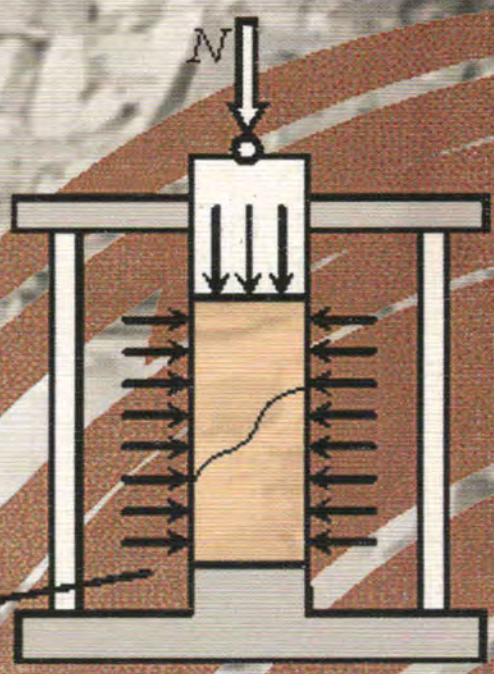
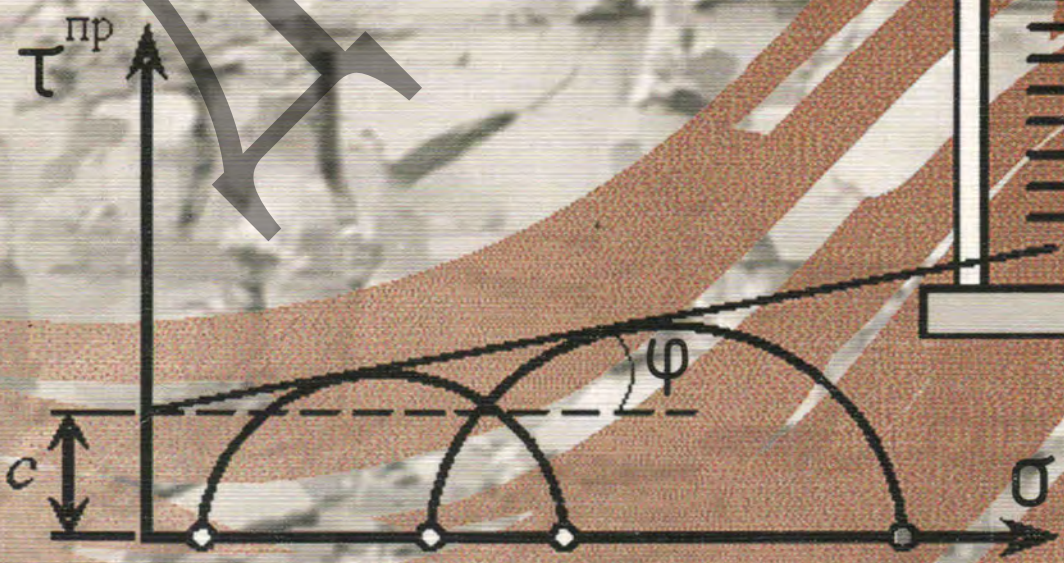


И.Ю. ЗАРУЧЕВНЫХ
А.Л. НЕВЗОРОВ

МЕХАНИКА СХЕМАХ ТАБЛИЦАХ ГРУНТОВ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



7,2 €

И.Ю. Заручевных

А.Л. Невзоров

МЕХАНИКА ГРУНТОВ В СХЕМАХ И ТАБЛИЦАХ

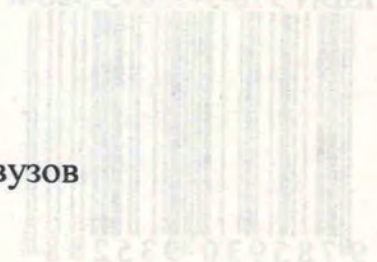
*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ
по образованию в области строительства
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по направлению 653500 «Строительство»*

Издание второе исправленное и дополненное



Издательство Ассоциации строительных вузов

Москва 2007



УДК 624.131.6

ББК 38.58

З 34

Рецензенты:

Кандидат технических наук, профессор
кафедры механики грунтов, оснований и фундаментов
Московского государственного строительного университета

Н.С. Никитина

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой строительного производства
Пермского государственного технического университета

А.Б. Пономарев

Заручевных И.Ю., А.Л. Невзоров

З 34 Механика грунтов в схемах и таблицах: Учебное пособие. – 2-е изд. испр. и доп. /
– М.: Издательство АСВ, 2007. – 136 с.: ил.

ISBN 978-5-93093-528-8

Подготовлено кафедрой инженерной геологии, оснований и фундаментов Архангельского государственного технического университета.

В пособии представлены логические схемы, основной иллюстративный материал лекционного курса (схемы приборов и устройств, графики) и справочные таблицы. Приведены примеры решения задач, вопросы для контроля знаний и словарь терминов и определений.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 653500 «Строительство».

Библиогр. 35 назв.

ISBN 978-5-93093-528-8



9 785930 935288

УДК 624.131.6

ББК 38.58

© Издательство АСВ, 2007

© Архангельский государственный
технический университет, 2007

© Заручевных И.Ю., Невзоров А.Л., 2007

ВВЕДЕНИЕ

Объектом изучения механики грунтов являются грунты, используемые в качестве основания, среды или материала сооружений. Эта дисциплина вооружает инженеров-строителей знанием деформационных и прочностных свойств грунтов, учит оценивать напряженно-деформированное состояние и устойчивость их массивов при проектировании фундаментов и подземных сооружений, расчетах откосов, подпорных стен и др.

Очень важно при изучении механики грунтов не просто научиться применять те или иные формулы или таблицы, а понять физический смысл процессов и явлений, особенности распределения напряжений, причины развития деформаций, границы применимости расчетных моделей. Тем более что задачи, решаемые в рамках этой дисциплины, все время усложняются: строительство ведется рядом с существующими зданиями, как правило, в неблагоприятных инженерно-геологических условиях; осваивается подземное пространство городов.

К сожалению, приходится констатировать, что число часов, выделяемых на изучение дисциплины образовательными стандартами, постоянно сокращается. Добиться качественной подготовки студентов можно за счет использования современных информационных технологий при проведении занятий, в частности чтении лекций, а также активизации самостоятельной работы студентов.

Настоящее пособие содержит основной материал лекционного курса (схемы, графики, формулы), справочные таблицы, логические схемы, которые должны помочь студенту при самостоятельной подготовке. Пособие может быть также использовано во время лекций, когда изложение материала ведется с помощью мультимедийного проектора в достаточно быстром темпе.

Следует обратить внимание студентов, что пособие не заменяет учебники Б.И. Далматова [1], Н.Н. Маслова [2, 3], В.А. Флорина [4], Н.А. Цытовича [5], Б.С. Ухова [6].

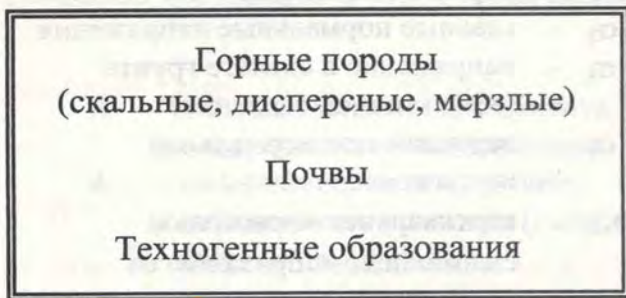
ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Обозначения в данном учебном пособии приняты в соответствии с действующими нормативными документами (ГОСТами, СНиПами). Ниже приведены основные из них. Редко употребляемые обозначения приведены в расшифровках формул. Часть символов используется для обозначения двух и более величин.

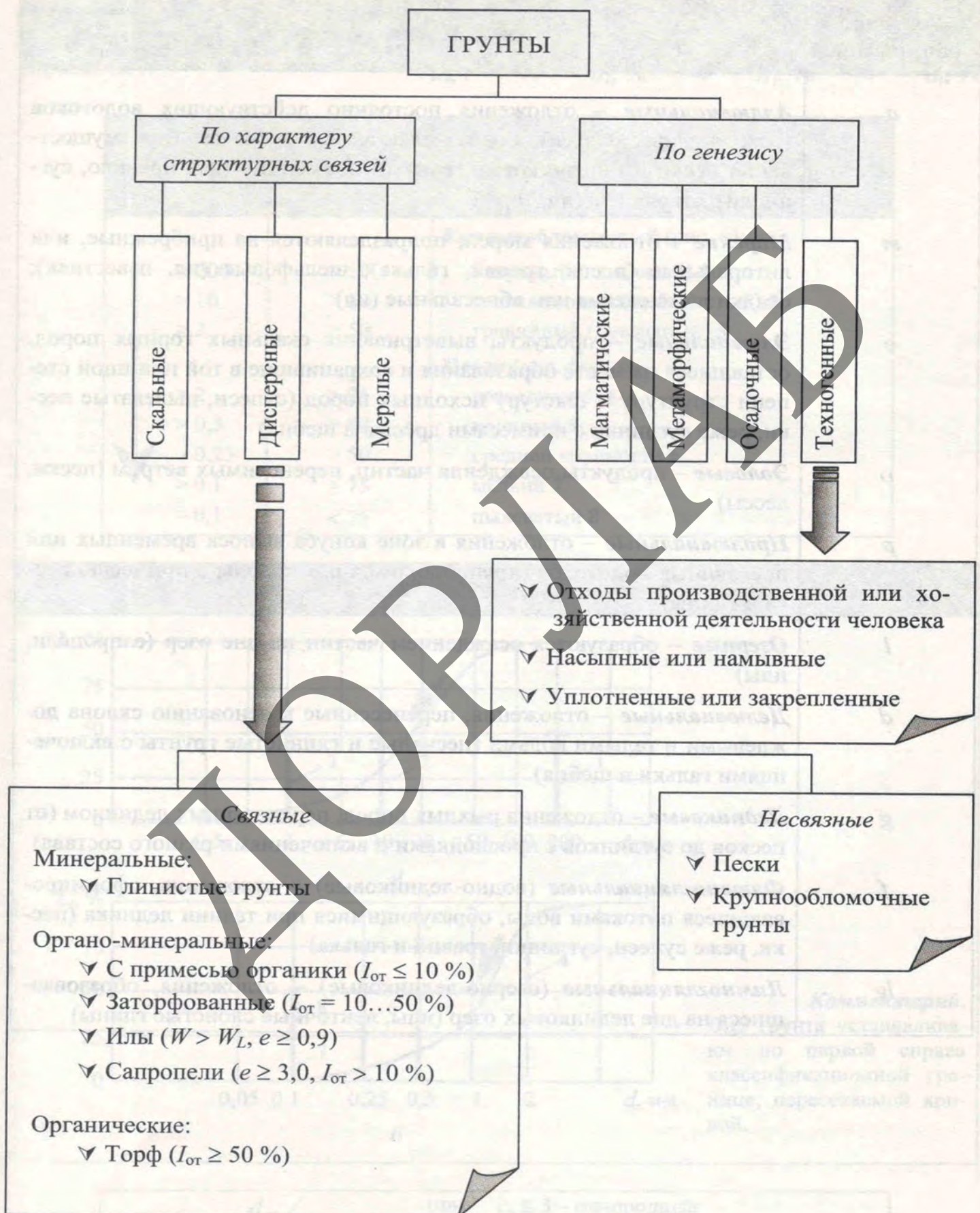
A – площадь штампа, фундамента, поперечного сечения образца	$I_{от}$ – относительное содержание органических веществ
A_i – содержание частиц крупнее определенного размера (полный остаток на сите)	I_p – число пластичности
a – заложение откоса	k_{com} – коэффициент уплотнения
a_i – частный остаток на сите	k_f – коэффициент фильтрации
b – ширина подошвы фундамента	k_{st} – коэффициент запаса устойчивости
c – удельное сцепление грунта	L_i – содержание частиц мельче определенного размера
c_c – коэффициент компрессии	l – длина пути фильтрации, длина подошвы фундамента
c_u – степень неоднородности (по гранулометрическому составу)	M – момент
c_r, c_v – коэффициент консолидации при фильтрации воды соответственно в горизонтальном и вертикальном направлении	m – масса грунта
D – диаметр штампа	m_a – масса газа
d – глубина заложения фундамента от уровня планировки, размер частиц	m_s – масса твердых частиц
d_n – глубина заложения фундамента от поверхности природного рельефа	m_w – масса воды
d_{60}, d_{10} – диаметры частиц, соответствующие содержанию 60 и 10 %	m_v – коэффициент относительной сжимаемости
E – модуль деформации	N – вертикальная нагрузка (сила)
e – коэффициент пористости	p – среднее давление под подошвой фундамента или штампа
e_0 – начальный коэффициент пористости	$p_{кр}$ – критическое давление на основание
f – коэффициент трения	$p_{пр}$ – предельное давление на основание
G – вес	$p_{1/4}$ – давление под подошвой фундамента при развитии зон пластических деформаций на глубину $z = 1/4 b$
g – ускорение свободного падения	q – равномерно распределенная вертикальная пригрузка
H_c – мощность сжимаемой толщи	q_d – условное динамическое сопротивление грунта погружению зонда
h – мощность (толщина) слоя	q_s – удельное сопротивление грунта под наконечником зонда при испытании статическим зондированием
h_0 – начальная высота образца	R – расчетное сопротивление грунта основания
h_z – мощность эквивалентного слоя грунта	S – падение столба воды
I – градиент напора	S_r – степень влажности (коэффициент водонасыщения)
I_0 – начальный градиент напора	s – вертикальная деформация (осадка)
I_L – показатель текучести	T – горизонтальная нагрузка (сила)

t – время, температура	ω – коэффициент, зависящий от формы штампа
t_{90} – время, соответствующее 90 % первичной консолидации	ξ – коэффициент бокового давления грунта в состоянии покоя
t_{st} – время стабилизации	σ – нормальное напряжение
V – объем образца	σ_1, σ_2 – главные нормальные напряжения
V_a – объем газа	σ_s – напряжение в скелете грунта (эффективное давление)
V_s – объем твердых частиц	σ_z – вертикальное нормальное напряжение
V_w – объем воды	σ_{zN} – вертикальное нормальное сжимающее напряжение от сосредоточенной силы
v – скорость фильтрации	σ_{zg} – вертикальное нормальное сжимающее напряжение от собственного веса грунта (бытовое давление)
W – природная влажность	σ_{xg} – горизонтальное нормальное сжимающее напряжение от собственного веса грунта
W_{opt} – оптимальная влажность грунта	σ_{zp} – вертикальное нормальное сжимающее напряжение от равномерно распределенной нагрузки
W_p – влажность на границе пластичности (раскатывания)	σ_{ha} – активное давление грунта
W_{sat} – влажность при полном насыщении	σ_{hp} – пассивное давление грунта
W_L – влажность на границе текучести	σ_w – давление в поровой воде (нейтральное давление)
z – глубина	τ – касательное напряжение (напряжение сдвига)
α – коэффициент при расчете напряжений, угол естественного откоса	$\tau^{пр}$ – предельное сопротивление сдвигу
β – коэффициент, учитывающий отсутствие поперечных деформаций в компрессионном приборе	φ – угол внутреннего трения
ε – относительная деформация	DL – отметка планировки
θ – крутизна откоса	NL – отметка поверхности природного рельефа
γ – удельный вес грунта	FL – отметка подошвы фундамента
γ_d – удельный вес грунта в сухом состоянии (скелета грунта)	WL – уровень подземных вод
γ_s – удельный вес частиц грунта	BC – нижняя граница сжимаемой толщи
γ_{sb} – удельный вес грунта с учетом взвешивающего действия воды	
γ_{sat} – удельный вес грунта при полном насыщении	
γ_w – удельный вес воды	
ν – коэффициент Пуассона (коэффициент поперечной деформации)	
ρ – плотность грунта	
ρ_d – плотность грунта в сухом состоянии (скелета грунта)	
ρ_s – плотность частиц грунта	
ρ_w – плотность воды	

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ (ПОНЯТИЕ) ГРУНТА



2. КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ по ГОСТ 25100–95 «Грунты. Классификация»



Виды осадочных отложений по генезису

Условное обозначение	Происхождение (генезис)
<i>a</i>	Аллювиальные – отложения постоянно действующих водотоков (рек, крупных ручьев); подразделяются на русловые (преимущественно пески и галечниковые грунты), пойменные (как правило, суглинки), старичные (ил, торф)
<i>m</i>	Морские – отложения морей; подразделяются на прибрежные, или литоральные (песок, гравий, галька); шельфовые (ил, известняк); осадки ложа океана или абиссальные (ил)
<i>e</i>	Элювиальные – продукты выветривания скальных горных пород, оставшиеся на месте образования и сохранившие в той или иной степени структуру и текстуру исходных пород (супеси, пылеватые пески, реже суглинки с примесями дресвы и щебня)
<i>v</i>	Эоловые – продукты осаждения частиц, переносимых ветром (пески, лессы)
<i>p</i>	Проллювиальные – отложения в зоне конуса выноса временных или постоянных водотоков (крупнообломочные породы с примесью песка и глины)
<i>l</i>	Озерные – образуются осаждением частиц на дне озер (сапропели, илы)
<i>d</i>	Делювиальные – отложения, перенесенные к основанию склона дождевыми и талыми водами (песчаные и глинистые грунты с включениями гальки и щебня)
<i>g</i>	Ледниковые – отложения рыхлых пород, перенесенных ледником (от песков до суглинков с прослойками и включениями разного состава)
<i>f</i>	Флювиогляциальные (водно-ледниковые) – отложения, сформировавшиеся потоками воды, образующимися при таянии ледника (пески, реже супеси, суглинки, гравий и галька)
<i>lg</i>	Лимногляциальные (озерно-ледниковые) – отложения, образовавшиеся на дне ледниковых озер (илы, лейточные слоистые глины)

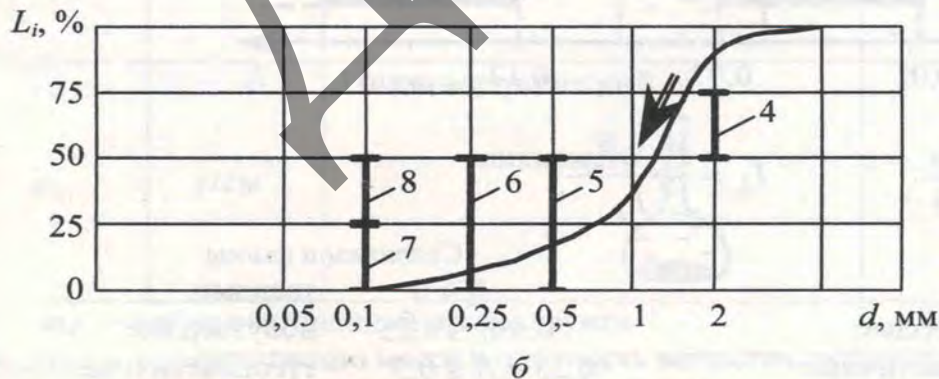
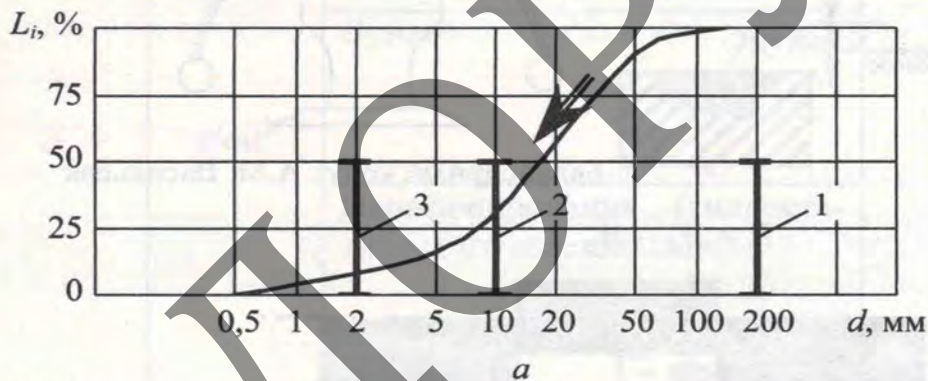
Классификация крупнообломочных и песчаных грунтов по гранулометрическому составу

Просеив пробу через набор стандартных сит, последовательно определяют:

$a_i, \text{Г} \Rightarrow a_i, \% \Rightarrow A_i, \% \Rightarrow L_i, \%$

Содержание частиц A_i крупнее размера d		Вид грунта
$d, \text{мм}$	$A_i, \%$	
↓	> 200	Крупнообломочный (рис. а): валунный (глыбовый) 1 галечниковый (щебенистый) 2 гравийный (дресвяный) 3
↓	> 10	
↓	> 2	
↓	> 2	Песок (рис. б): гравелистый 4 крупный 5 средней крупности 6 мелкий 7 пылеватый 8
↓	$> 0,5$	
↓	$> 0,25$	
↓	$> 0,1$	
↓	$> 0,1$	

Классификационные границы



Комментарий.
Вид грунта устанавливают по первой справа классификационной границе, пересекаемой кривой.

