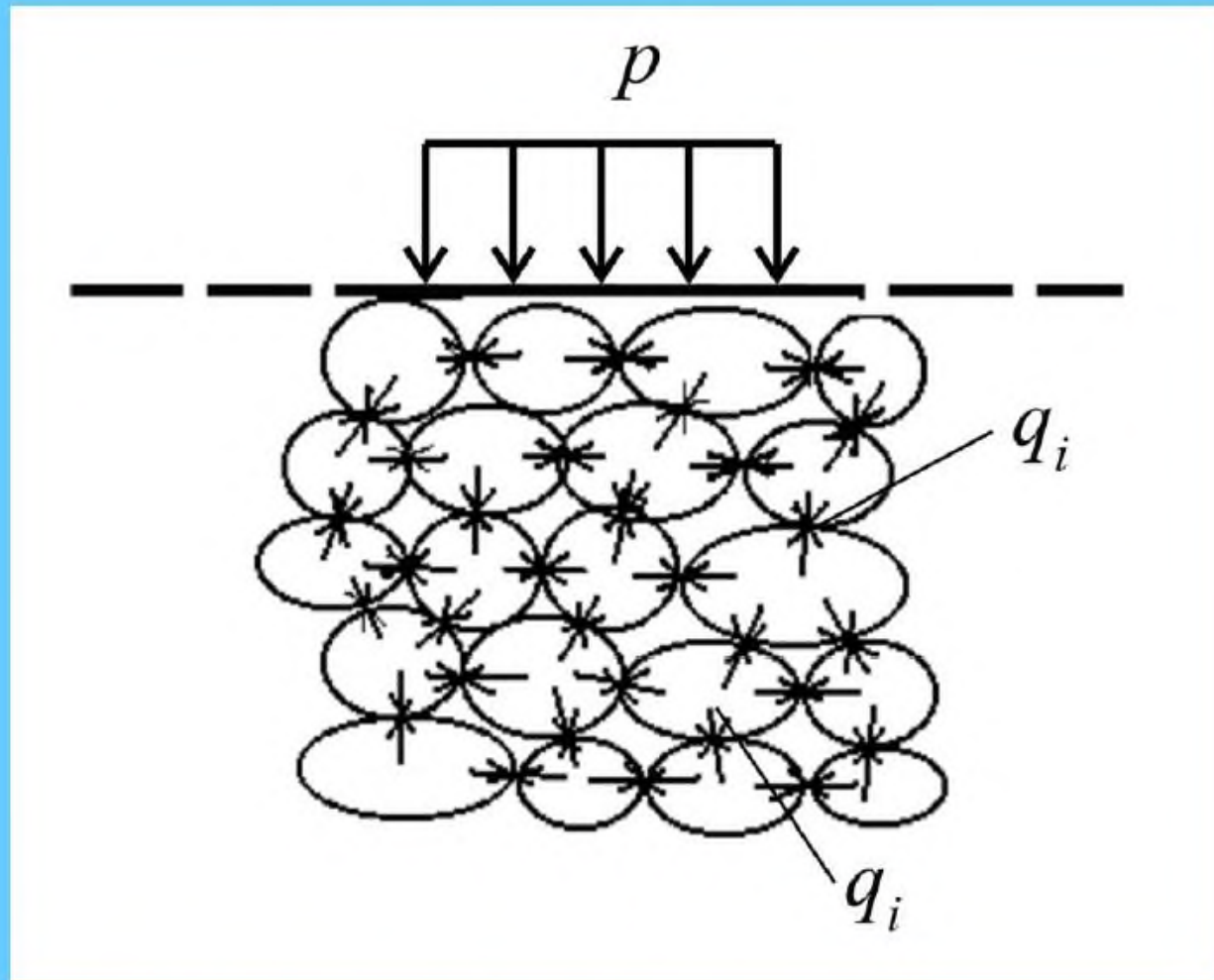
Факторы, влияющие на напряжения в грунте:

- *Инженерно-геологические и гидрогеологические условия площадки.*
- *Физико-механических свойства грунтов.*
- *Характер режима нагружения фундамента.*
- *Размеры, форма, жесткость, глубина заложения фундаментов.*
- *Время действия нагрузки.*

ОСНОВНЫЕ ОТЛИЧИЯ ГРУНТА ОТ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ:

- *является неупругим материалом;*
- *является несплошным телом;*
- *отсутствует линейная зависимость между напряжениями и деформациями на всем периоде загрузки.*

Рассеивание напряжений в массиве грунта

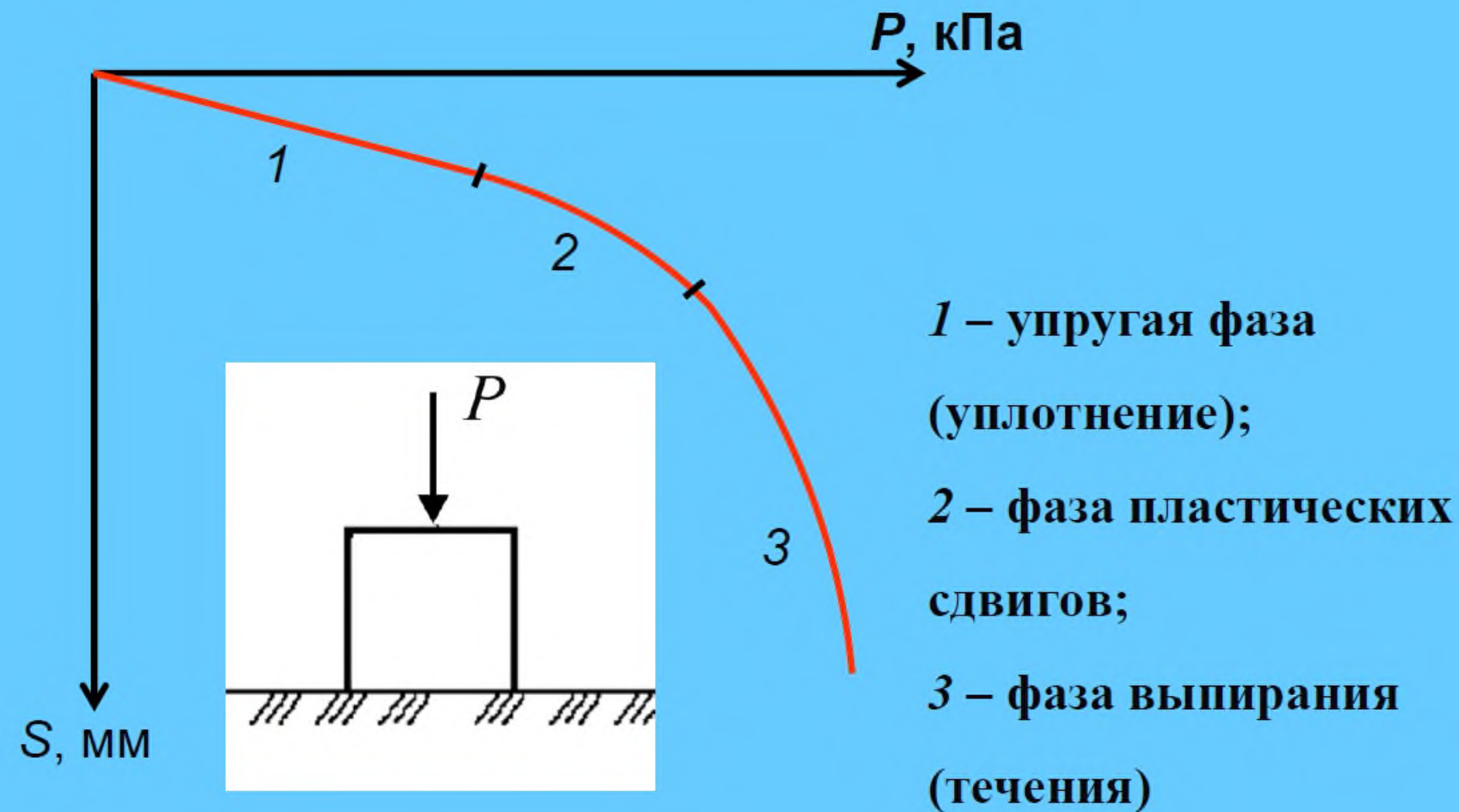


$$\sum d\sigma_z = 0, \quad \sum d\sigma_y = 0 \quad - \text{условие равновесия грунта}$$

Основные предпосылки для расчета напряжений в грунтах

- При изучении вопроса о напряженном состоянии грунта последний рассматривают как сплошную среду, без учета промежутков между частицами.
- За величину напряжений в грунте принимают суммарную величину реальных сил, отнесенных к единице площади сечения грунтового массива.
- Распределение напряжений рассматривают в бесконечном, однородном, изотропном, линейно-деформируемом полупространстве, находящемся под действием внешней нагрузки (теория упругости – закон Гука) **!!!!**

Фазы деформирования грунта



Виды перемещений, происходящих в грунте

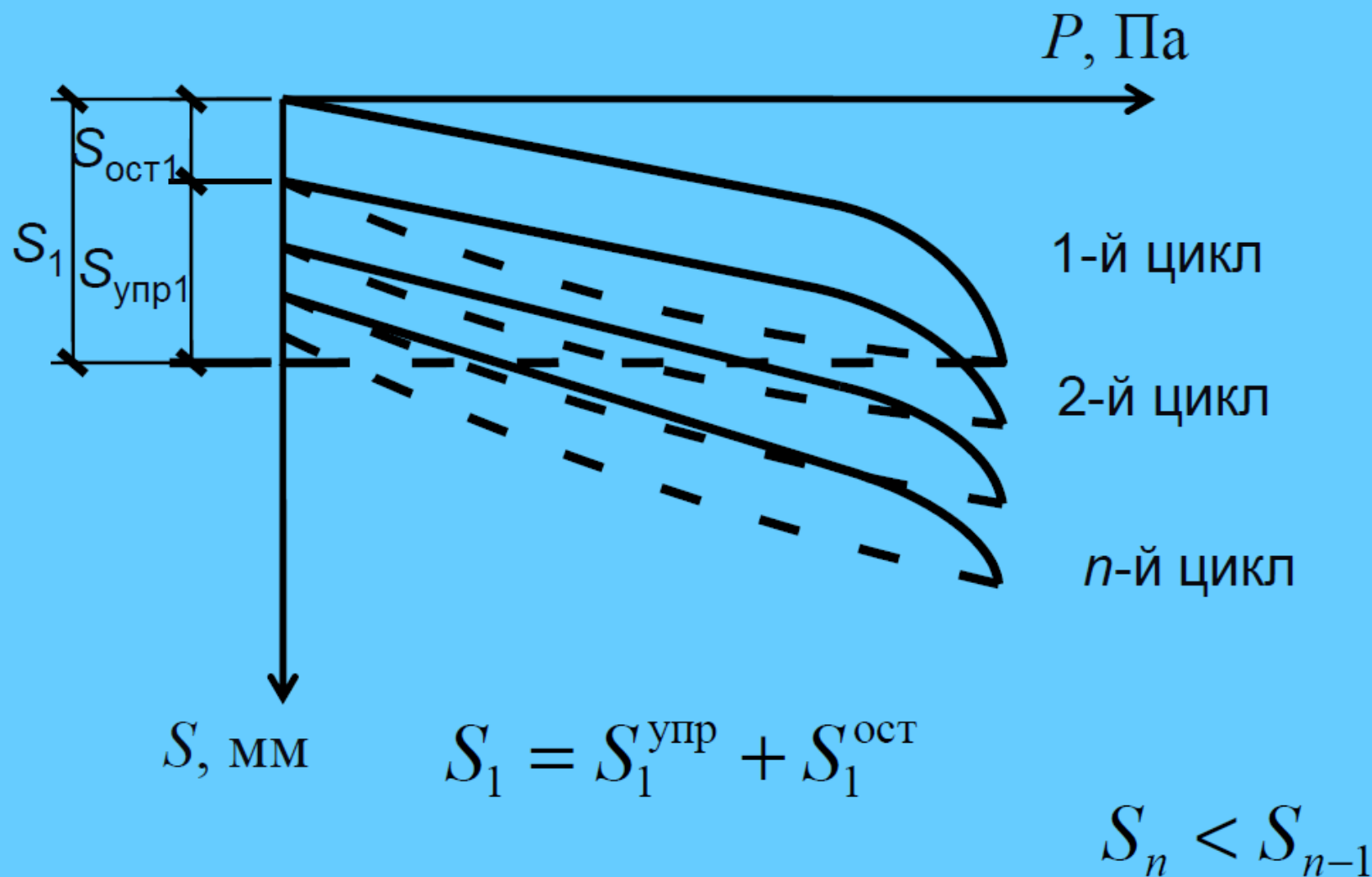
- **Смещение частиц и их агрегатов в сторону заполнения пор;**
- **выдавливание воды и воздуха из пор;**
- **частичная поломка частиц и связей между ними, сопровождающаяся возникновением НОВЫХ КОНТАКТОВ;**
- **пружинистые деформации частиц пластинчатой, чешуйчатой, игольчатой формы;**
- **сжатие защемленных пузырьков газа, заключенных в закрытых порах грунта;**
- **расплющивание гидратных оболочек пленок связной воды вокруг грунтовых частиц.**

Остаточные

Упругие

Деформации грунта

при многократном приложении нагрузки



ОСНОВНЫЕ ДОПУЩЕНИЯ

- Грунт – *линейно-деформируемое тело* (в пределах двух фаз);
- возможность использования теории упругости при *одноразовом* нагружении;
- условно грунт – *квазисплошное тело*;
- условно грунт – *квазиизотропное тело*

Обязательные условия при использовании теории упругости

- Использование модуля общей деформации как коэффициента пропорциональности между нагрузкой и деформацией при возрастании нагрузки в узком интервале вместо модуля нормальной упругости.
- Рассмотрение напряженного состояния грунта после окончания развития деформаций от внешней нагрузки (стабилизационное состояние).

