

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Кафедра оснований и фундаментов

# **Расчет столбчатого внецентренно-нагруженного фундамента на просадочных грунтах**

Методические указания для студентов специальности ПГС

Нижний Новгород  
ННГАСУ  
2013

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Кафедра оснований и фундаментов

# **Расчет столбчатого внецентренно-нагруженного фундамента на просадочных грунтах**

Методические указания для студентов специальности ПГС

Нижний Новгород  
ННГАСУ  
2013

УДК 624.1(075)  
ББК 38.58я73  
С91

Расчет столбчатого внецентренно-нагруженного фундамента на просадочных грунтах. Методические указания для студентов специальности ПГС. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2013

Рассмотрен пример расчета столбчатого внецентренно-нагруженного фундамента на просадочных грунтах. Определена суммарная деформация грунтового основания по методике СП 50-101-2004 «Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений».

Предназначены для курсового и дипломного проектирования, а так же проведения практических занятий по дисциплине «Основания и фундаменты».

Составители: С.Я. Скворцов  
Е.О. Сучкова

© Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,  
2013.

**Задание :** Оценить склонность грунтов, слагающих ИГЭ № 1-2 к просадке, определить тип грунтовых условий по просадочности, размеры столбчатого фундамента под колонну и суммарную деформацию основания при следующих исходных данных:

а.) при выполнении инженерно-геологических изысканий была установлена мощность просадочной толщи. В просадочной толще было выделено 2 инженерно-геологических элемента (ИГЭ), некоторые характеристики которой приведены в таблице №1.

б.) в таблице №2 приведены результаты компрессионных испытаний грунтов, слагающих основание.

**Таблица №1**

Характеристики			ИГЭ-1	ИГЭ-2
Толщина ИГЭ	$h_i$ ,	м	1,80	1,40
Удельный вес	$\gamma_{II,i}$ ,	кН/м <sup>3</sup>	17,18	17,66
Плотность	$\rho_s$ ,	г/см <sup>3</sup>	2,7	2,71
Коэффициент пористости	$e$ ,	д.е	0,814	0,760
Влажность	$w$ ,	%	15	14
Влажность на границе текучести	$w_l$ ,	%	25	26
Влажность на границе раскатывания	$w_p$ ,	%	17	18

**Таблица №2**

ИГЭ-1			ИГЭ-2		
$p$ , кПа	$e$	$e_{sat}$	$p$ , кПа	$e$	$e_{sat}$
0	0,814	0,814	0	0,760	0,760
50	0,792	0,787	50	0,740	0,727
100	0,772	0,752	100	0,715	0,700
150	0,752	0,716	150	0,705	0,684
200	0,732	0,701	200	0,685	0,661
250	0,717	0,682	250	0,674	0,649
300	0,712	0,672	300	0,665	0,633
400	0,691	0,652	400	0,656	0,612

3. Проектируемое здание - одноэтажное двухпролетное каркасное ремонтно-механического цеха машиностроительного завода. Надземную часть здания предполагается выполнить из сборных железобетонных конструкций. Здание без подвала с полами, устраиваемыми по грунту. Фундаменты - на естественном основании, столбчатые из монолитного железобетона.
4. Район строительства - г. Нижний Новгород. Сумма среднемесячных отрицательных температур за зиму -  $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
5. Среднесуточная температура воздуха в цехе  $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
6. Длина здания  $L = 138\text{ м}$ ; высота здания  $H = 22\text{ м}$ ; размеры поперечного сечения колонны -  $axb = 40x40\text{ см}$ ;
7. Характеристики физико-механических свойств грунта ИГЭ-3 определены по результатам непосредственных испытаний грунтов. Грунтовые воды скважинами в процессе бурения не встречены. Дополнительные характеристики приведены в таблице №3

Таблица №3

Характеристики прочности		ИГЭ-1	ИГЭ-2	ИГЭ-3 песок средней крупности
Угол внутреннего трения	$\varphi_{II} / \varphi_{II\text{sat}}$ , град	32/25	30/23	30
Удельное сцепление	$c_{II} / c_{II\text{sat}}$ , кПа	16/12	20/18	1
Модуль деформации	$E$ , кПа			22000
Удельный вес грунта	$\gamma_{II}$ , Кн/м <sup>3</sup>			19,3

8. Расчетные нагрузки, действующие на обресе фундамента приведены в таблице №4

Таблица №4

Расчетные нагрузки	$N_{0II},\text{кН}$	$Q_{0II,x},\text{кН}$	$M_{0II,x},\text{кН}\cdot\text{м}$
Первая группа предельных состояний	-	-	-
Вторая группа предельных состояний	1530	13	70