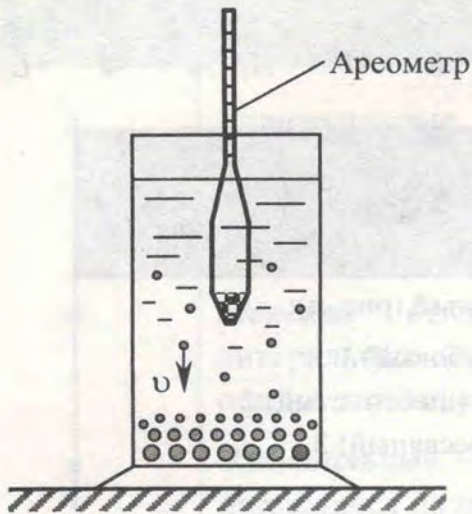
$$c_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

при $c_u \leq 3$ – однородные
 $c_u > 3$ – неоднородные

Классификация глинистых грунтов

По гранулометрическому составу

Метод седиментации (по скорости погружения частиц в неподвижной воде v):



$$\rho_{sus} = f(t) \Rightarrow L_i = f(\rho_{sus})$$

Формула Стокса:
$$d = \sqrt{\frac{1}{k} v \eta}$$

ρ_{sus} – плотность суспензии, г/см³

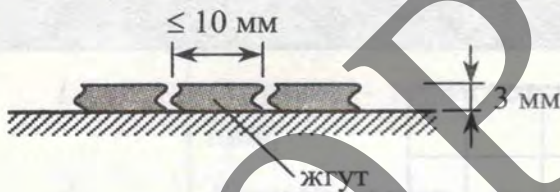
t – время взятия отсчета, с

$$k = \frac{g}{18} (\rho_s - \rho_w) = 54,5 (\rho_s - \rho_w)$$

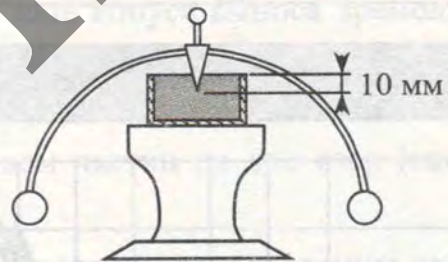
η – вязкость воды, гс/см

По показателям пластичности

Граница пластичности (раскатывания) W_p



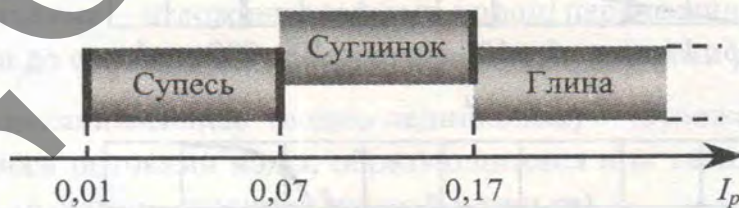
Граница текучести W_L



Балансирный конус А.М. Васильева

Число пластичности:

$$I_p = W_L - W_p$$



Показатель текучести:

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

Супеси

$I_L < 0$ – твердые

$0 \leq I_L \leq 1$ – пластичные

$I_L > 1$ – текучие

Суглинки и глины

$I_L < 0$ – твердые

$0 \leq I_L \leq 0,25$ – полутвердые

$0,25 < I_L \leq 0,5$ – тугопластичные

$0,5 < I_L \leq 0,75$ – мягкопластичные

$0,75 < I_L \leq 1$ – текучепластичные

$I_L > 1$ – текучие

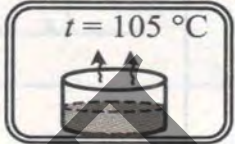
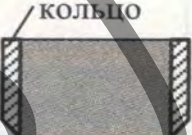


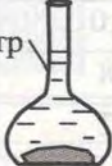
3. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ



Природное состояние грунта

Модель грунта

Характеристики, определяемые экспериментально

Усл. обозначение	Ед. измерения	Метод	Определение	Расчетная формула
W	доли ед.	Высушивания проб 	$\frac{m_{\omega}}{m_s}$	$\frac{m - m_d}{m_d}$
ρ	г/см ³	Режущего кольца 	$\frac{m}{V}$	$\frac{m}{V}$
		Лунки 		$\frac{m}{m_{fil}} \rho_{fil}$
		Парафинирования (гидростатического взвешивания) 		$\frac{m}{\rho_{\omega} \frac{(m_1 - m_2) - (m_1 - m)}{\rho_{par}}}$
ρ_s	г/см ³	Пикнометрический пикнометр 	$\frac{m_s}{V_s}$	$\frac{m_d}{m_d + m_3 - m_4} \rho_{\omega}$

m_d – масса высушенной пробы грунта

m_{fil}, ρ_{fil} – соответственно масса и плотность вещества, пошедшего на заполнение лунки

m_1 – масса образца, покрытого парафином

m_2 – масса образца, покрытого парафином и взвешенного в воде

m_3, m_4 – соответственно масса пикнометра с водой и пикнометра с водой и грунтом

$\rho_{\omega}, \rho_{par}$ – плотности воды и парафина соответственно равные 1 г/см³ и 0,93 г/см³

Характеристики, определяемые расчетом

Условное обозначение	Единица измерения	Определение	Формула
ρ_d	г/см ³	$\frac{m_s}{V}$	$\frac{\rho}{(1+W)}$
e	-	$\frac{V_p}{V_s} = \frac{V_a + V_\omega}{V_s}$	$\frac{\rho_s - 1}{\rho_d}$
W_{sat}	доли ед.	$\frac{m_\omega^{max}}{m_s}$	$\frac{e\rho_\omega}{\rho_s}$
S_r	-	$\frac{m_\omega}{m_\omega^{max}}$	$\frac{W}{W_{sat}}$
γ	кН/м ³	$\frac{G}{V}; G = mg$	ρg
γ_s	кН/м ³	$\frac{G_s}{V_s}; G_s = m_s g$	$\rho_s g$
γ_d	кН/м ³	$\frac{G_s}{V}$	$\rho_d g$
γ_{sb}	кН/м ³	-	$\frac{\gamma_s - \gamma_\omega}{1 + e}$
γ_{sat}	кН/м ³	-	$\gamma_d (1 + W_{sat})$

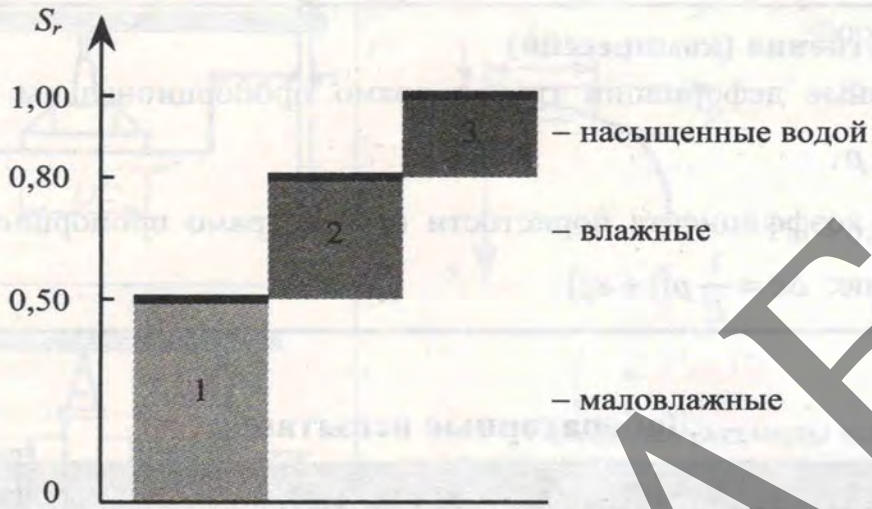
Примечание. $g = 9,8 \text{ м/с}^2 \approx 10 \text{ м/с}^2; \gamma_\omega = 10 \text{ кН/м}^3$.

Характерные значения e, ρ, ρ_s

Вид грунта	e	$\rho, \text{ г/см}^3$	$\rho_s, \text{ г/см}^3$
Песок	0,6...0,8	1,65...1,85	$2,66 \pm 0,05$
Супесь	0,7...0,9	1,80...2,10	$2,70 \pm 0,05$
Суглинок			$2,71 \pm 0,05$
Глина			$2,74 \pm 0,05$
Торф	4,0...18,0	0,90...1,10	$1,50 \pm 0,05$
Ил	1,0...1,8	1,30...1,55	$2,20 \pm 0,10$
Лёсс	0,9...1,2	1,33...2,03	$2,67 \pm 0,05$
Сапрпель	> 3,0	> 0,95	1,5...2,0

Классификация несвязных грунтов

По степени влажности
(крупнообломочные грунты и пески)

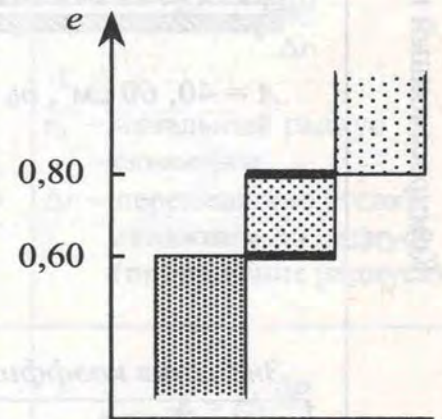
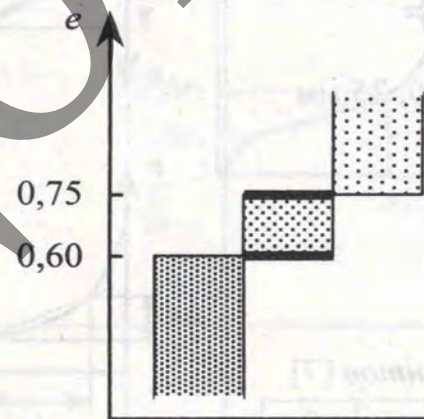
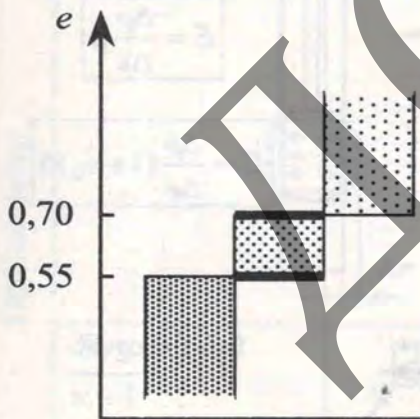


По коэффициенту пористости
(пески)

Гравелистые, крупные
и средней крупности

Мелкие

Пылеватые



– плотные



– средней плотности



– рыхлые

4. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

4.1. СЖИМАЕМОСТЬ (ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ)

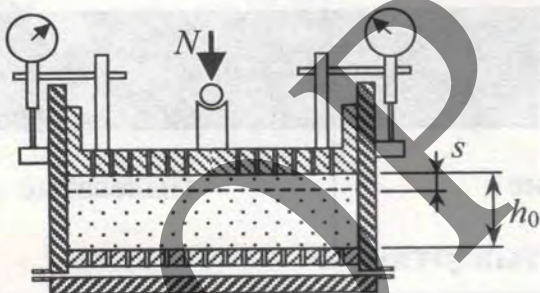
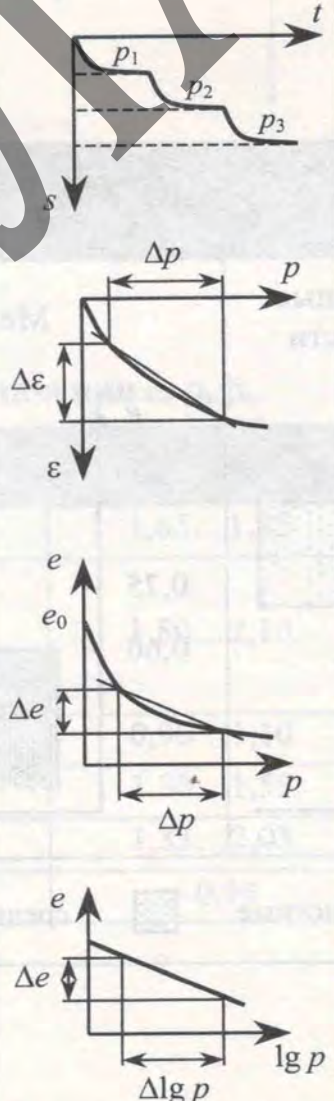
Сжимаемость – способность уменьшаться в объеме под действием нагрузки. Обусловлена изменением объема пор.

Закон уплотнения (компрессии)

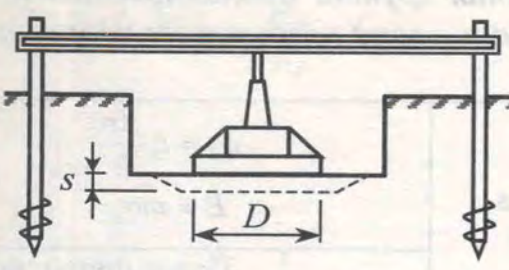
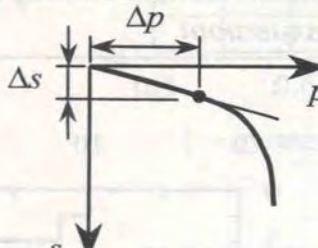
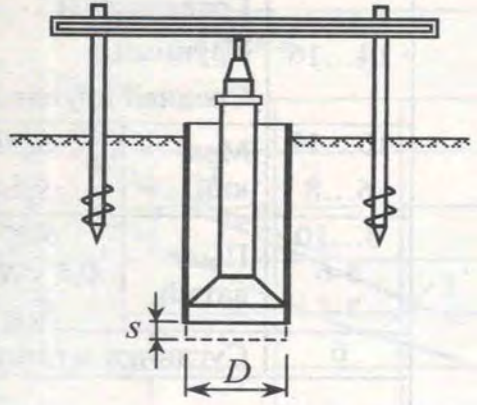
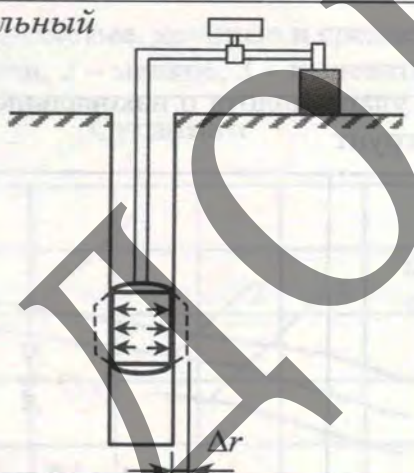
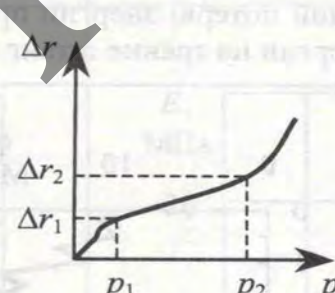
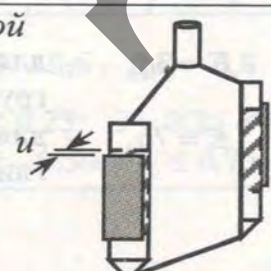
Относительные деформации грунта прямо пропорциональны приложенному давлению: $\varepsilon = \frac{1}{E} p$.

Изменение коэффициента пористости грунта прямо пропорционально приложенному давлению: $\Delta e = \frac{1}{E} p(1 + e_0)$.



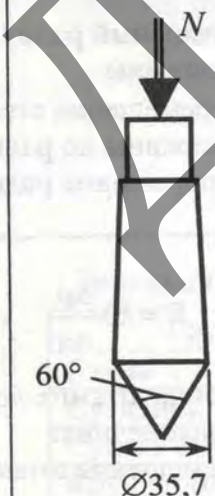
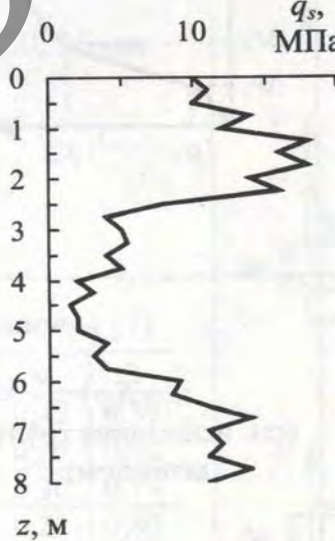
Лабораторные испытания

	Устройство	Зависимость	Расчет модуля деформации															
Компрессионный прибор	 <p>$A = 40, 60 \text{ см}^2, h_0 = 20, 25 \text{ мм}$</p> <p>Значения коэффициентов [7]</p> <table border="1" data-bbox="311 1724 821 1926"> <thead> <tr> <th>Грунт</th> <th>ν</th> <th>β</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Глина</td> <td>0,42</td> <td>0,39</td> </tr> <tr> <td>Суглинок</td> <td>0,35</td> <td>0,62</td> </tr> <tr> <td>Супесь и песок</td> <td>0,30</td> <td>0,74</td> </tr> <tr> <td>Крупнообломочный</td> <td>0,27</td> <td>0,80</td> </tr> </tbody> </table>	Грунт	ν	β	Глина	0,42	0,39	Суглинок	0,35	0,62	Супесь и песок	0,30	0,74	Крупнообломочный	0,27	0,80		$p = \frac{N}{A}$ $\varepsilon_i = \frac{s_i}{h_0}; \quad \varepsilon_i = m_\nu p_i$ $e_i = e_0 - \varepsilon_i(1 + e_0)$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $E = \frac{\Delta p}{\Delta \varepsilon} \beta$ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $E = \frac{\Delta p}{\Delta e} (1 + e_0) \beta$ </div> $\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu}$ $m_\nu = \frac{\beta}{E}$ $c_c = \frac{\Delta e}{\Delta \lg p}$
Грунт	ν	β																
Глина	0,42	0,39																
Суглинок	0,35	0,62																
Супесь и песок	0,30	0,74																
Крупнообломочный	0,27	0,80																

Полевые испытания

Установка	Зависимость	Расчет модуля деформации															
Штамповые испытания																	
<p>В шурфе</p> 		<p>Формула Шлейхера</p> $E = (1 - \nu^2) \omega D \frac{\Delta p}{\Delta s}$ <p>$\omega = 0,79$ – для круглых жестких штампов</p>															
<p>В скважине</p> 	<p style="text-align: center;"><i>Основные размеры штампов</i></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Тип штампа</th> <th colspan="2">Размеры</th> </tr> <tr> <th>A, см²</th> <th>D, см</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Круглый для шурфов</td> <td>2500</td> <td>56,4</td> </tr> <tr> <td>5000</td> <td>79,8</td> </tr> <tr> <td>10000</td> <td>112,6</td> </tr> <tr> <td>Круглый для скважин</td> <td>600</td> <td>27,7</td> </tr> </tbody> </table>		Тип штампа	Размеры		A, см ²	D, см	Круглый для шурфов	2500	56,4	5000	79,8	10000	112,6	Круглый для скважин	600	27,7
Тип штампа	Размеры																
	A, см ²	D, см															
Круглый для шурфов	2500	56,4															
	5000	79,8															
	10000	112,6															
Круглый для скважин	600	27,7															
Прессиометрические испытания																	
<p>радиальный</p> 		$E = k r_0 \frac{\Delta p}{\Delta r}$ <p>r_0 – начальный радиус скважины Δr – перемещение стенки скважины по радиусу (приращение радиуса)</p>															
<p>лопастной</p> 	<p style="text-align: center;">$u = f(p)$</p> <p style="text-align: center;">(см. испытания грунта штампом)</p>	$E = k b \frac{\Delta p}{\Delta u}$ <p>b – ширина штампа-лопасты наконечника u – перемещение штампа-лопасты</p>															

Примечания. 1. Модуль деформации грунта E , МПа, вычисляют для линейного участка графика для всех видов испытаний. 2. k – корректирующий коэффициент, зависящий от конструкции и размеров устройства.

