

Казахская головная архитектурно-  
строительная академия  
Факультет общего строительства Дисциплина  
«Геотехника II»

---

Канд.техн.наук  
Хомяков Виталий Анатольевич  
2008г

# Основная литература

---

1. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Издательство АСВ, 1983. – 288 с.
2. Далматов Б.И., Бронин В.Н., Карлов В.Д. и др. Механика грунтов. Ч.1. Основы геотехники в строительстве. – М.: АСВ, 2000. – 204 с.
3. Далматов Б.И., Бронин В.Н., Карлов В.Д. и др. Основания и фундаменты. Ч.2. Основы геотехники. – М.: АСВ, 2002. – 392 с.
4. Ухов С.Б., Семёнов В.В., Знаменский В.В. и др. Механика грунтов, основания и фундаменты. – М.: Высшая школа, 2002. – 566 с.

# Дополнительная литература

---

1. Берлинов М.В. Основания и фундаменты. – М.: Высшая школа, 1999. – 319 с.
2. Далматов Б.И., Бронин В.Н., Голли А.В. и др. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений. – М.: АСВ, 2001. – 440 с.
3. Веселов В.А. Проектирование оснований и фундаментов. – М.: Стройиздат, 1990. – 415 с.
4. Шутенко Л.Н., Гильман А.Д., Лупан Ю.Т. Основания и фундаменты. – Киев: Высшая школа, 1989. – 328 с.
5. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика./Под ред. Е.А.Сорочана, Ю.Г.Трофименкова. - М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.
6. Берлинов М.В., Ягупов Б.А. Примеры расчета оснований и фундаментов. М.: Стройиздат, 1986. – 173 с.

# Справочно-нормативные учебно-методические материалы

---

- ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. М.: МНТКС, 1995
- Строительные нормы и правила: Основания зданий и сооружений: СНиП РК 5.01.01- 2002. – Астана, 2002. – 83 с.
- СНиП 1.02.07-87. Инженерные изыскания для строительства. М.: Стройиздат, 1988
- СНиП 2.01.15-88. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования. М.: Стройиздат, 1989
- СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты. М.: СИ, 1986
- СНиП 3.02.01-87. Земляные сооружения, основания и фундаменты. – М.: Стройиздат, 1988.
- Межгосударственный свод правил по проектированию и строительству: Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений: МСП 5.01-102-2002. – Астана, 2005. – 106 с.

Структура дисциплины «Геотехника II»

# Геотехника а II

Механика  
грунтов

Основания и  
фундаменты

# Механика грунтов

- Грунт – это горная порода, находящаяся в сфере воздействия инженерной деятельности человека.

Состав грунтов

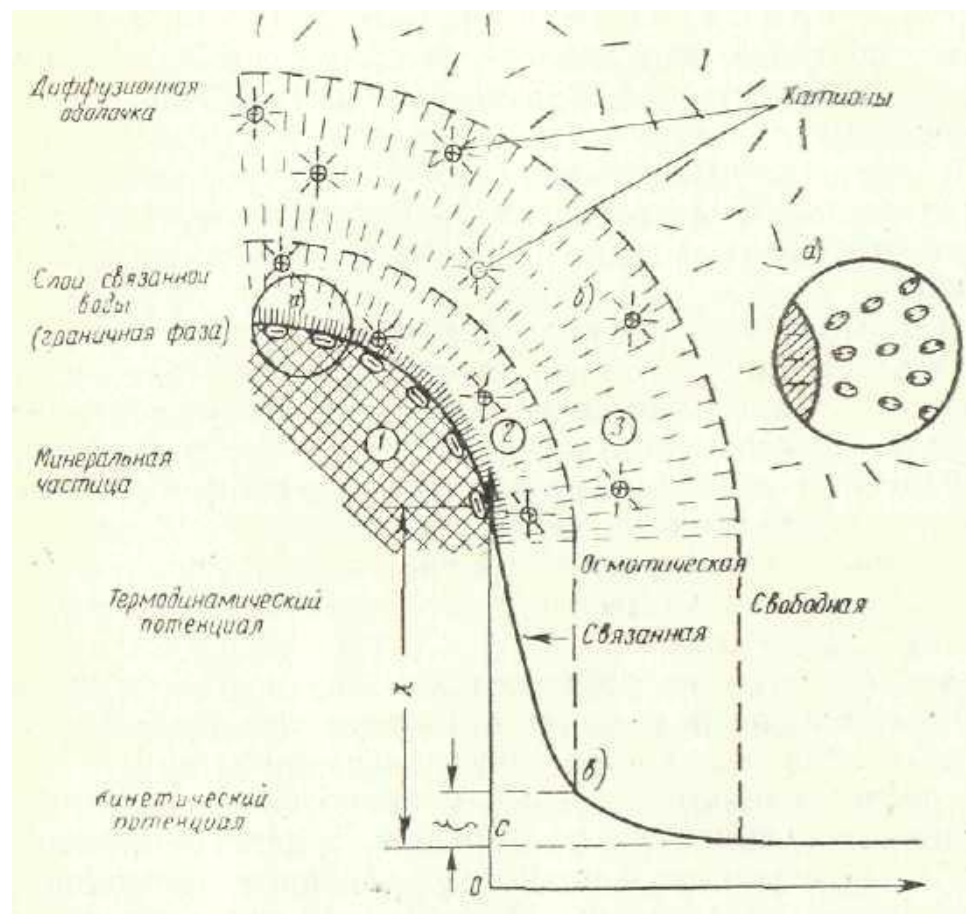
Твердые минеральные  
частицы

Жидкая  
компонента

Газовая  
КОМПОНЕНТА

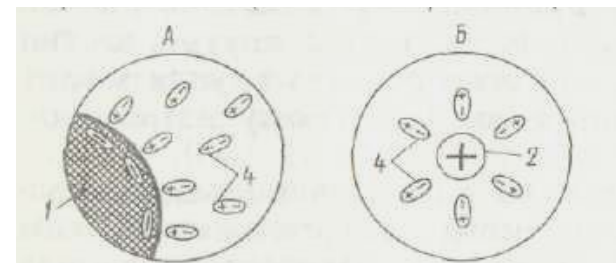
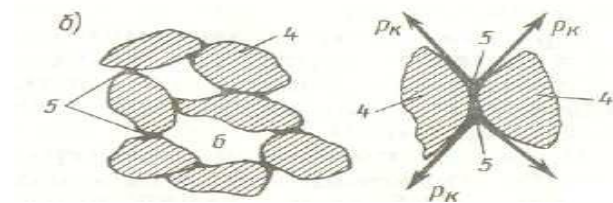
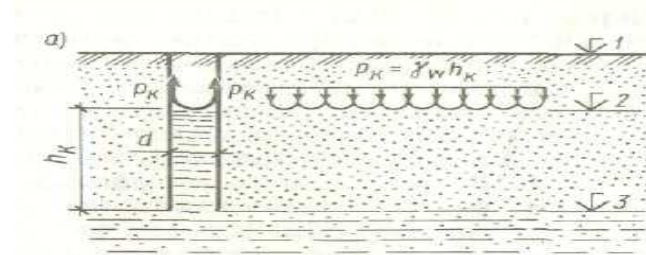
# Схема электромолекулярного взаимодействия в системе твердая частица — вода

- а — адсорбированная вода - ориентация диполей воды поверхностью твердой частицы и отдельными катионами;
- б — лиосфера (гидратная оболочка), выделена пунктиром;
- в — эпюра изменений электромолекулярных сил



# Формы воды в грунтах

- 1 – абсолютно сухой грунт
- 2 – воздушно-сухой грунт
- 3 – грунт, насыщенный гигроскопической (прочносвязанной водой)
- 4 - грунт в состоянии максимального насыщения молекулярно связанной водой
- 5 – грунт, содержащий гравитационную воду





# Состав грунтов

□ *Грунт = твердые частицы + вода + газ*

## Классификация грунтов (простейшая)

№	Наименование / группа	Содержит частиц < 0,005 (%)	Число пластичности $J_p$
1	Глины	> 30	> 0,17
2	Суглинок	10 ÷ 30	0,07 ÷ 0,17
3	Супесь	3 ÷ 10	0,01 ÷ 0,07
4	Песок	< 3	Не пластич.

□ Свойства твердых частиц.

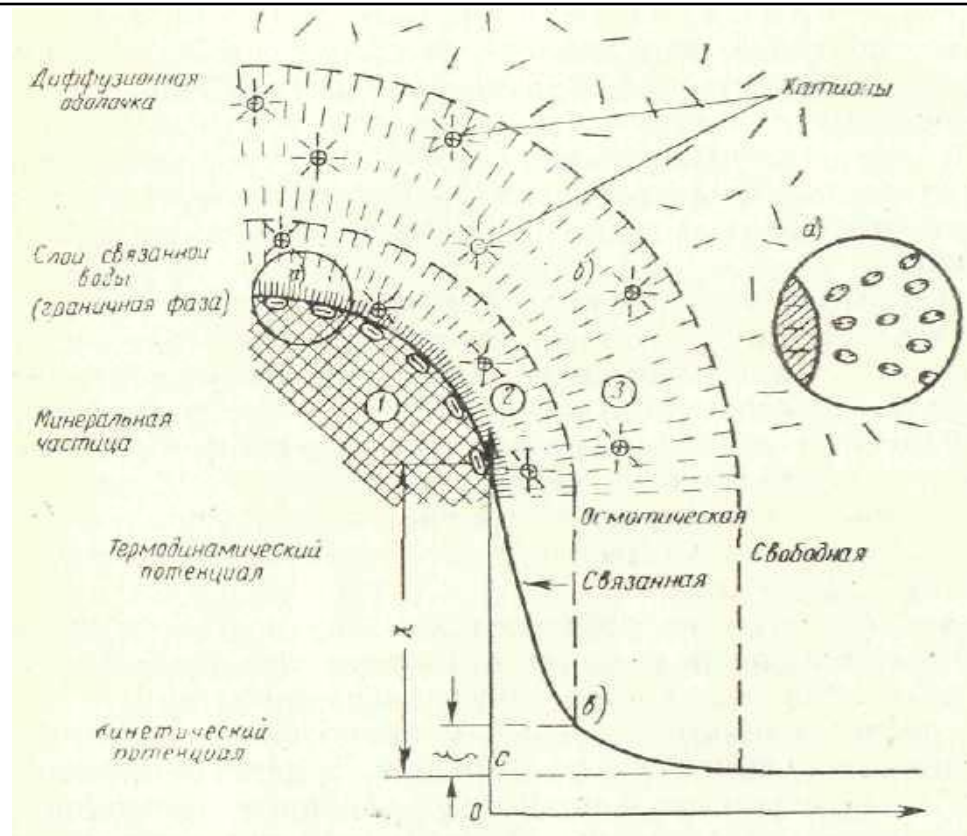
□ Свойства твердых (минеральных) частиц зависят от размеров.

□ Классификация твердых частиц:

№	Наименование частиц	Поперечный размер (мм)	Примечания
1	Галечные (щебень)	> 10 (20)	Классификация по шкале Сабанина (по скорости падения частиц в воде)
2	Гравелистые	2 ÷ 10 (20)	
3	Песчаные	0,05 ÷ 2	
4	Пылеватые	0,005 ÷ 0,05	
5	Глинистые	< 0,005	

# Схема электромолекулярного взаимодействия в системе твердая частица — вода

- **а- пленки прочносвязанной воды** адсорбированная вода - ориентация диполей воды определена поверхностью твердой частицы и отдельными катионами;  $n \cdot 1000$  (кг/см<sup>2</sup>) – электромолекулярные силы притяжения, удалить эту воду практически невозможно, замерзает при  $t^\circ < -70^\circ$ .
- **б — рыхлосвязанная вода** лиосфера (гидратная оболочка), выделена пунктиром;  $n \cdot 10$  (кг/см<sup>2</sup>) – электромолекулярная сила притяжения, удаляется только при  $t^\circ = 105^\circ$ , замерзает при  $t^\circ -1^\circ \dots -3^\circ \text{C}$ .
- **в — гравитационная (капиллярная вода)**



# Физические свойства грунтов

---

## □ Песчаных

Гранулометрический состав

Плотность,  $\rho$  г/см<sup>3</sup>

Влажность  $W$  %

Плотность сухого грунта,  $\rho$   
г/см<sup>3</sup>

Пористость,  $n$

Коэффициент пористости,  $e$

Степень влажности,  $S_r$

## □ Глинистых

Плотность,  $\rho$  г/см<sup>3</sup>

Влажность,  $W$  %

Влажность на границе  
раскатывания,  $W_p$  %

Влажность на границе  
текучести,  $W_L$  %

Плотность сухого грунта,  $\rho$   
г/см<sup>3</sup>

Пористость,  $n$

Коэффициент пористости,  $e$

Степень влажности,  $S_r$

Число пластичности,  $I_p$

Показатель консистенции,  $I_L$

# Классификационные показатели песчаных и глинистых грунтов

Грунт	Тип	Вид	Разновидность
Песчаный	По гранулометрическому составу	По плотности сложения	По степени влажности
Глинистый	По числу пластичности	По содержанию включений	По индексу текучести (показателю консистенции)

$$J_{S_{xi}}^L = \frac{(W - W_p^2) / (W_L - W_p p)}{S_x - \frac{W_p}{2S_x} - \Delta S_{xi}}$$

# Классификационные характеристики глинистых грунтов

- Число пластичности:

$$I_p = W_L - W_p$$

- Показатель

консистенции:

$$I_L = (W - W_p) / (W_L - W_p)$$

Наименование грунта	Значение $I_p$
Супесь	$0 < I_p < 7$
Суглинок	$7 \leq I_p \leq 17$
Глина	$I_p > 17$

Суглинки и глины	Супеси
Твердые $I_L < 0$	Твердые $I_L < 0$
Полутвердые $0 \leq I_L \leq 0,25$	Пластичные $0 \leq I_L \leq 1$
Тугопластичные $0,25 \leq I_L \leq 0,5$	Текучие $I_L > 1$
Мягкопластичные $0,5 \leq I_L \leq 0,75$	
Текучепластичные $0,75 \leq I_L \leq 1$	
Текучие $I_L > 1$	

# Оценка плотности

## сложения песков

Плотность сложения песка	Коэффициент пористости, $e$	Индекс плотности $I_d$ ( $I_{dmax}=1$ )	Число ударов груза $N^*$	Сопротивлен ие внедрению конуса, $R$ , МПа **
Плотный	$<0,55$	$>2/3$	$>30$	$>15$
Средней плотности	$0,55...0,7$	$2/3...1/3$	$9..29$	$10...15$
Рыхлый	$>0,7$	$<1/3$	$1...9$	-

- Динамическое зондирование выполняют пробоотборником 635кН, сбрасывая с высоты 71см. Определяют число ударов при погружении на 30см.
- Статическое зондирование выполняют стандартным конусом (диаметром 36мм углом основания  $60^\circ$ ), вдавливая его с заданной скоростью. Фиксируется осевая сила вдавливания.