Решение:

1.) Расчетная схема для определения просадочности

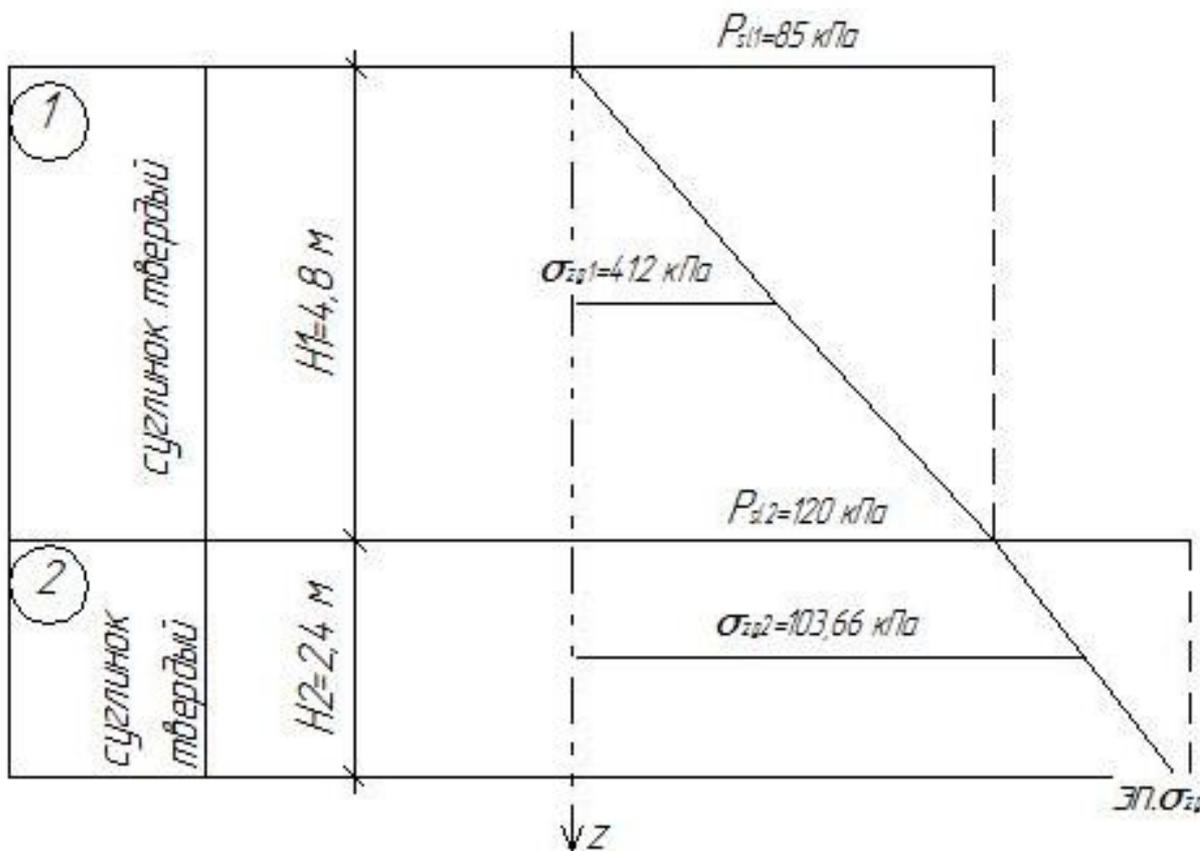


Рис.1 Схема для определения просадочности

2.) Типы грунтов, слагающих основание (по числу пластичности)

$$I_p = W_l - W_p, \% \quad (1)$$

где  $W_l$  – влажность на границе текучести, $W_p$  - влажность на границе раскатывания.ИГЭ 1:  $I_{p1} = 25 - 17 = 8\%$  - суглинок (по таб.5)ИГЭ 2:  $I_{p2} = 26 - 18 = 8\%$  - суглинок (по таб.5)

3.) Консистенция глинистых грунтов (по показателю текучести)

$$I_l = \frac{W - W_p}{I_p}, \text{ д.е.} \quad (2)$$

где  $W$  – влажность.ИГЭ 1:  $I_{l1} = \frac{15-17}{8} = -0.25 \text{ д.е.}$  - твердый (по таб.6)ИГЭ 2:  $I_{l2} = \frac{14-18}{8} = -0.5 \text{ д.е.}$  - твердый (по таб.6)