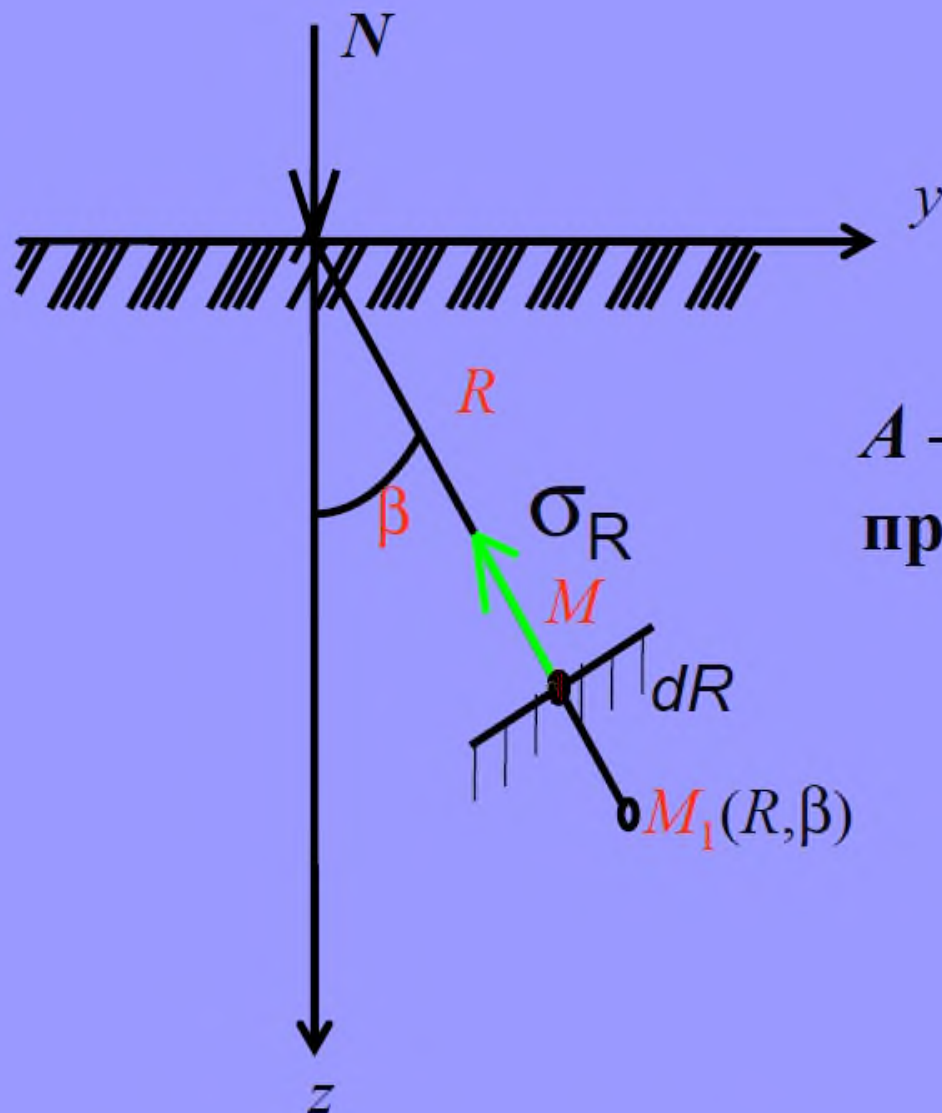
Следовательно, пользуясь теорией упругости, мы будем рассматривать грунты как линейно-деформируемые тела, процесс сжатия которых от действия внешней нагрузки уже закончился.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ОТ ДЕЙСТВИЯ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ СИЛЫ



1885 г.

Жозеф Валентен Буссинеск (1842–1929)



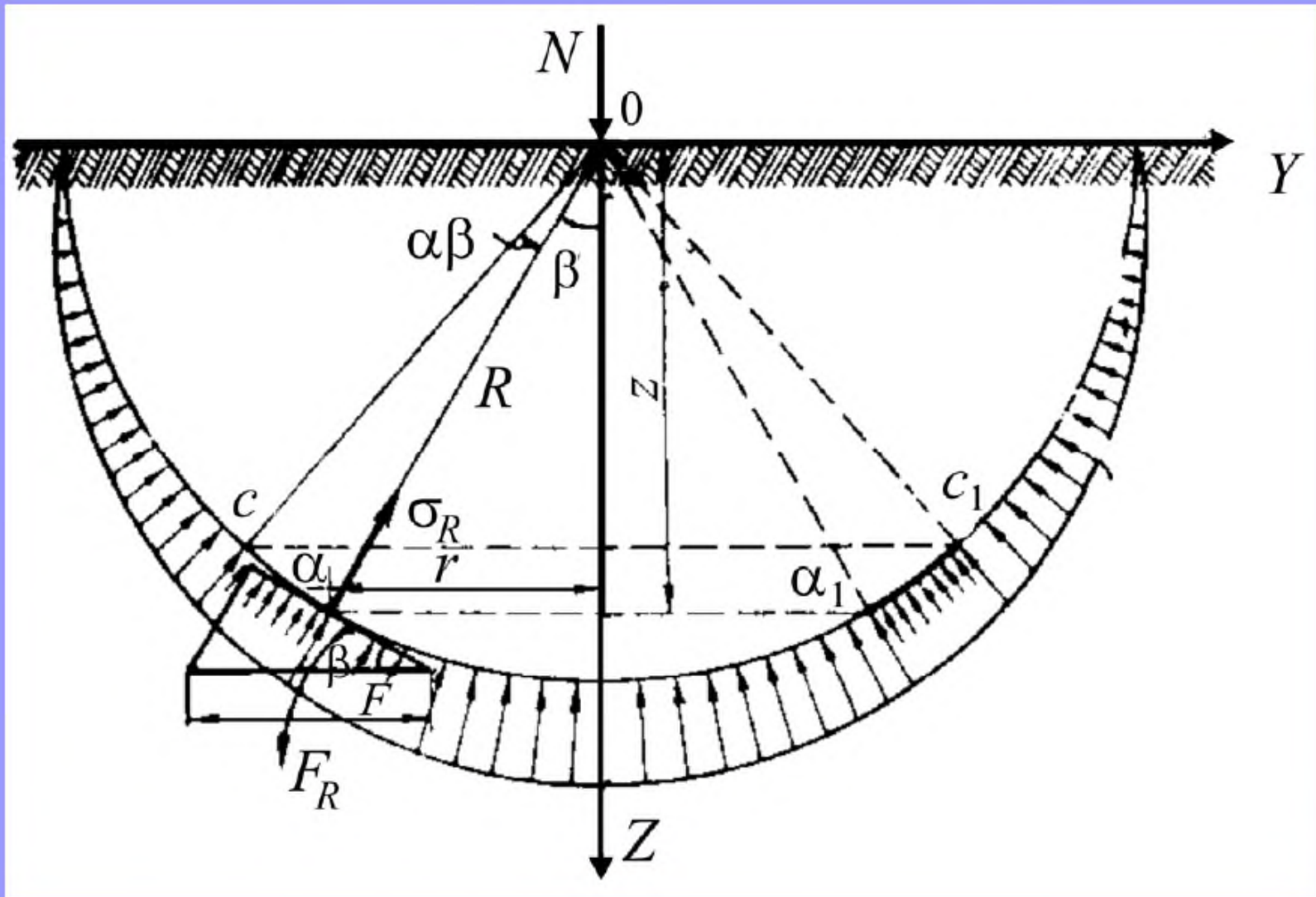
$$S = A \frac{\cos \beta}{R}$$

A – условный коэффициент пропорциональности

$$\sigma_R = \frac{AB}{R^2} \cdot \cos \beta$$

B – условный коэффициент пропорциональности

Распределение радиальных напряжений по полушаровой поверхности



Составим сумму проекций всех сил на вертикальную ось:

$$N - \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sigma_R \cos \beta dF = 0,$$

где dF – поверхность элементарного шарового пояса,

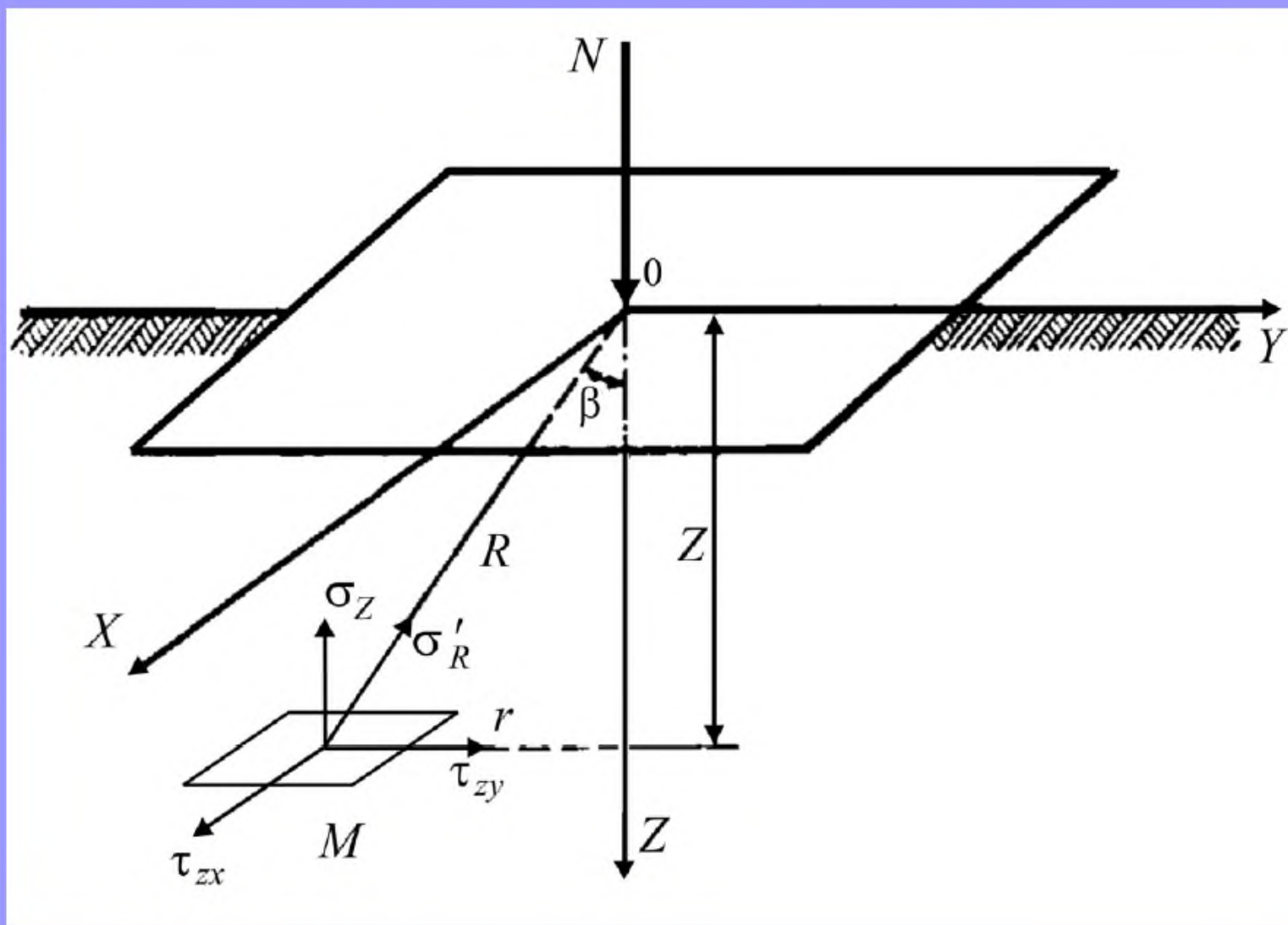
$$dF = 2\pi(R \sin \beta)(R d\beta).$$

Подставим величину dF и σ_R в уравнение равновесия, найдем:

$$AB = \frac{3}{2} \cdot \frac{N}{\pi}$$

$$\sigma_R = \frac{3}{2} \cdot \frac{N}{\pi} \cdot \frac{\cos \beta}{R^2}$$

Отнесение радиального напряжения к горизонтальной площадке



Отнесем величину радиальных напряжений σ_r к площадке, параллельной ограничивающей плоскости и составляющей с ней угол β :

$$\sigma'_r = \sigma_r \cos \beta,$$

$$\sigma_R \cdot F_R = \sigma'_R \cdot F,$$

$$\frac{F_R}{F} = \cos \beta,$$

$$\sigma'_R = \sigma_R \cos \beta = \frac{3}{2} \cdot \frac{N}{\pi} \cdot \frac{\cos^3 \beta}{R^2},$$