# Основные закономерности механики грунтов

---

- **Сжимаемость** — обусловлена изменением пористости, а следовательно и объема. Происходит переупаковка частиц
- **Водопроницаемость** — свойство пористых тел, является для грунтов переменной величиной, изменяющейся в процессе уплотнения под нагрузкой.
- **Контактная сопротивляемость сдвигу** — обусловлена лишь внутренним трением в сыпучих грунтах и трением со сцеплением в связных.
- **Деформируемость** — зависит от податливости и сопротивляемости структурных связей грунтов, от деформируемости отдельных компонентов образующих грунты.

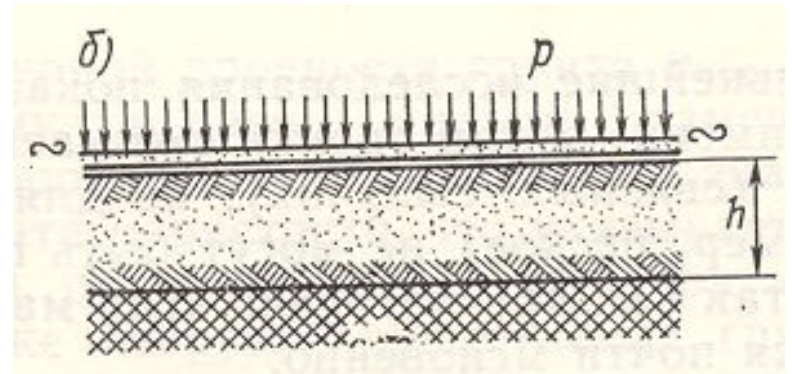
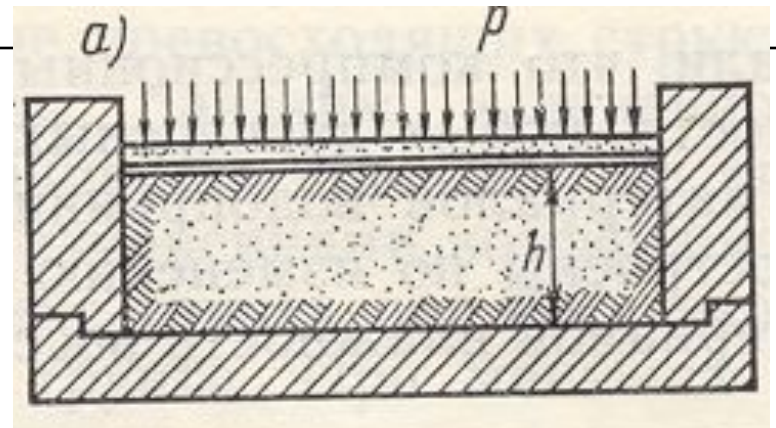
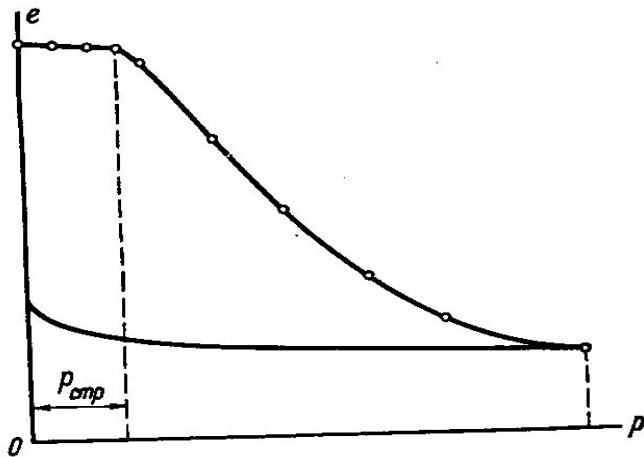
# Основные закономерности механики грунтов

Особые свойства грунтов	Закономерность	Показатели	Практические приложения
Сжимаемость	Закон уплотнения	Коэффициент сжимаемости	Расчет осадок фундаментов
Водопроницаемость	Закон ламинарной фильтрации	Коэффициент фидьтрации	Прогноз скорости осадок водонасыщенных грунтовых оснований
Контактная сопротивляемость сдвигу	Условие прочности	Коэффициент внутреннего трения и сцепление	Расчеты предельной прочности, устойчивости и давления на ограждения
Структурно-фазовая деформируемость	Принцип линейной деформируемости	Модули деформируемости	Определение напряжений и деформаций грунтов



# Сжимаемость грунтов

- Различают:
  - **уплотняемость** (при кратковременном действии динамических нагрузок)
  - **уплотнение** (при действии сплошной постоянной нагрузки-компрессия)



# Компрессионная зависимость

□ Характеризует:

- коэффициент сжимаемости грунтов

$$m_o = \operatorname{tg} \alpha$$

- коэффициент относительной сжимаемости  $m_v = m_o / (1 + e_o)$

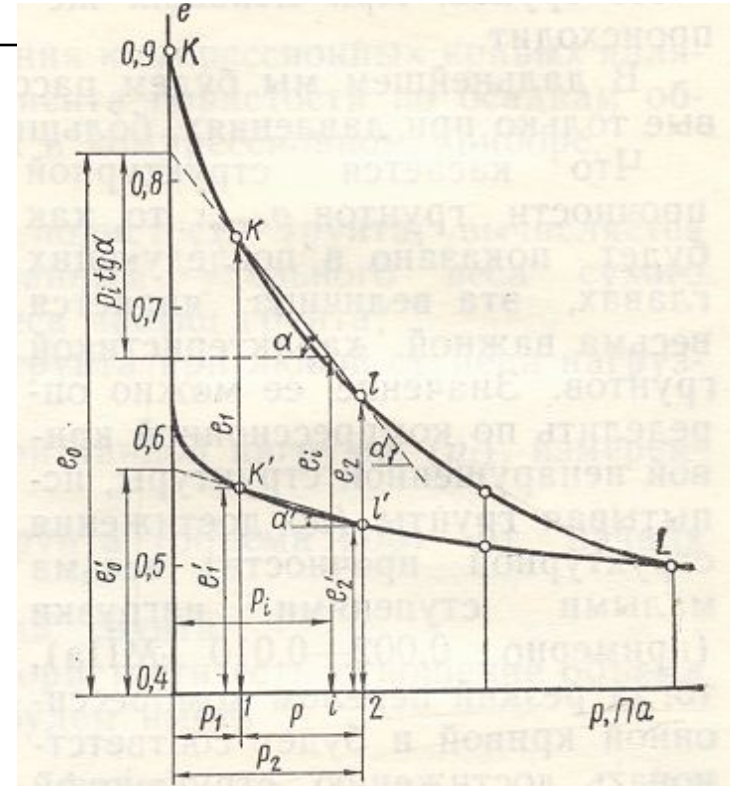
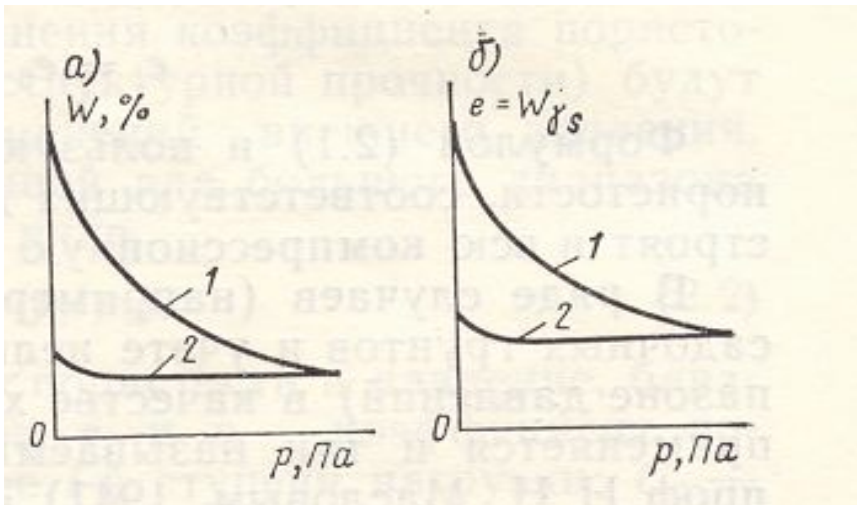


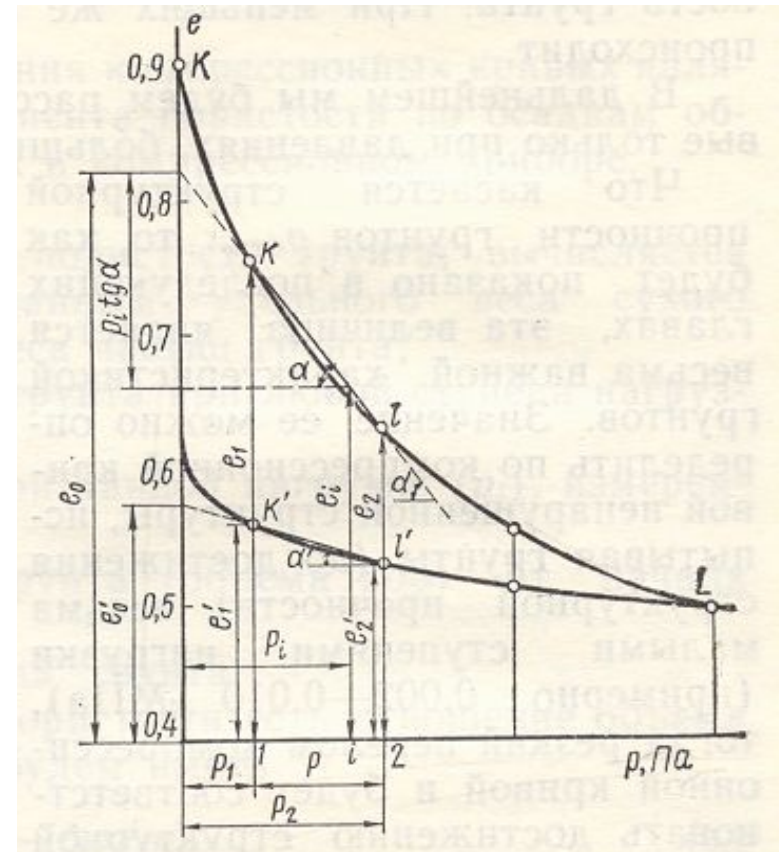
Рис. 2.5. Определение параметров отрезка компрессионной кривой

# Закон уплотнения

(сформулировал Н.А.Цытович, 1934г.)

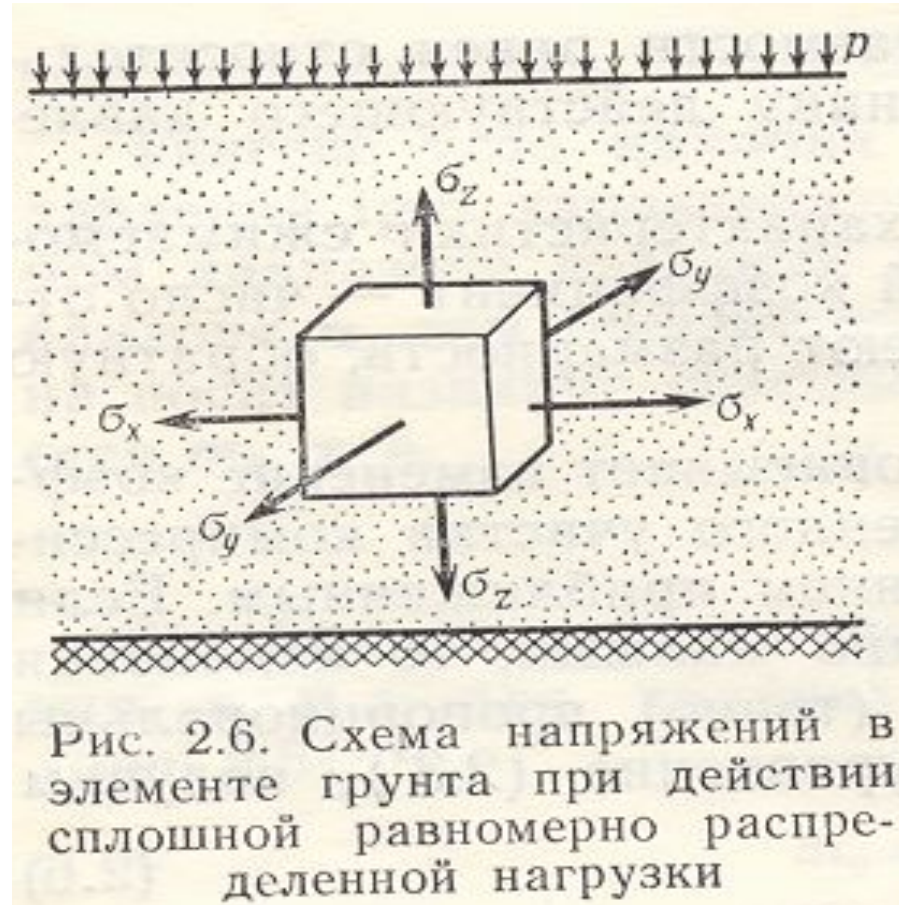
- Бесконечно малое изменение относительного объема пор грунта прямо пропорционально бесконечно малому изменению давления:

- $de = -m_0 dP$



# Общий случай компрессионной зависимости

- Характеризуется:
  - $\sigma_x = \sigma_y$
  - $\sigma_z = p$
  - $\varepsilon_x = 0$
- $\Theta = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = p(1 + 2\xi_0)$
- Изменение коэффициента пористости (или влажности) грунтовой массы в данной точке может произойти лишь при суммы главных напряжений в этой же точке.