## 4.) Графики компрессионных испытаний

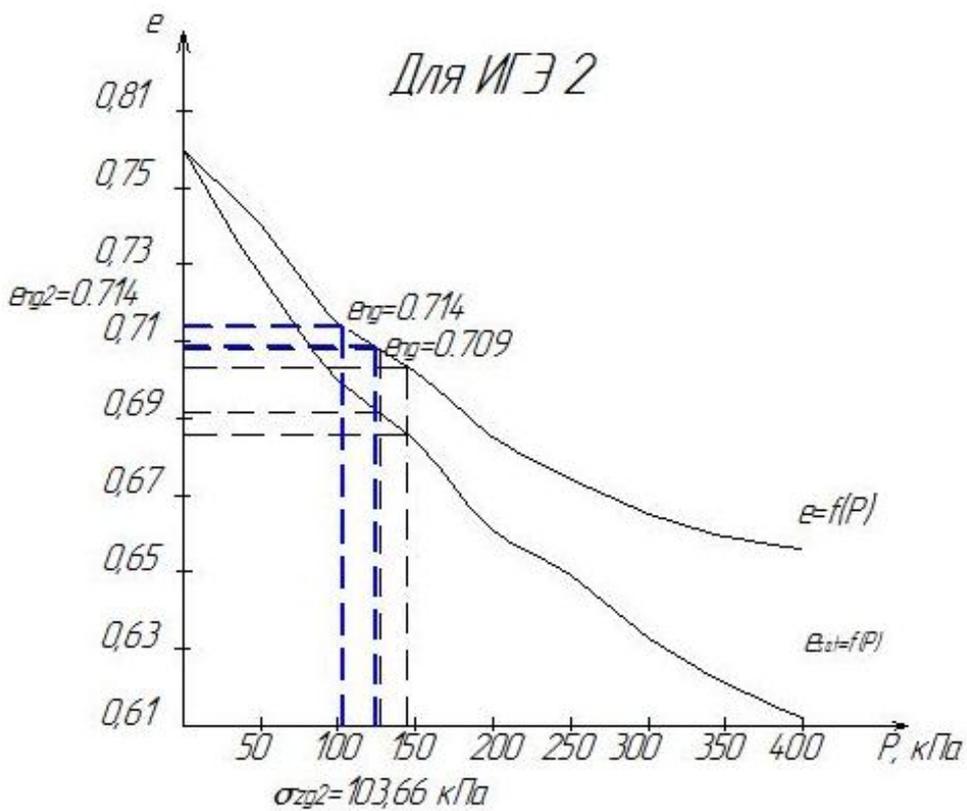
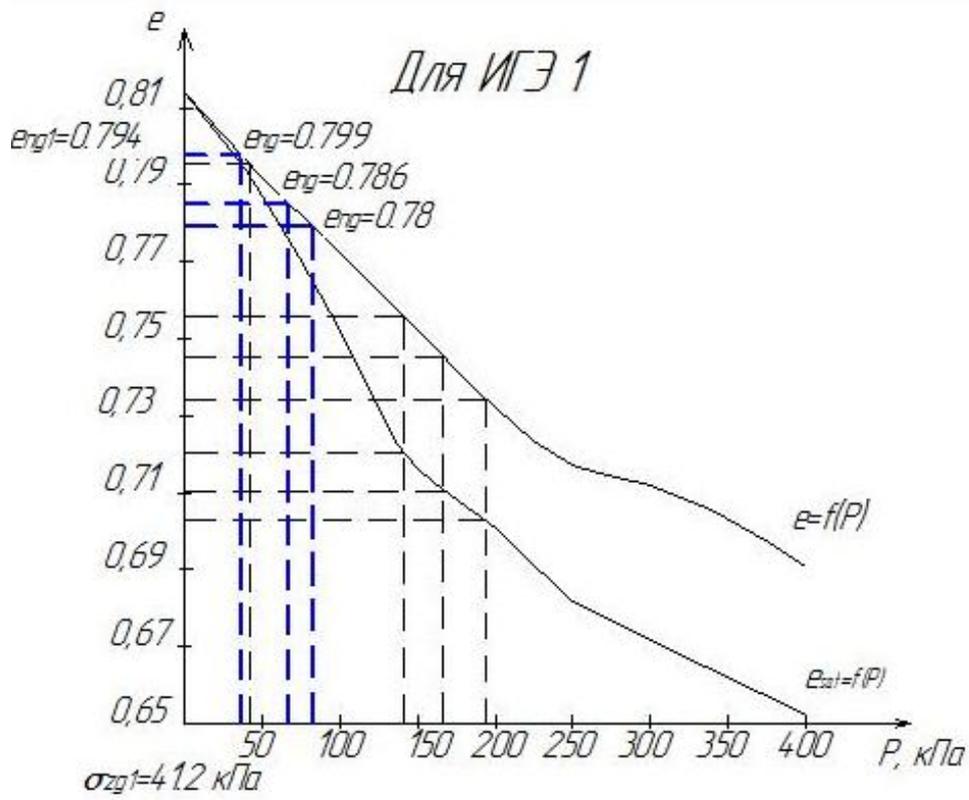