$$\cos \beta = z/R,$$

$$\sigma_z = \frac{3}{2} \cdot \frac{N}{\pi} \cdot \frac{z^3}{R^5},$$

$$\tau_{zy} = \frac{3}{2} \cdot \frac{N}{\pi} \cdot \frac{y \cdot z^2}{R^5},$$

$$\tau_{zx} = \frac{3}{2} \cdot \frac{N}{\pi} \cdot \frac{x \cdot z^2}{R^5},$$

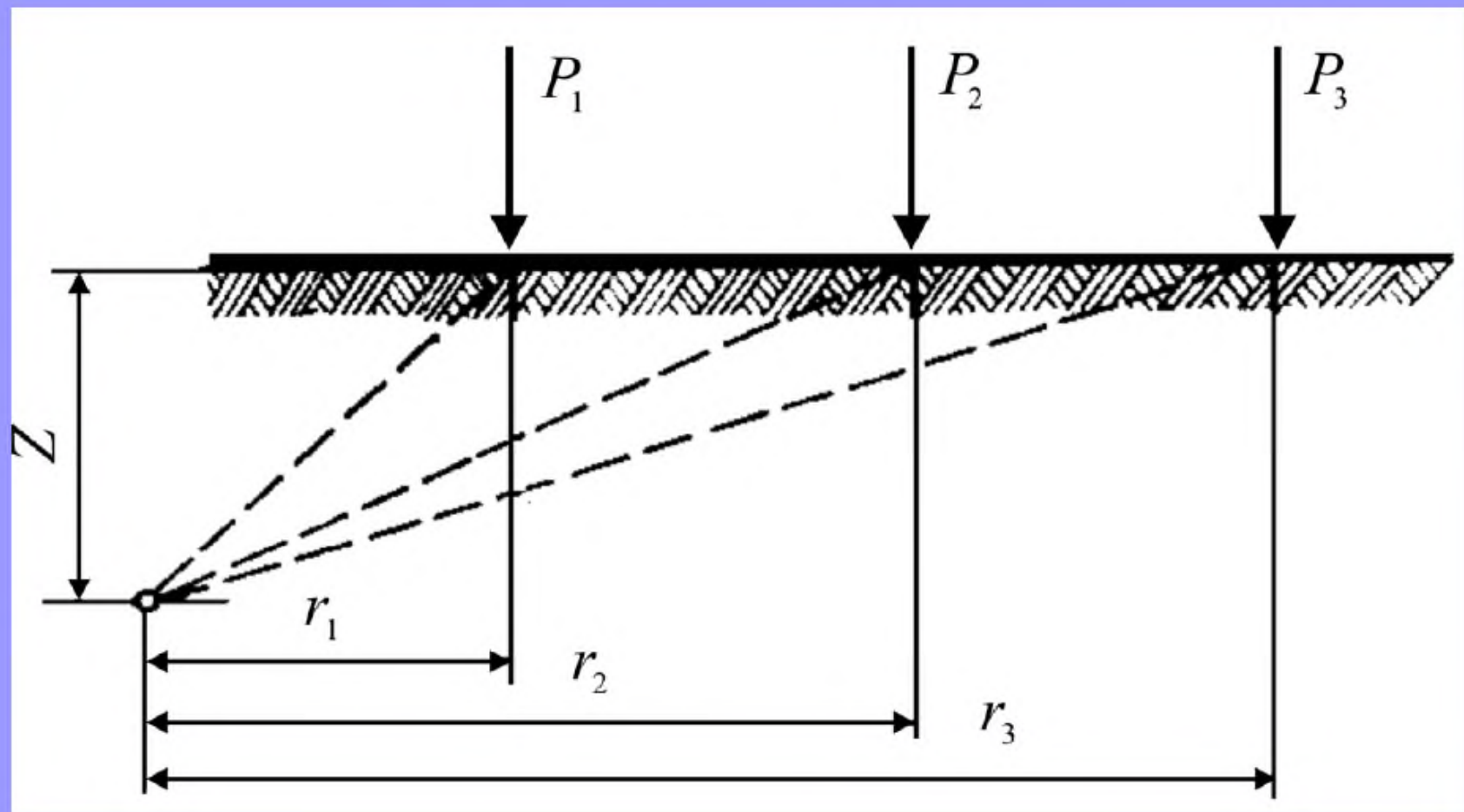
$$R^2 = r^2 + z^2,$$

$$k = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2\right]^{5/2}},$$

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

$$k = f\left(\frac{r}{z}\right)$$

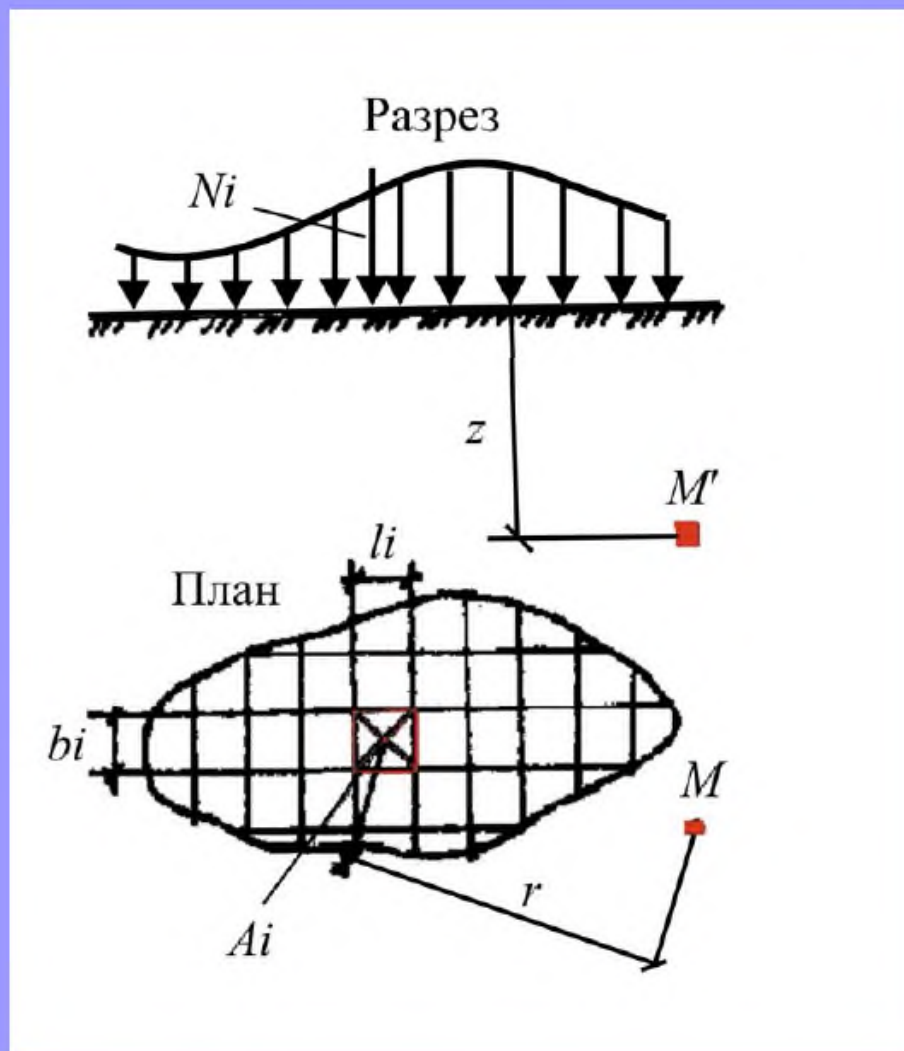
ДЕЙСТВИЕ НЕСКОЛЬКИХ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ СИЛ



$$\sigma_z = k_1 \cdot \frac{N_1}{z^2} + k_2 \cdot \frac{N_2}{z^2} + k_3 \cdot \frac{N_3}{z^2}$$

$$k_i = f\left(\frac{r_i}{z}\right)$$

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ОТ НАГРУЗКИ, РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПО ОГРАНИЧЕННОМУ КОНТУРУ



$$\sigma_{zi} = \frac{k_i N_i}{Z^2}$$

$$\sigma_z = \sum \frac{k_i \cdot N_i}{Z^2}$$

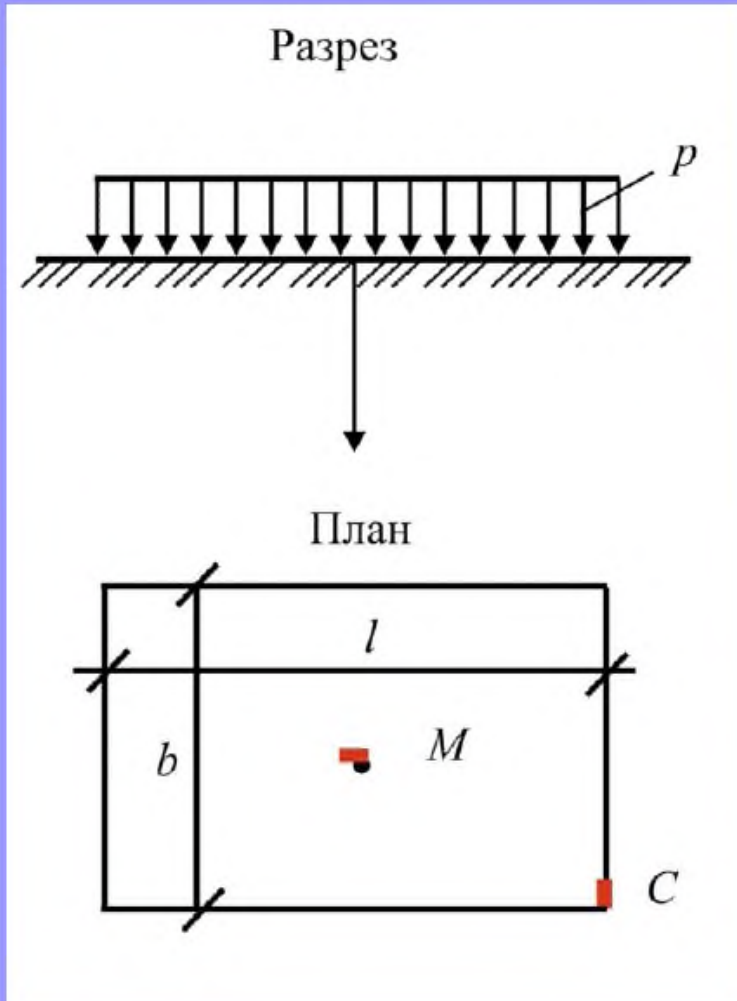
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ОТ ДЕЙСТВИЯ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННОГО ДАВЛЕНИЯ

Для центральной точки

$$\sigma_{zM} = k_0 P$$

Для угловой точки

$$\sigma_{zC} = k_c P$$



$$\alpha = l/b$$

Для т. M

$$\beta = \frac{2z}{b}$$

Для т. C

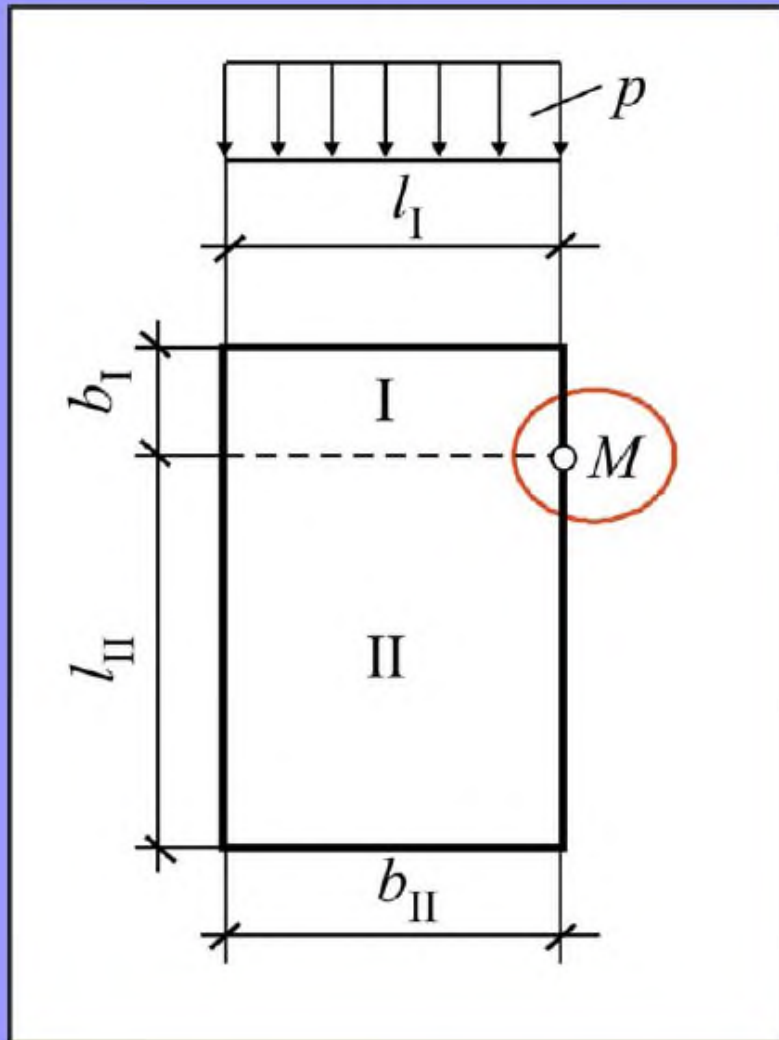
$$\beta = \frac{z}{b}$$

(l – длина прямоугольника, b – ширина)

$$k_0 = f\left(\frac{2z}{b}; \frac{l}{b}\right)$$

$$k_c = \frac{1}{4} f'\left(\frac{z}{b}; \frac{l}{b}\right)$$

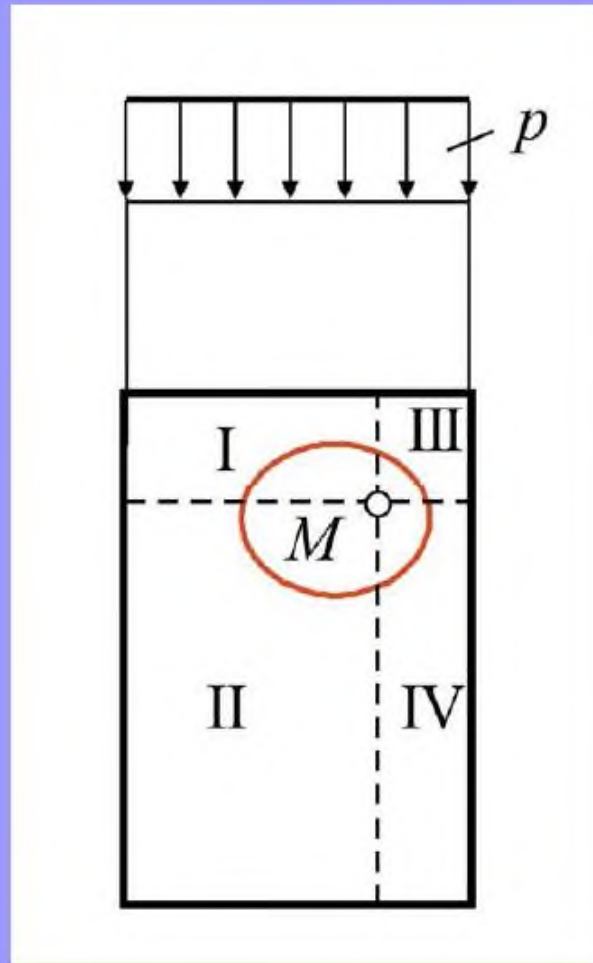
МЕТОД УГЛОВЫХ ТОЧЕК



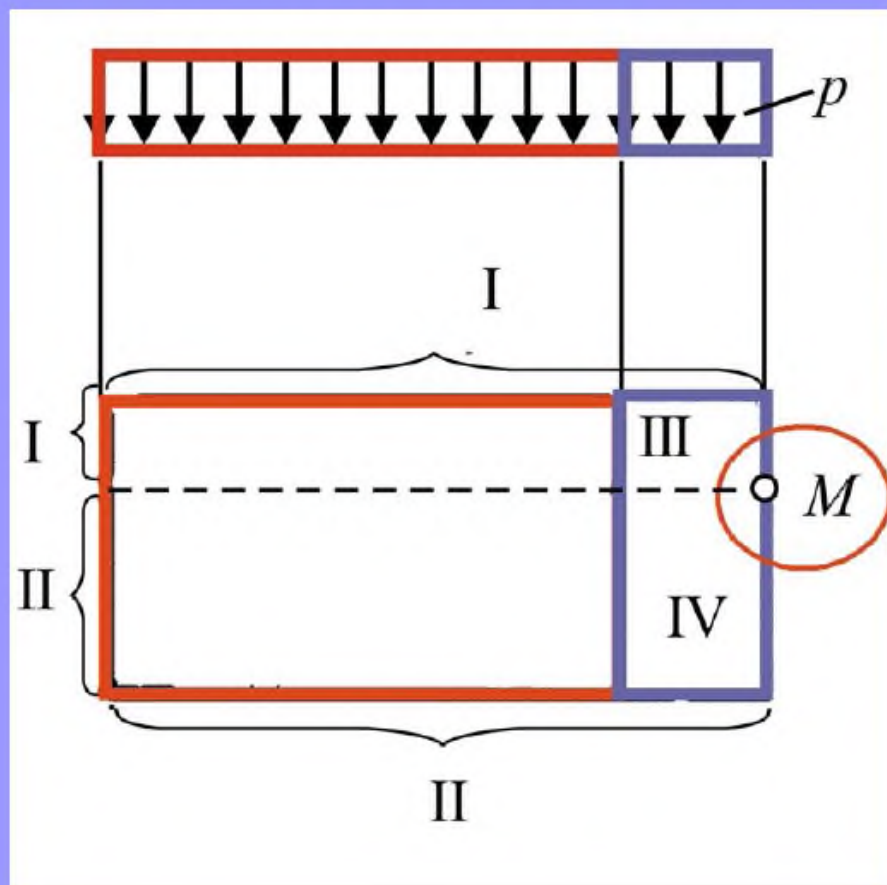
$$\sigma_z = 0,25 \left(k_c^I + k_c^{II} \right) P$$

$$k_c^I = \frac{1}{4} f' \left(\frac{z}{b_I}; \frac{l_I}{b_I} \right)$$

$$k_c^{II} = \frac{1}{4} f' \left(\frac{z}{b_{II}}; \frac{l_{II}}{b_{II}} \right)$$