Установка	Зависимость	Расчет модуля деформации																													
Зондирование Зондирование – это измерение сопротивления грунта проникновению в него наконечника зонда. При динамическом зондировании – зонд погружают ударами груза, при статическом – вдавливают.																															
Динамическое 		$q_d = \zeta \frac{An}{h}$ $E = tq_d$ <table border="1" data-bbox="1061 582 1540 1041"> <tr> <td>t</td> <td colspan="2">Песок природного сложения</td> </tr> <tr> <td>14...16</td> <td colspan="2">Гравелистый</td> </tr> <tr> <td>10...12</td> <td colspan="2">Крупный</td> </tr> <tr> <td>6...8</td> <td colspan="2">Средней крупности</td> </tr> <tr> <td>10...12</td> <td>Мелкий</td> <td>$S_r \leq 0,5$</td> </tr> <tr> <td>6...8</td> <td>Мелкий</td> <td>$S_r > 0,8$</td> </tr> <tr> <td>8...10</td> <td rowspan="2">Пылеватый</td> <td>$S_r \leq 0,5$</td> </tr> <tr> <td>5-6</td> <td>$0,5 < S_r \leq 0,8$</td> </tr> <tr> <td>3-4</td> <td>Пылеватый</td> <td>$S_r > 0,8$</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td colspan="2">Суглинки и глины</td> </tr> </table>	t	Песок природного сложения		14...16	Гравелистый		10...12	Крупный		6...8	Средней крупности		10...12	Мелкий	$S_r \leq 0,5$	6...8	Мелкий	$S_r > 0,8$	8...10	Пылеватый	$S_r \leq 0,5$	5-6	$0,5 < S_r \leq 0,8$	3-4	Пылеватый	$S_r > 0,8$	6	Суглинки и глины	
t	Песок природного сложения																														
14...16	Гравелистый																														
10...12	Крупный																														
6...8	Средней крупности																														
10...12	Мелкий	$S_r \leq 0,5$																													
6...8	Мелкий	$S_r > 0,8$																													
8...10	Пылеватый	$S_r \leq 0,5$																													
5-6		$0,5 < S_r \leq 0,8$																													
3-4	Пылеватый	$S_r > 0,8$																													
6	Суглинки и глины																														
<p>A – удельная энергия зондирования, определяемая в зависимости от типа установки, Н/см [8, табл. 1]</p> <p>n – количество ударов молота в залоге</p> <p>h – глубина погружения зонда за залог, см</p> <p>ζ – коэффициент, учитывающий потерю энергии при ударе молота о наковальню, на деформации штанг и потерю энергии на трение штанг о грунт</p>																															
Статическое 		$q_s = \frac{N}{A}$ $A = 10 \text{ см}^2$ <p>$E = 3q_s$ – для песчаных грунтов</p> <p>$E = 7q_s$ – для суглинков и глин</p>																													

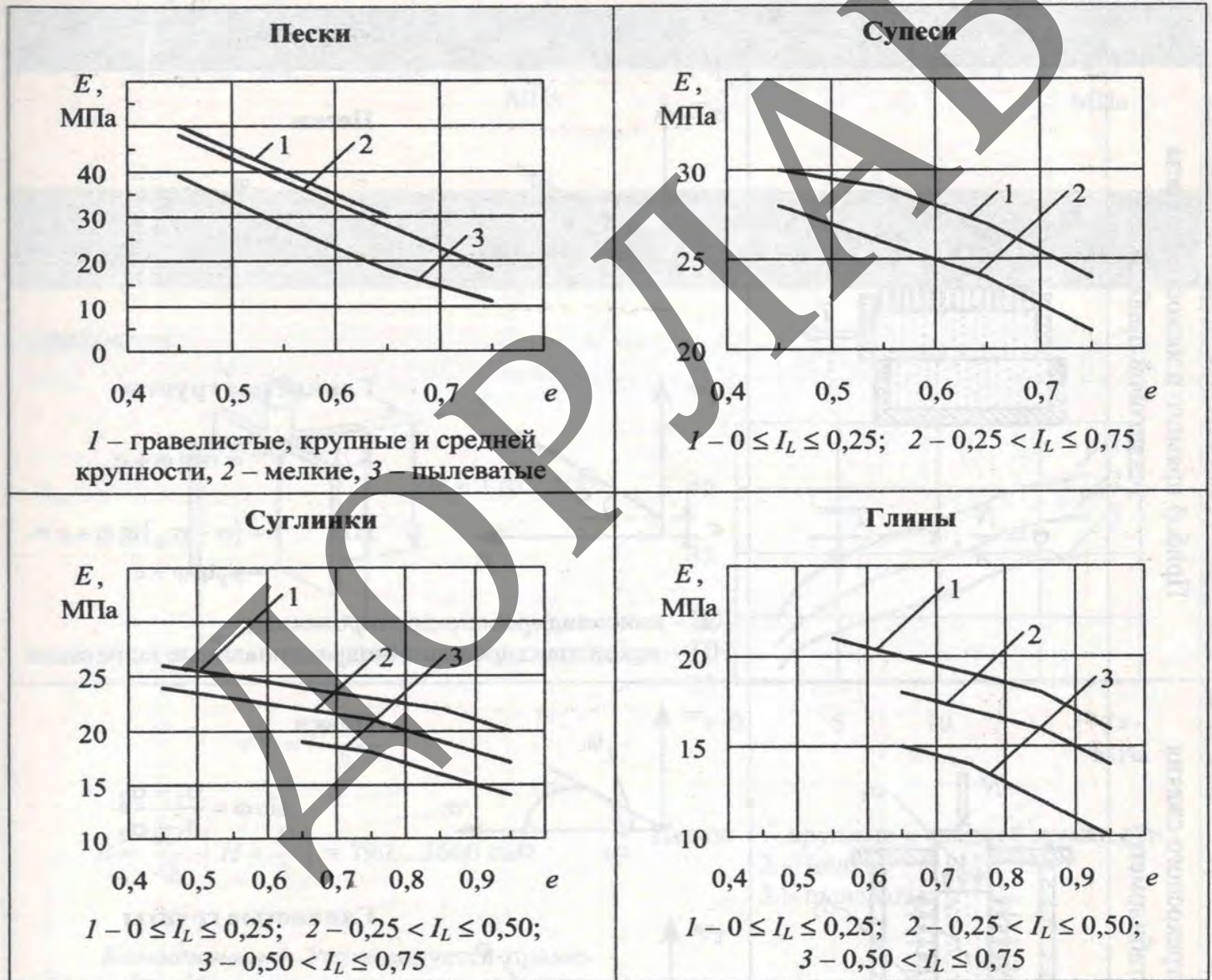
Примечание. По значениям условного динамического сопротивления q_d и удельного сопротивления q_s грунта можно также определить плотность песчаных грунтов

Комментарий. Соотношение между штамповым E_{st} и компрессионным E_c модулями деформации грунта в интервале давлений 0,1...0,2 МПа для четвертичных глинистых грунтов [7, 9]:

$$m_k = \frac{E_{st}}{E_c}$$



Нормативные значения E , МПа [9...11]



Характерные значения E , МПа

Пески	20...40	Ил	2...5
Глинистые грунты	10...30	Торф	0,2...0,5

4.2. СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ

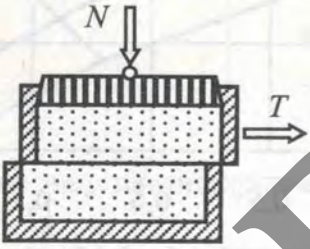
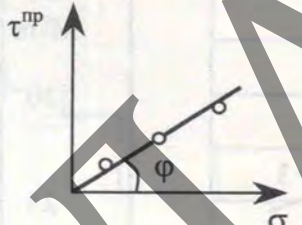
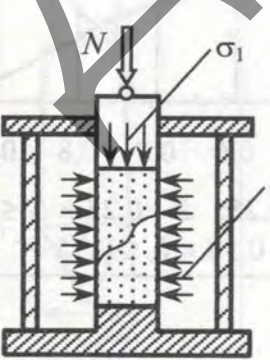
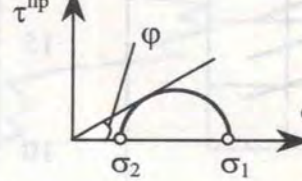
Сопротивление сдвигу – показатель прочности грунта, обусловлено трением между частицами и структурными связями между ними.

Закон Кулона

Предельное сопротивление сыпучих грунтов сдвигу прямо пропорционально нормальному напряжению: $\tau^{пр} = \sigma \operatorname{tg} \varphi$.

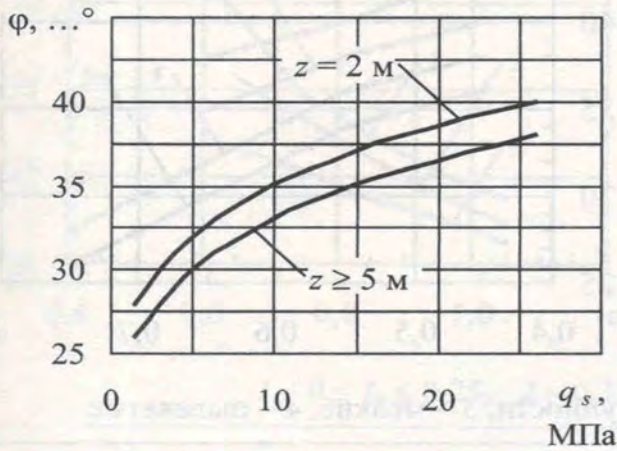
Предельное сопротивление связных грунтов сдвигу при завершённой их консолидации есть функция первой степени от нормального напряжения: $\tau^{пр} = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c$.

Лабораторные испытания

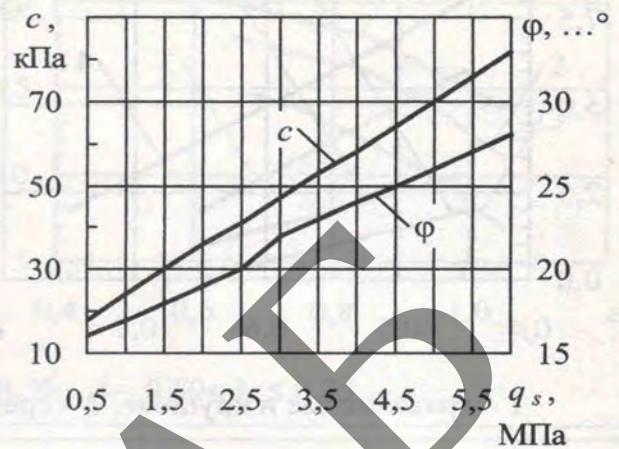
	Устройство	Зависимость
Прибор прямого плоского среза (сдвиговой прибор)	 $\sigma = \frac{N}{A}, \quad \tau^{пр} = \frac{T^{max}}{A}$	<p>Пески</p>  $\tau^{пр} = \sigma \operatorname{tg} \varphi$ <p>Глинистые грунты</p> <p>КД $\tau^{пр} = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c$</p> <p>НН $\tau = (\sigma - \sigma_{\omega}) \operatorname{tg} \varphi + c = y_s \operatorname{tg} \varphi + c$</p> <p>КД – консолидировано-дренированные НН – неконсолидированно-недренированные испытания</p>
Прибор трехосного сжатия (стабилометр)		<p>Пески</p>  $\sin \varphi = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2}$ <p>Глинистые грунты</p> $\left. \begin{aligned} \sin \varphi &= \frac{\sigma'_1 - \sigma'_2}{\sigma'_1 + \sigma'_2 + 2c \cdot \operatorname{ctg} \varphi} \\ \sin \varphi &= \frac{\sigma''_1 - \sigma''_2}{\sigma''_1 + \sigma''_2 + 2c \cdot \operatorname{ctg} \varphi} \end{aligned} \right\}$

Статическое зондирование (см. с. 16)

Пески

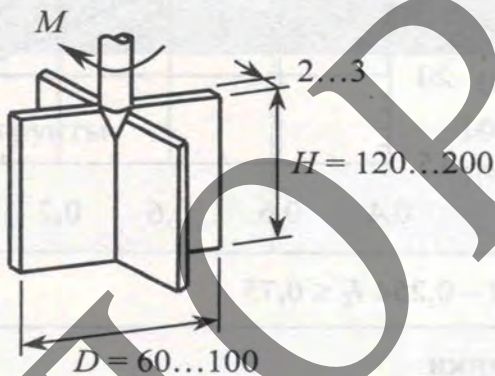


Глинистые грунты



Вращательный срез

Крыльчатка

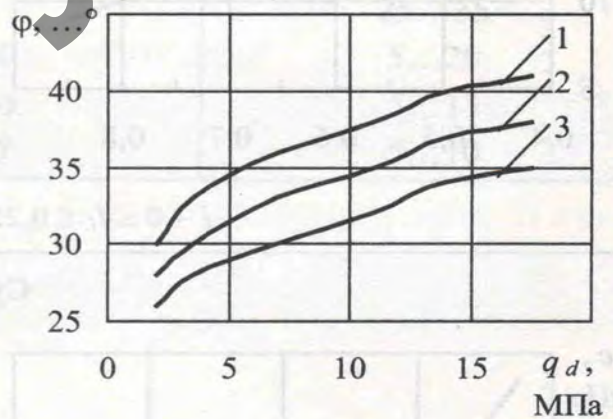


$$\tau^{пр} = \frac{M^{max}}{B}$$

$$B = \frac{\pi D^2}{2} \left(H + \frac{D}{3} \right) = 790 \dots 3660 \text{ см}^3$$

Комментарий. Рекомендуется применять для слабых глинистых грунтов, илов, сапропелей, заторфованных грунтов и торфов, для которых $c \approx \tau^{пр}$.

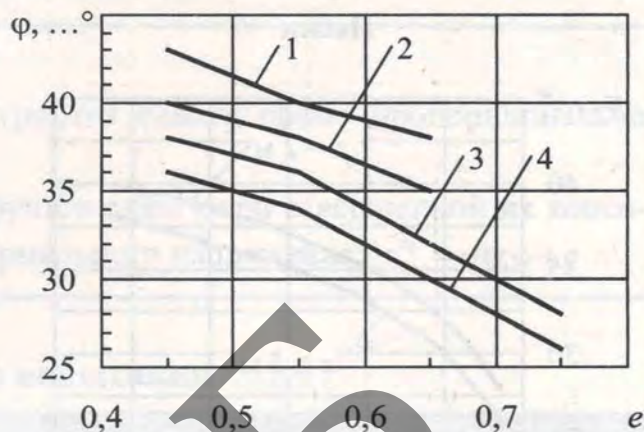
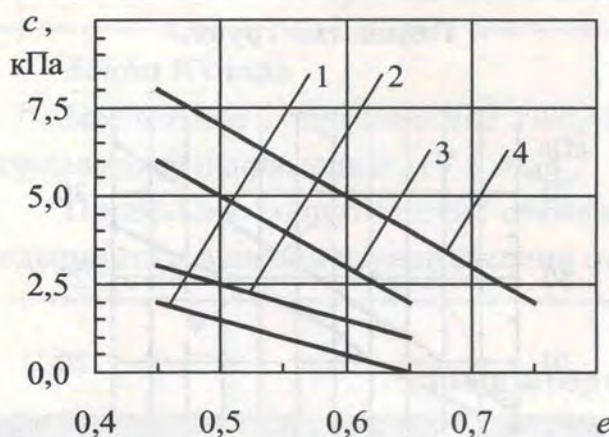
Динамическое зондирование (см. с. 16)



Пески: 1 – крупные и средней крупности
2 – мелкие
3 – пылеватые

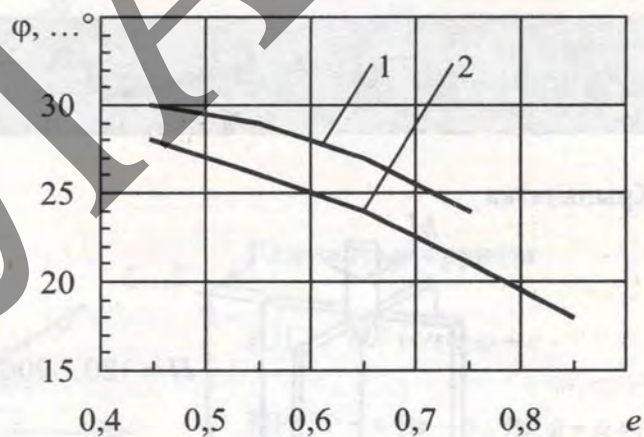
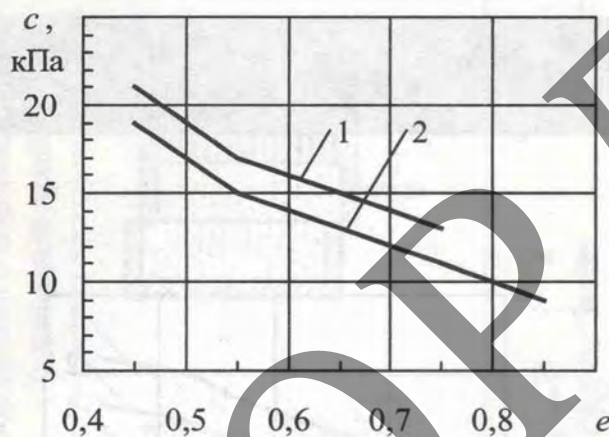
Нормативные значения c и φ [9...11]

Пески



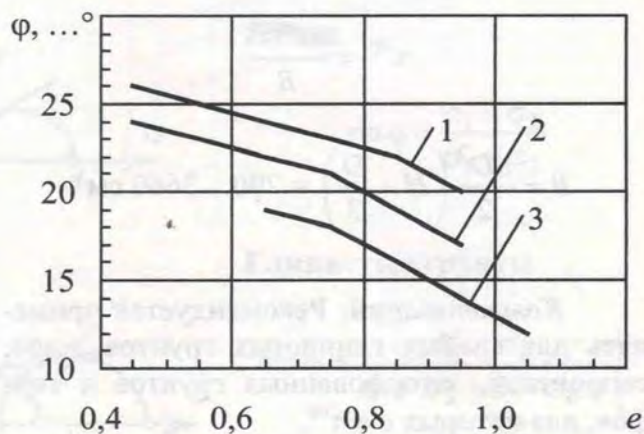
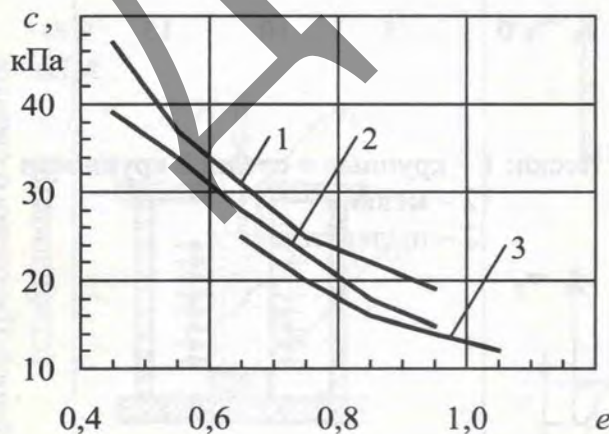
1 – гравелистые и крупные, *2* – средней крупности, *3* – мелкие, *4* – пылеватые