Рис.2 Графики компрессионных испытаний

5.) Давление от собственного веса грунта в середине каждого слоя. Строим эпюру  $\sigma_{zg}$  п.1

$$\text{ИГЭ 1: } \sigma_{zg1} = \gamma_{II1} \cdot 0.5 H_1 = 17.18 \cdot 0.5 \cdot 4.8 = 41.2 \text{ кПа}$$

$$\text{ИГЭ 2: } \sigma_{zg2} = \gamma_{II2} \cdot 0.5 H_2 + \gamma_{II1} \cdot H_1 = 17.66 \cdot 0.5 \cdot 2.4 + 17.18 \cdot 4.8 = 103.66 \text{ кПа}$$

6.) По графикам компрессионных испытаний определяем коэффициент пористости в естественном состоянии при давлении от собственного веса грунта

$$e_{ng1} = 0.794$$

$$e_{ng2} = 0.714$$

7.) Определяем относительную просадочность для каждого типа грунта. Результаты расчета сводим в таблицу 7.

$$\varepsilon_{sl} = \frac{e_{np} - e_{sat,p}}{1 + e_{ng}}, \text{ д.е.} \quad (3)$$

где  $e_{np}$  – коэффициент пористости при естественной влажности при давлении P от 0 до 400 кПа.,

$e_{sat,p}$  – коэффициент пористости водонасыщенного грунта при давлении P от 0 до 400 кПа.,

$e_{ng}$  – коэффициент пористости в естественном состоянии при давлении от собственного веса грунта.

**Грунты являются просадочными, если  $\varepsilon_{sl} \geq 0.01$**

Таблица 7

№ ИГЭ	P, кПа	$e_{np}$ , д.е	$e_{sat,p}$ , д.е	$1+e_{ng}$ , д.е	$\varepsilon_{sl}$ , д.е
1	0	0,814	0,814	1,794	0
	50	0,792	0,787		0,0028
	100	0,772	0,752		0,011
	150	0,752	0,716		0,02
	200	0,732	0,701		0,017
	250	0,717	0,682		0,0195
	300	0,712	0,672		0,022
	400	0,691	0,652		0,022
2	0	0,760	0,760	1,714	0
	50	0,740	0,727		0,0076
	100	0,715	0,700		0,0088
	150	0,705	0,684		0,012
	200	0,685	0,661		0,014
	250	0,674	0,649		0,015
	300	0,665	0,633		0,019
	400	0,656	0,612		0,026

8.) По данным таблицы строим графики зависимости  $\varepsilon=f(P)$  для просадочных грунтов с целью определения начального просадочного давления  $P_{s1}$