$$\sigma_z = 0,25 \left(k_c^I + k_c^{II} + k_c^{III} + k_c^{IV} \right) P$$



$$k_c^I, k_c^{II}, k_c^{III}, k_c^{IV}$$

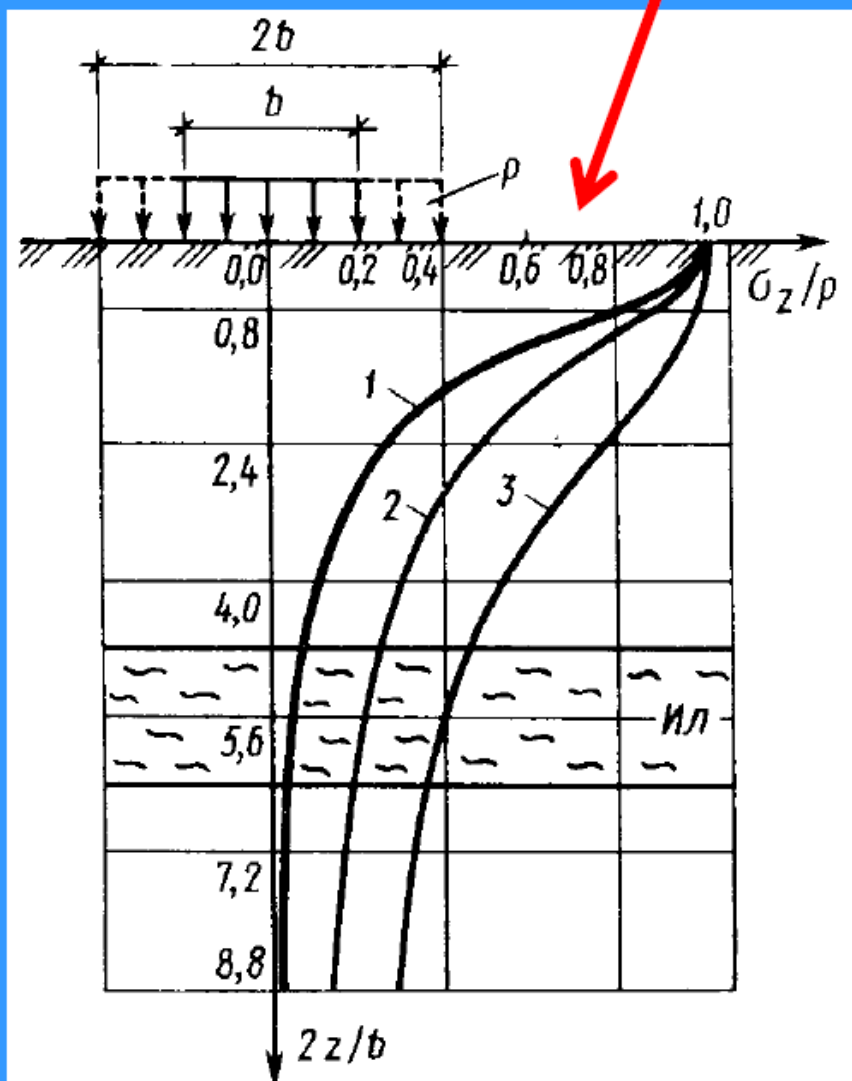
– угловые коэффициенты,
определяемые по таблице
в зависимости от отношений:

$$\alpha = \frac{l}{b} \quad \text{и} \quad \beta = \frac{z}{b}$$

для каждого
рассматриваемого
прямоугольника.

$$\sigma_z = 0,25 \left(k_c^I + k_c^{II} - k_c^{III} - k_c^{IV} \right) P$$

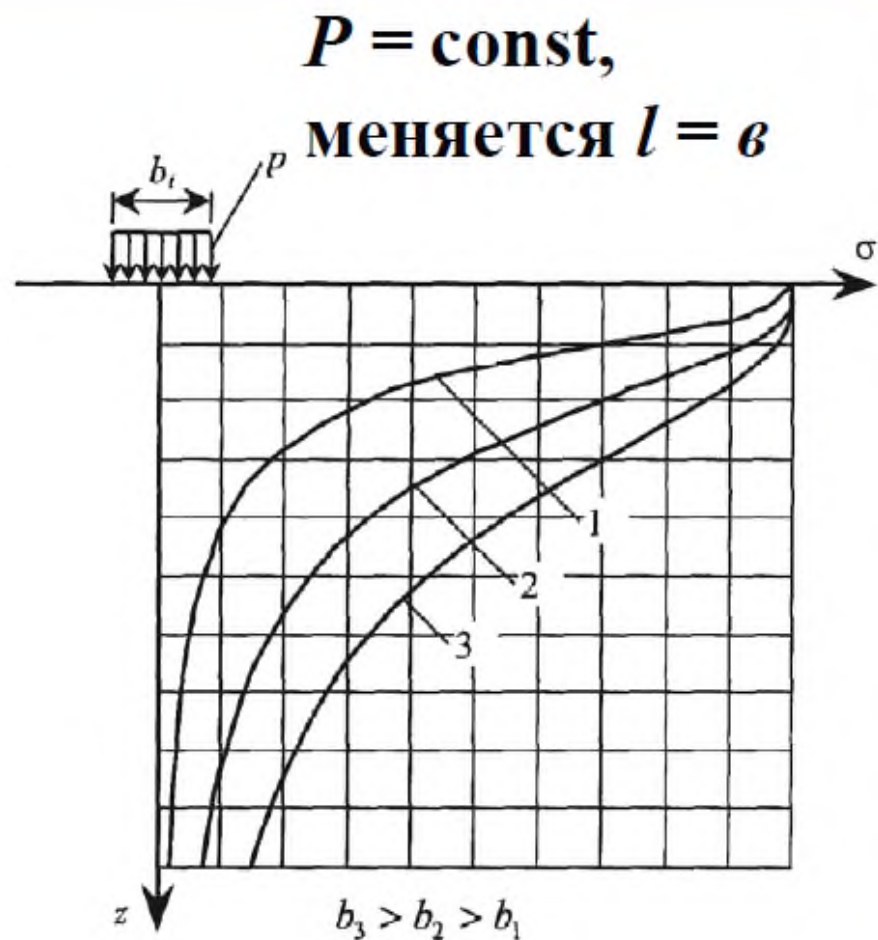
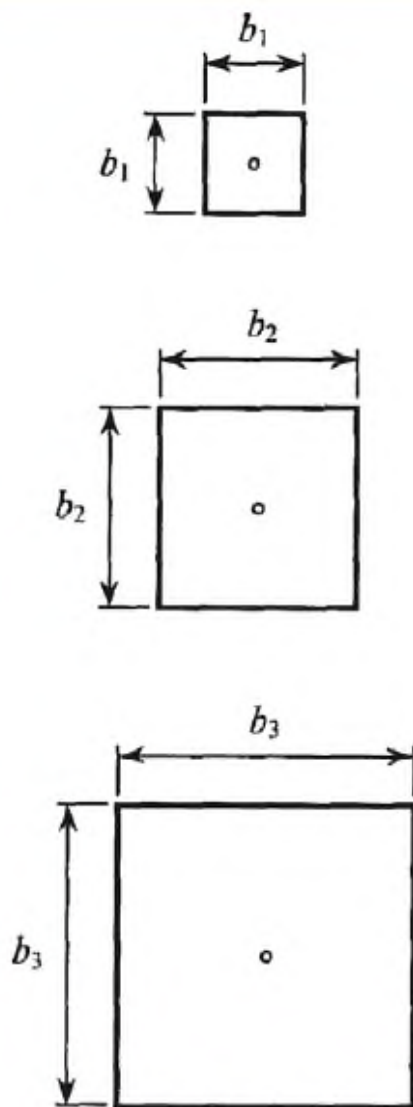
ВЛИЯНИЕ **ФОРМЫ** И ПЛОЩАДИ ЗАГРУЗКИ



$P = \text{const}$,
меняется l и b

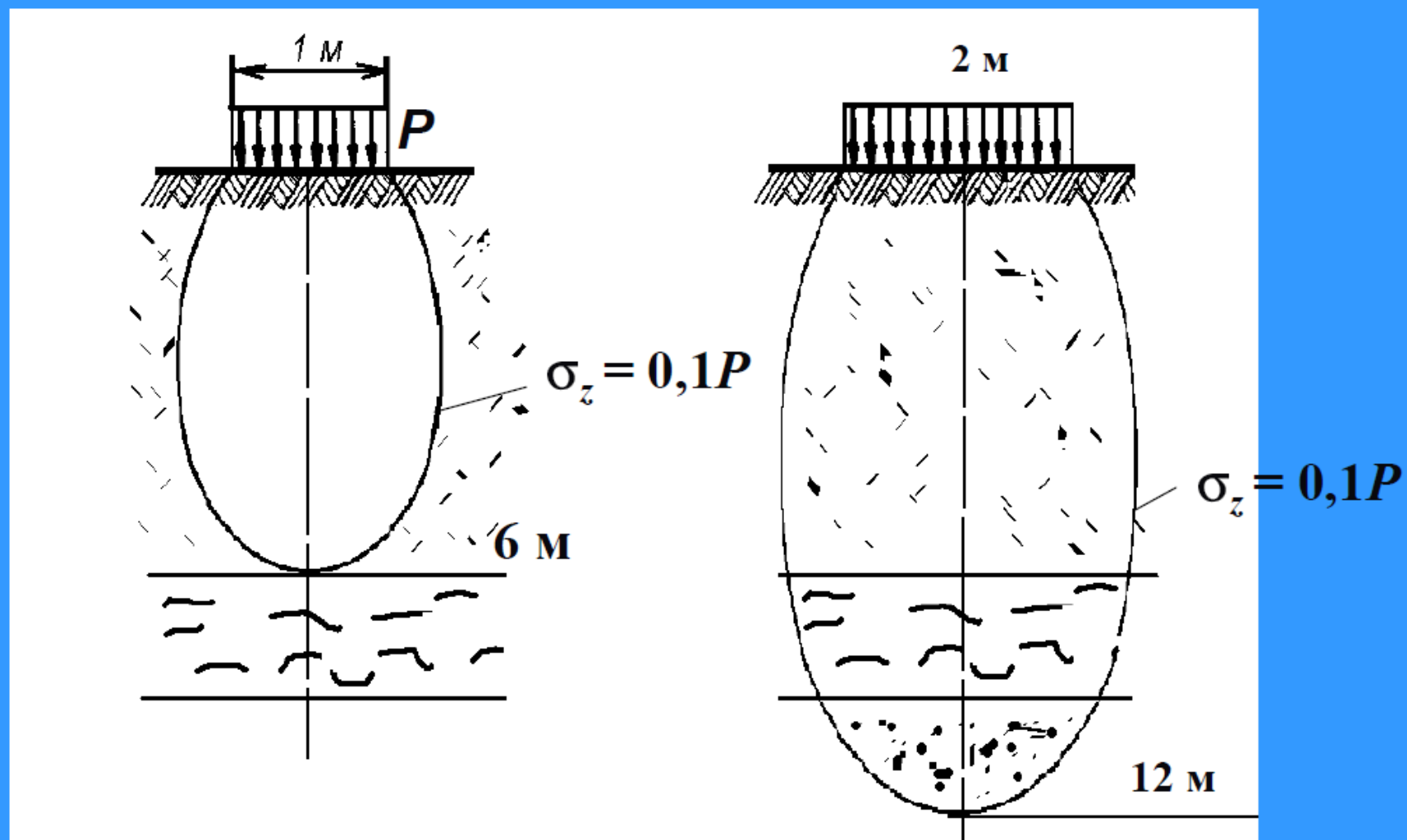
- 1 – для квадратного фундамента;
- 2 – для ленточного фундамента шириной $b = 1$ м;
- 3 – для ленточного фундамента шириной $b = 2$ м

$$l = b \quad (b_1 < b_2 < b_3)$$



Г увеличивается !!!

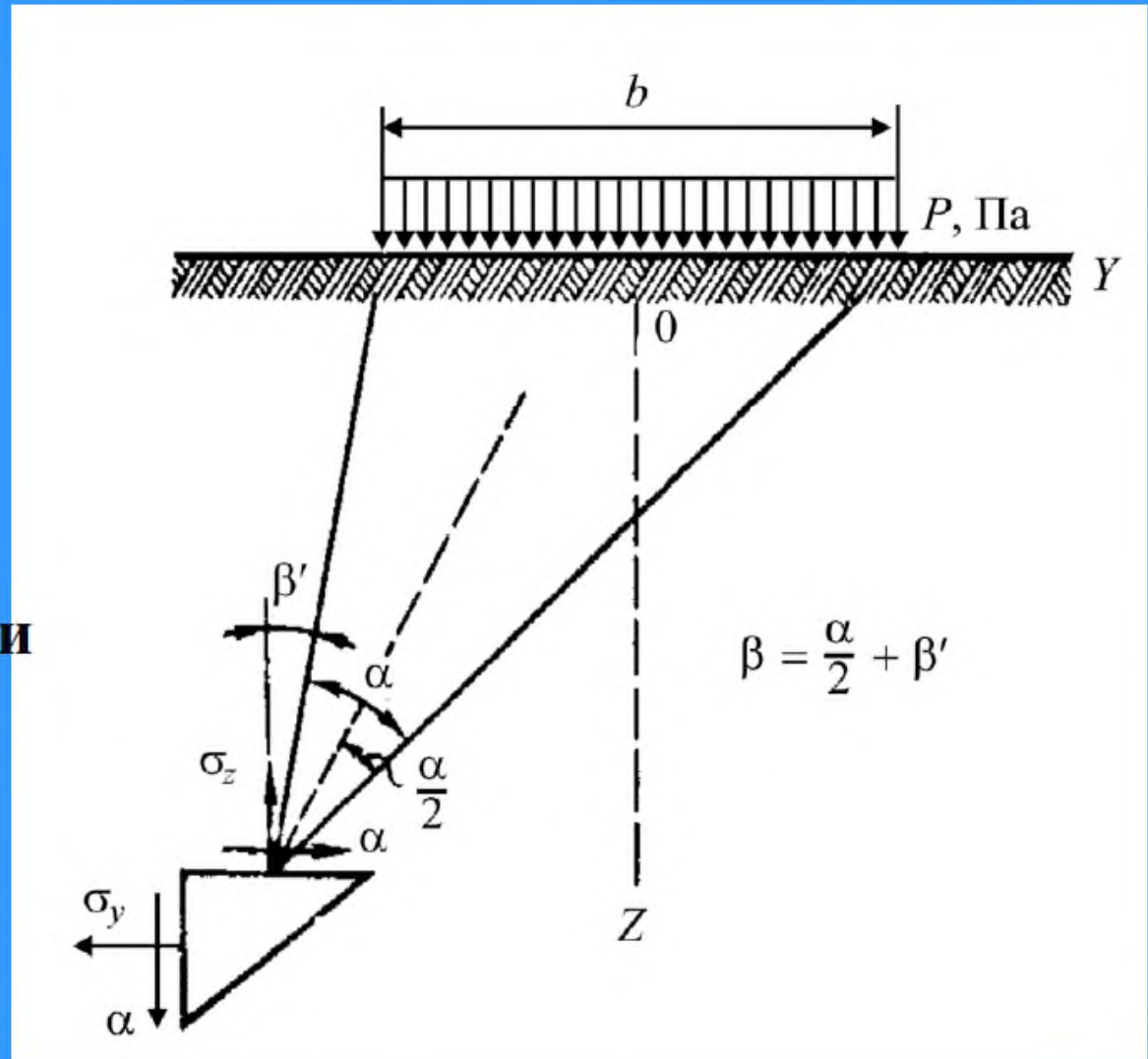
Влияние размеров загруженной площади на распределение σ_z



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В СЛУЧАЕ ПЛОСКОЙ ЗАДАЧИ (задача Фламана)

$$\frac{l}{b} \geq 10$$

α – угол видимости



$$\left. \begin{aligned} \sigma_z &= \frac{P}{\pi} (\alpha + \sin \alpha \cdot \cos 2\beta), \\ \sigma_y &= \frac{P}{\pi} (\alpha - \sin \alpha \cdot \cos 2\beta), \\ \tau &= \frac{P}{\pi} (\sin \alpha \cdot \sin 2\beta). \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_z &= K_z \cdot P, \\ \sigma_y &= K_y \cdot P, \\ \tau &= K_{yz} \cdot P. \end{aligned} \right\}$$

K_z , K_y , K_{yz} табулированы в зависимости от относительных координат z/b , y/b .