Супеси



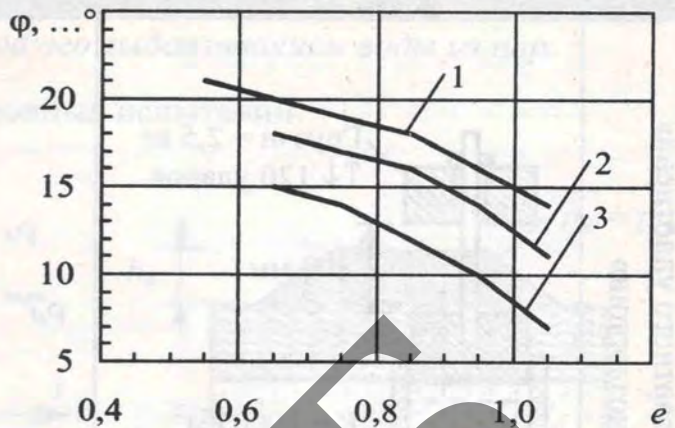
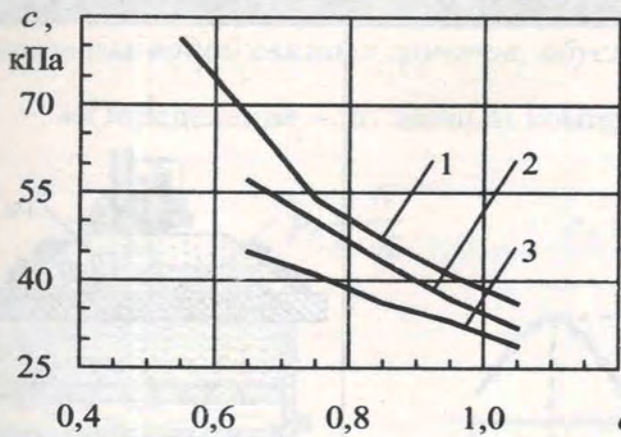
1 – $0 \leq I_L \leq 0,25$; *2* – $0,25 < I_L \leq 0,75$

Суглинки



1 – $0 \leq I_L \leq 0,25$; *2* – $0,25 < I_L \leq 0,50$; *3* – $0,50 < I_L \leq 0,75$

Глины

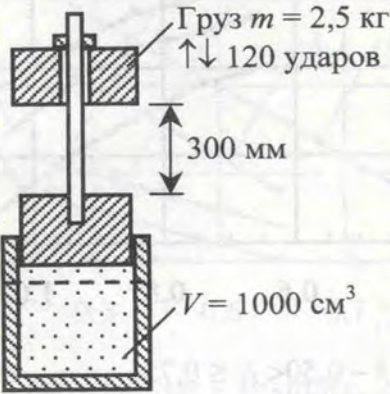
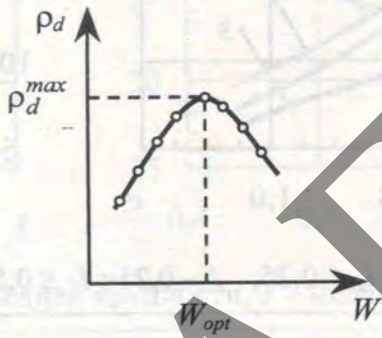



1 – $0 \leq I_L \leq 0,25$; 2 – $0,25 < I_L \leq 0,50$; 3 – $0,50 < I_L \leq 0,75$

Характерные значения c и φ

Вид грунтов	c , кПа	φ , ...°
Пески	0...5	25...35
Глинистые грунты	10...50	5...20
Торфы	10...30	5...15
Илы	5...10	5...10

4.3. СПОСОБНОСТЬ К УПЛОТНЕНИЮ

Схема установки	Зависимость	Расчетная формула
<p>Прибор стандартного уплотнения «Союздорнии»</p>  <p>Груз $m = 2,5 \text{ кг}$ $\updownarrow 120$ ударов</p> <p>300 мм</p> <p>$V = 1000 \text{ см}^3$</p> <p>Исследуется трамбованием образцов различной влажности</p>	 <p>ρ_d</p> <p>ρ_d^{max}</p> <p>W_{opt}</p> <p>W</p>	 <p>ρ_d</p> $k_{com} = \frac{\rho_d}{\rho_d^{max}}$ <p>ρ_d^{max} — максимальная плотность сухого грунта</p>

Характерные значения W_{opt} и ρ_d^{max}

Вид грунтов	W_{opt}	ρ_d^{max}
Пески крупные и средней крупности	0,08...0,12	1,80 ± 0,10
Пески мелкие и пылеватые	0,12...0,16	
Глинистые грунты	0,18...0,25	1,60 ± 0,10

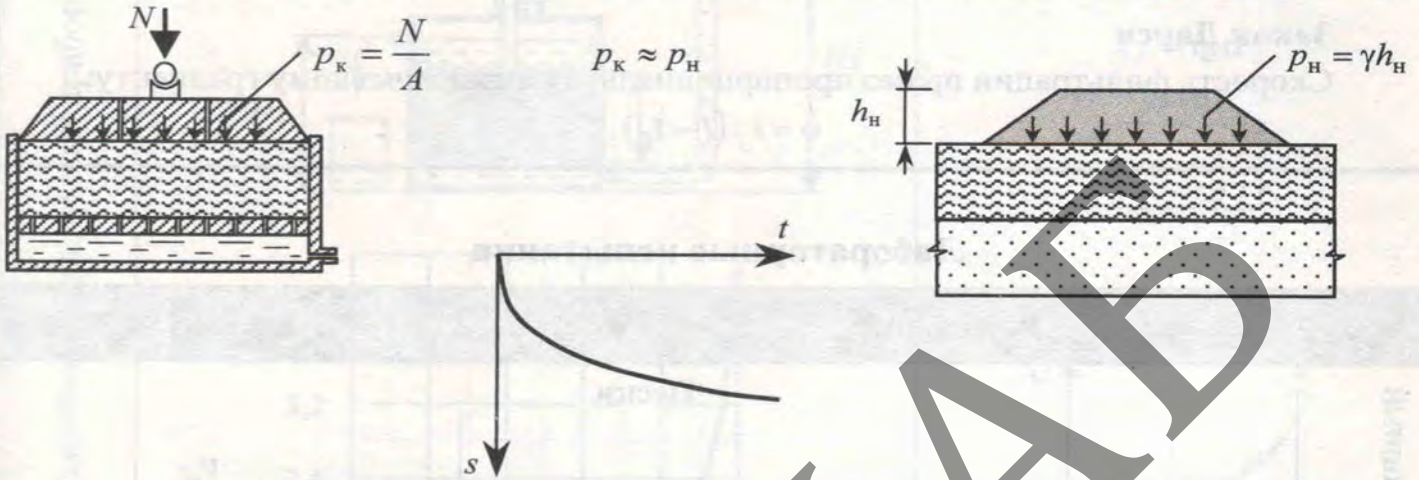
Рекомендуемые значения k_{com} [11, 12]

0,95...0,98	— основание фундаментов
0,92...0,95	— основание полов
0,88...0,90	— незастраиваемые участки
0,95...0,98	— земляное полотно автомобильных дорог

4.4. КОЭФФИЦИЕНТ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ КОНСОЛИДАЦИИ

Коэффициент консолидации – это параметр, характеризующий скорость процесса консолидации, то есть постепенного (медленного) уплотнения полностью насыщенных водой связных грунтов, обусловленного выдавливанием воды из пор.

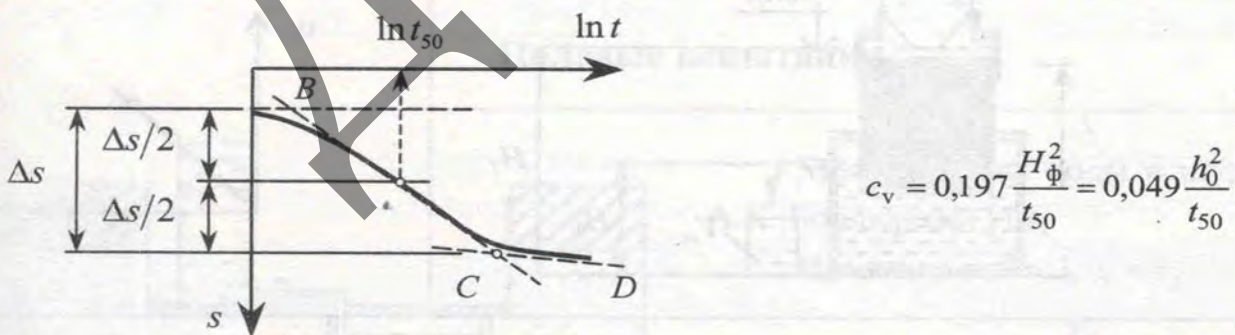
- Определение – по данным компрессионных испытаний.



Метод Тейлора



Метод Казагранде



Комментарий. 1. AB – прямая, аппроксимирующая начальный участок графика. 2. H_Φ – длина пути фильтрации (равна половине толщины образца, так как в компрессионных приборах образец дренируется с двух сторон). 3. BC и CD – касательные к прямолинейным участкам кривой.

5. ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ

Фильтрация – движение свободной (гравитационной) воды в порах грунта в условиях полного насыщения.

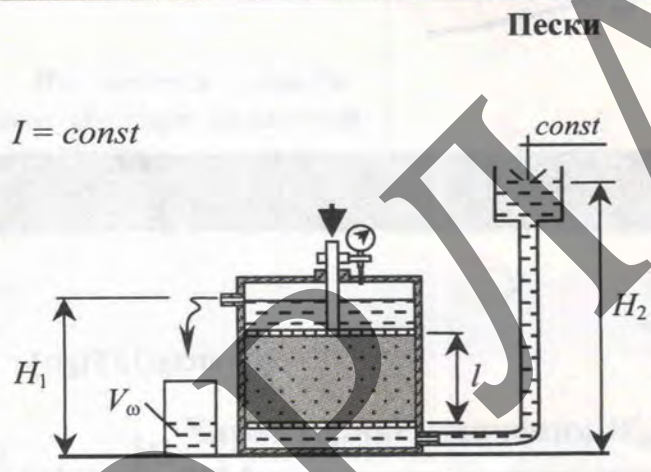
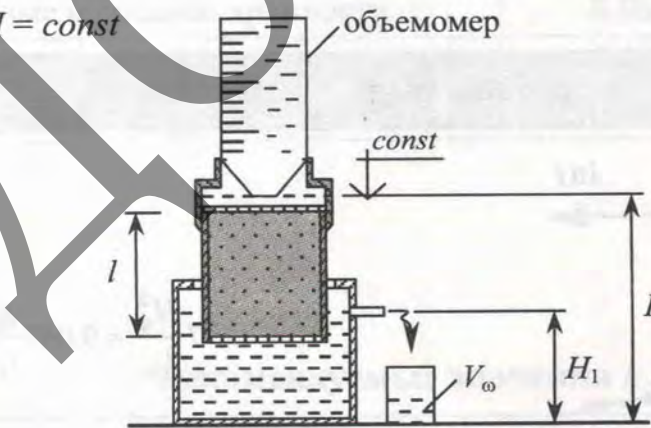
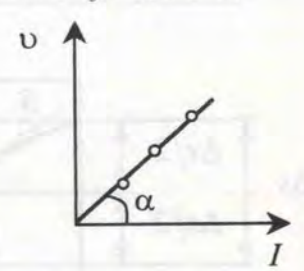
Коэффициент фильтрации – скорость фильтрации при градиенте напора, равном единице, и линейном законе фильтрации.

Закон Дарси

Скорость фильтрации прямо пропорциональна гидравлическому градиенту:

$$v = k_f(I - I_0).$$

Лабораторные испытания

	Устройство	Зависимость
Компрессионно-фильтрационный прибор	<p><i>I = const</i></p> 	$v = \frac{V_\omega}{At}$ $I = \frac{H_2 - H_1}{l}$ $k_f = \operatorname{tg} \alpha$ <p>или</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> $k_f = \frac{v}{I} = \frac{V_\omega}{AtI}$ </div>
Фильтрационная трубка	<p><i>I = const</i></p> 	$v = k_f I \quad (I_0 = 0)$ 

Комментарий. 1. Значения коэффициента фильтрации k_f для любого вида грунта, найденные в лабораторных условиях при температуре θ , приводят к температуре 10°C [13]:

$$k_{10} = \frac{k_\theta}{0,7 + 0,03\theta}$$

2. Обычно k_f измеряют в м/сут. Для перевода значений, найденных в лабораторных условиях и выраженных в см/с, используют коэффициент 864.

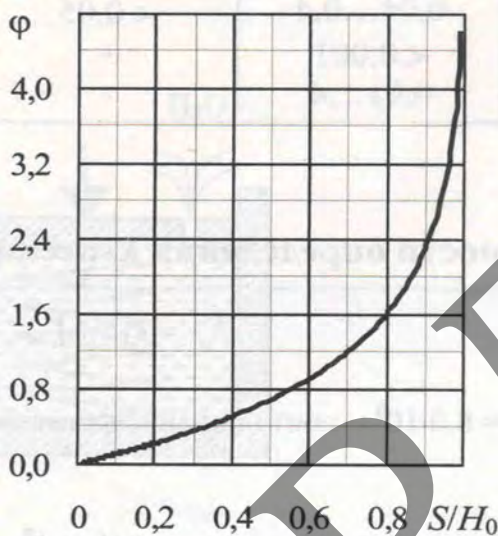
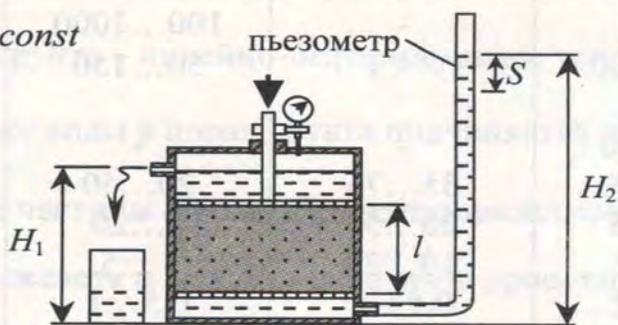
Устройство

Зависимость

Компрессионно-фильтрационный прибор

Глинистые грунты

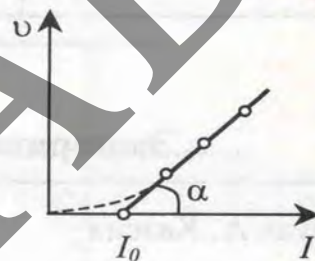
$I \neq const$



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

или

$$k_f = \varphi \frac{a l}{A t}$$



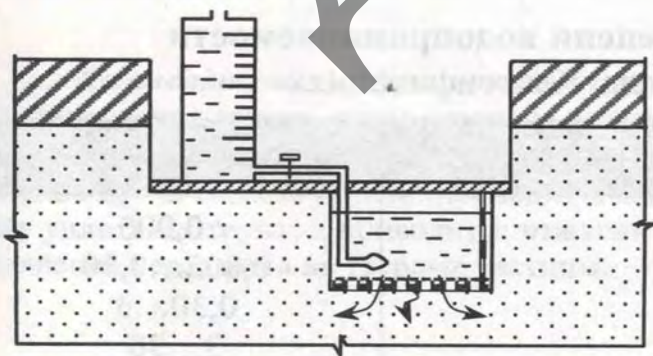
$$v = k_f (I - I_0)$$

φ – коэффициент, зависящий от величины падения столба воды в трубке (S), определяемый по графику или формуле

$$\varphi = -\ln \left(1 - \frac{S'}{H_0} \right), \quad H_0 = H_2 - H_1$$

a – площадь поперечного сечения трубки (пьезометра)

Полевые испытания



Метод налива воды в шурф (метод А.К. Болдырева) [14]

Принимают $I \approx 1$, $v \approx k_f$

$$k_f = \frac{V_{\omega}}{A_k t}$$

A_k – площадь кольца (зумпфа)

Ориентировочные значения k_f

Наименование грунта	Значения k_f , м/сут, по данным разных источников			
	[11]	[15]	[16]	[17]
Галечниковый	> 200	-	100...1000	100...200
Гравийный	100...200	-	50...150	-
Песок:				
гравелистый	50...100	-	-	-
крупный	25...75	35...75	20...50	15...50
средней крупности	10...25	20...50	5...20	5...15
мелкий	2...10	10...25	1...5	0,5...1
пылеватый	0,1...2	0,5...5	0,5...1	0,5...1
Супесь	0,1...0,7	0,1...1,0	0,1...5	0,1...0,5
Суглинок	0,005...0,4	0,04...0,4	< 0,05	0,001...0,1
Глина	< 0,005	< 0,001	-	< 0,001
Торф	0,01...4	0,01...4	-	-

Эмпирические зависимости определения k_f песков

Формула А. Хазена	$k_f = c(d_{10})^2$ <p>$c = 8,0 \cdot 10^8$ – постоянный множитель, $\text{м}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$</p>
Формула И.И. Заурбрера	$k_f = cM(d_{17})^2$ <p>$c = 2,44 \cdot 10^9$ – постоянный множитель, $\text{м}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$</p> $M = \frac{e^3}{1+e}$ <p>d_{17} – расчетный диаметр частиц, соответствующий содержанию 17%, определяемый по кривой просеивания</p>

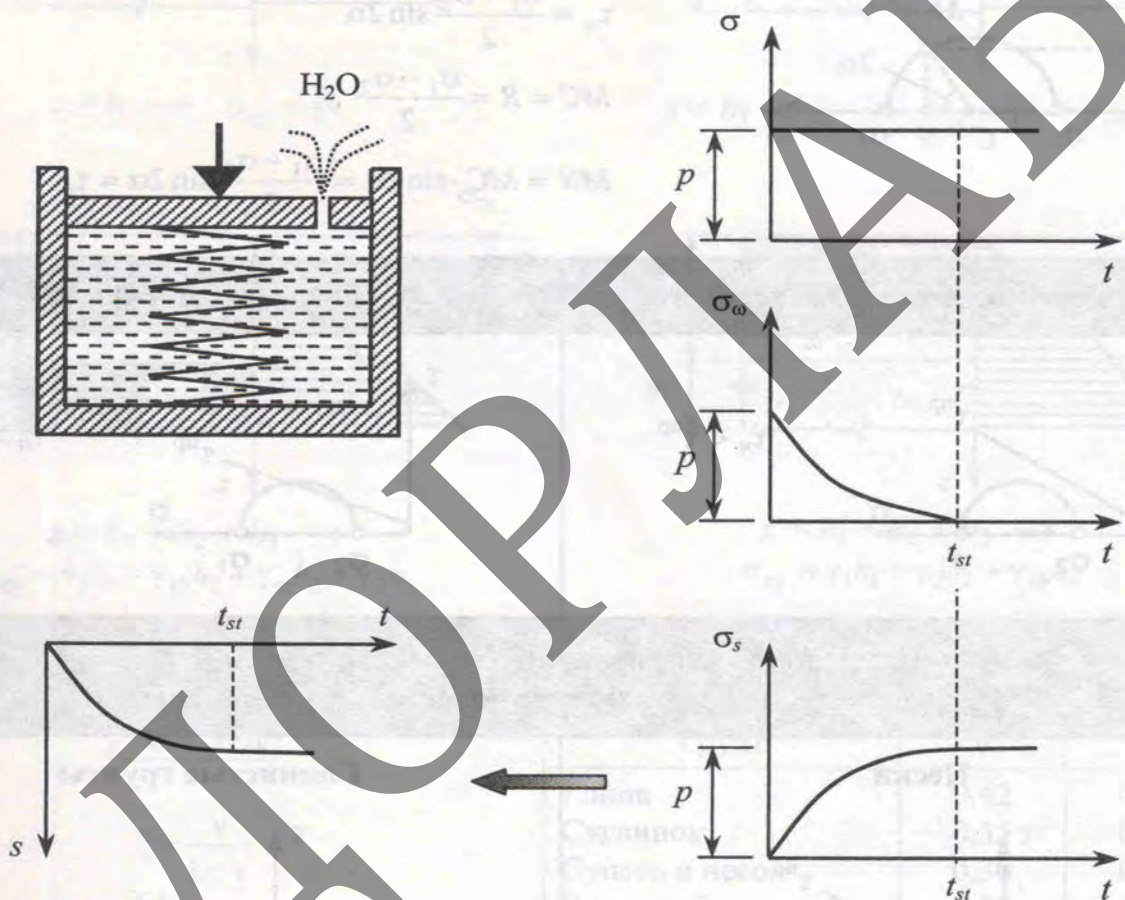
Классификация грунтов по степени водопроницаемости по ГОСТ 25100–95 «Грунты. Классификация»