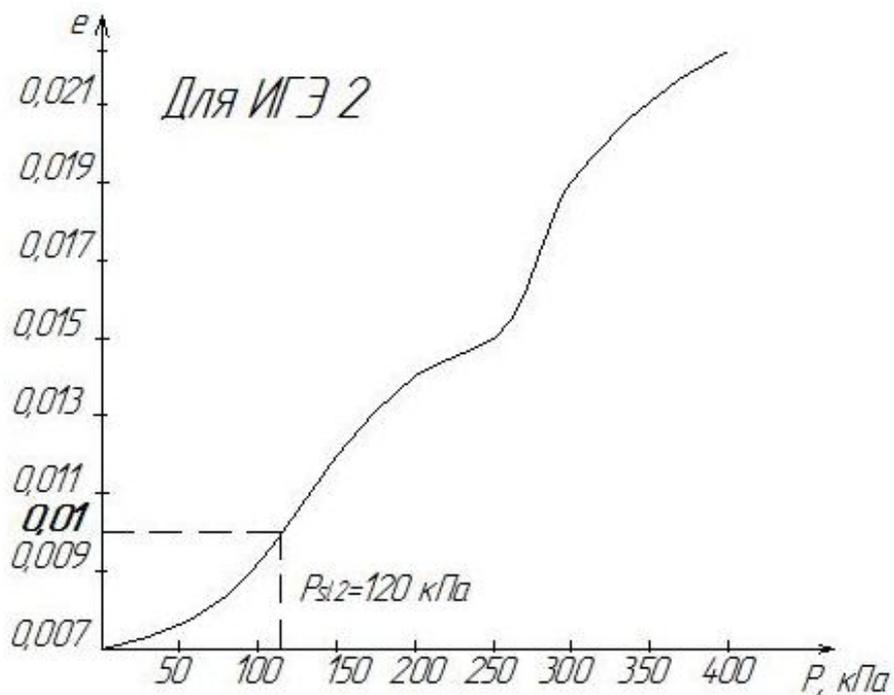
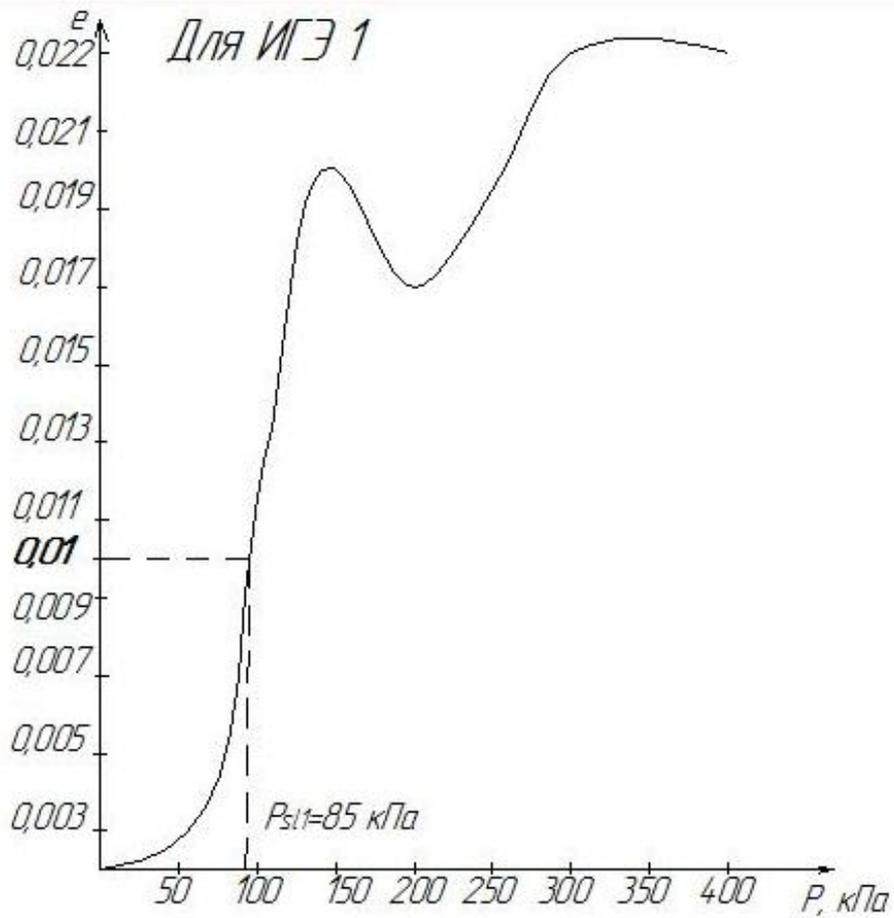


Рис.3 Графики для определения начального просадочного давления

9.) На расчетной схеме строим эпюру  $P_{sl}$

10.) Анализируем построенные эпюры на расчетной схеме

К I типу грунтовых условий по просадочности относится толща грунтов, в которой выполняется одно из следующих условий:

а.)  $P_{sl} > \sigma_{zg}$  в пределах всей просадочной толщи

б.)  $P_{sl} < \sigma_{zg}$  в пределах слоя, толщиной не более 2 метров по глубине

Ко II типу грунтовых условий по просадочности относится толща грунтов, в которой выполняется одно из следующих условий:

а.)  $P_{sl} < \sigma_{zg}$  в пределах всей просадочной толщи

б.)  $P_{sl} < \sigma_{zg}$  в пределах слоя, толщиной более 2 метров по глубине.

**Вывод:** данная грунтовая толща относится к I типу грунтовых условий по просадочности, так как начальное просадочное давление больше давления от собственного веса грунта в пределах всей просадочной толщи.