# Коэффициент бокового давления

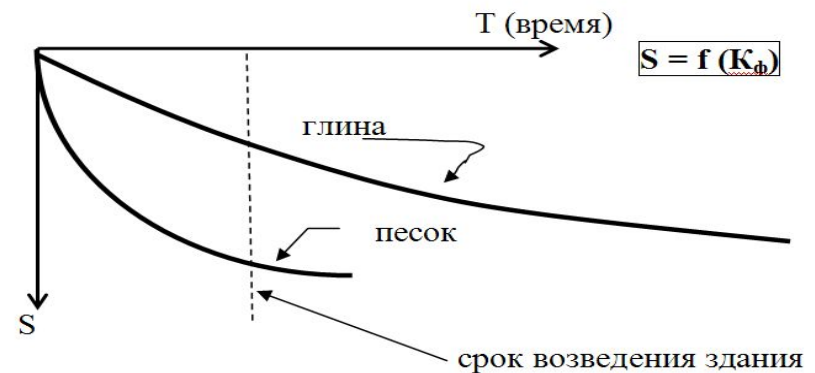
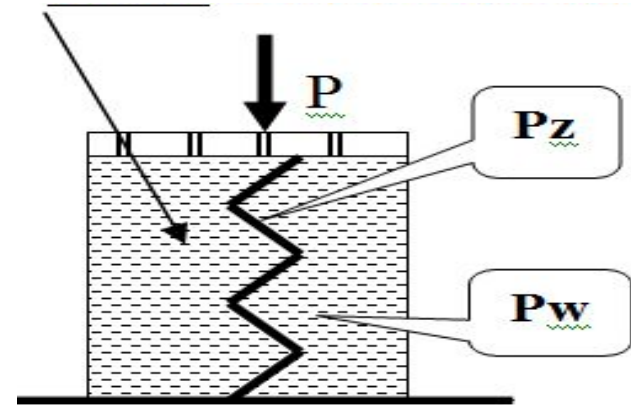
- Коэффициент бокового давления ( $\xi$ ) – есть отношение приращения горизонтального давления грунта  $dq$  к приращению действующего вертикального давления
- $\xi = dq/dp$
- Для песчаных грунтов:  
 $\xi = 0,25 - 0,37$ ;
- Для глинистых грунтов:  
 $\xi = 0,11 - 0,82$ ;

# Давление в грунтах

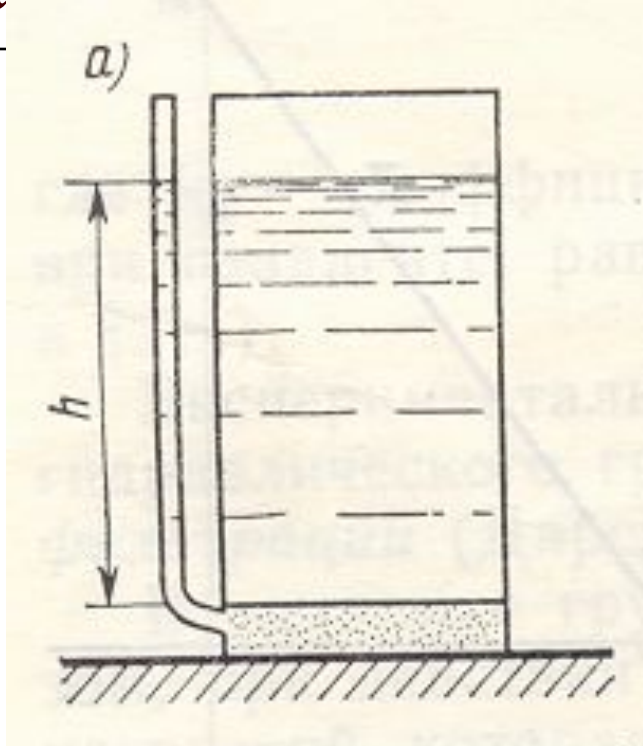
- $P_z$  – **эффективные** - давления в скелете грунта, уплотняют и упрочняют грунт, передаются только через точки и площадки контактов твердых частиц.
- $P_w$  – **нейтральные** – не уплотняют и не упрочняют грунт, а создают лишь напор в воде, вызывающий ее фильтрацию.
- В полностью водонасыщенной грунтовой массе имеет место соотношение  $P = P_z + P_w$  или  $\sigma = \bar{e} + u$ ;
- Эффективное давление  $\bar{e}$  в любой точке водонасыщенного грунта равно разности между полным  $\sigma$  и нейтральным  $u$  напряжениями

# Давление в грунтах

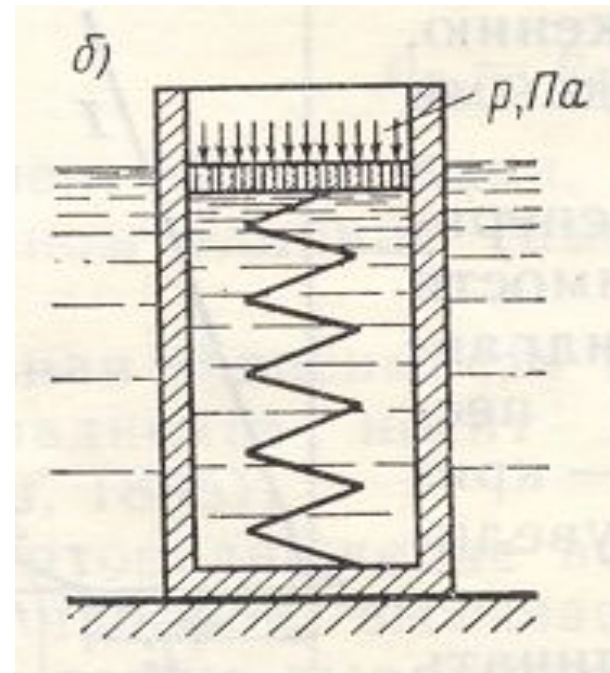
- В любой момент времени в полностью водонасыщенной грунтовой массе имеет место соотношение:  $P = P_z + P_w$ , где  $P$  – полное давление
- При  $t = 0$   $P = P_w$
- При  $t = t_1$   $P = P_w + P_z$
- При  $t = P = P_z$  – это теоретически, практически для того чтобы  $P_w = 0$ , требуется длительный период времени. времени в полностью
- Осадка может происходить и при  $P = P_z$  за счет явлений ползучести скелета.



# Схемы, поясняющие две системы давлений в волокнасыщенных грунтах



- а) Схема передачи давления на скелет грунта

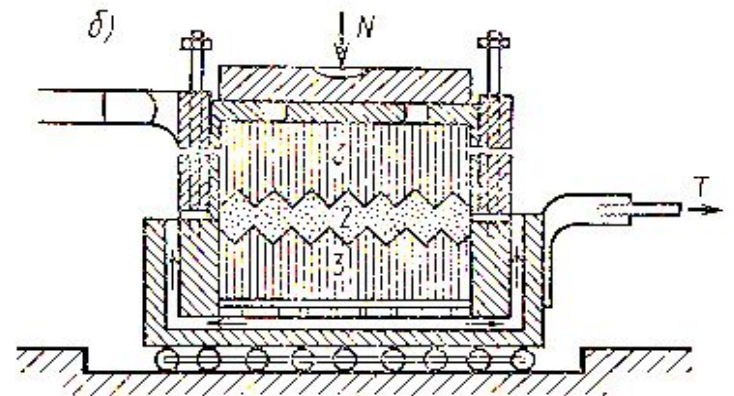
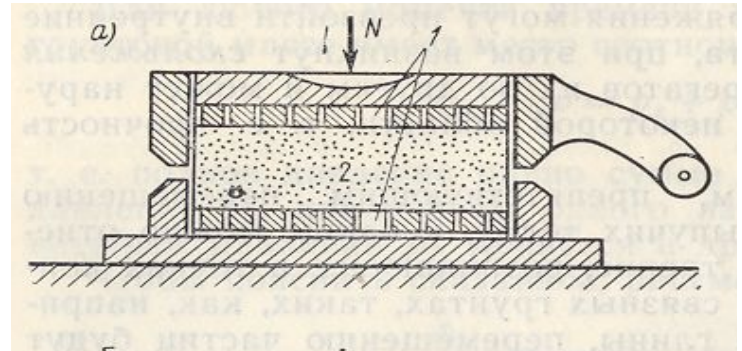


- б) Модель сжатия грунтовой массы
- (нагрузка вначале вся передается на воду, затем по мере сжатия на скелет грунта)

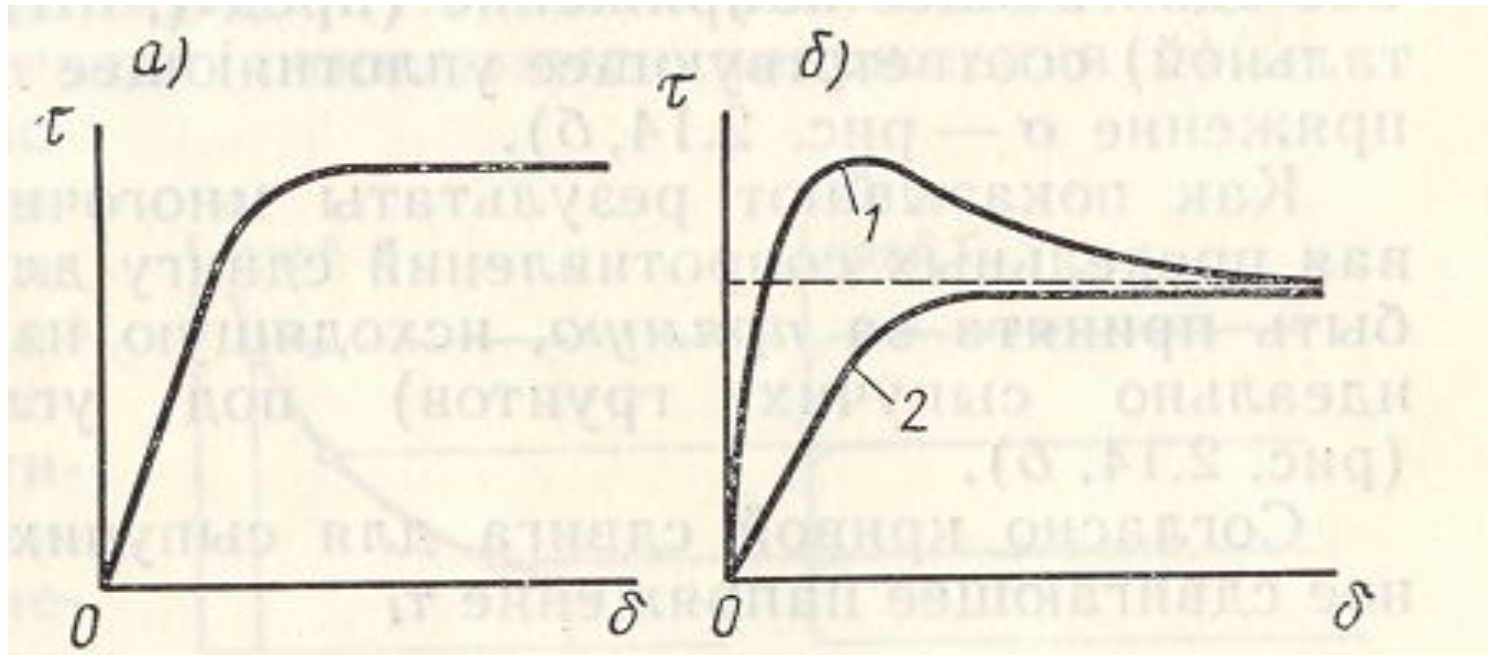


# Сопротивление грунтов сдвигу

- Способность грунта сопротивляться внешним нагрузкам определяется внутренним сопротивлением сдвигу частиц за счет сил трения на их контактах и силами сцепления, под которым понимают сопротивление структурных связей всякому перемещению связываемых ими частиц.



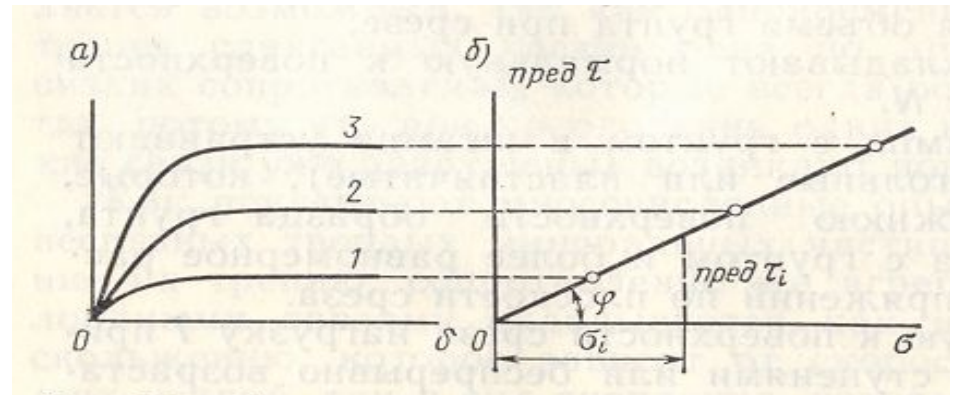
# Схемы испытаний грунтов на сдвиг



- А) при постоянно возрастающей нагрузке;
- Б) при постоянной скорости деформирования;
- 1- для плотного грунта;                                      2 – для рыхлого грунта;
- $\tau$  – касательное напряжение;                                       $\delta$  – деформации при сдвиге.