Грунт	k_f , м/сут
Неводопроницаемый	< 0,005
Слабоводопроницаемый	0,005...0,30
Водопроницаемый	0,30...3
Сильноводопроницаемый	3...30
Очень сильноводопроницаемый	> 30

6. ТЕОРИЯ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ КОНСОЛИДАЦИИ

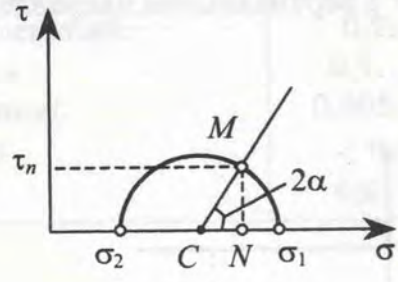
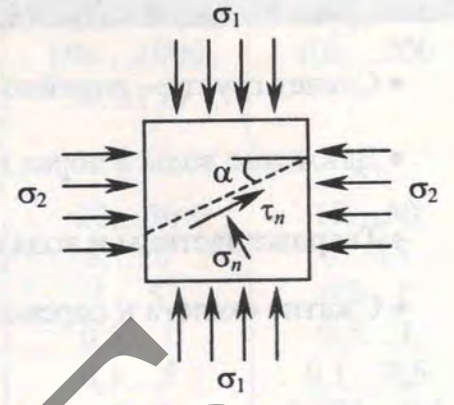
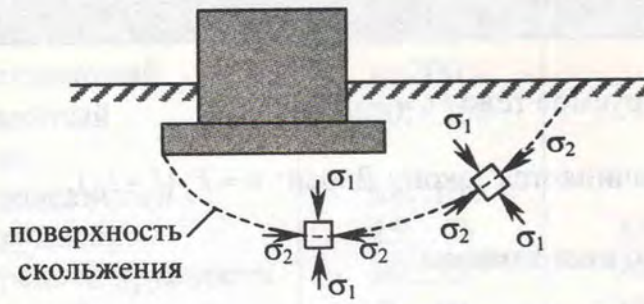
Предпосылки:

- Грунт насыщен водой ($S_r = 1$).
- Скелет грунта – линейно-деформируемое тело ($\varepsilon = \frac{1}{E} p$).
- Движение воды в порах грунта подчиняется закону Дарси: $v = k_f(I - I_0)$.
- Твердые частицы и вода абсолютно несжимаемы.
- Сжатие скелета и перемещение воды происходят в вертикальном направлении.



Комментарий. 1. Механическая модель грунтовой массы иллюстрирует процесс деформирования грунта, поры которого полностью заняты несжимаемой жидкостью. 2. В полностью водонасыщенных грунтах одновременно действуют два вида напряжений: эффективное σ_s – в скелете грунта (приводит к его уплотнению), нейтральное σ_w – в поровой воде (не уплотняет грунт, а приводит к отжатию воды). По мере удаления воды из пор внешнее давление передается на твердые частицы.

7. УСЛОВИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ



$$\tau_n = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha$$

$$MC = R = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$$

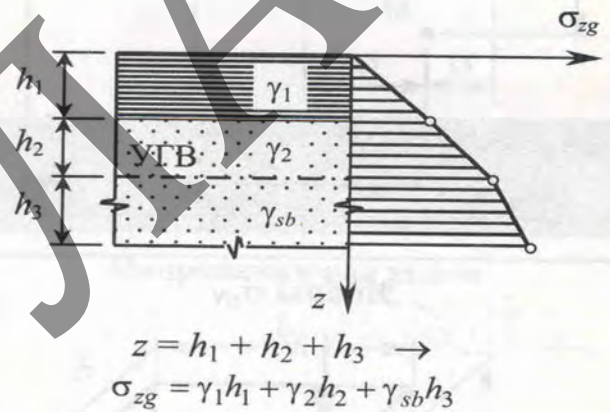
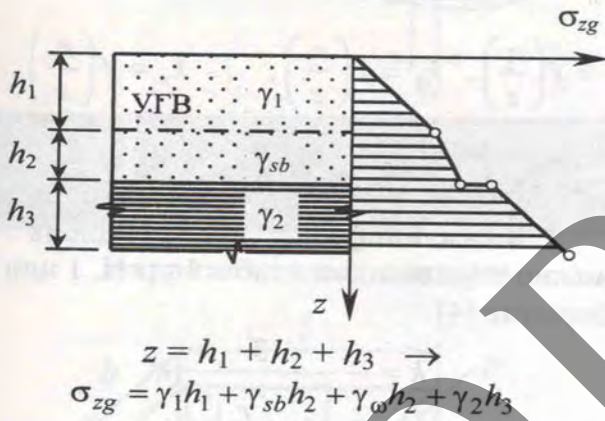
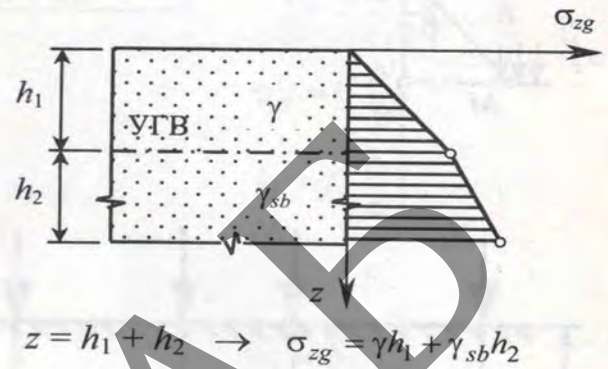
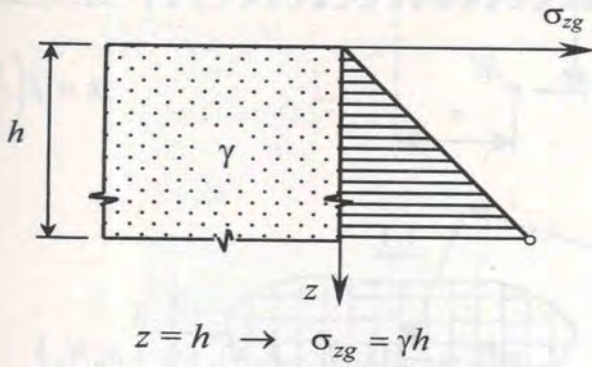
$$MN = MC \cdot \sin 2\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha = \tau_n$$

Прочность сохраняется	Прочность нарушена
<p style="text-align: right;">$\tau_n < \tau^{np}$</p>	<p style="text-align: right;">$\tau_n > \tau^{np}$</p>
Предельное напряженное состояние $\tau_n = \tau^{np}$ (предельное равновесие)	
Пески $\sin \varphi = \frac{MC}{OC}, \quad OC = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $\sin \varphi = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2}$ </div>	Глинистые грунты $\sin \varphi = \frac{MC}{KC}, \quad KC = KO + OC$ $KO = c \cdot \text{ctg} \varphi, \quad OC = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $\sin \varphi = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2 + 2c \cdot \text{ctg} \varphi}$ </div>

8. НАПРЯЖЕНИЯ В ГРУНТАХ

8.1. НАПРЯЖЕНИЯ ОТ СОБСТВЕННОГО ВЕСА ГРУНТА

$$\sigma_{zg} = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i$$

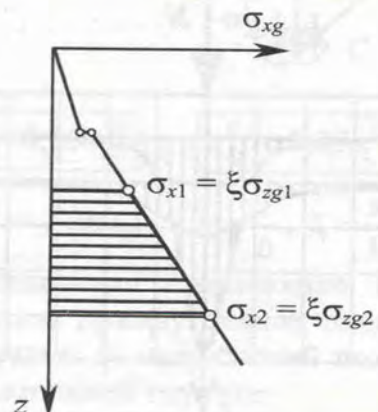
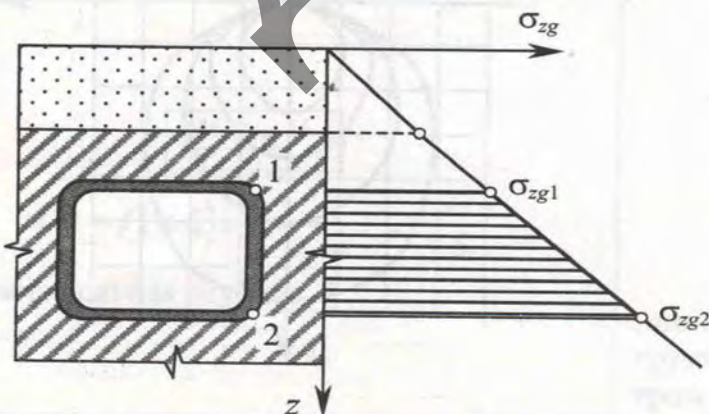


$$\sigma_{xg} = \xi \sigma_{zg}$$

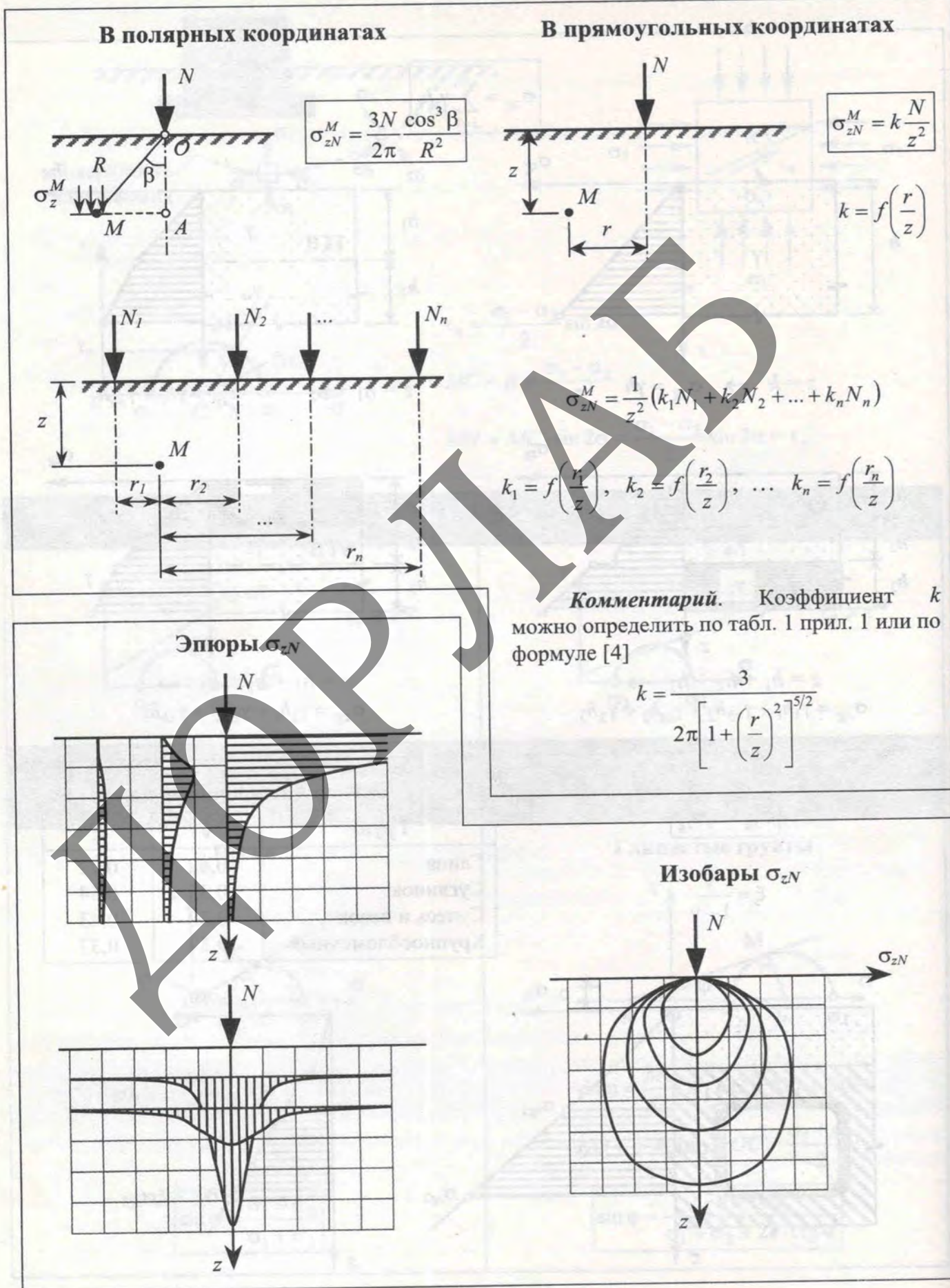
$$\xi = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

Значения коэффициентов

Грунт	ν	ξ
Глина	0,42	0,72
Суглинок	0,35	0,54
Супесь и песок	0,30	0,43
Крупнообломочный	0,27	0,37

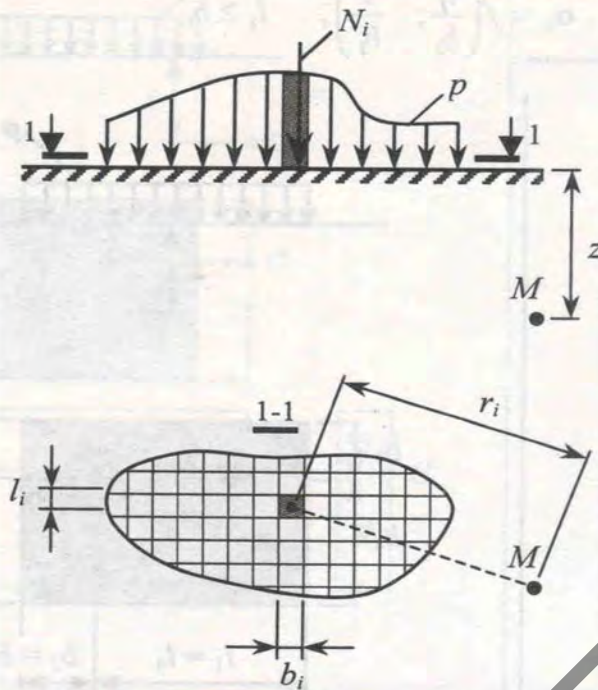


8.2. НАПРЯЖЕНИЯ ОТ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ СИЛЫ (задача Ж. Буссинеска)



8.3. НАПРЯЖЕНИЯ ОТ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКИ

Неравномерно распределенная нагрузка (приближенное решение)



$$N_i = l_i b_i p_i$$

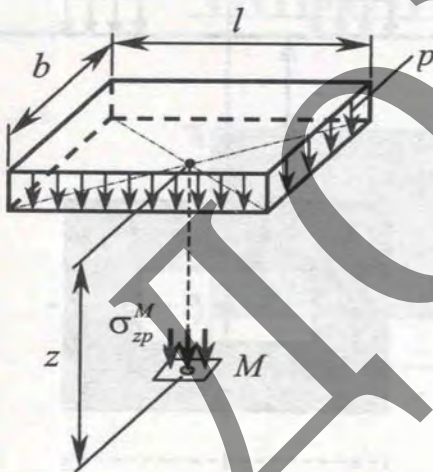
$$\sigma_{zi} = k_i \frac{N_i}{z^2}$$

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

$$\sigma_z = \sum_{i=1}^n \sigma_{zi}$$

Равномерно распределенная нагрузка (точное решение). Прямоугольная площадь загрузения

Напряжения под центром

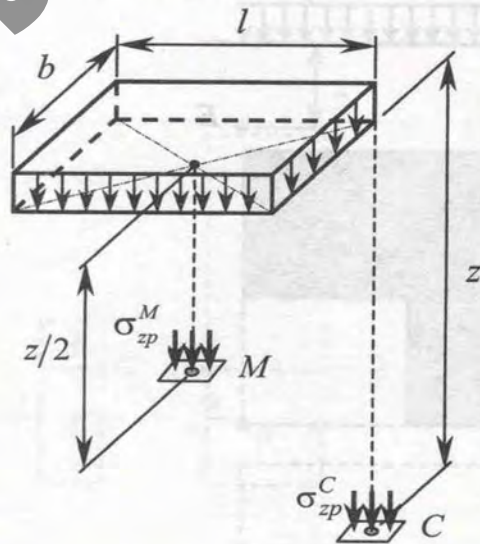


$$\sigma_{zp}^M = \alpha^M p$$

$$\alpha^M = f(\eta; \zeta), \quad \eta = \frac{l}{b}, \quad \zeta = \frac{2z}{b}$$

ζ – относительная глубина

Напряжения под углом



$$\sigma_{zp}^C = 0,25 \sigma_{zp}^M,$$

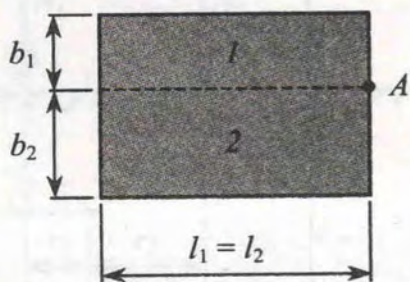
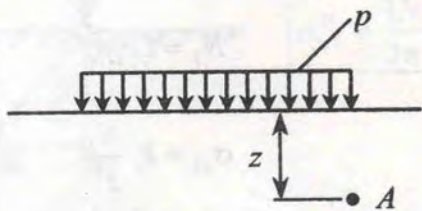
$$\sigma_{zp}^C = 0,25 \alpha^C p$$

$$\alpha^C = f(\eta; \zeta), \quad \eta = \frac{l}{b}, \quad \zeta = \frac{z}{b}$$