Главные напряжения при плоской задаче

Возникают для площадок, расположенных по вертикальной оси симметрии нагрузки:

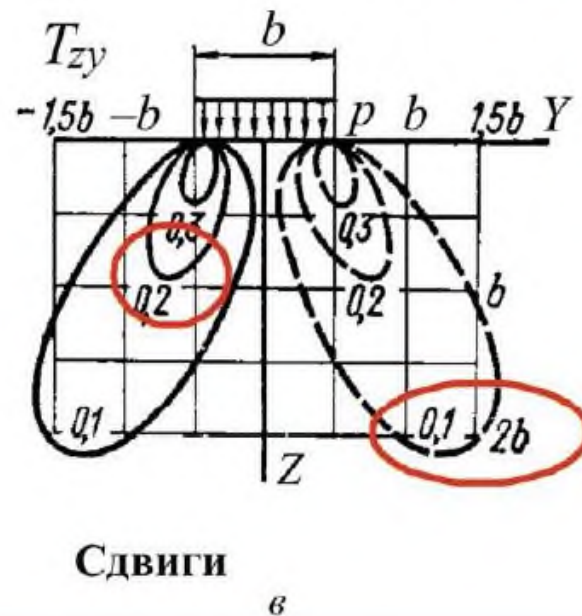
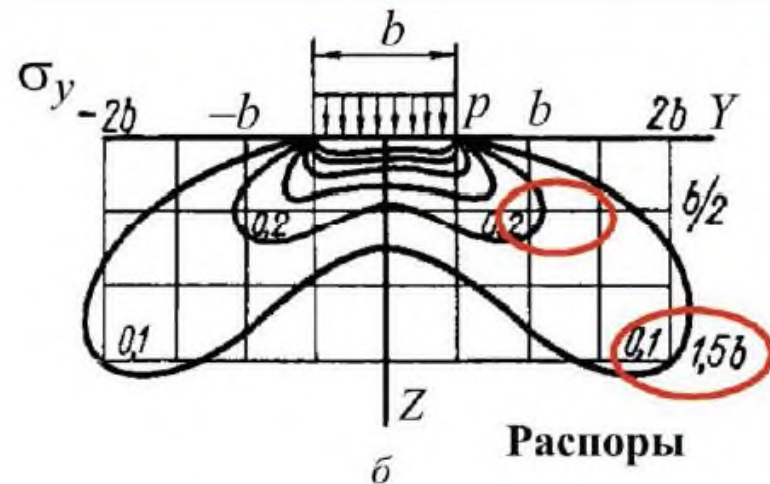
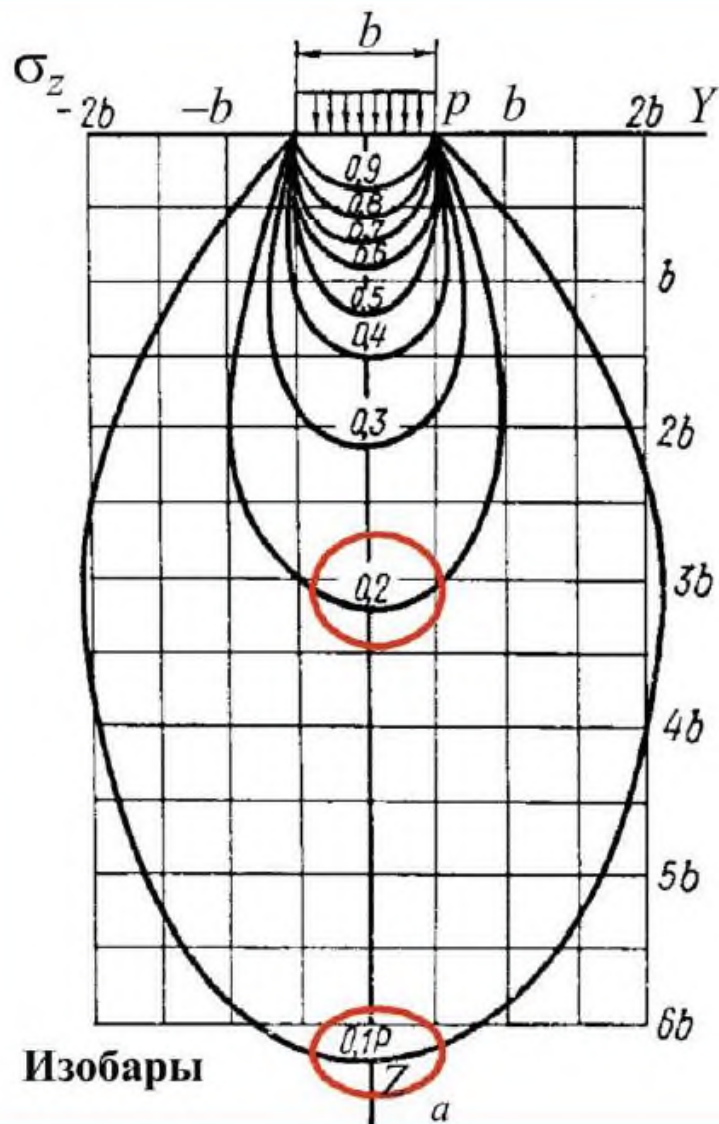
$$\beta' = -\alpha/2 \Rightarrow \beta = \alpha/2 - \alpha/2 = 0.$$

Тогда $\tau = 0$

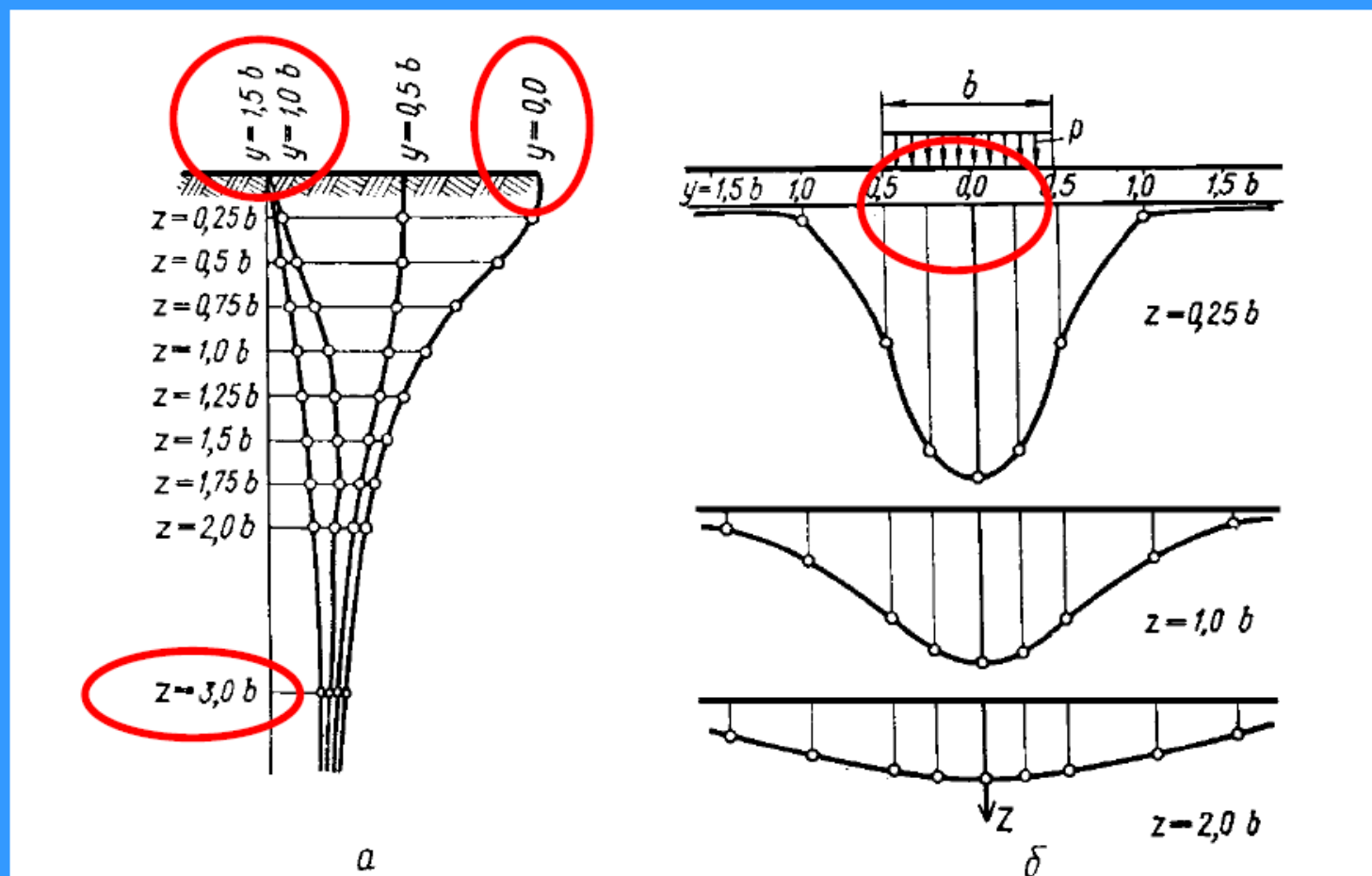
$$\sigma_1 = \frac{P}{\pi}(\alpha + \sin \alpha), \quad \sigma_2 = \frac{P}{\pi}(\alpha - \sin \alpha).$$

Используются для оценки напряженного состояния в основаниях сооружений, особенно близкого к предельному.

ЛИНИИ РАВНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ ГРУНТА

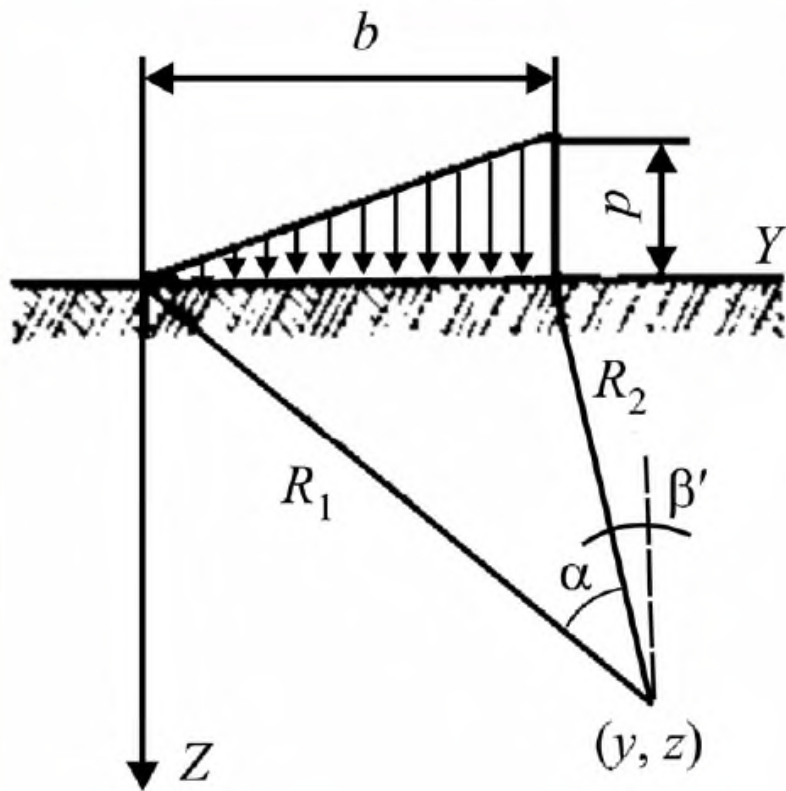


Эпюры распределения сжимающих напряжений σ_z



На глубине $z = 3b$ происходит выравнивание сжимающих напряжений

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В СЛУЧАЕ ТРЕУГОЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