11.) Показатель текучести в водонасыщенном состоянии

а.) полная влагоемкость в водонасыщенном состоянии при  $S_r=1$

$$W_{sat} = \frac{S_r \cdot \rho_w \cdot e}{\rho_s} \cdot 100\% \quad (4)$$

где  $\rho_w = 1 \text{ г/см}^3$  плотность воды

$$\text{ИГЭ 1: } W_{sat1} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 0,814}{2,7} \cdot 100\% = 30,15\%$$

$$\text{ИГЭ 2: } W_{sat2} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 0,76}{2,71} \cdot 100\% = 28\%$$

б.) показатель текучести при  $S_r=0,9$

$$I_{lsat} = \frac{0,9 \cdot W_{sat} - W_p}{I_p}, \text{ д. е} \quad (5)$$

$$\text{ИГЭ 1: } I_{lsat1} = \frac{0,9 \cdot 30,15 - 17}{8} = 1,27 \text{ д. е}$$

$$\text{ИГЭ 2: } I_{lsat2} = \frac{0,9 \cdot 28 - 18}{8} = 0,9 \text{ д. е}$$

в.) по таб.6 делаем вывод о консистенции грунтов в замоченном состоянии

ИГЭ 1: суглинок текучий

ИГЭ 2: суглинок текучепластичный

12.) Удельный вес грунта в водонасыщенном состоянии

$$\gamma_{Hsat} = \frac{\gamma_s \cdot (1 + W_{sat})}{1 + e}, \text{ кН/м}^3 \quad (6)$$

где  $\gamma_s$  – удельный вес частиц грунта ( $\gamma_s = \rho_s \cdot 9,8$ )

$$\text{ИГЭ 1: } \gamma_{\text{IIsat1}} = \frac{2,7 \cdot 9,8 \cdot (1+0,3015)}{1+0,814} = 18,98 \text{ кН/м}^3$$

$$\text{ИГЭ 2: } \gamma_{\text{IIsat2}} = \frac{2,71 \cdot 9,8 \cdot (1+0,28)}{1+0,76} = 19,31 \text{ кН/м}^3$$

13.) Модуль деформации по компрессионным испытаниям

а.) коэффициент сжимаемости

$$m_0 = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1}, \text{ кПа}^{-1} \quad (7)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  – давления 100 и 200 кПа,

$e_1$  и  $e_2$  – коэффициенты пористости, соответствующие этим давлениям

$$\text{ИГЭ 1: } m_{01} = \frac{0,772 - 0,732}{200 - 100} = 0,0004 \text{ кПа}^{-1}$$

$$\text{ИГЭ 2: } m_{02} = \frac{0,715 - 0,685}{200 - 100} = 0,0003 \text{ кПа}^{-1}$$

б.) коэффициент относительной сжимаемости

$$m_v = \frac{m_0}{1+e}, \text{ кПа}^{-1} \quad (8)$$

$$\text{ИГЭ 1: } m_{v1} = \frac{0,0004}{1+0,814} = 0,00022 \text{ кПа}^{-1}$$

$$\text{ИГЭ 2: } m_{v2} = \frac{0,0003}{1+0,760} = 0,00017 \text{ кПа}^{-1}$$

в.) компрессионный модуль деформации

$$E_k = \frac{\beta}{m_v}, \text{ кПа} \quad (9)$$

где  $\beta$  – безразмерный коэффициент, принимаемый для супесей – 0,74, для суглинков – 0,62, для глин – 0,4.

$$\text{ИГЭ 1: } E_{k1} = \frac{0,62}{0,00022} = 2818 \text{ кПа}$$

$$\text{ИГЭ 2: } E_{k2} = \frac{0,62}{0,00017} = 3647 \text{ кПа}$$

г.) природный модуль деформации

$$E = E_k \cdot m_k, \text{ кПа} \quad (10)$$

где  $m_k$  – переходной коэффициент, для просадочных грунтов равный 1

$$\text{ИГЭ 1: } E_1 = 2818 \text{ кПа}$$

$$\text{ИГЭ 2: } E_2 = 3647 \text{ кПа}$$

14.) Глубина заложения столбчатого фундамента

а.) нормативная глубина промерзания

$$d_{fn} = d_0 \cdot \sqrt{M_t}, \text{ м} \quad (11)$$

где  $d_0$  – величина принимаемая равной для супесей – 0,28, для суглинков и глин – 0,23.