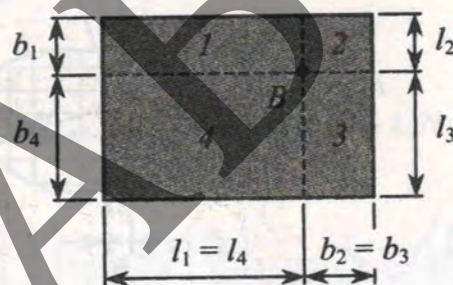
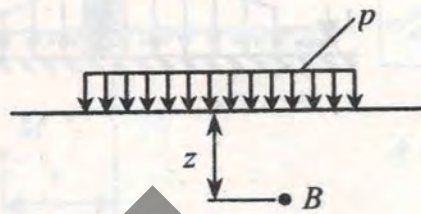
Вертикальные сжимающие напряжения под углом прямоугольной площади загрузения равны $\frac{1}{4}$ напряжений под ее центром на половинной глубине

$$\sigma_{zp} = 0,25p \sum_{i=1}^n \alpha_i$$

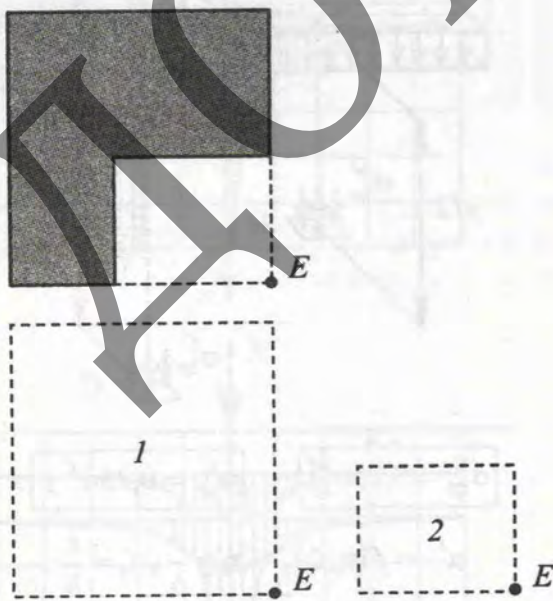
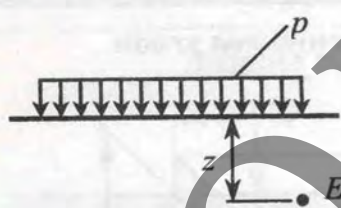
$$\alpha_i = f\left(\frac{l_i}{b_i}; \frac{z}{b_i}\right), \quad l_i \geq b_i$$



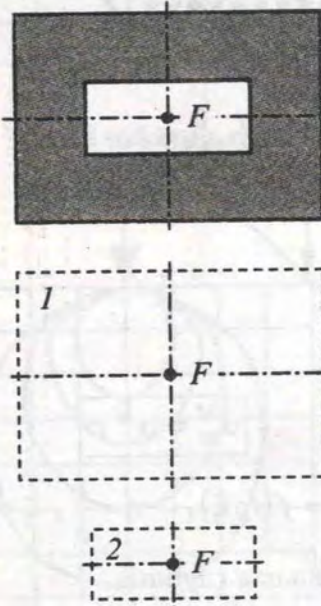
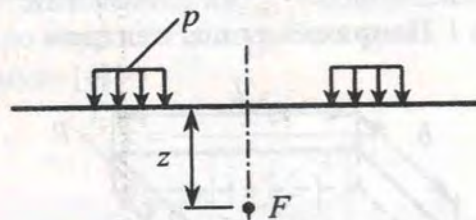
$$\sigma_{zp}^A = 0,25(\alpha_1 + \alpha_2)p$$



$$\sigma_{zp}^B = 0,25(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4)p$$

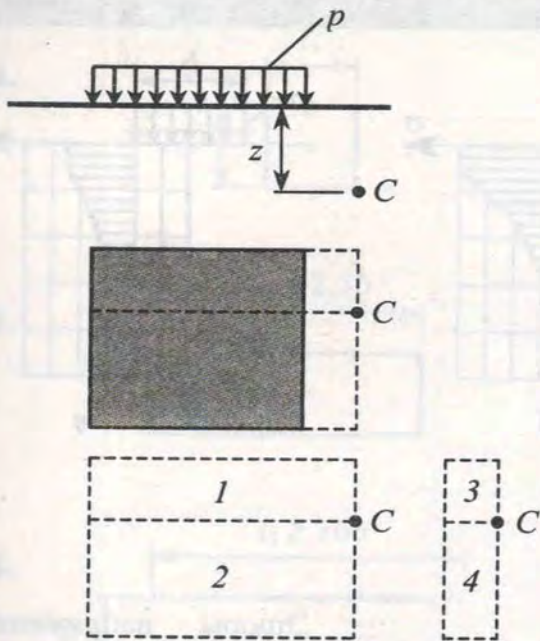


$$\sigma_{zp}^E = 0,25(\alpha_1 - \alpha_2)p$$

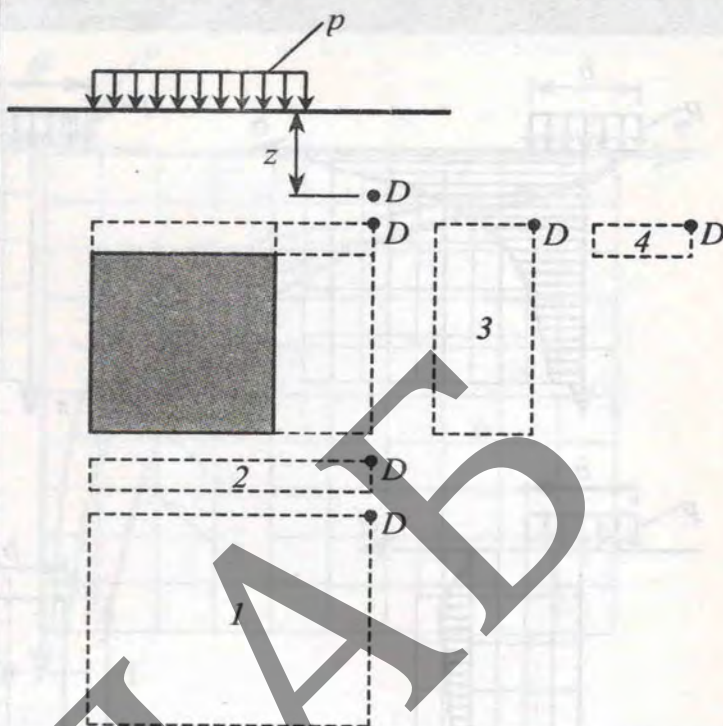


$$\sigma_{zp}^F = (\alpha_1 - \alpha_2)p$$

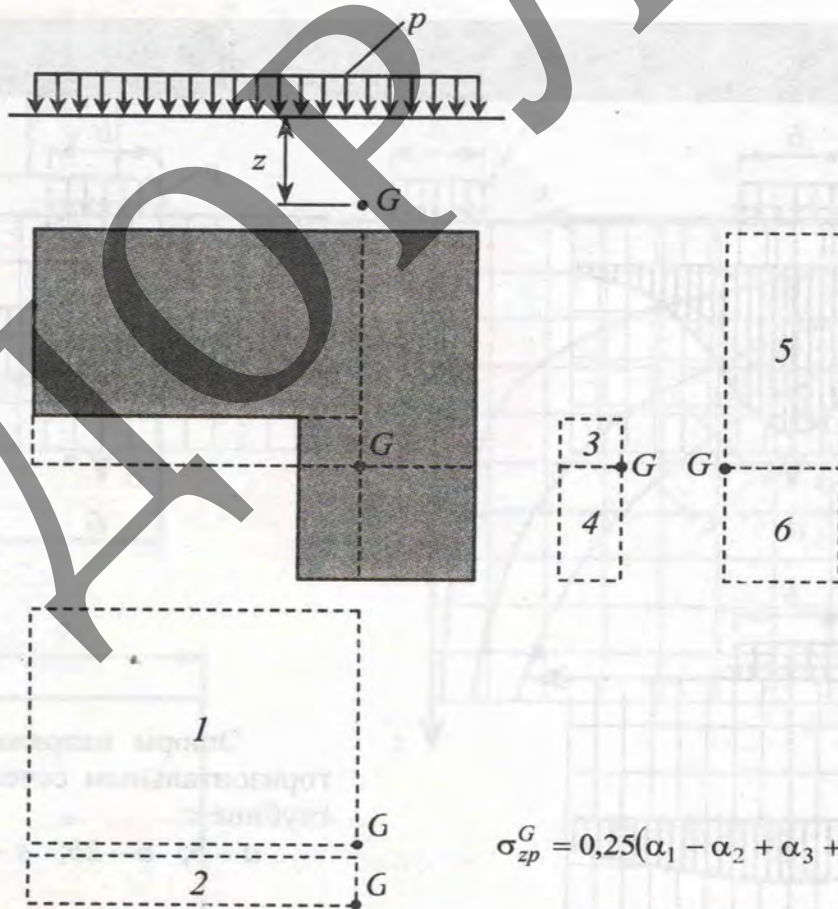
Метод угловых точек



$$\sigma_{zp}^C = 0,25(\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3 - \alpha_4)p$$



$$\sigma_{zp}^D = 0,25(\alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_3 + \alpha_4)p$$

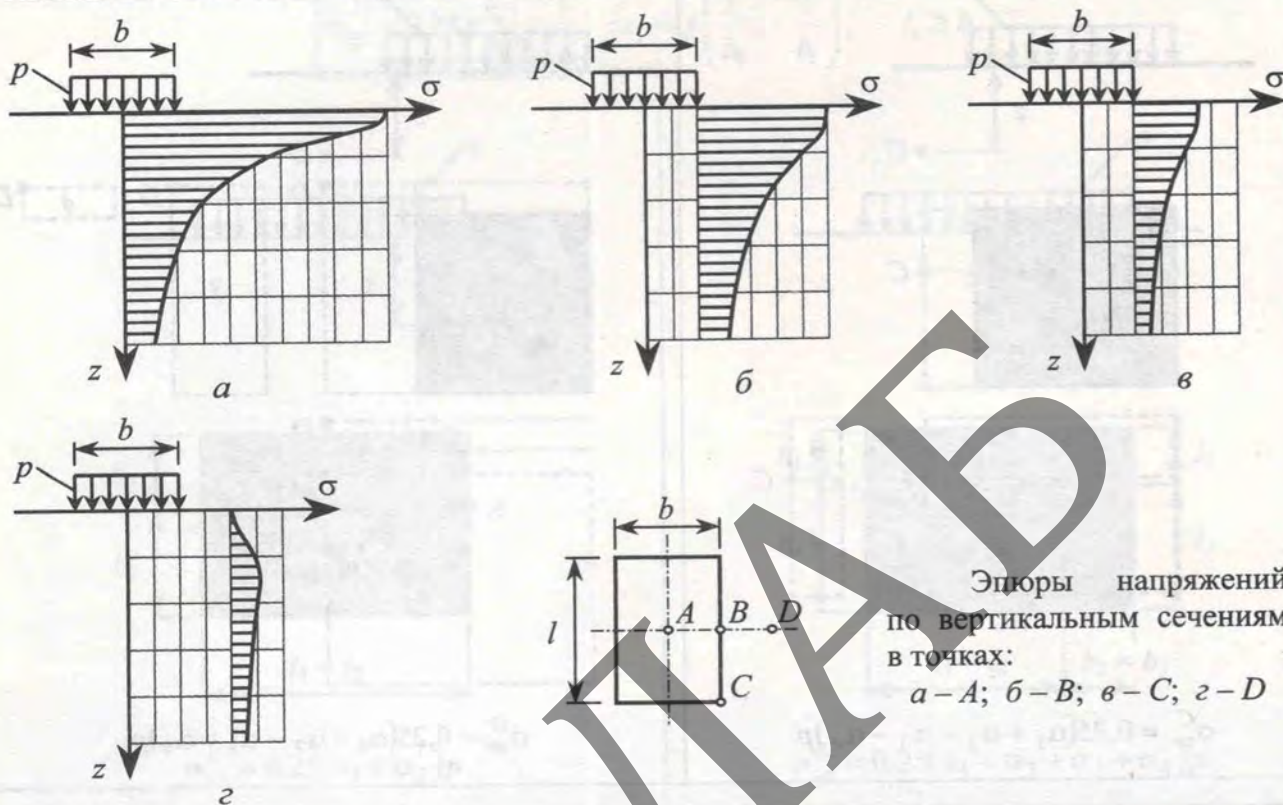


$$\sigma_{zp}^G = 0,25(\alpha_1 - \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6)p$$

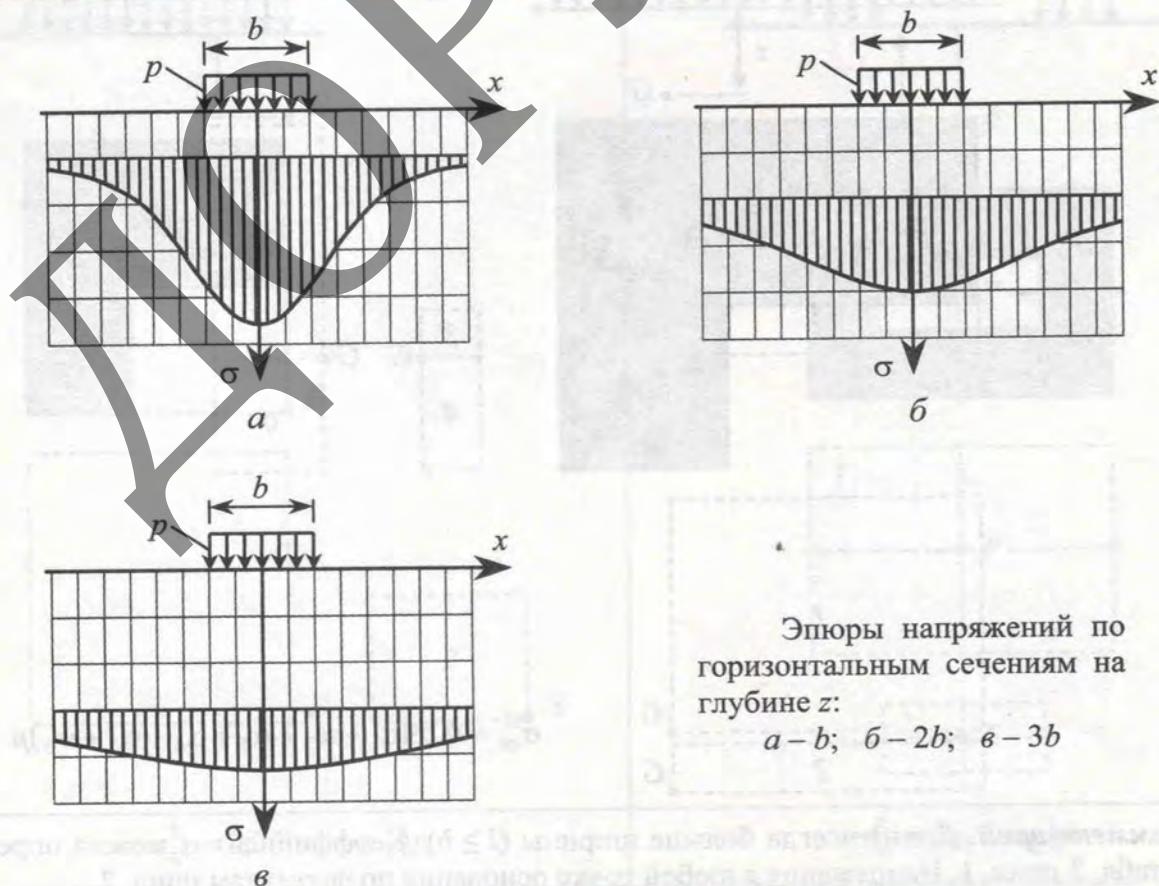
Комментарий. Длина всегда больше ширины ($l \geq b$). Коэффициент α можно определить по табл. 3 прил. 1. Напряжения в любой точке основания по формулам прил. 2.

Эпюры напряжений σ_{zp}

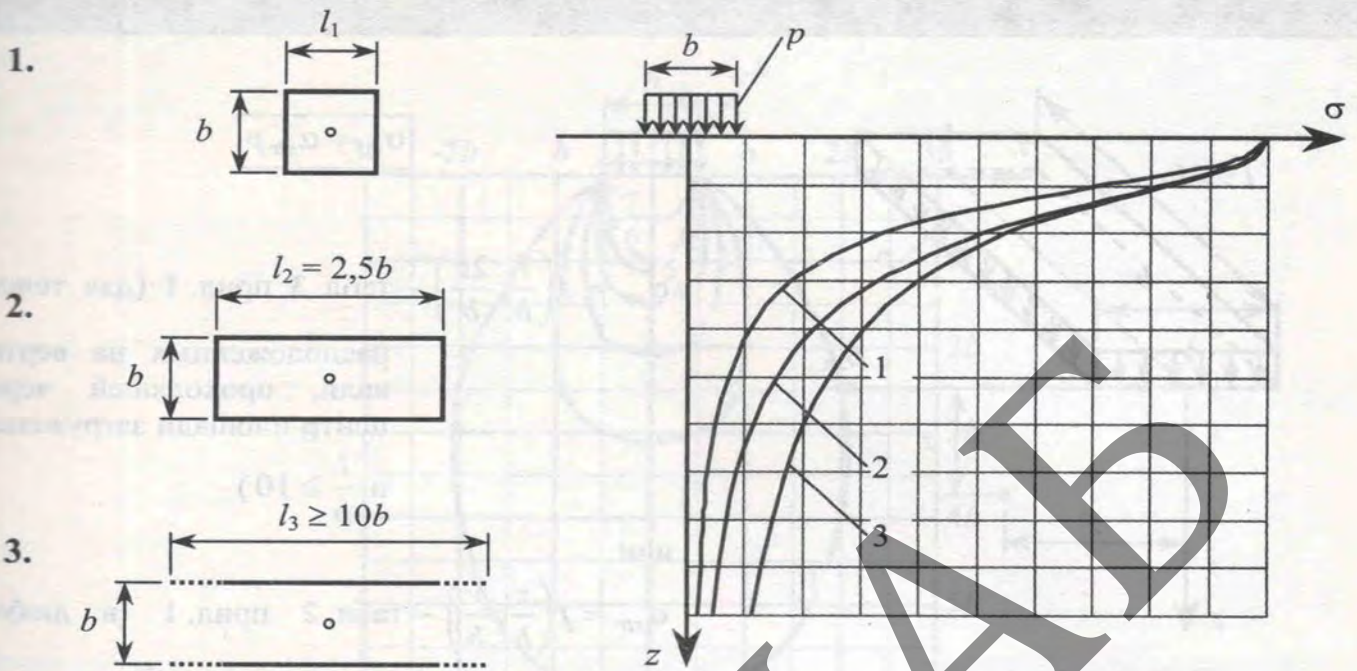
По вертикальным сечениям



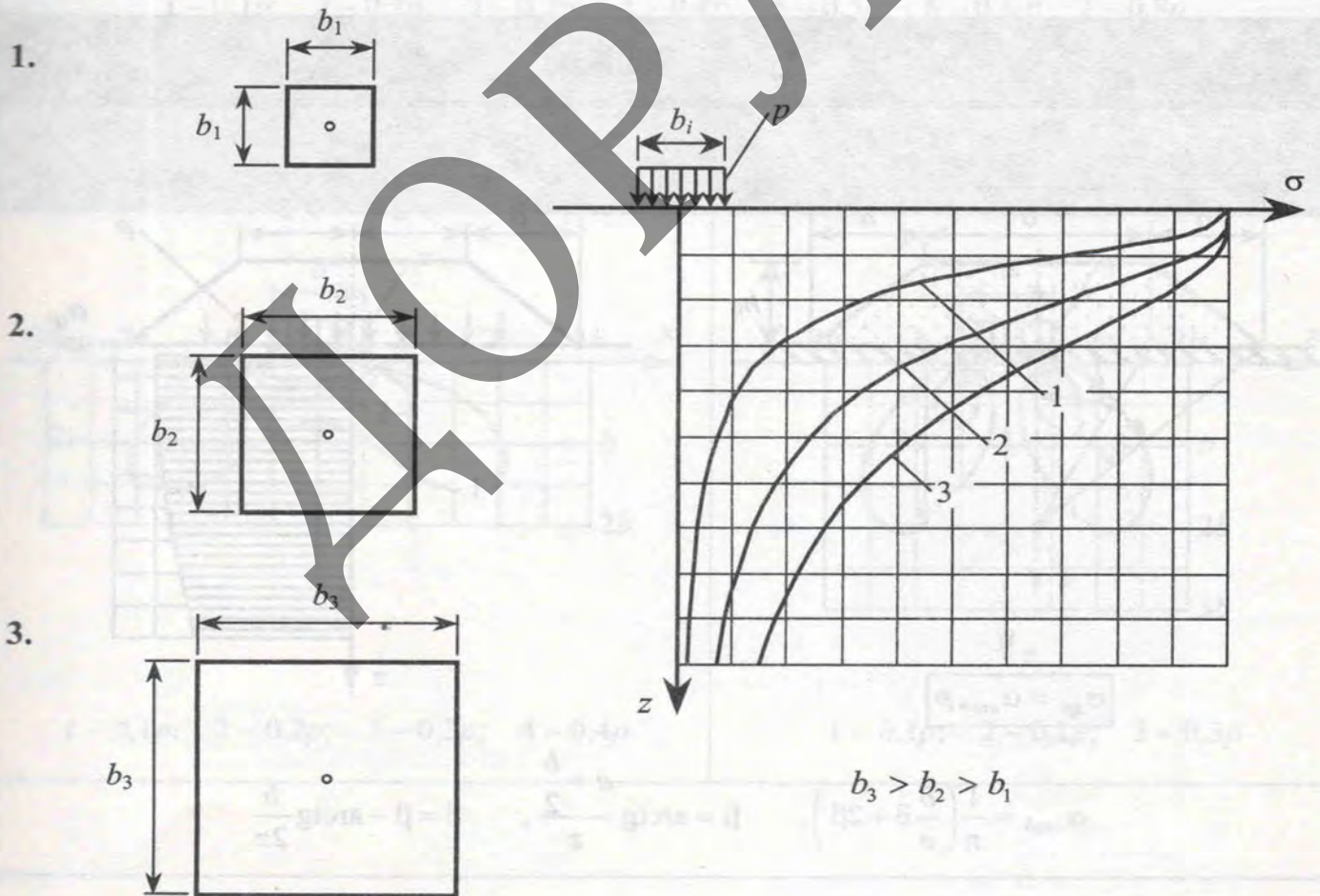
По горизонтальным сечениям



$b = const (l_1 < l_2 < l_3)$

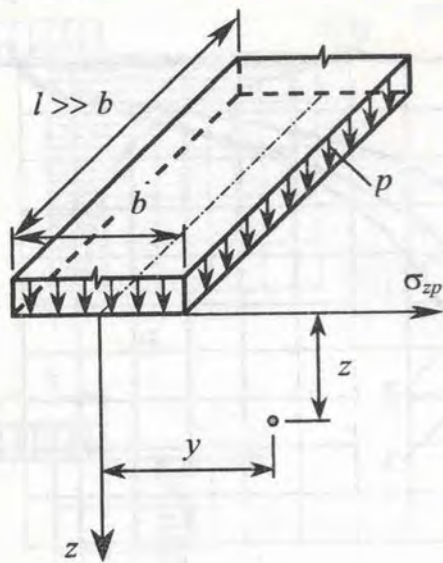


$l = b (b_1 < b_2 < b_3)$



Полосовая нагрузка

Равномерно распределенная (ленточный фундамент)