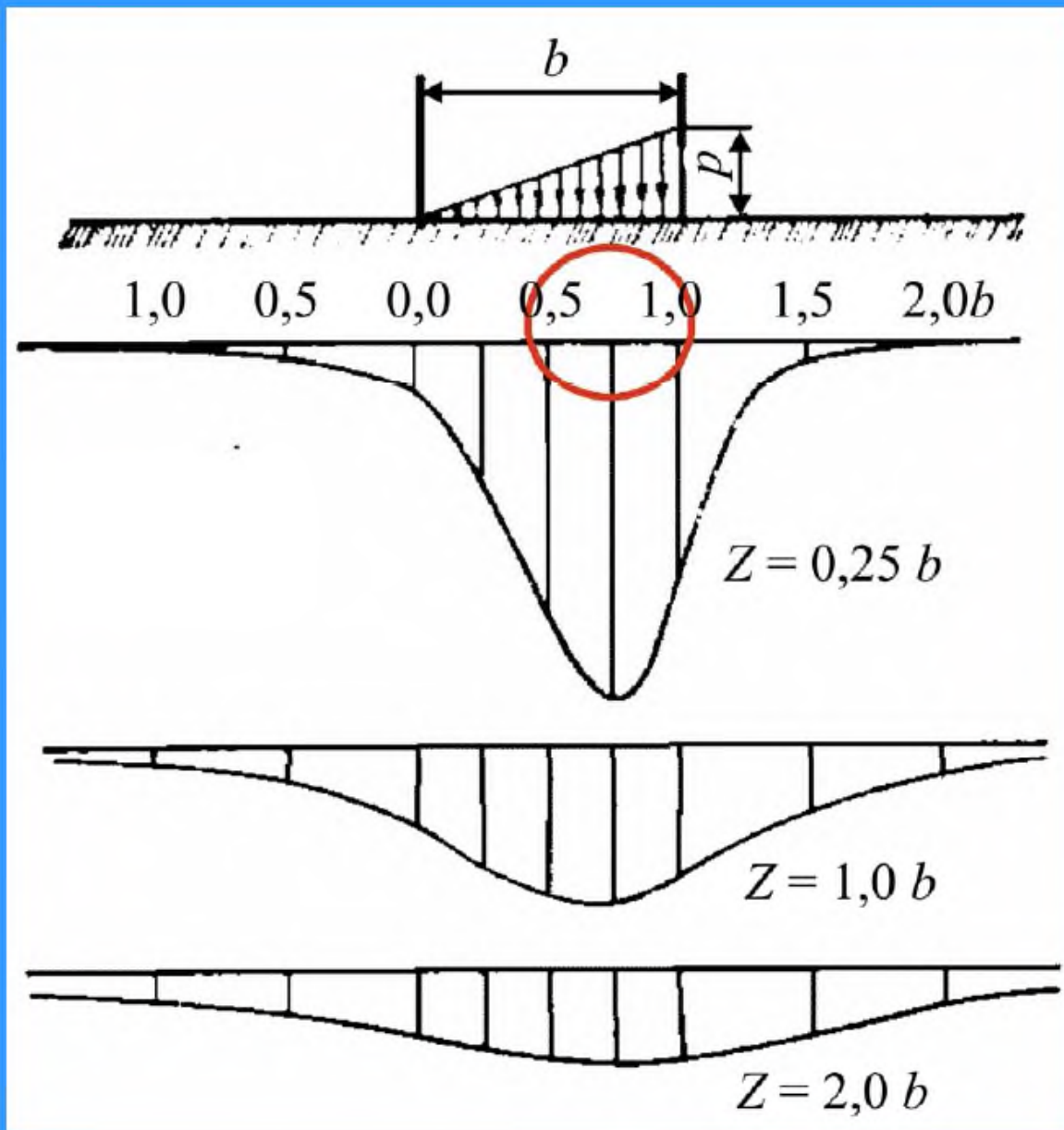


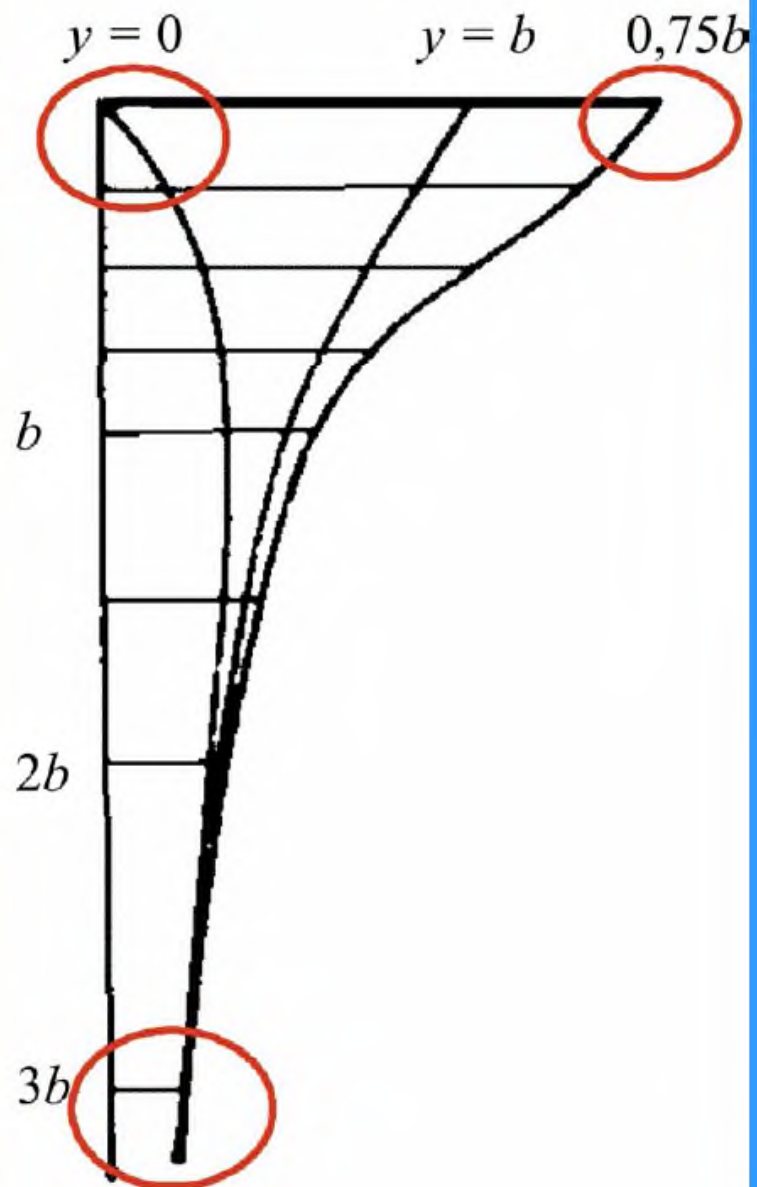
$$\sigma_z = \frac{P}{2\pi} \left(\frac{2y}{b} \alpha - \sin \beta' \right)$$

$$\sigma_z = K'_z P$$

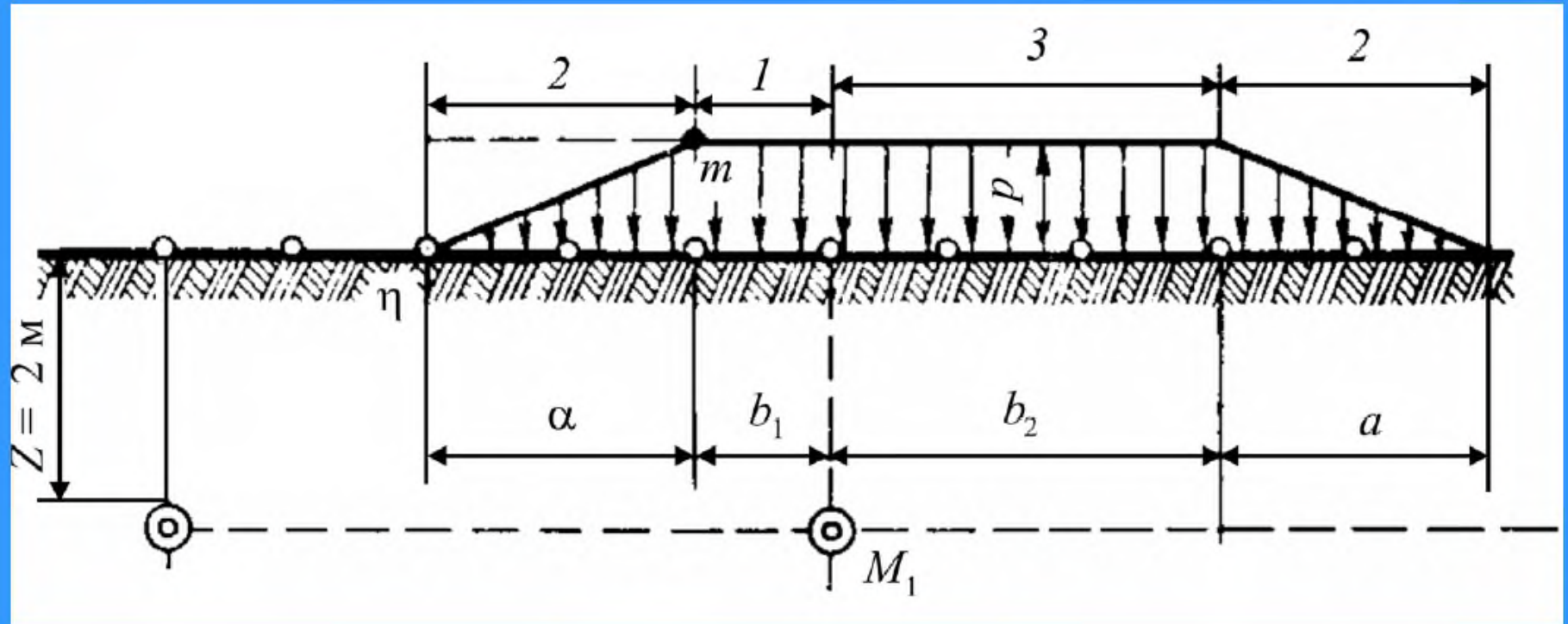
$$K'_z = f(z/b; y/b)$$

Эпюры сжимающих напряжений



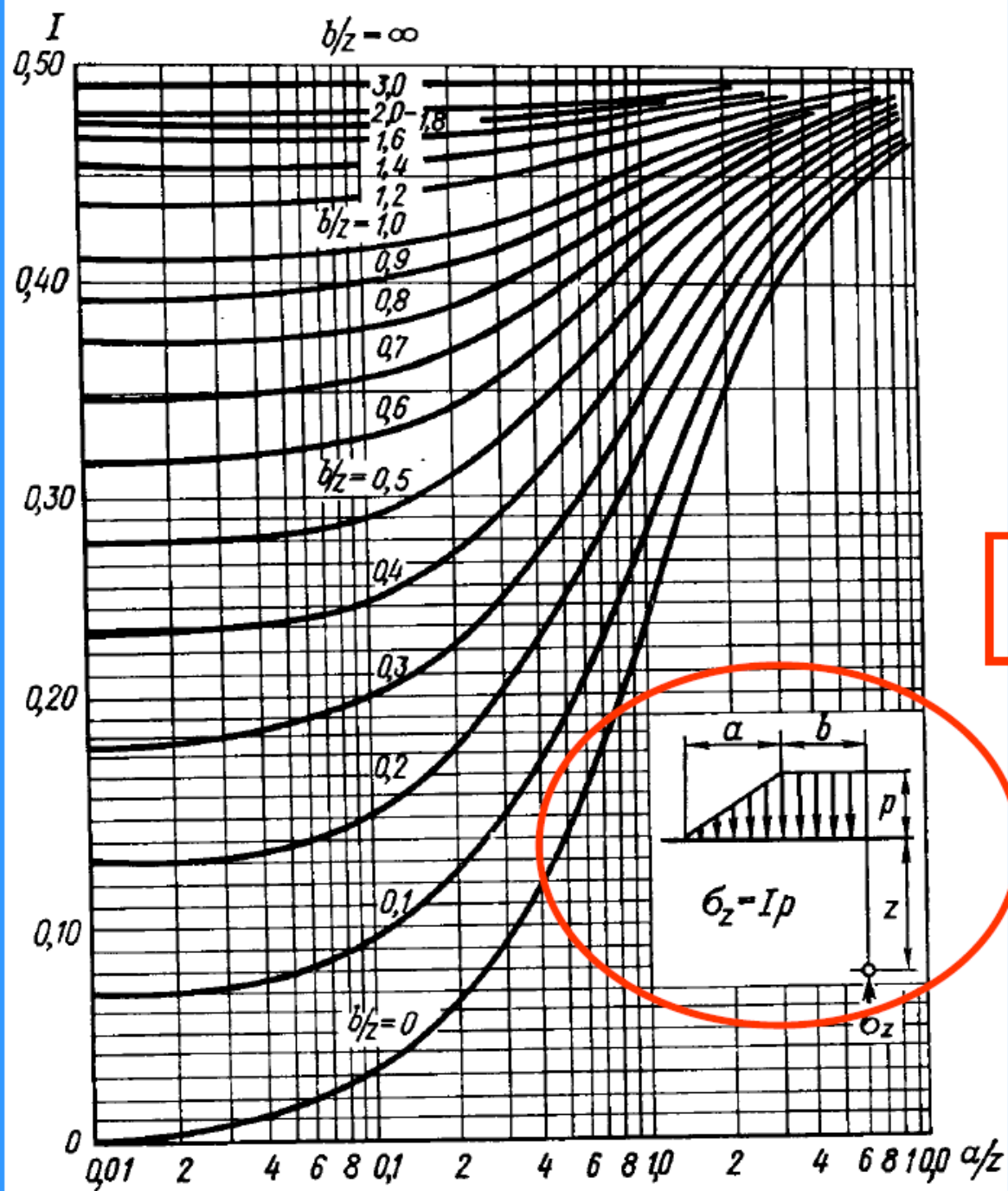


ДЕЙСТВИЕ ЛЮБОЙ НАГРУЗКИ, МЕНЯЮЩЕЙСЯ ПО ЗАКОНУ ПРЯМОЙ



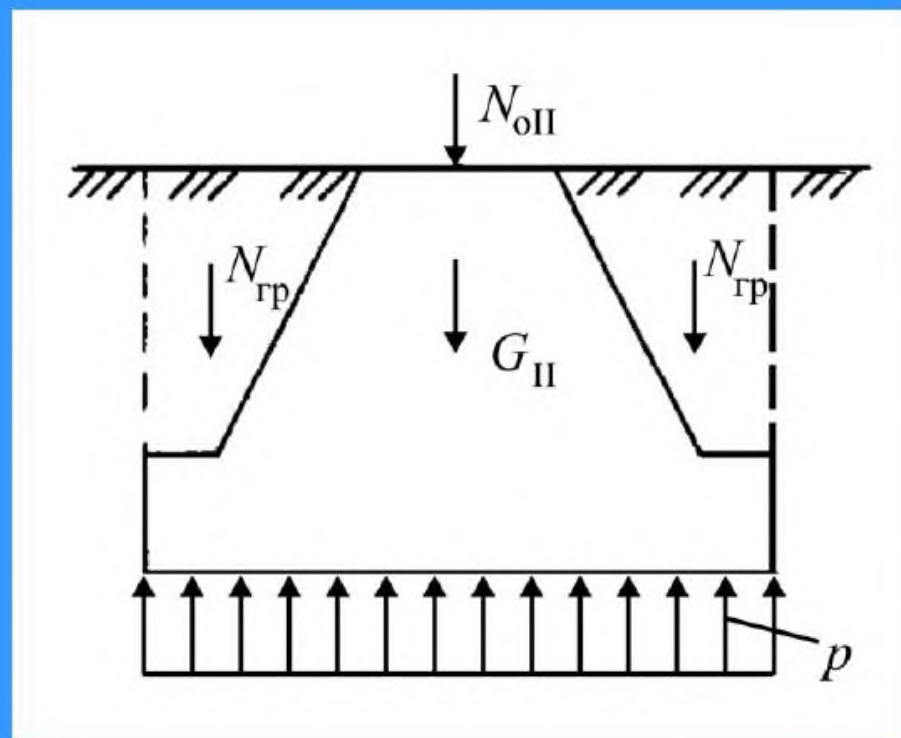
$$\sigma_z = Jp,$$

где $J = f(a/z, b/z)$



$$\sigma_{zm} = (J_{\perp} + J_n) P$$

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПОД ЖЕСТКИМ ШТАМПОМ (контактная задача)



Вопросы распределения напряжений по подошве фундаментов имеют важное практическое значение, так как, зная реактивное давление (контактное давление) и приложив его к подошве фундаментной плиты или балки, можно найти величину расчетных изгибающих моментов $M_{\text{изг}}$ и перерезывающих сил Q , используя обычные уравнения статики.

Важным моментом – является оценка влияния жесткости фундамента на распределение контактных давлений. Этот вопрос имеет особое значение для гибких фундаментов.