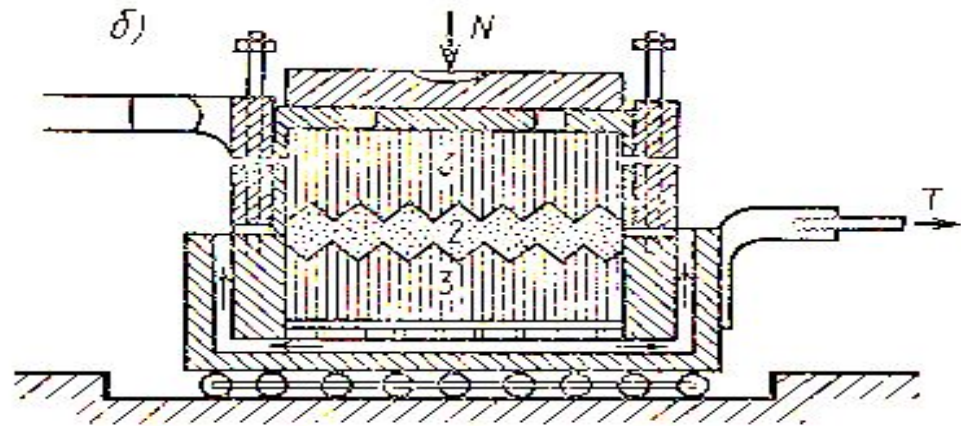
# Закон Кулона, 1773г.

- Предельное сопротивление **сыпучих грунтов** сдвигу есть сопротивление трению, прямо пропорциональное нормальному давлению



- $\text{пред } \tau_i = \text{tg} \varphi * \sigma_i$ ;

где:  $\varphi$  — угол внутренней трения грунта.



# Общий вид сдвигового прибора с кинематической схемой проведения испытаний

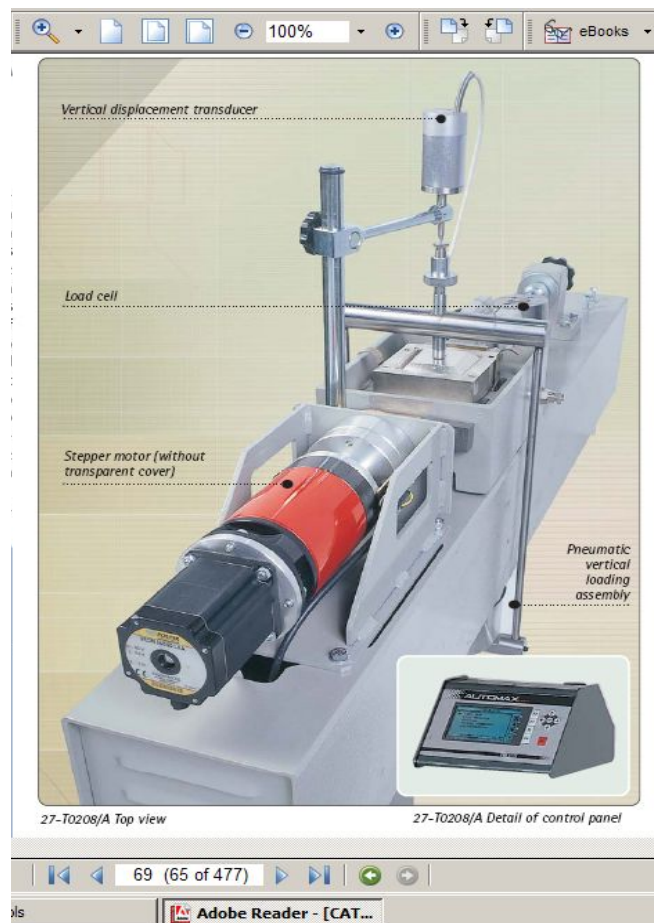
## ■ 27-T0208/A

### Automatic digital shear machine.

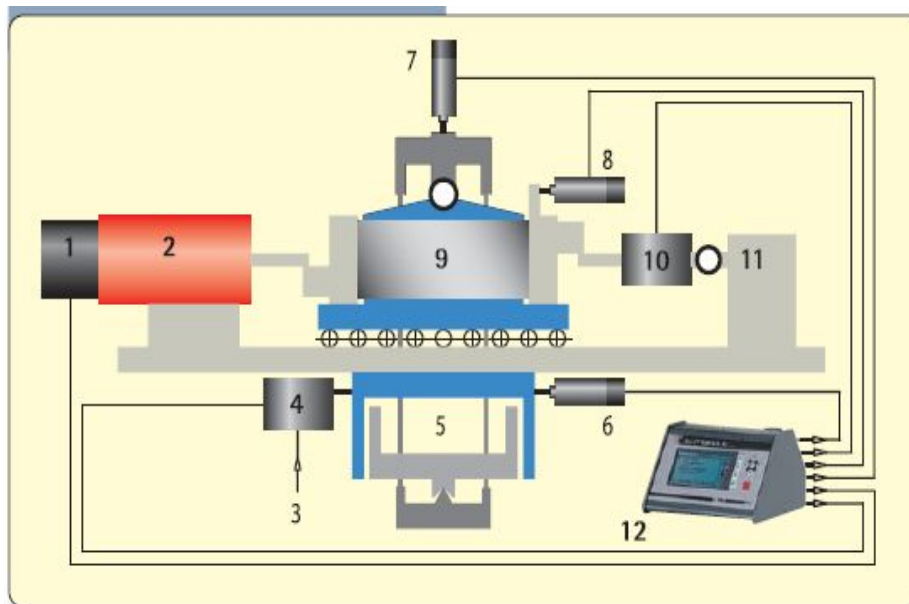
110-220 V, 50-60 Hz, 1 ph.

This new and advanced model microprocessor based, is driven by a high resolution stepper motor with epicyclic reduction gear with a reduced backlash. Incorporates a pneumatic closed loop system for the application of the axial pressure by a high performance pressure regulator. This system also apply to different types of automatic shear tests since it is possible to control the different parameters measured during the test, for example the constant volume shear test where it is necessary to control/maintain the vertical deflection to zero during shearing. The automatic application of the vertical load eliminates the manual loading of the dead weight when performing standard tests.

For more information ask our sales department.



# Схема сдвигового прибора (Италия)



27-T0208/A automatic digital shear box apparatus. Schematic layout

## Legend

- 1 Stepper motor
- 2 Horizontal loading assembly
- 3 Compressed air supply
- 4 Proportional valve to control the vertical load
- 5 Vertical loading assembly
- 6 Vertical load air pressure transducer
- 7 Vertical displacement transducer
- 8 Horizontal displacement transducer
- 9 Shear box
- 10 Load cell
- 11 Machine frame
- 12 Control console

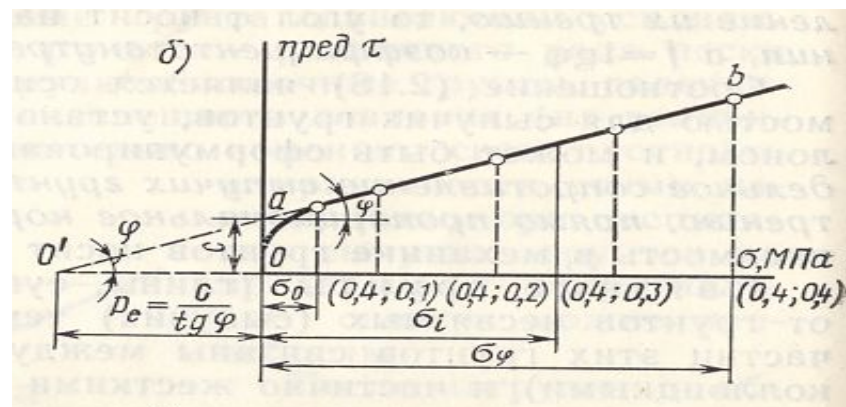
# Сопротивление сдвигу связных грунтов

- В **связных грунтах** частицы и агрегаты частиц связаны пластичными водно-колоидными и частично жесткими, цементационно-кристаллизационными связями, поэтому сопротивление сдвигу будет в высокой степени зависеть от связности, т.е. сил сцепления.

- $\text{пред } \tau_i = \text{tg} \varphi * \sigma_i + c$  ;

где:  $\varphi$  — угол внутреннего трения грунта;

$c$  — удельное сцепление.



- Выделяют три режима испытаний грунтов:
  - 1 — консолидированно-дренированное;
  - 2 — неконсолидированно-недренированное;
  - 3 — консолидированно-недренированное

# Испытание грунтов на трехосное сжатие

- Отражают наиболее реальную работу грунта основания
- Схема стабилометра:  
 $\sigma_1 = P$ ;  $\sigma_2 = \sigma_3$ ;

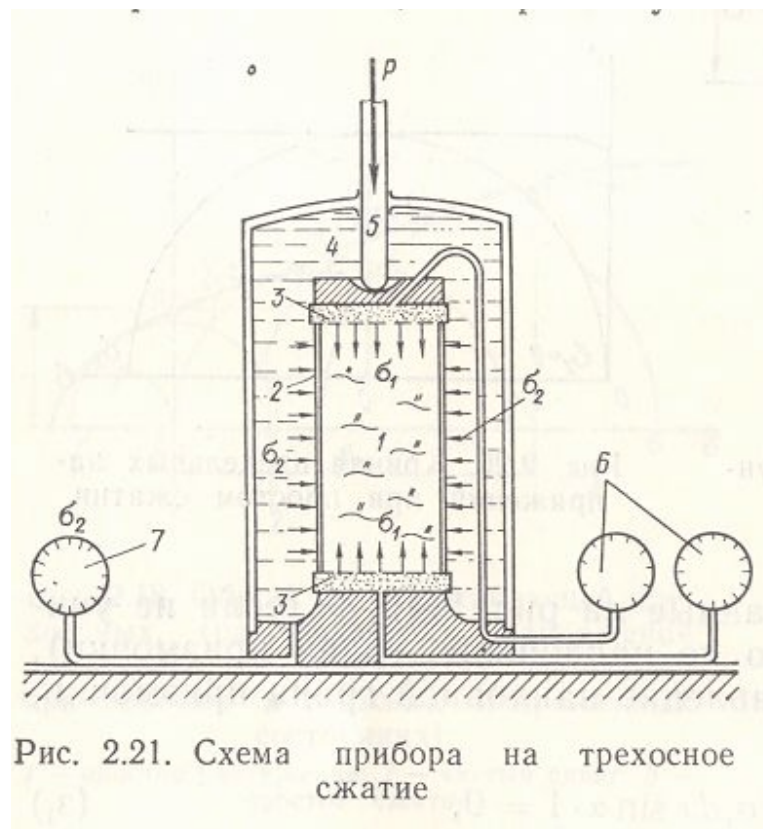
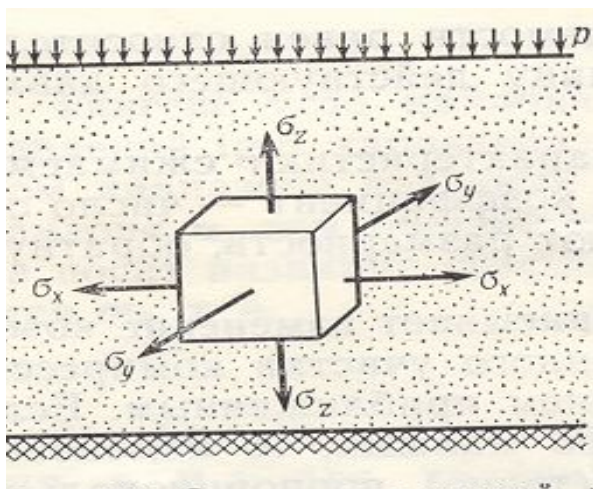


Рис. 2.21. Схема прибора на трехосное сжатие

# Приборы трехосного сжатия (стабиллометры)



28-T0401 with cell and accessories

28-T0403 28-T0401 with cell and accessories

- Microprocessor controlled
- Advanced stepper motor drive
- Infinitely variable speed from 0.00001 to 9.99999 mm/min
- Audible overtravel alarm
- Automatic self check diagnostic
- Waterproof membrane keyboard
- LCD 4-row by 20 character display
- Easy to operate via the membrane keyboard

## ■ 28-T0403

Digital triaxial frame, 100 kN cap.  
110-230 V, 50-60 Hz, 1 ph.

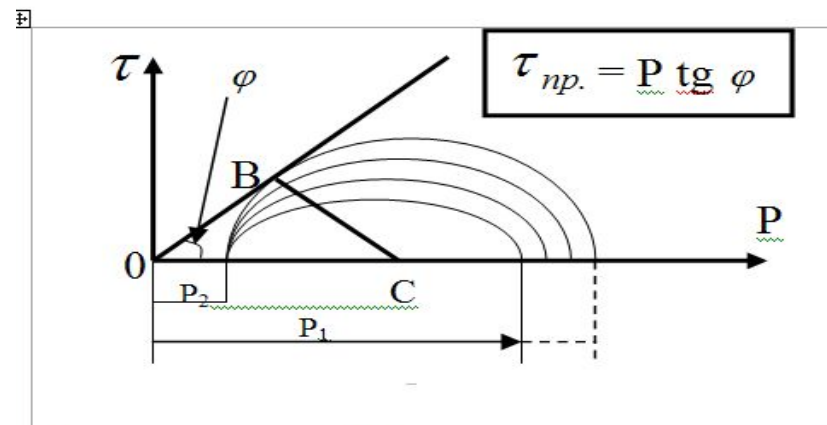
### General description and specifications

This versatile digital loading frame features a microprocessor controlled drive system with an advanced stepper motor enabling the operator to easily set any test speed via the keyboard. The machine can be fitted with an optional RS 232 port so it can be remotely controlled. The upper and lower limits of platen travel are set by use of automatic safety cut-out switches and by an audible overtravel alarm. Other important features include pause and speed reset during the test and the automatic self check diagnostic. All load rings, cells, dial gauges, etc. have to be ordered separately.