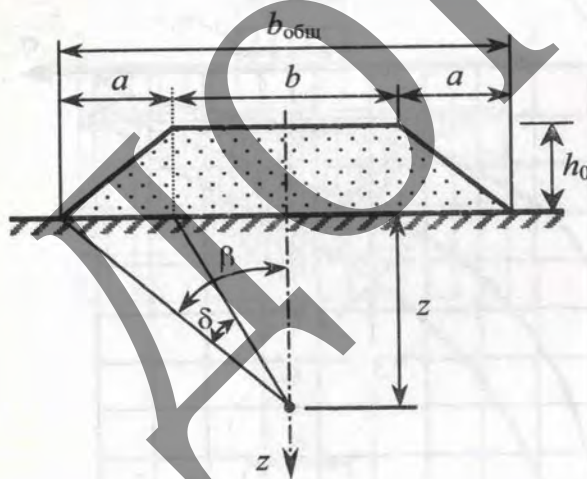
$$\sigma_{zp} = \alpha_{str} p$$

$\alpha_{str} = f\left(\frac{l}{b}; \frac{2z}{b}\right)$ – табл. 3 прил. 1 (для точек, расположенных на вертикали, проходящей через центр площади загрузки и $\frac{l}{b} \geq 10$)

или
 $\alpha_{str} = f\left(\frac{z}{b}; \frac{y}{b}\right)$ – табл. 2 прил. 1 (в любой точке основания)

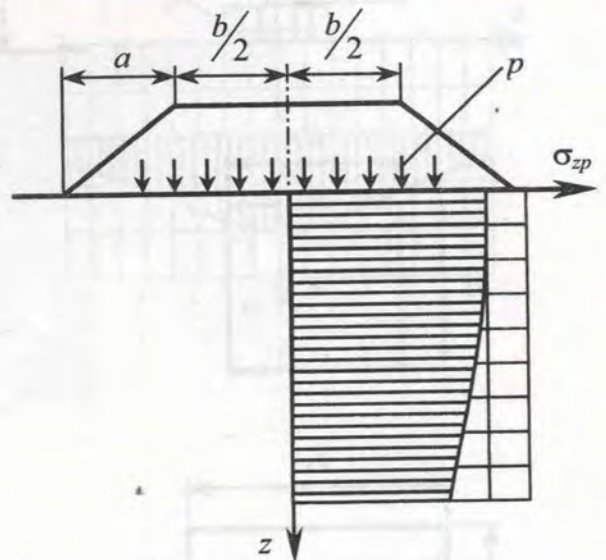
Комментарий. Напряжения от равномерно распределенной нагрузки по полосе можно определять по формулам прил. 2.

Трапецевидная



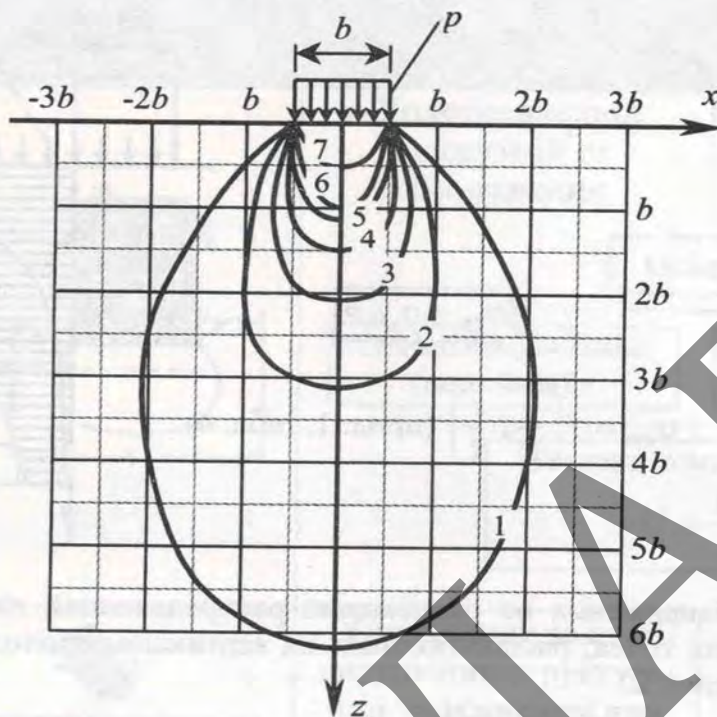
$$\sigma_{zp} = \alpha_{emb} p$$

$$\alpha_{emb} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{b}{a} \delta + 2\beta \right), \quad \beta = \arctg \frac{a + \frac{b}{2}}{z}, \quad \delta = \beta - \arctg \frac{b}{2z}$$



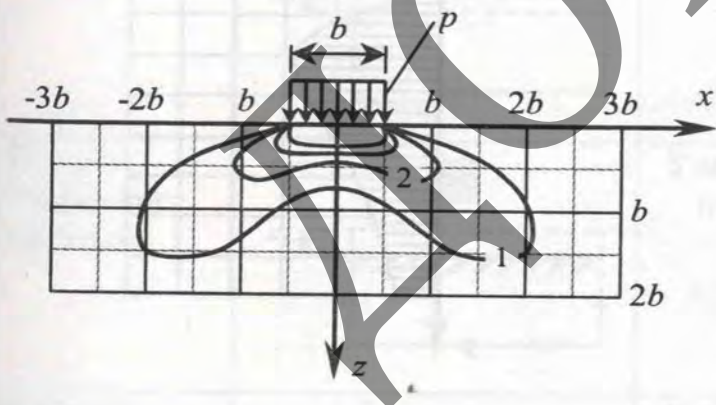
Линии равных напряжений (изобары) от полосовой нагрузки

Нормальные вертикальные напряжения σ_{zp}



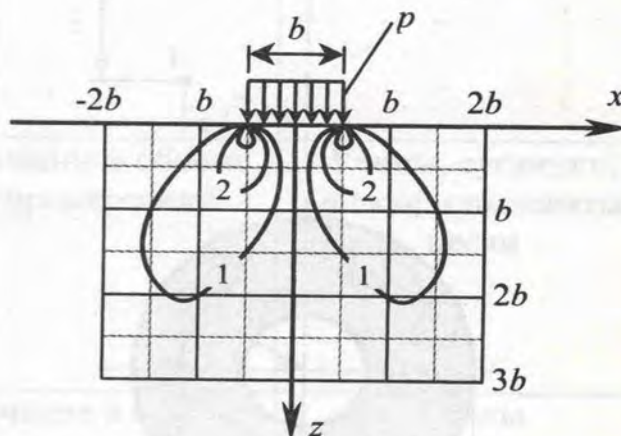
1 - $0,1p$; 2 - $0,2p$; 3 - $0,3p$; 4 - $0,4p$; 5 - $0,5p$; 6 - $0,6p$; 7 - $0,8p$

Нормальные горизонтальные напряжения σ_{xp}



1 - $0,1p$; 2 - $0,2p$; 3 - $0,3p$; 4 - $0,4p$

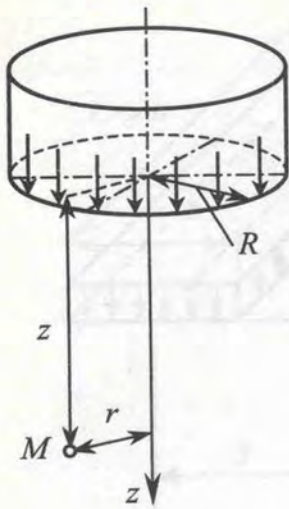
Касательные напряжения τ_{xz}



1 - $0,1p$; 2 - $0,2p$; 3 - $0,3p$

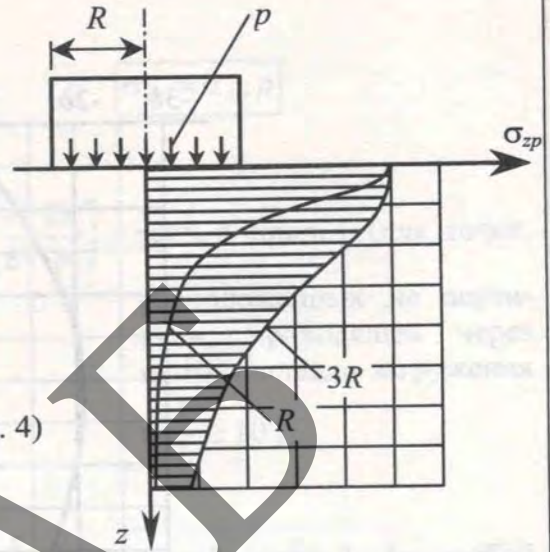
Напряжения от равномерно распределенной нагрузки

При круговой площади загрузки



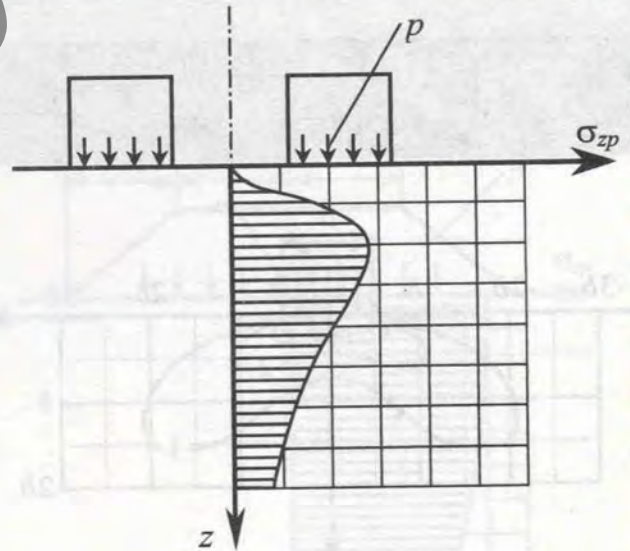
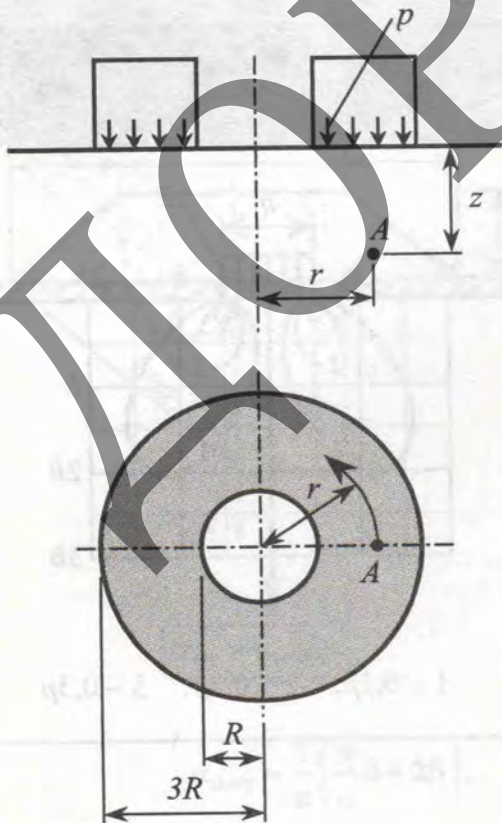
$$\sigma_{zp} = \alpha_{cir} P$$

$$\alpha_{cir} = f\left(\frac{r}{R}; \frac{z}{R}\right) \text{ (прил. 1, табл. 4)}$$



Комментарий. Напряжения от равномерно распределенной нагрузки при круговой площади загрузки для точек, расположенных на вертикали, проходящей через ее центр, можно определять по прил. 2.

При кольцевой площади загрузки

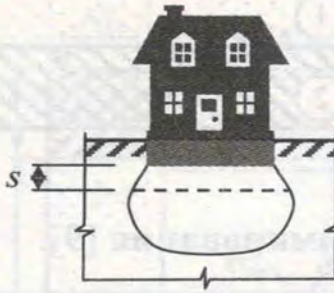

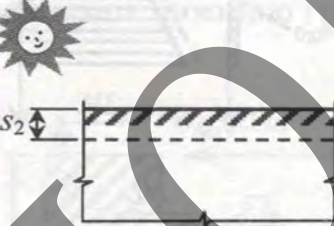
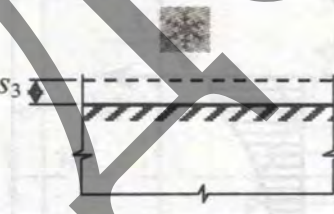
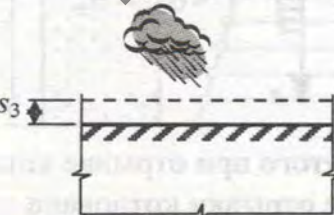


$$\sigma_{zp} = (\alpha_{cir}^2 - \alpha_{cir}^1) P$$

$$\alpha_{cir}^1 = f\left(\frac{r}{R}; \frac{z}{R}\right), \quad \alpha_{cir}^2 = f\left(\frac{r}{3R}; \frac{z}{3R}\right)$$

9. ДЕФОРМАЦИИ ОСНОВАНИЯ

Классификация вертикальных деформаций

Вид деформации	Схема	Процесс	Типы грунтов
Осадка	 <p>The diagram shows a house on a soil layer. A dashed line indicates the original ground level, and a solid line shows the settlement s after the house is built.</p>	<p>Уплотнение под нагрузкой от сооружения</p>	<p>Все типы грунтов, кроме скальных</p>
Просадка	 <p>The diagram shows a soil layer with a cloud and rain above it, indicating weathering. The settlement is labeled s_1.</p>	<p>Уплотнение за счет нарушения структуры при увлажнении или оттаивании</p>	<p>Лёссы, мерзлые грунты</p>
Усадка	 <p>The diagram shows a soil layer with a sun icon above it, indicating drying. The shrinkage is labeled s_2.</p>	<p>Уменьшение в объеме при высыхании</p>	<p>Глинистые грунты</p>
Подъем (морозное пучение)	 <p>The diagram shows a soil layer with a snowflake icon above it, indicating freezing. The heave is labeled s_3.</p>	<p>Увеличение в объеме при промерзании</p>	<p>Глины, суглинки, мелкие и пылеватые пески</p>
Подъем (набухание)	 <p>The diagram shows a soil layer with a cloud and rain above it, indicating wetting. The heave is labeled s_3.</p>	<p>Увеличение в объеме при увлажнении</p>	<p>Глины</p>

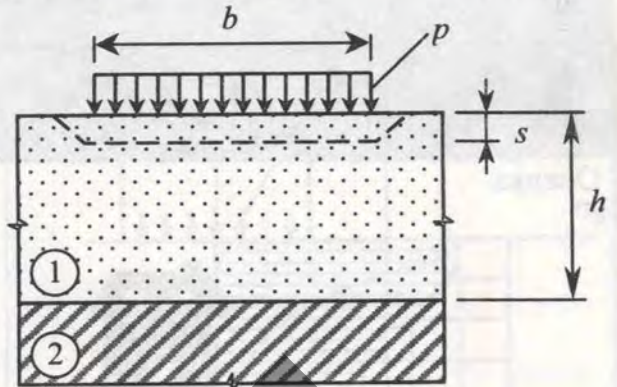


9.1. РАСЧЕТ КОНЕЧНОЙ ОСАДКИ ОСНОВАНИЯ

Осадка слоя грунта при сплошной нагрузке на поверхности:

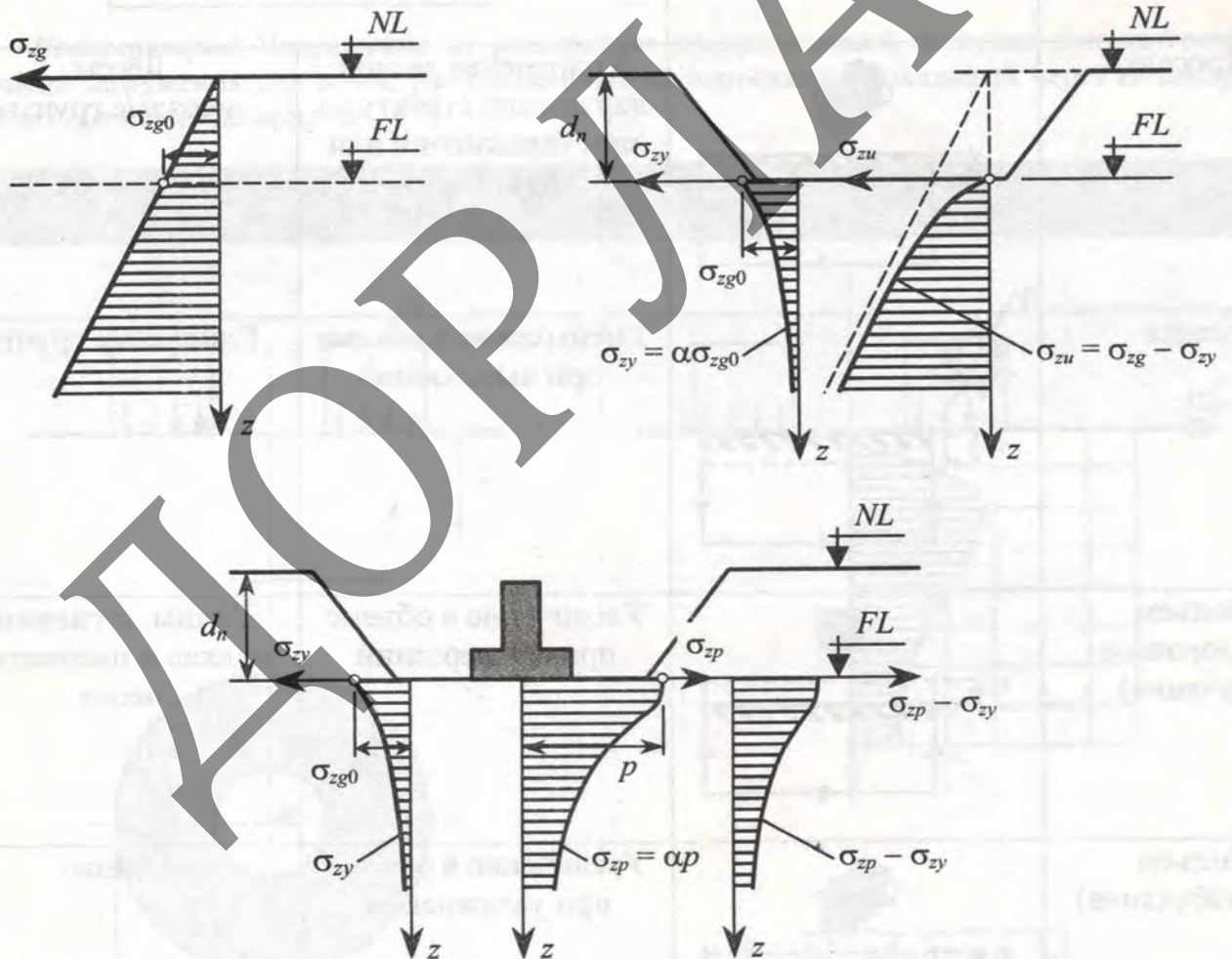
$$b \geq 5h, \quad E_2 \gg E_1$$

$$s = \frac{ph}{E_1} \beta$$



9.1.1. Метод послойного суммирования [9]

Теоретические предпосылки



σ_{zy} – напряжения от собственного веса грунта, вынуженного при отрывке котлована

σ_{zu} – напряжения от собственного веса грунта после отрывки котлована

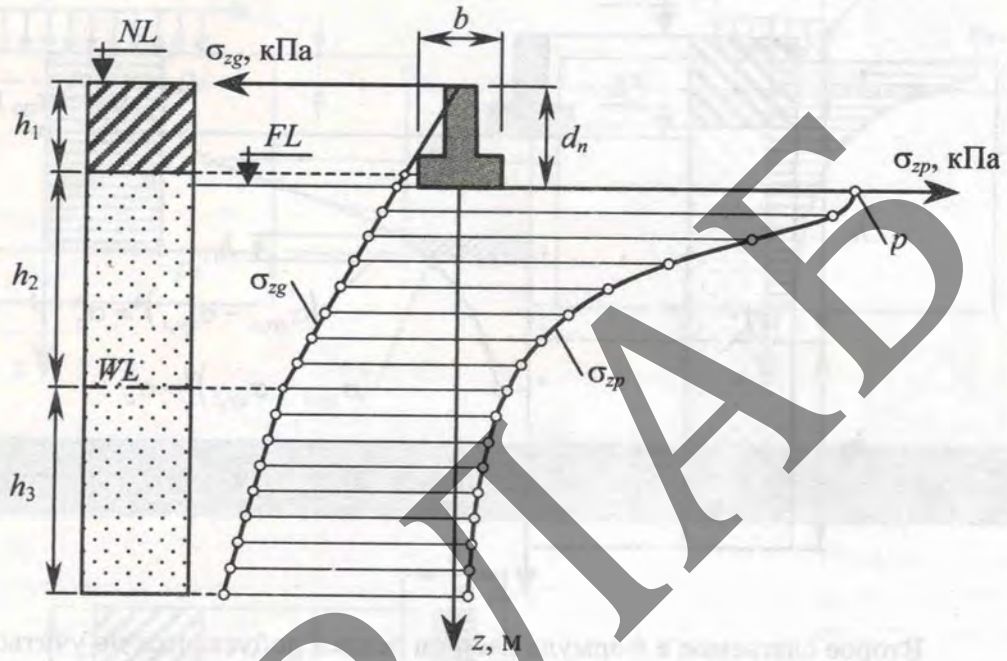
σ_{zg0} – напряжения от собственного веса грунта на уровне подошвы фундамента, $\sigma_{zg0} = \gamma d_n$

d_n – глубина заложения фундамента от поверхности природного рельефа

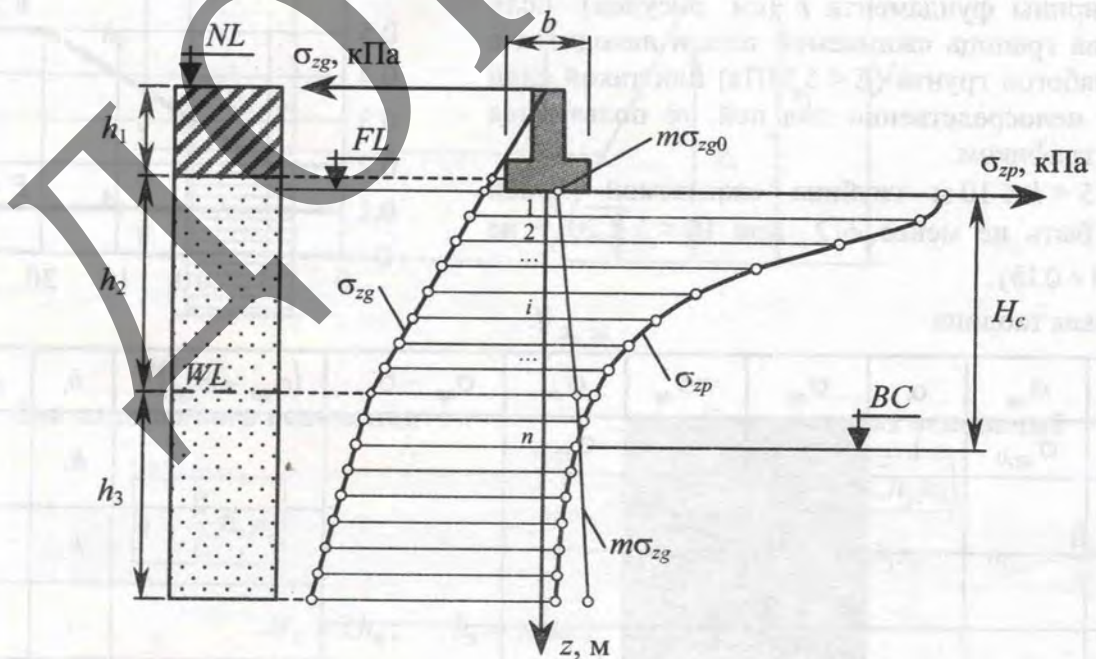
№
п/п

Последовательность расчета

- 1 Грунты ниже подошвы фундамента разбивают на элементарные *однородные* слои толщиной $h_i \leq 0,4b$.
Строят эпюры σ_{zg} и σ_{zp} :



- 2 Определяют нижнюю границу сжимаемой толщи $\sigma_{zp} \cap m\sigma_{zg}$:



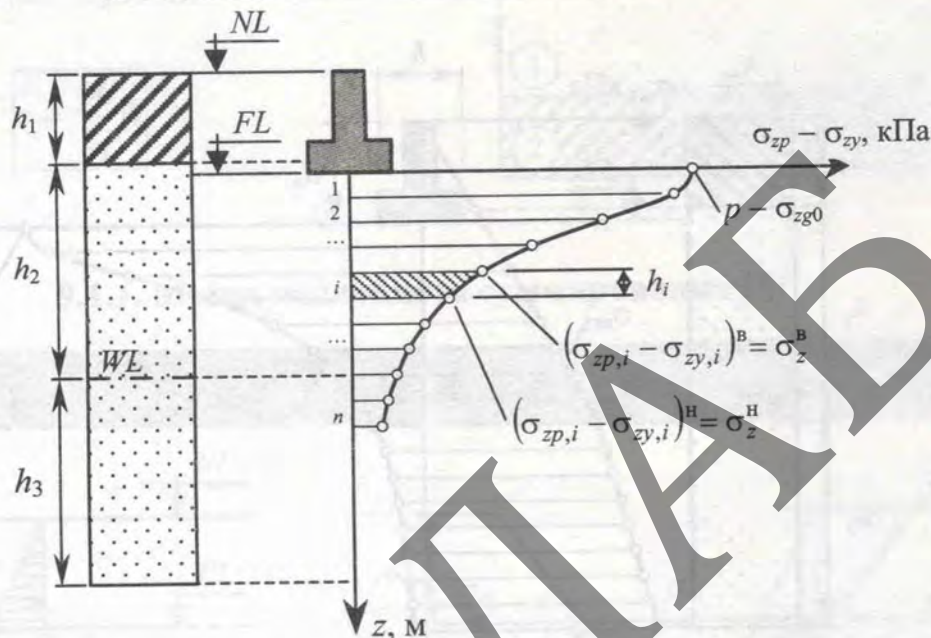
H_c – глубина, ниже которой сжатием грунта пренебрегают.

№
п/п

Последовательность расчета

3 Рассчитывают осадку

$$s = \sum_{i=1}^n s_i \quad s_i = 0,8 \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{zy,i})^{cp} h_i}{E_i} + 0,8 \frac{\sigma_{zy,i}^{cp} h_i}{5E_i} \quad (\sigma_{zp,i} - \sigma_{zy,i})^{cp} = \frac{\sigma_z^B + \sigma_z^H}{2}$$

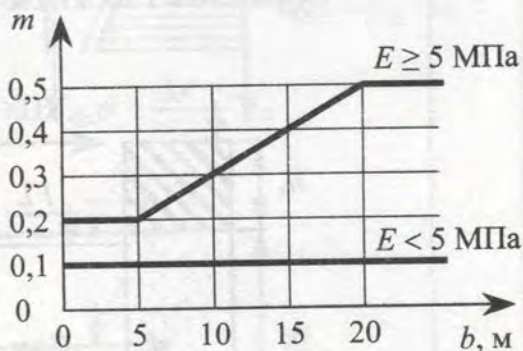


Второе слагаемое в формуле расчета осадки допускается не учитывать при возведении фундаментов в котлованах глубиной менее 5 м.

Комментарий. 1. Зависимость коэффициента m от ширины фундамента b (см. рисунок). Если найденная граница сжимаемой толщи находится в слое «слабого» грунта ($E < 5$ МПа) или такой слой залегает непосредственно под ней, то пользуются нижним графиком.

2. При $5 < b \leq 10$ м глубина сжимаемой толщи должна быть не менее $b/2$, при $10 < b \leq 20$ – не менее $(4 + 0,1b)$.

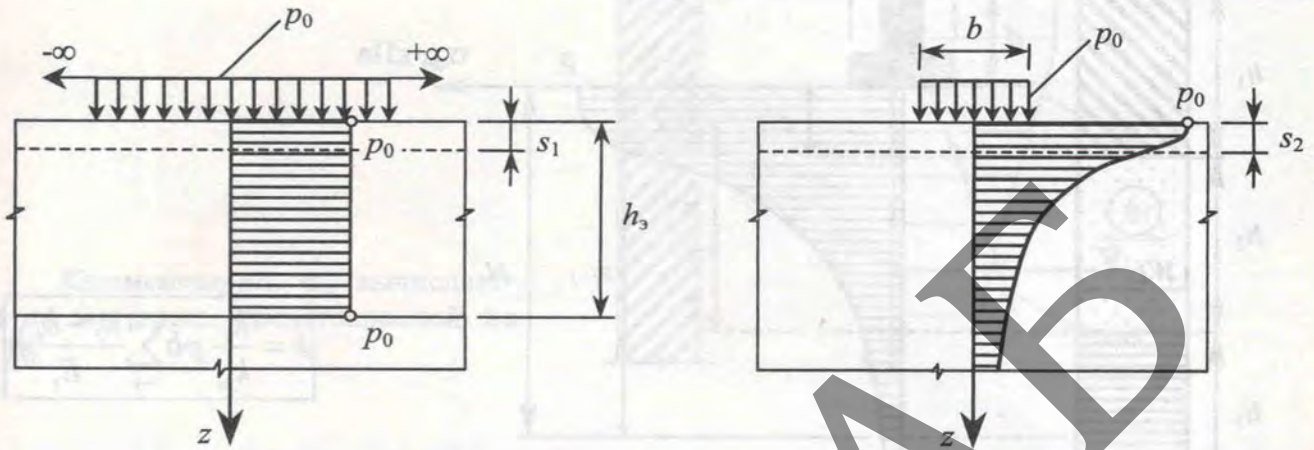
3. Итоговая таблица



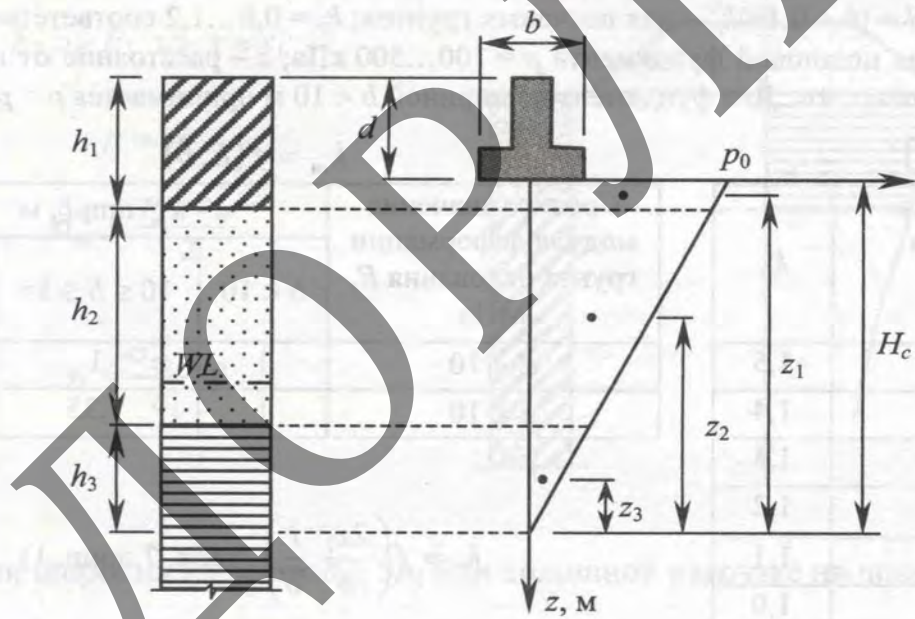
z	σ_{zg}	α	σ_{zp}	$m\sigma_{zg}$	σ_{zy}	$\sigma_{zp} - \sigma_{zy}$	$(\sigma_{zp} - \sigma_{zy})^{cp}$	h_i	E_i	s_i
0	$\sigma_{zg,0}$	1	p	...	$\sigma_{zg,0}$	h_1
h_1								h_2		
h_1+h_2								...		
...								h_n		
H_c								$s = \sum s_i =$		

9.1.2. Метод эквивалентного слоя грунта (Н.А. Цытовича) [1, 18]

Эквивалентный слой грунта (h_3) – это ограниченный по мощности слой, осадка (s_1) которого при сплошной равномерно распределенной нагрузке равна осадке (s_2) фундамента ограниченных в плане размеров при той же интенсивности нагрузки и тех же инженерно-геологических условиях.



Расчетная схема



Для однородного основания

$$s = \frac{\beta}{E} h_3 p_0,$$

Для слоистых оснований

$$s = \overline{m}_v h_3 p_0,$$

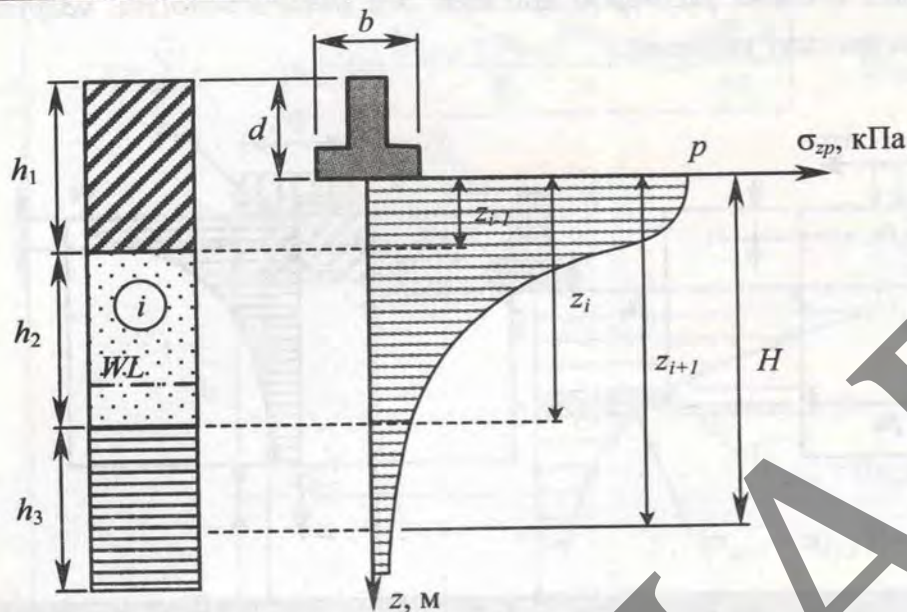
$$\overline{m}_v = \frac{1}{2h_3^2} \sum m_{vi} h_i z_i, \quad m_{vi} = \frac{\beta_i}{E_i}$$

$$H_c = 2h_3, \quad h_3 = A\omega b, \quad p_0 = p - \sigma_{zg0}$$

Комментарий. p_0 – дополнительное давление на основание; z – расстояние от вершины треугольной эпюры до середины рассматриваемого слоя; $A\omega$ – коэффициент эквивалентного слоя, определяемый по табл. 5, 6 прил. 1.

9.1.3. Метод линейно деформируемого слоя конечной толщины (К.Е. Егорова) [10]

Расчетная схема



Комментарий. H – толщина линейно деформируемого слоя: $H = (9 + 0,15b)k_p$ – для глинистых грунтов, $H = (6 + 0,1b)k_p$ – для песчаных грунтов; $k_p = 0,8 \dots 1,2$ соответственно при среднем давлении под подошвой фундамента $p = 100 \dots 500$ кПа; z – расстояние от подошвы фундамента до подошвы слоя. Для фундаментов шириной $b < 10$ м принимается $p = p_0$.

$$k_c = f(\zeta)$$

Относительная толщина слоя $\zeta = \frac{2H}{b}$	k_c
$0 < \zeta \leq 0,5$	1,5
$0,5 < \zeta \leq 1$	1,4
$1 < \zeta \leq 2$	1,3
$2 < \zeta \leq 3$	1,2
$3 < \zeta \leq 5$	1,1
$\zeta > 5$	1,0

$$k_m = f(E, b)$$

Среднее значение модуля деформации грунта основания E , МПа	k_m при b , м		
	$b < 10$	$10 \leq b \leq 15$	$b > 15$
$E < 10$	1	1	1
$E \geq 10$	1	1,35	1,5

$$k_i = f\left(\frac{2z_i}{b}, \frac{l}{b}\right) \text{ (табл. 7 прил. 1)}$$

Предельные допустимые деформации основания [9]

Вид сооружения	s , см
Производственные и гражданские одноэтажные и многоэтажные здания с полным железобетонным каркасом:	
– сборным	10
– монолитным	15
Многоэтажные бескаркасные здания с несущими стенами из панелей, крупных блоков или кирпичной кладки без армирования	12