$M_t$  – безразмерный коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за зиму в Нижнем Новгороде (по заданию)

$$d_{fn} = 0,23 \cdot \sqrt{42} = 1,49 \text{ м}$$

б.) расчетная глубина сезонного промерзания грунта

$$d_f = k_h \cdot d_{fn} , \quad \text{м} \quad (12)$$

где  $k_h$  – коэффициент, учитывающий влияние теплового режима сооружения, принимается по таб.7.

$$d_f = 0,9 \cdot 1,49 = 1,341 \text{ м}$$

в.) глубина заложения фундамента должна быть:

- больше  $d_f$
- кратной 300 мм

Принимаем глубину заложения  $d=1,5$  м

15.) Ширина подошвы фундамента на просадочном грунте с учетом замачивания

$$a_0 \cdot b^3 + a_1 \cdot b^2 - N_{0II} = 0 , \quad (13)$$

$$a_0 = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \cdot M_\gamma \cdot \gamma_{II\text{sat}} , \quad (14)$$

$$a_1 = \left\{ \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \cdot (M_q \cdot d \cdot \gamma_{II\text{sat}} + M_c \cdot c_{II\text{sat}}) \right\} - \gamma_{mg} \cdot d , \quad (15)$$

где  $\square_{c1}$  и  $\square_{c2}$  - коэффициенты условий работы, принимаемые по таб.8 по водонасыщенному состоянию

$k$  - коэффициент, принимаемый равным единице, если прочностные характеристики грунта ( $\varphi_{II\text{sat}}$  и  $c_{II\text{sat}}$ ) определены непосредственными испытаниями, и  $k = 1,1$ , если они приняты по таблицам

$M_\square$ ,  $M_q$ ,  $M_c$  - коэффициенты, принимаемые по таблице 9 в зависимости от  $\varphi_{II\text{sat}}$

$b$  - ширина подошвы фундамента, м

$\square_{II\text{sat}}$  – осредненное расчетное значение удельного веса грунтов, залегающих ниже подошвы фундамента,  $\text{кН/м}^3$

$\square'_{II\text{sat}}$  – то же, для грунтов, залегающих выше подошвы фундамента,  $\text{кН/м}^3$

$c_{II\text{sat}}$  - расчетное значение удельного сцепления грунта, залегающего непосредственно под подошвой фундамента,  $\text{кПа}$

$\square_{mg}$  – удельный вес материала фундамента и грунта на его уступах,  $\text{кН/м}^3$

$$\gamma_{mg} = \frac{\gamma_{жс/б} + \gamma'_{II\text{sat}}}{2} = \frac{24,5 + 18,98}{2} = 21,74 \text{ кН/м}^3, \quad (16)$$

$$a_0 = \frac{1 \cdot 1}{1} \cdot 0,78 \cdot 18,98 = 14,8 \text{ ,}$$

$$a_1 = \left\{ \frac{1 \cdot 1}{1} \cdot (4,11 \cdot 1,5 \cdot 18,98 + 6,67 \cdot 12) \right\} - 21,74 \cdot 1,5 = 164,44$$