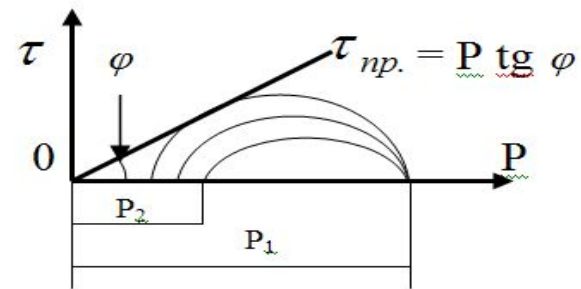


# Методика проведения испытаний в трехосных приборах

- В процессе испытаний оставляем неизменным  $P_2$  и увеличиваем  $P_1$ . Максимальное значение  $P_1$  будет тогда, когда круг коснется прямой Кулона  $\tau_{пр} = P \operatorname{tg} \varphi$  - уравнение, описывающее предельное сопротивление грунта сдвигу для песчаного грунта, т.е. процесс разрушения.



Может быть, и другая методика испытаний:

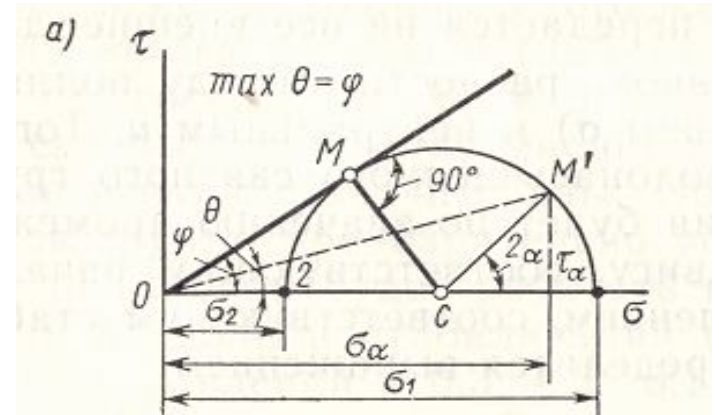


$\tau_c$  — радиус

# Случаи предельных напряжений при сдвиге (теория прочности Мора)

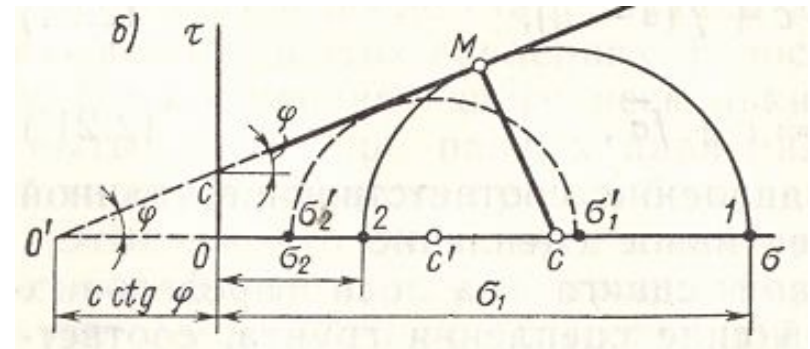
- Условие предельного равновесия **сыпучих грунтов**

$$\sin\varphi = (\sigma_1 - \sigma_2) / (\sigma_2 + \sigma_1) ;$$



- Условие предельного равновесия **связных грунтов**

$$\sin\varphi = (\sigma_1 - \sigma_2) / (\sigma_2 + \sigma_1 + 2c \operatorname{ctg}\varphi) ;$$



# Прочность грунтов

---

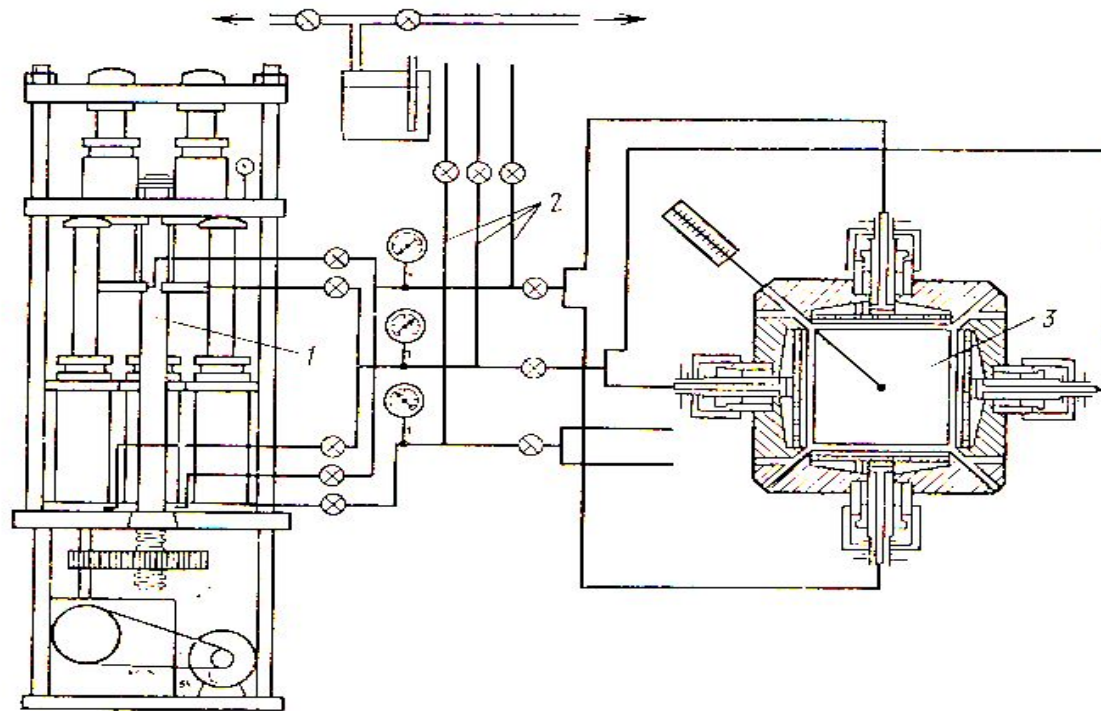
- В настоящее время наиболее оправданной для грунтовых материалов является концепция, по которой разрушение грунта происходит по определенным площадкам скольжения. Эта концепция в развернутом виде состоит из 3-х положений:
  1. Разрушение происходит по площадкам скольжения, определяемым в пространстве главных напряжений  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$  нормалью  $\nu$  с направляющими косинусами  $\{l, m, n\}$ ;
  2. Положение площадки определяется некоторыми дополнительными условиями;
  3. На площадке с нормалью  $\nu$  разрушение происходит по закону сухого трения Кулона, т.е.  $|\tau_\nu| = c_\nu - \text{tg}\varphi * \sigma_\nu$ ;

# Основные критерии прочности

---

- Критерий прочности Кулона-мора ( для решения плоских задач);
- Критерий прочности Хилла- Треска (для решения плоских задач);
- Критерий прочности Мизеса-Шлейхера-Боткина (для решения пространственных задач)

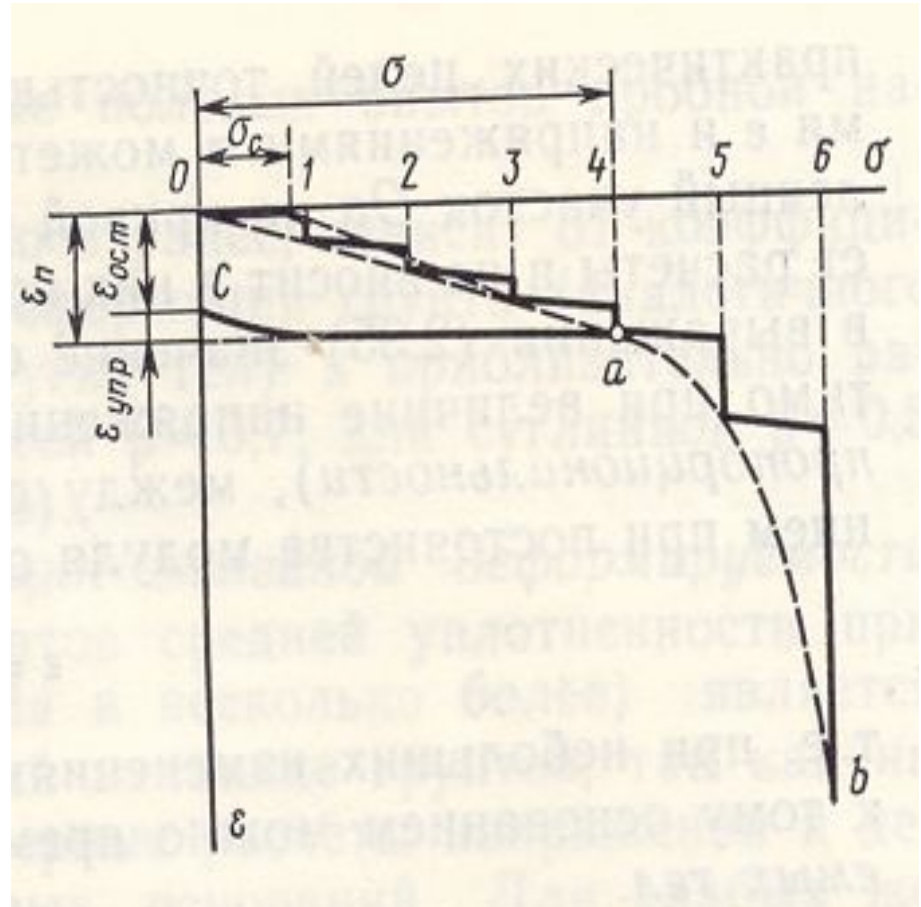
# Прибор трехосного сжатия



- 1 - нагружающее устройство при принудительно задаваемых деформациях;
- 2 – трубопроводы от бачков компенсаторов; 3 – образец грунта в форме куба.

# Структурно-фазовая деформируемость грунтов

- При действии внешней нагрузки отдельные фазы грунтов (компоненты) по разному сопротивляются силовым воздействиям и по разному деформируются.
- Общий вид:
- $\varepsilon = \alpha_c * \sigma_c + \alpha_n * (\sigma_n - \sigma_c)^m$ ;  
 $\alpha_c = 1/E$ ;  $\alpha_n = \beta / E_{o(z)}^r$   
 $E$  — модуль упругости (Юнга),  
 $E_{o(z)}^r$  — модуль общей линейной деформации



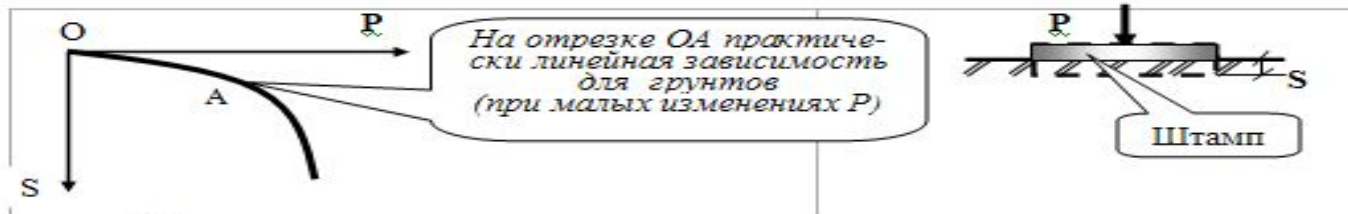
# Определение напряжений в грунтовой толще

---

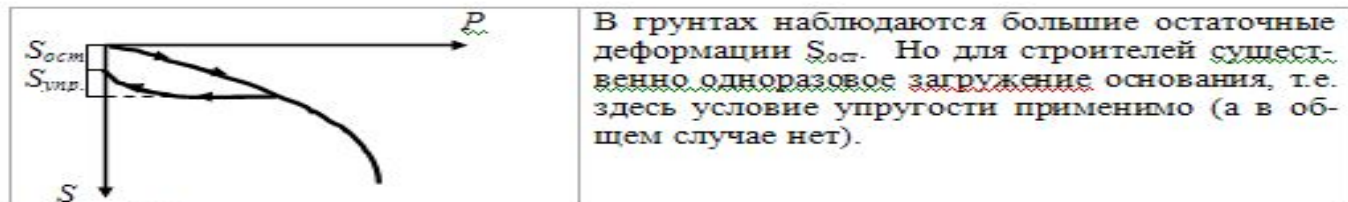
- В механике грунтов для изучения напряженного состояния грунтов применяют аппарат теории упругости.
- При решении вопроса о распределении напряжений в грунтовой толще используют теорию линейно-деформируемых тел.
- При определении общих деформаций грунтов учитывают добавочные условия, вытекающие из физической природы грунтов, их сжимаемость, ползучесть и т.п.
- Дополнительным условием будет также отсутствие перераспределений фаз грунта в рассматриваемом объеме во времени.