В зависимости от жесткости различают три типа фундаментов:

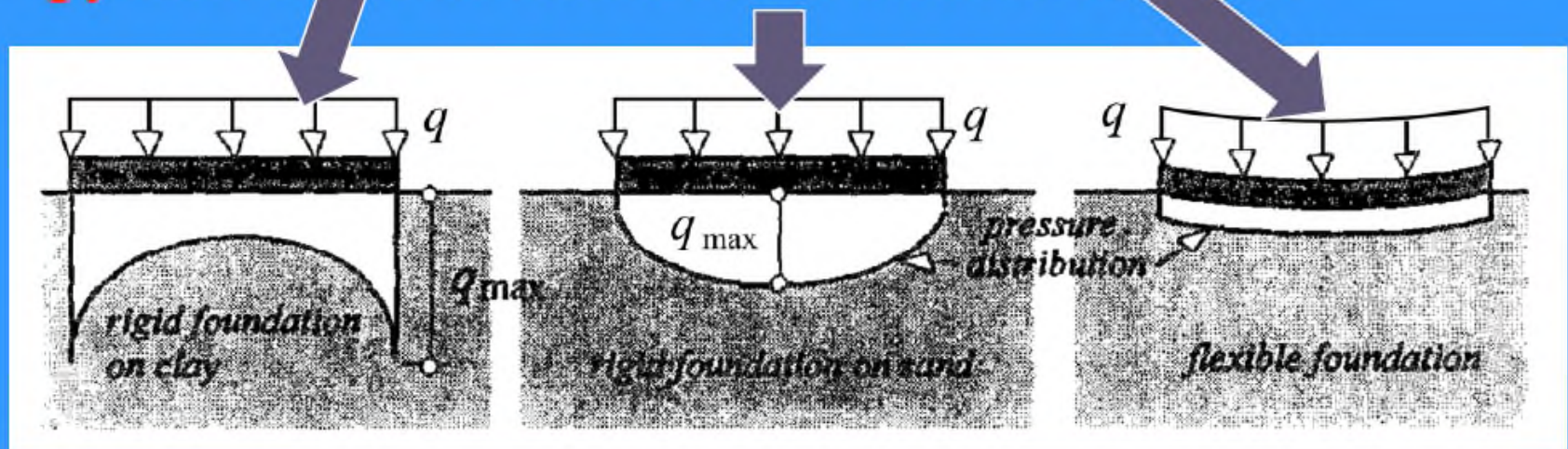
- - **абсолютно жесткие**

(массивные фундаменты под мостовые опоры, дымовые трубы, тяжелые прессы);

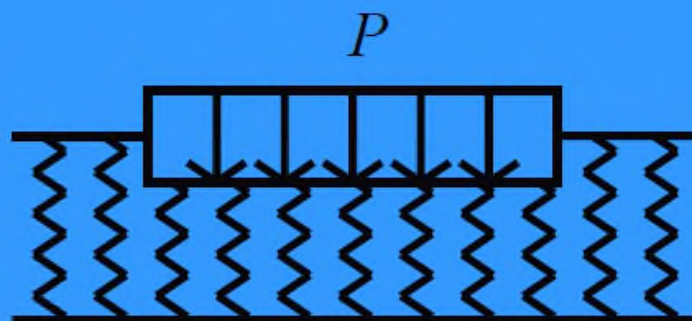
- - **абсолютно гибкие**

(днища металлических резервуаров, земляные насыпи);

- - **фундаменты конечной жесткости.**



Жесткий фундамент



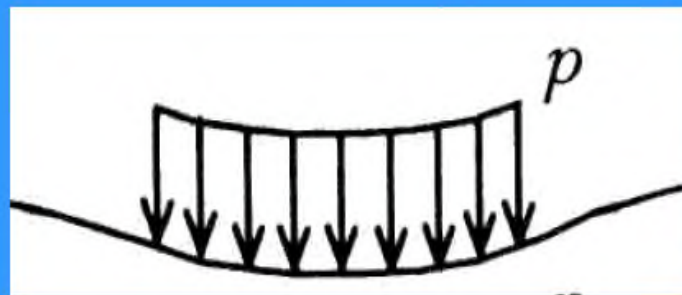
$$P = c_z z,$$

C_z – коэффициент упругости основания (постели)

↓

Модель местных упругих деформаций
(Модель Э. Винклера 1867)

Фундамент конечной жесткости

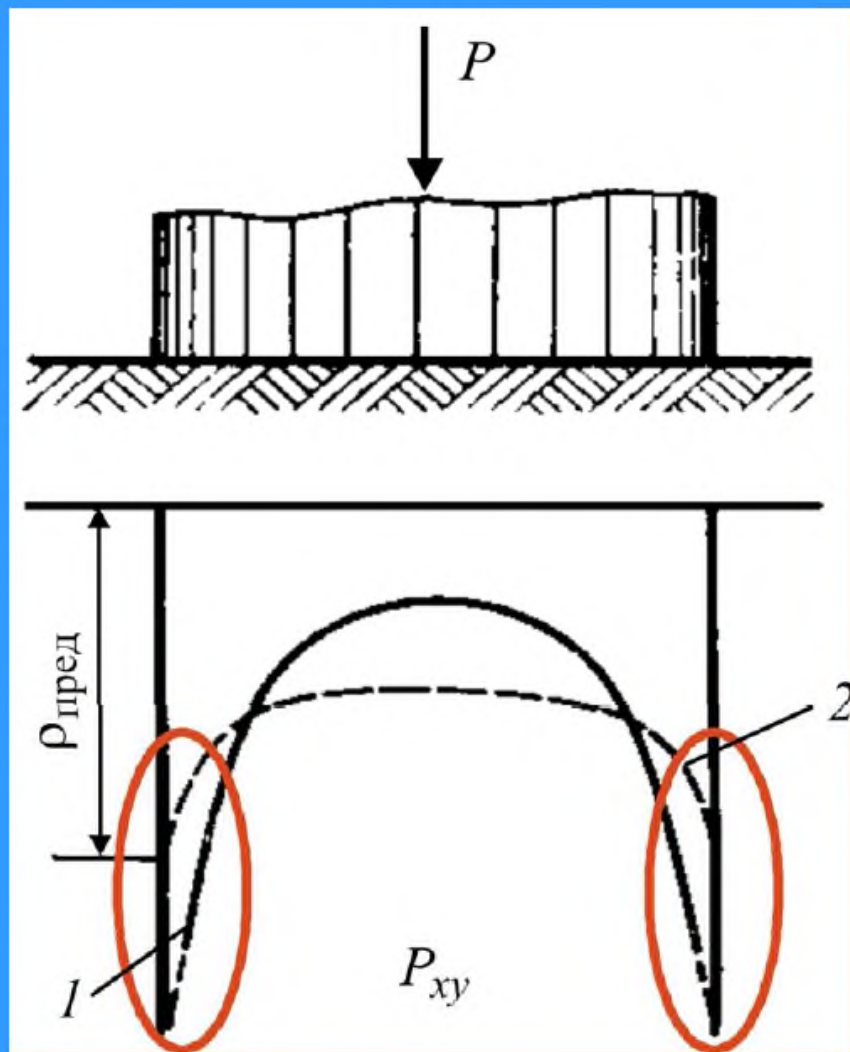


$$S = \frac{P}{\pi C R}, \quad C = \frac{E_0}{1 - \nu^2}$$

C – коэффициент деформируемости

↓

Теория общих деформаций (упругое полупространство) – решение Буссинеска



1 – теоретическая эшюра;
2 – экспериментальные значения

Контактные напряжения под подошвой абсолютно жесткого круглого фундамента

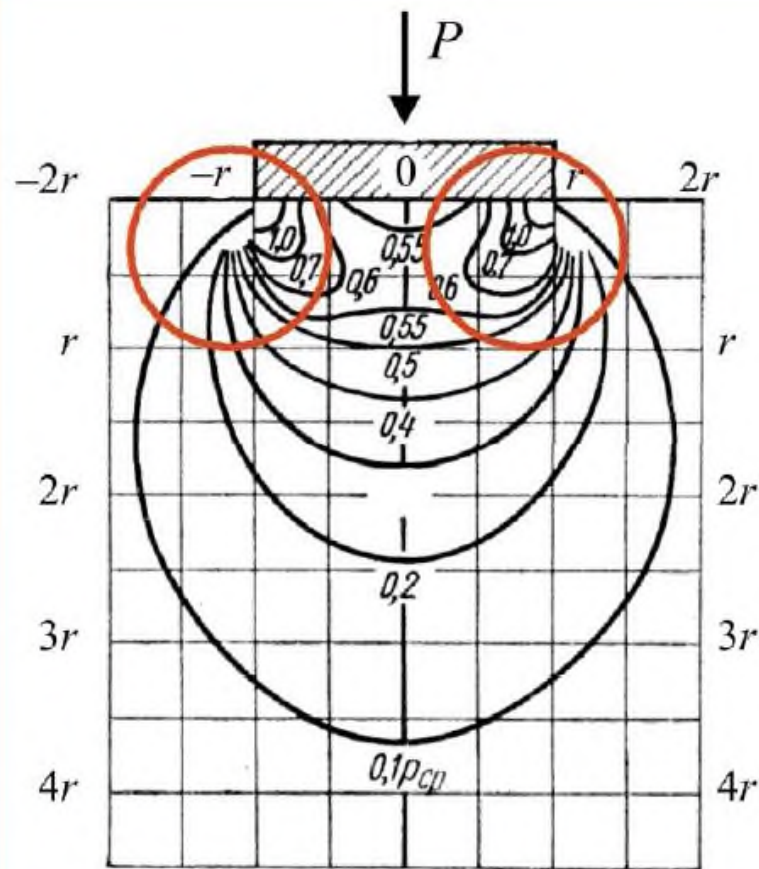
$$P_{xy} = \frac{P_m}{2\sqrt{1 - \left(\frac{\rho}{r}\right)^2}},$$

где r – радиус подошвы
фундамента;

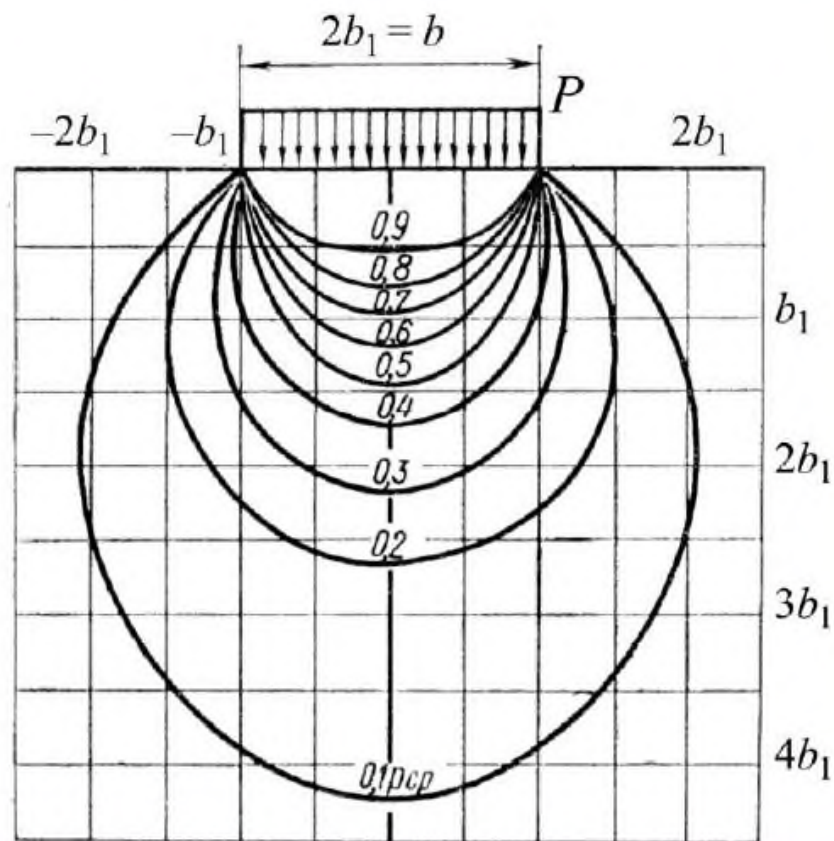
ρ – расстояние от центра
до любой ее точки, $\rho \leq r$;

P_m – среднее давление на
единицу площади.

Изобары под абсолютно жестким и гибким фундаментами



ЖЕСТКИЙ ФУНДАМЕНТ



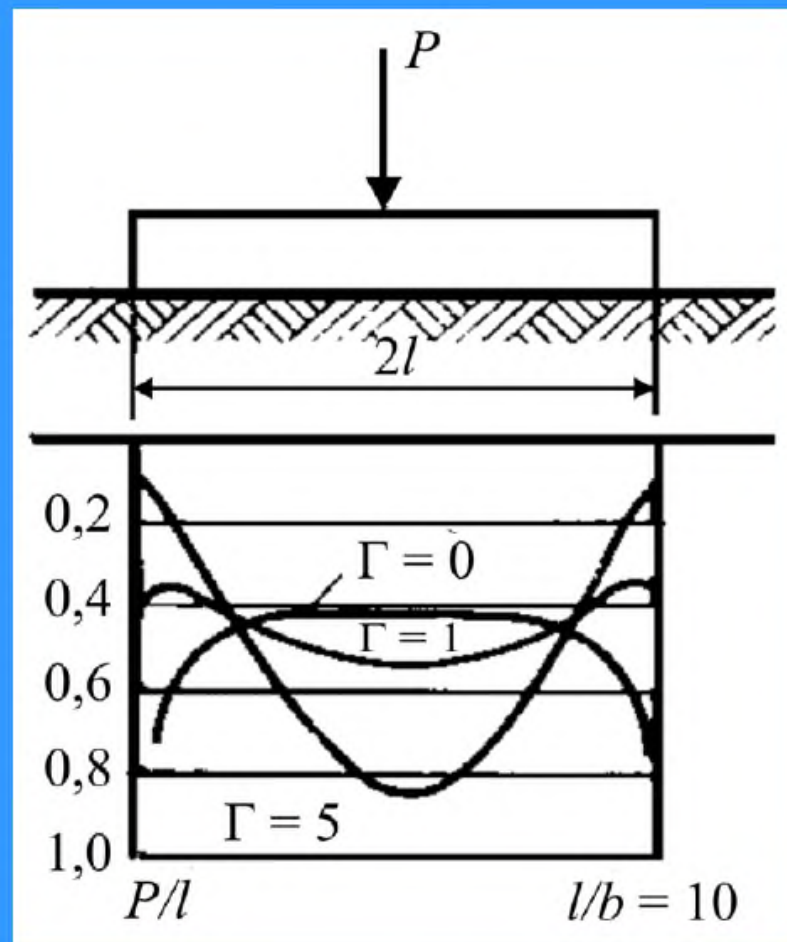
ГИБКИЙ ФУНДАМЕНТ

Показатель гибкости по М.И. Горбунову–Посадову

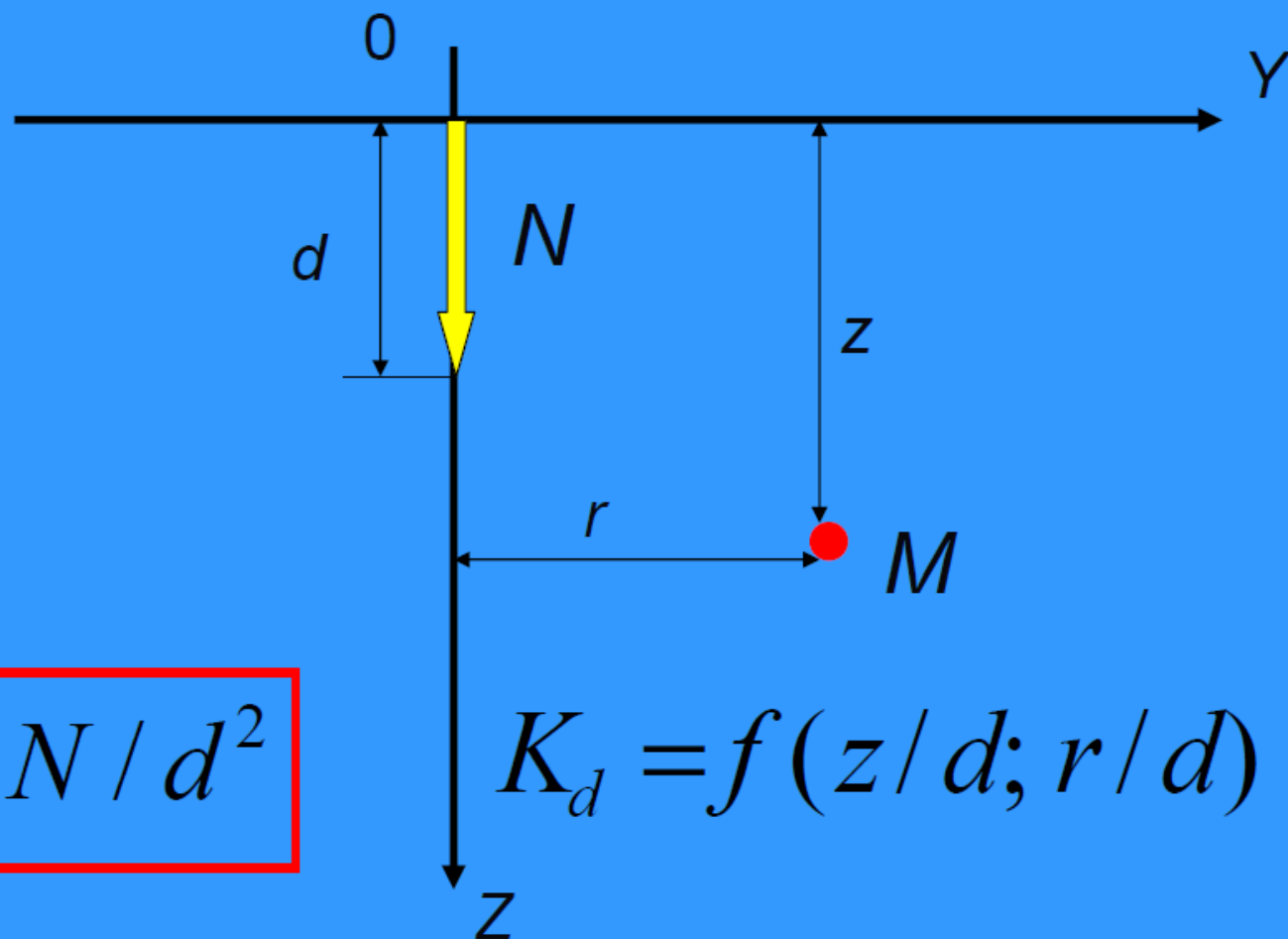
$$\Gamma \approx 10 \frac{E_0 \cdot l^3}{E_k \cdot h^3}$$

где E_0 и E_k – модули деформации грунта основания и материала конструкции;

l и h – длина и толщина конструкции.