# Доказательство применимости теории упругости к грунтам (постулаты теории упругости).

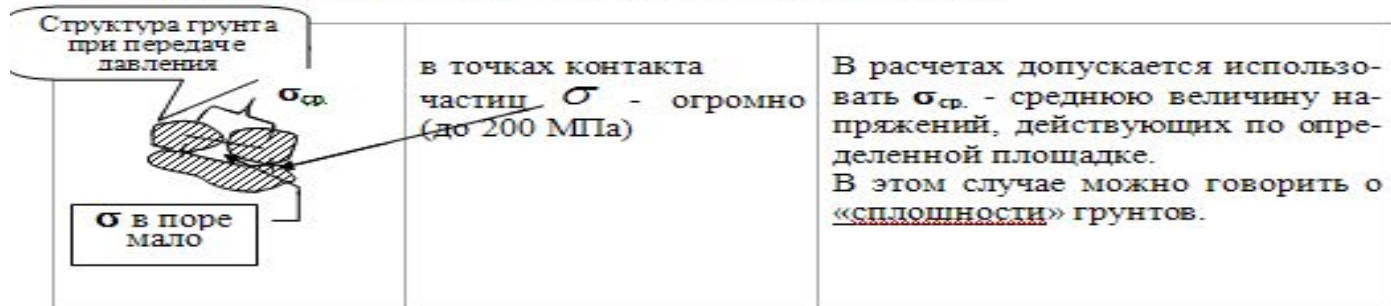
а) Деформации пропорциональны напряжениям



б) Теория упругости рассматривает тела упругие.



в) Теория упругости рассматривает тела сплошные.



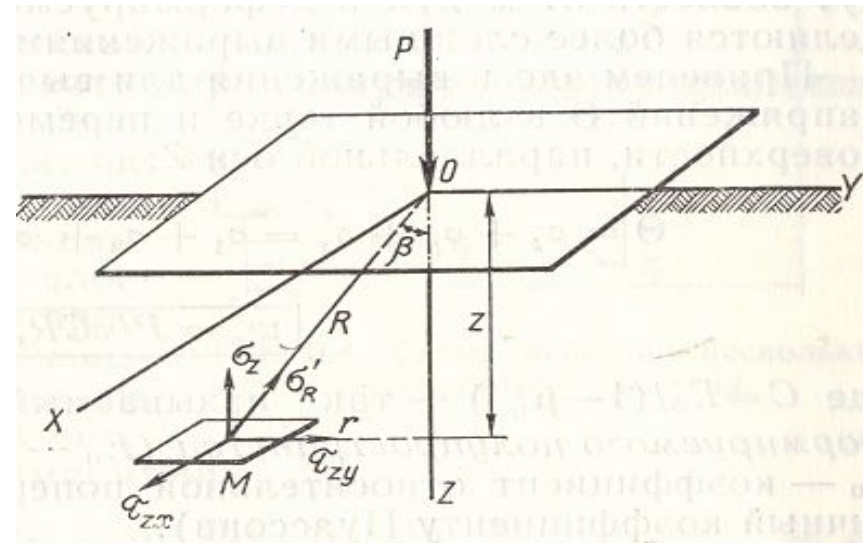
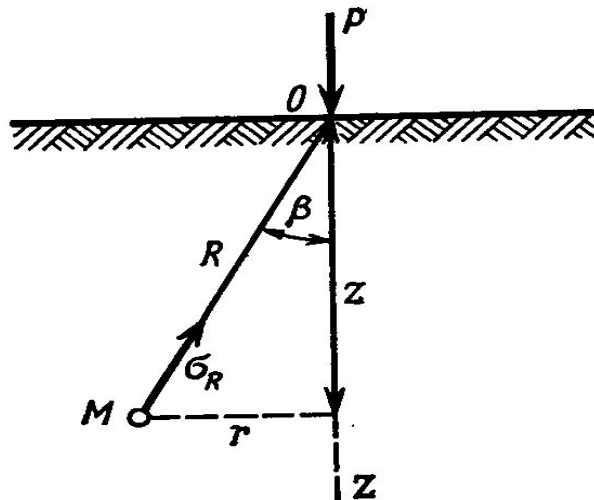
г) Теория упругости рассматривает тела изотропные (Будем считать с известными допущениями, что грунт изотропное тело).



# Случай пространственных задач

- Действие сосредоточенной силы ( задача Ж.Буссинеско)
- Требуется определить:  
Составляющие напряжения  $\sigma_z$   $\sigma_y$   $\sigma_x$

$\tau_{xy}$   $\tau_{zy}$   $\tau_{zx}$



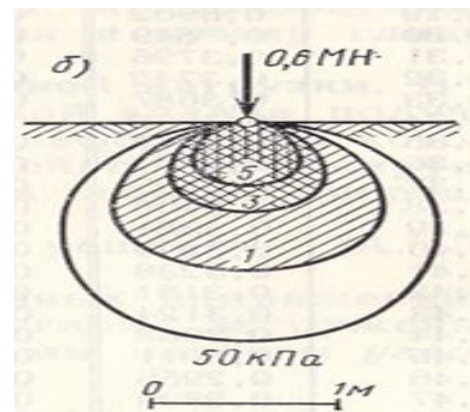
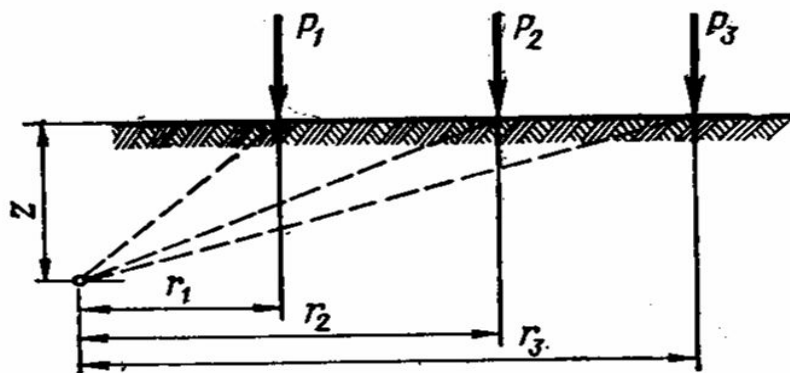
- Получаемое решение:

$$\sigma_z = 3pz^3 / 2\pi R^5$$

$$\tau_{zy} = 3pzy^2 / 2\pi R^5$$

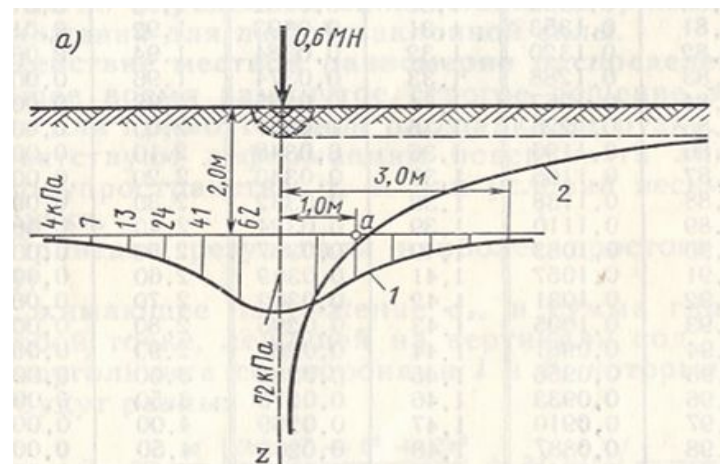
$$\tau_{zx} = 3pxz^2 / 2\pi R^5$$

# Определение напряжений в точке грунтового массива



- В случае действия нескольких сосредоточенных сил напряжение в точке определяется:

$$\sigma_z = k_1(p_1/z^2) + k_2(p_2/z^2) + k_3(p_3/z^2)$$



# Определение напряжений в точке грунтового массива

**Определение напряжений  $\sigma_Z$  в массиве грунта от действия нескольких сосредоточенных сил.**

(принцип Сен-Венана – принцип независимости действия сил)

	$\sigma_{z(M)} = K_1 \frac{P_1}{Z^2} + K_2 \frac{P_2}{Z^2} + K_3 \frac{P_3}{Z^2}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <math display="block">\sigma_{z(M)} = \frac{1}{Z^2} \sum_{i=1}^n K_i P_i</math> </div> $K = f\left(\frac{r}{Z}\right)$
--	--

**Определение напряжений  $\sigma_Z$  при действии любой распределённой нагрузки** (метод элементарного суммирования)

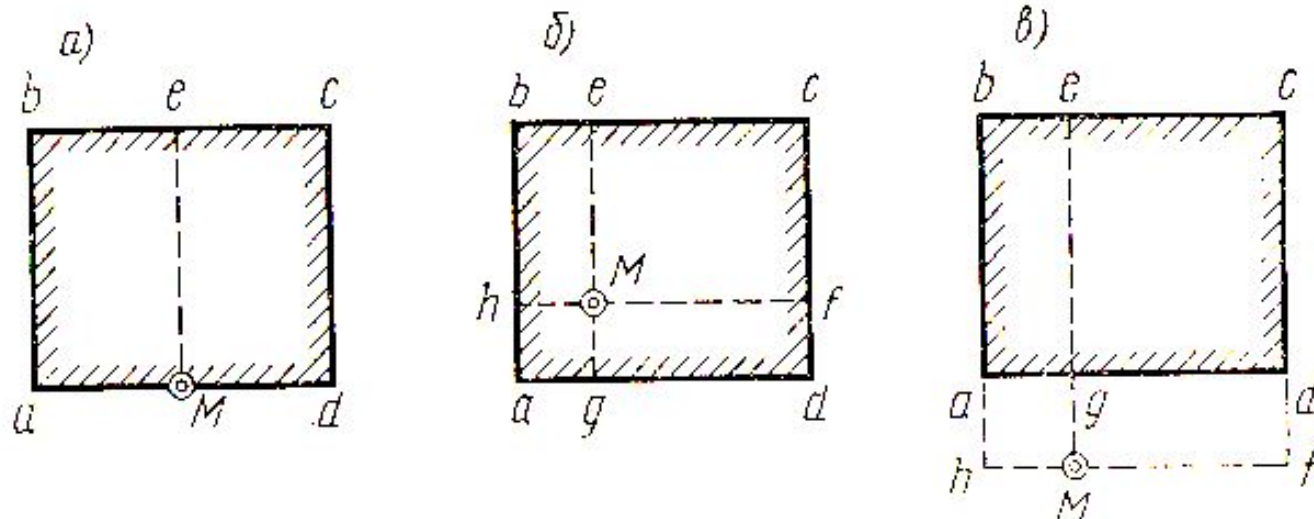
<p>⊕</p> <p>элемент</p>	<p>Задачу решаем приближённо. Разбиваем площадь на ряд простых многоугольников. Рассмотрим <math>\delta_i</math> элемент</p> $\sigma_{zi} = K_i \frac{P_i}{Z^2}$ <p><math>P_i</math> – нагрузка на данный элемент</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <math display="block">\sigma_{zi} = \sum_{i=1}^n K_i \frac{P_i}{Z^2}</math> </div>
-------------------------	--

$K_i = f\left(\frac{r}{Z}\right)$ ; Эта задача трудоёмкая, особенно при большом числе элементов

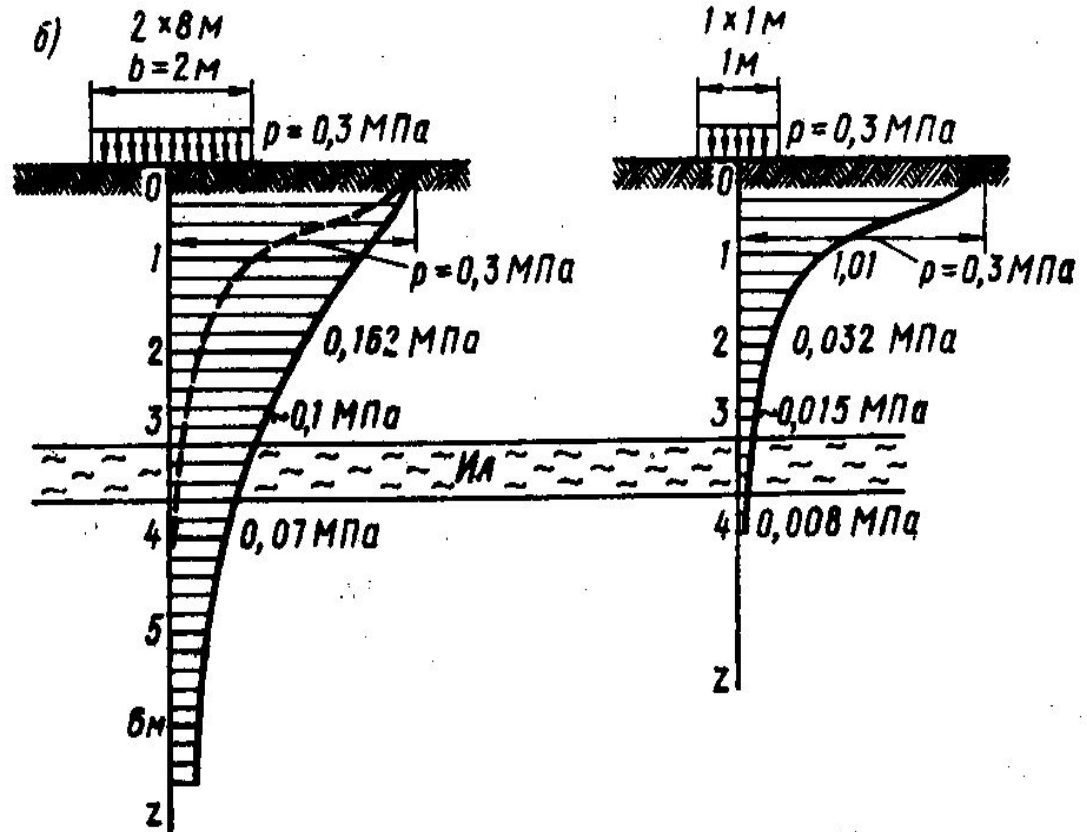
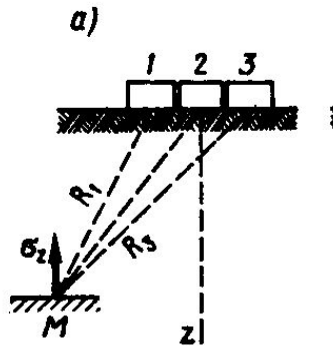
# Действие местной равномерно распределенной нагрузки

- Для площадок под центром загруженного прямоугольника максимальное сжимающее напряжение равно:  $\max \sigma_{z_0} = k_0 p$ ;
  - Для площадок под углом загруженного прямоугольника сжимающее напряжение равно:  $\sigma_{z_c} = k_c p$ ;
- Где:  $k_0$ ,  $k_c$  – коэффициенты, определяемые по таблице СНиП

2



# Влияние площади загрузки



- Чем больше площадь загрузки, тем медленнее загасают с глубиной напряжения от внешнего давления.

# Распределение напряжений в случае плоской задачи

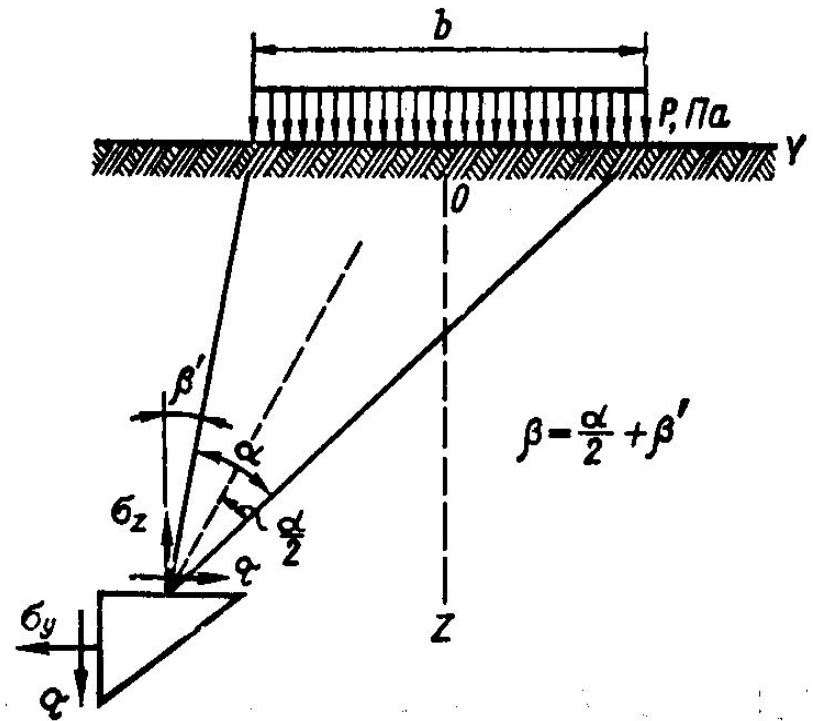
- Применяется для вытянутых в плане сооружений. Ленточных фундаментов, дамб. Плотин, насыпей и др.
- Особенность: зависимость между  $\sigma$  и  $\varepsilon$  может быть принята линейной.

□ Решение:

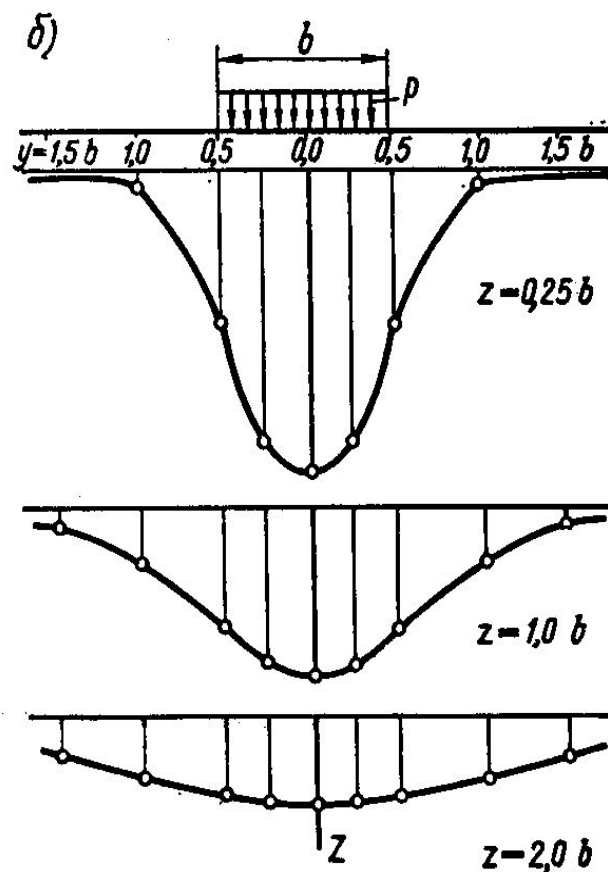
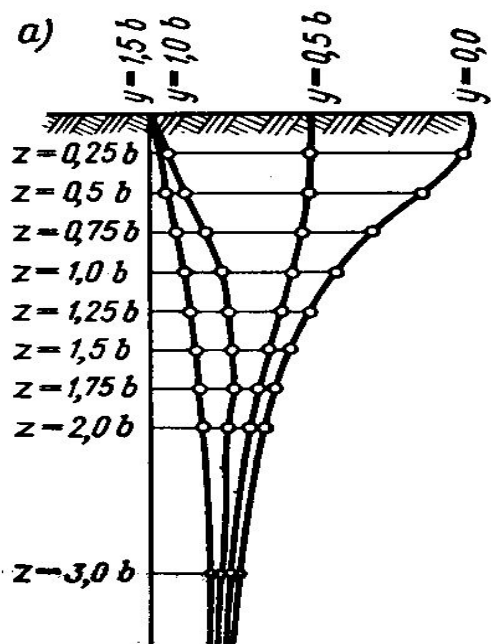
$$\sigma_z = k_z * p$$

$$\sigma_y = k_y * p$$

$$\tau = k_{yz} * p$$

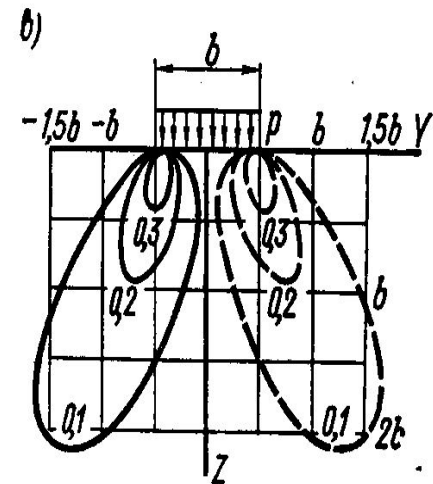
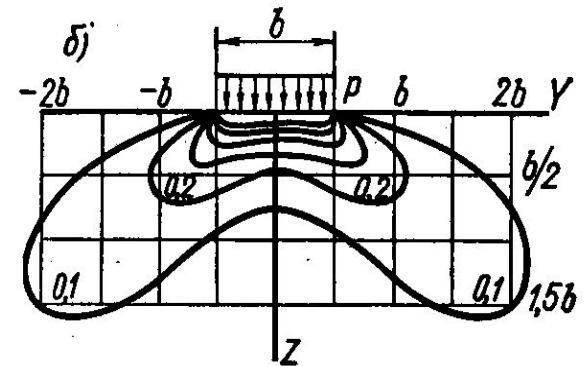
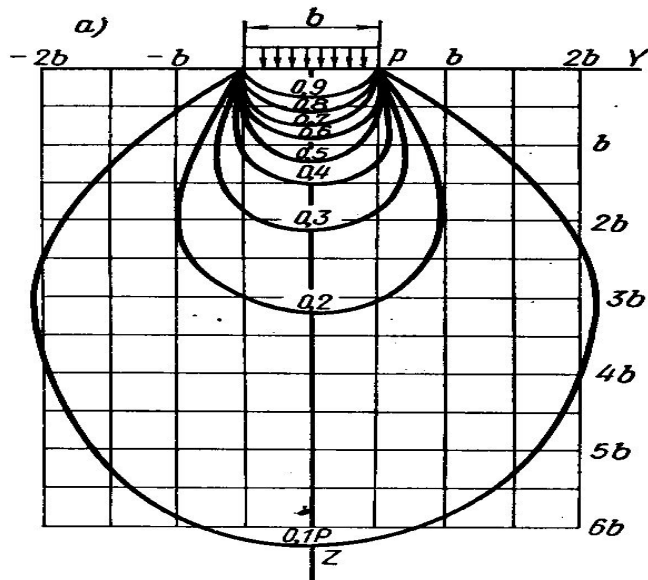


# Эпюры распределения сжимающих напряжений $\sigma_z$ в массиве грунта



- А – вертикальные сечения массива грунта;
- Б – горизонтальные сечения массива грунта

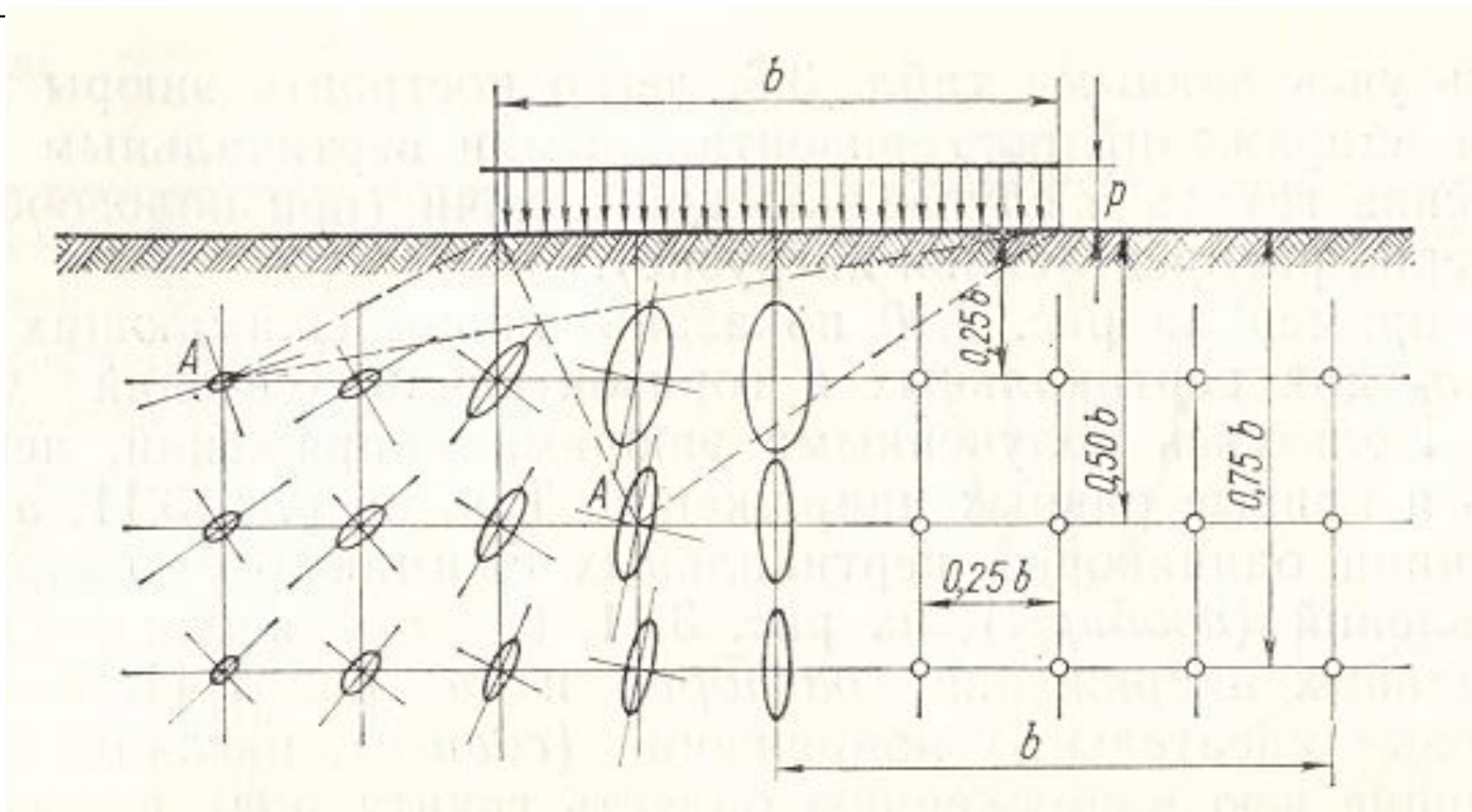
# Линии равных напряжений в линейно деформируемом массиве в случае плоской задачи