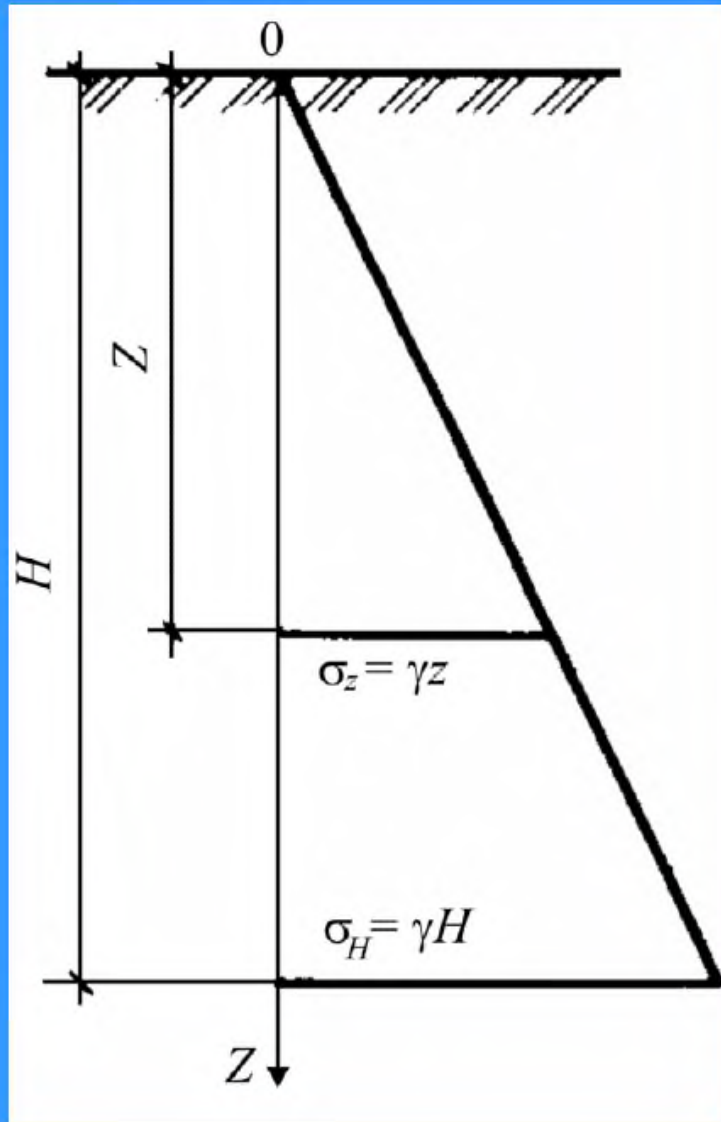
Распределение напряжений в грунте от нагрузки, приложенной внутри массива



$$\sigma_z = K_d N / d^2$$

$$K_d = f(z/d; r/d)$$

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ОТ СОБСТВЕННОГО ВЕСА ГРУНТА



$$\sigma_x = \sigma_y = \xi_0 \cdot \sigma_z$$

$$\xi_0 = \frac{\nu_0}{1 - \nu_0}$$

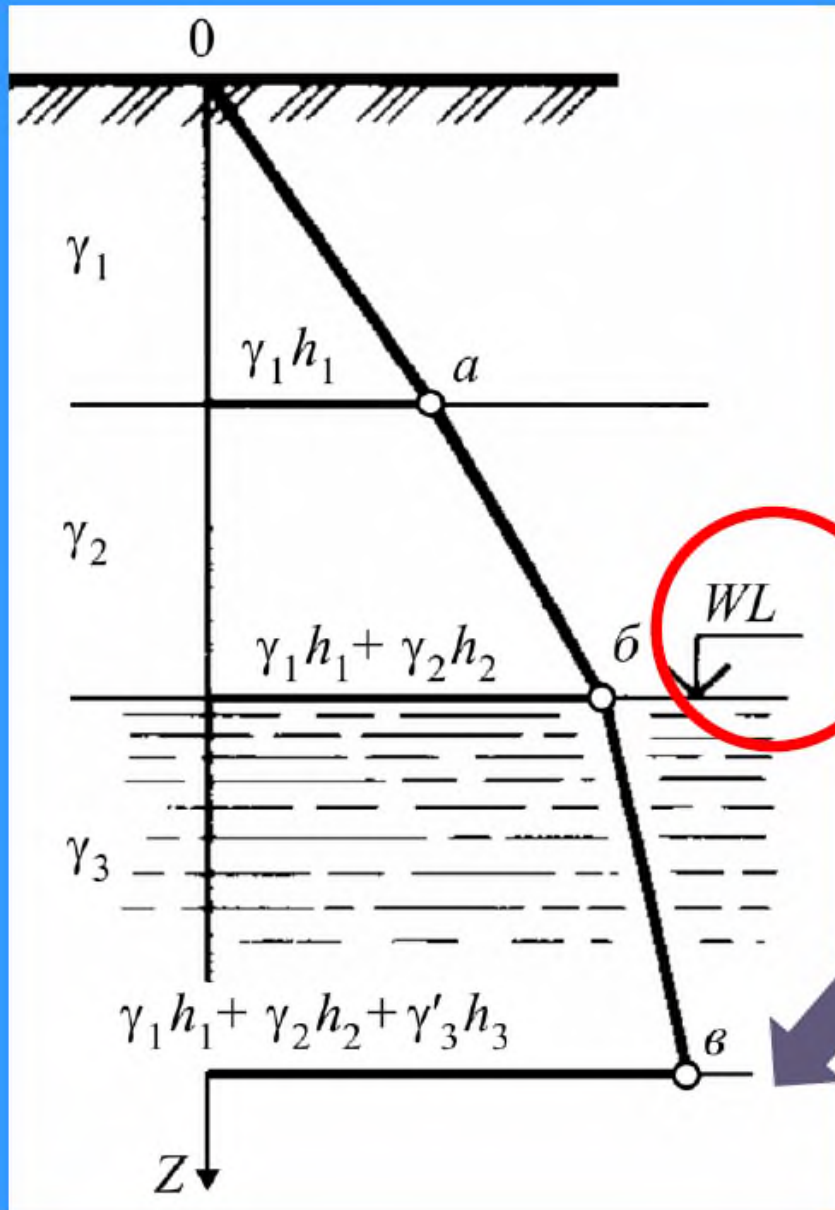
$$\sigma_z = \gamma z$$

Вес грунта с учетом взвешивающего действия воды

$$\sigma'_z = \gamma' \cdot z$$

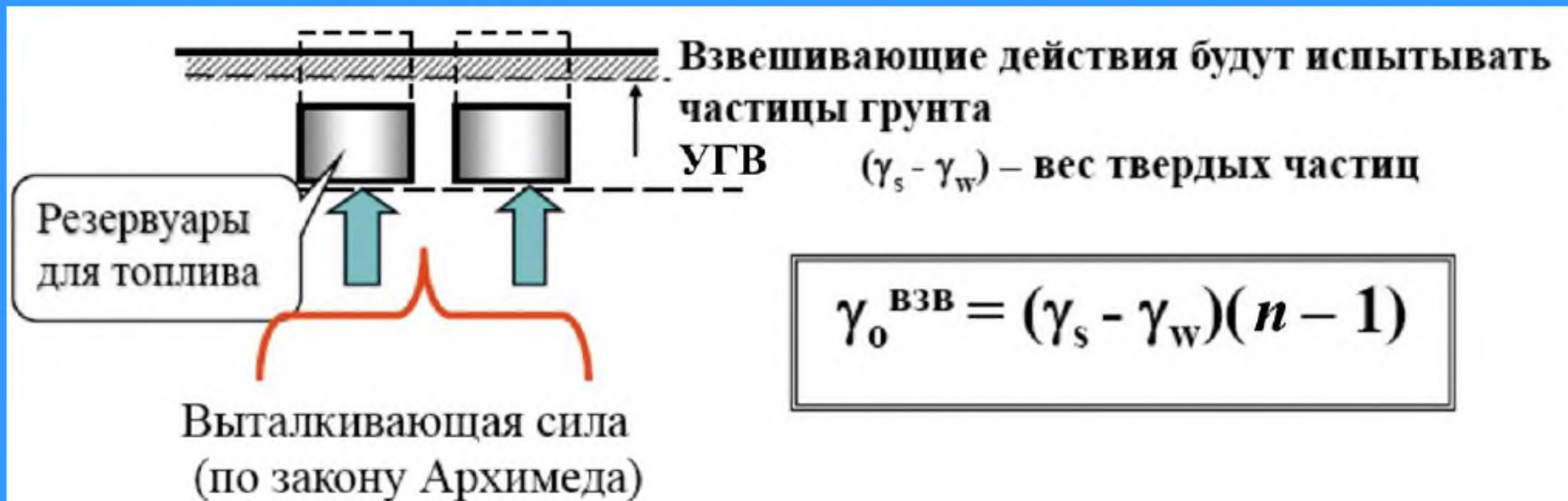
$$\gamma' = \frac{\gamma - \gamma_w}{1 + e}$$

$$\sigma_z = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \frac{\gamma - \gamma_w}{1 + e} \cdot h_3$$



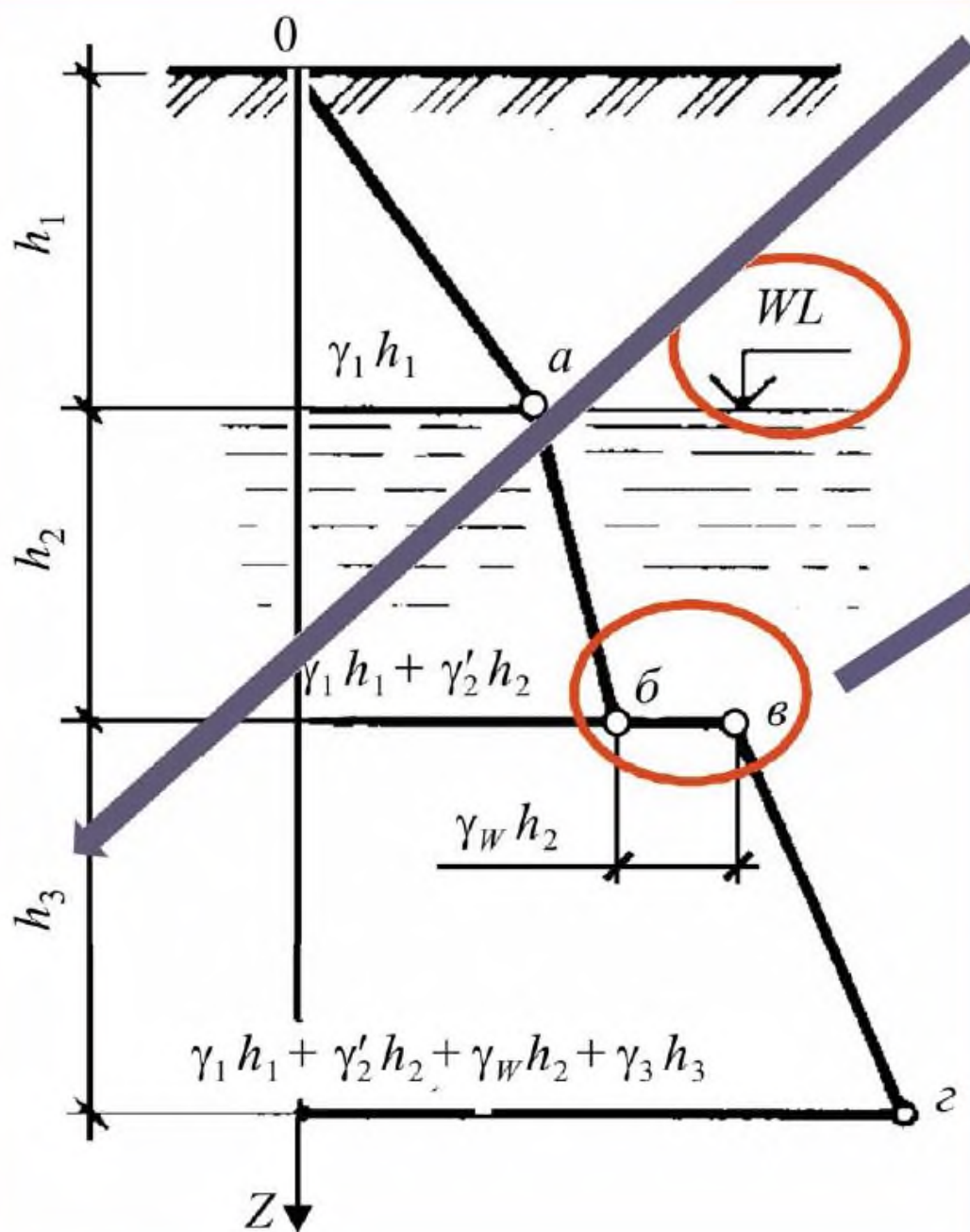
- Удельный вес с учетом взвешивающего действия воды $\gamma_0^{\text{взв}}$**

Для грунтов, находящихся ниже УГВ!!!!



$$\gamma_0^{\text{взв}} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}$$





h_3 – водоупорный грунт

Участок б–в

$$\sigma_{z(\text{б-в})} = \gamma_w h_2$$

$$\sigma_z = \gamma_1 h_1 + \gamma'_2 h_2 + \gamma_w h_2 + \gamma_3 h_3$$