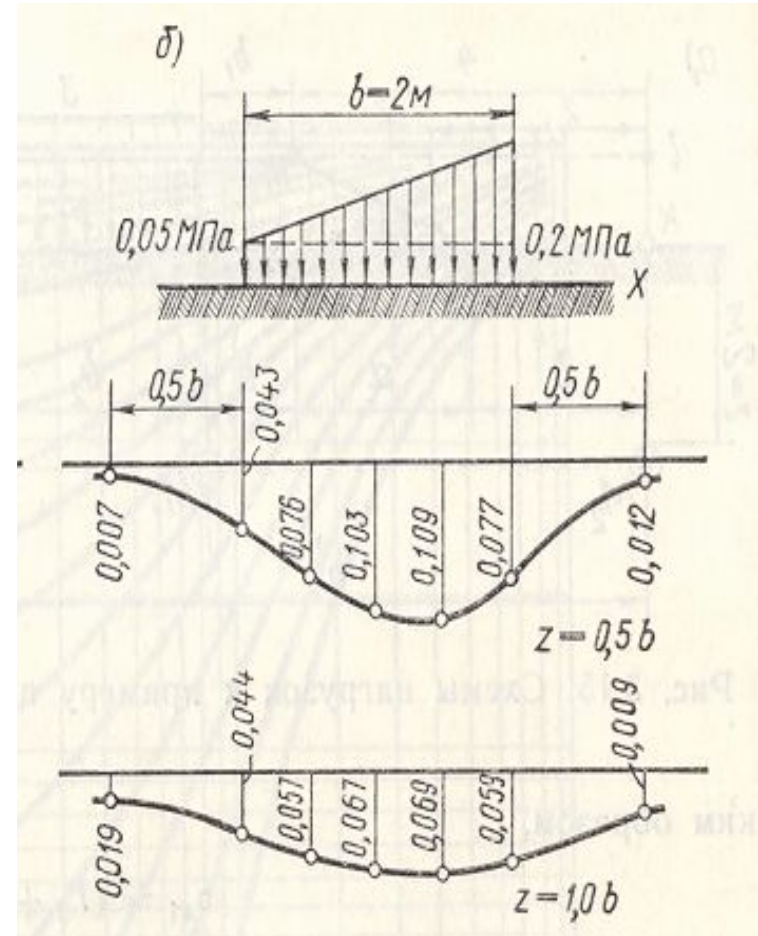
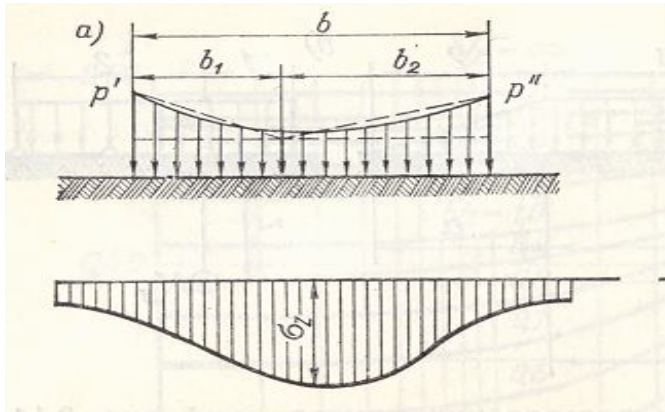
- а – изобары  $\sigma_z$ ;
- б – распоры  $\sigma_y$ ;
- в – сдвиги  $\tau_{zx}$



# Эллипсы напряжений при действии равномерно распределенной нагрузки в условиях плоской задачи



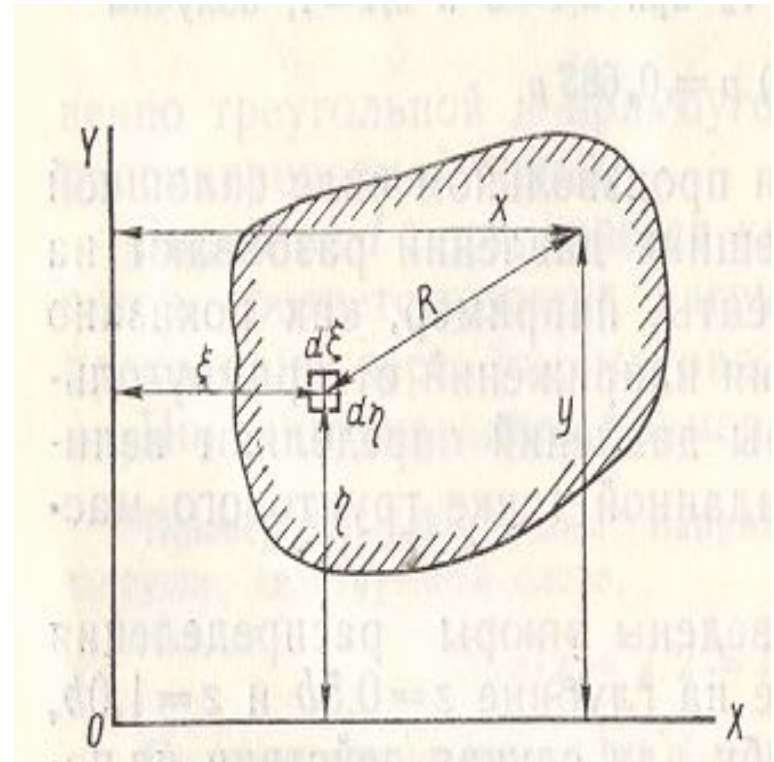
# Произвольный вид нагрузки



- а – разбивка криволинейной эпюры давлений на элементы;
- б – распределение сжимающих напряжений при действии внешней нагрузки по трапециидальной эпюре.

# Контактная задача

- Контактным называют давление по подошве фундамента
- Для определения контактного напряжения совместно решается два уравнения:
  - ✚ Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки;
  - ✚ Физическое уравнение связей между действующим давлением и осадкой.
- ✚  $E_0 J_0 (d^4 s / dx^4) = q_x p_x$ ;  
где:  $E_0 J_0$  - жесткость балки  
 $S$  – прогиб балки

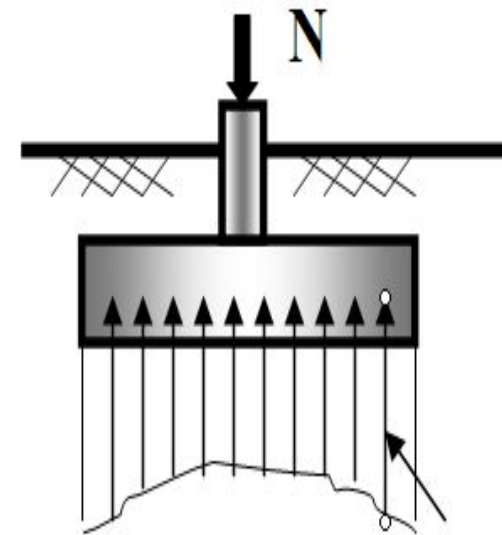


# Распределение напряжений на подошве фундамента

## (Контактная задача)

- Этот вопрос имеет особое значение для гибких фундаментов, рассчитываемых на изгиб.
- Если известно  $R_{\text{конт}}$ , то загружая этой величиной фундамент, можно легко определять усилия в конструкции тела фундамента.
- Из курса сопротивления материалов известно, что напряжения для сжатых конструкций при прямолинейной эпюре определяются по обобщенной формуле:

$\sigma_{\text{max, min}} = (N/F) \pm (M/W)$  -  
но здесь не учитывается работа сжимаемого основания.



$R_{\text{конт}}$

# Теоретические исследования по этому вопросу провел Буссинеско для жесткого круглого штампа

$$P_{\rho} = \frac{P_{cp}}{2 \sqrt{1 - \left(\frac{\rho}{r}\right)^2}} ;$$

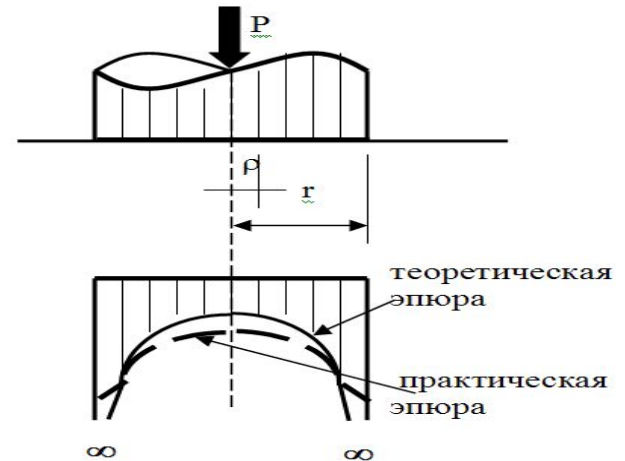
При  $\rho = r \rightarrow P_{\rho} = \infty$

При  $\rho = 0 \rightarrow P_{\rho} = 0,5P_{cp}$

Фактически, грунт под подошвой фундамента, разрушаясь, приводит к перераспределению напряжений, возникает практическая эпюра.

$$P_{\rho} = f(\Gamma)$$

$$\Gamma \approx 10 \cdot \frac{E_o \cdot l^3}{E_1 \cdot h_1^3} - \text{гибкость фундамента}$$



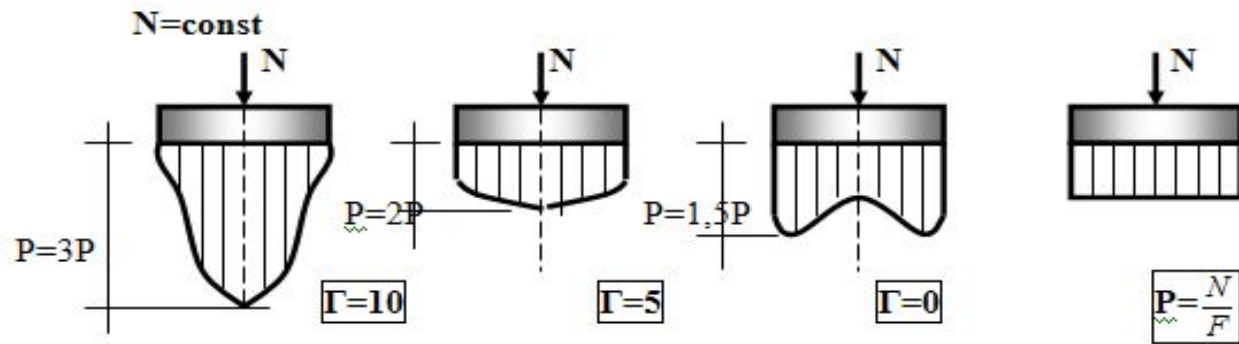
$E_o$  – модуль деформации грунта

$l$  – полудлина фундамента (балки)

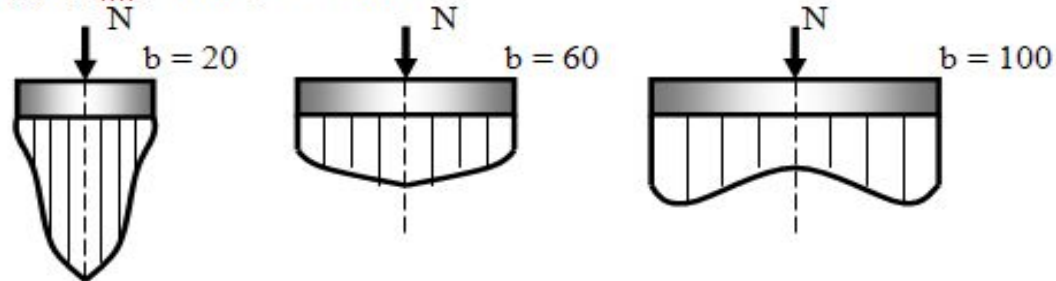
$E_1$  – модуль упругости материала фундамента

$h_1$  – высота фундамента

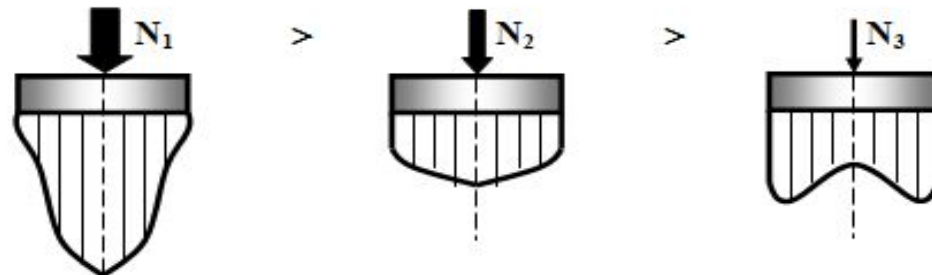
H



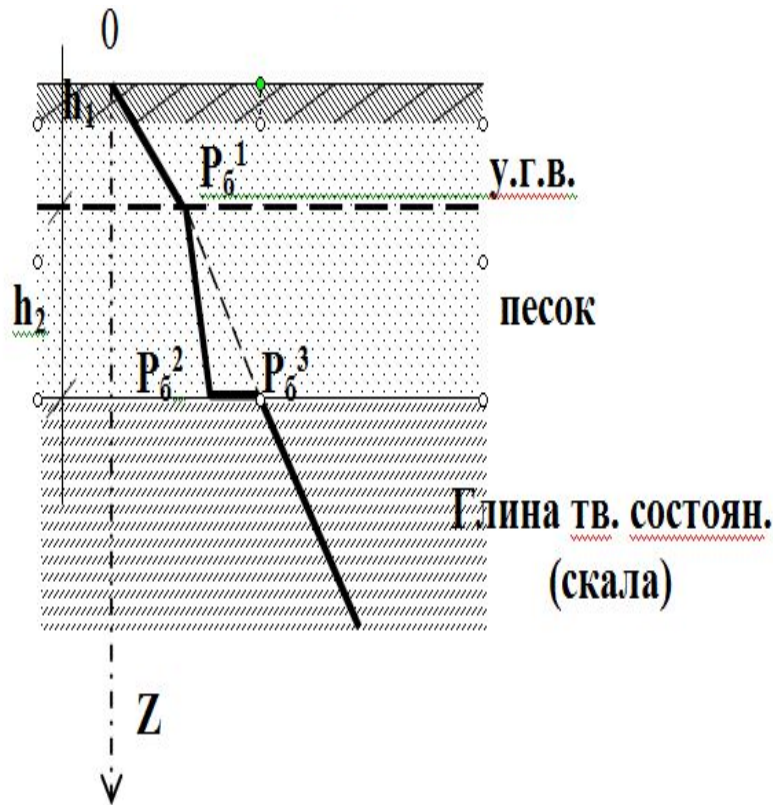
$P = f(b)$  ;  $m_x - \text{const}$  ;  $N - \text{const}$



$P = f(N)$  ;  $m_x - \text{const}$  ;  $F - \text{const}$



# Напряжения от собственного веса грунта



$P_{\sigma}$  – «бытовое давление»  
(природное давление)

$$P_{\sigma}^1 = \gamma_{o1} h_1$$

$$P_{\sigma}^2 = \gamma_{o1} h_1 + \gamma_{o2}^I h_2$$

$\gamma_{o2}^I$  – учитывают

взвешивающее действие  
воды (закон Архимеда)

$$\gamma_{o2}^I = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}$$

$$P_{\sigma}^3 = \gamma_{o1} h_1 + \gamma_{o2}^I h_2 + \gamma_w h_2$$