$$14,8 \cdot b^3 + 164,44 \cdot b^2 = 1530 \text{ кН}$$

Методом подбора находим ширину фундамента  $b$  (кратную 300 мм),  $b=3$  м

16.) Конструируем монолитный фундамент  $d=1.5$  м,  $b=3$  м

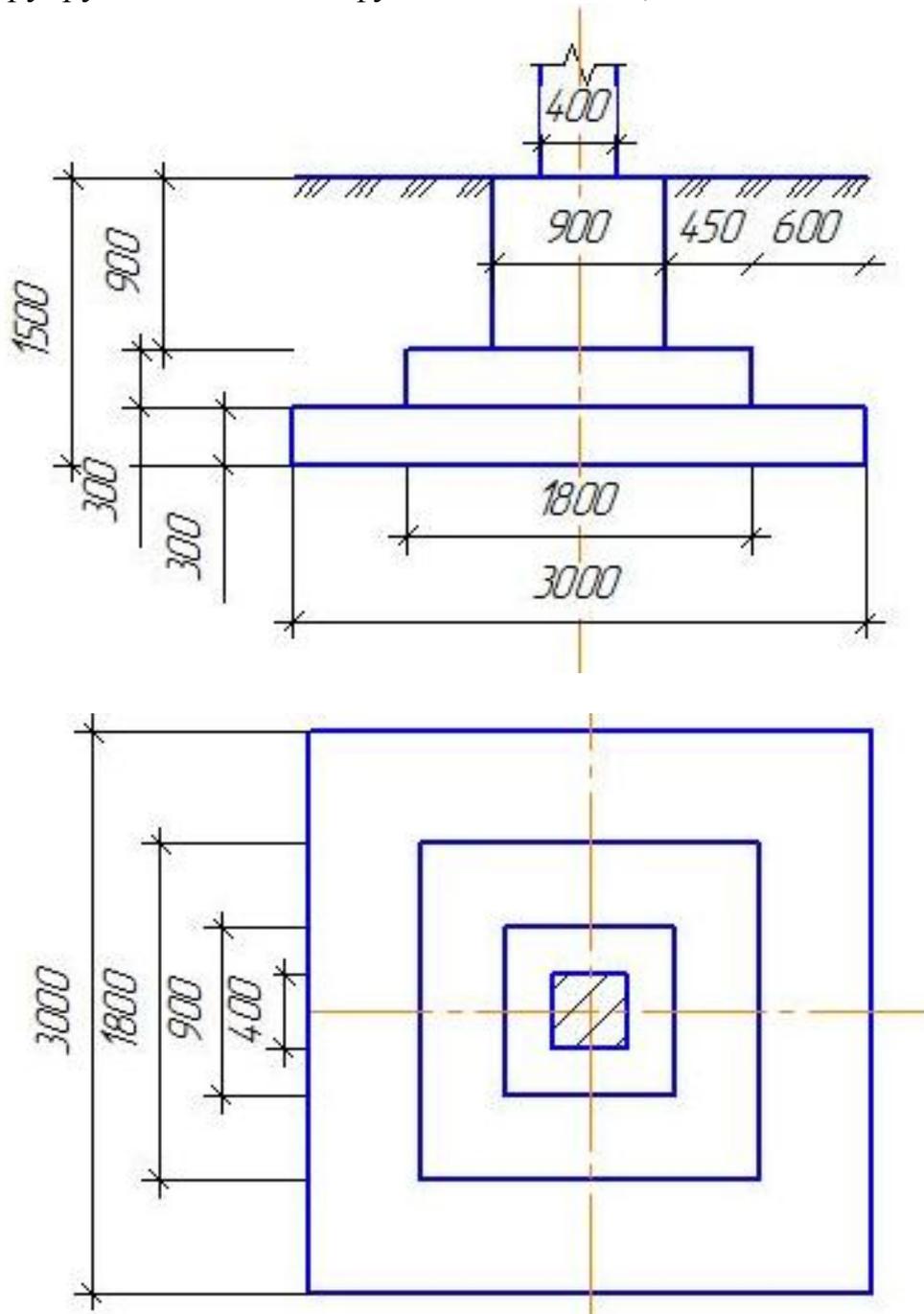


Рис.4 Конструирование столбчатого монолитного фундамента

## 17.) Давление под подошвой фундамента

а.) среднее давление под подошвой фундамента

$$p = \frac{N_{0II} + N_{fII} + N_{gII}}{A} \leq R, \quad (17)$$

где  $N_{0II}$  – нагрузка на обресе фундамента, $N_{fII}$  – вес фундамента ( $N_{fII} = \rho_{ж/б} \cdot V_{ф-та}$ ), $N_{gII}$  – вес грунта на уступах фундамента ( $N_{gII} = \rho_{II sat} \cdot (V_{гр.масс} - V_{ф-та})$ ), $A$  – площадь подошвы фундамента ( $A = b^3$ ) $N_{0II} = 1530$  кН, $N_{fII} = 24,5 \cdot (3 \cdot 3 \cdot 0,3 + 1,8 \cdot 1,8 \cdot 0,3 + 0,9^3) = 107,82$  кН, $N_{gII} = 18,98 \cdot (3 \cdot 3 \cdot 1,5 - (3 \cdot 3 \cdot 0,3 + 1,8 \cdot 1,8 \cdot 0,3 + 0,9^3)) = 172,7$  кН, $A = 3^3 = 9$  м<sup>2</sup>,

$$p = \frac{1530 + 107,82 + 172,7}{9} = 201,2 \text{ кПа}$$

$R$  – расчетное сопротивление грунта (характеристики в замоченном состоянии)

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \cdot [M_{\gamma} \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II sat} + M_q \cdot d \cdot \gamma'_{II sat} + M_c \cdot c_{II sat}] , \quad (18)$$

где  $k_z$  – коэффициент, принимаемый равным 1, т.к  $b < 10$  м

$$R = \frac{1 \cdot 1}{1} \cdot [0,78 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 18,98 + 4,11 \cdot 1,5 \cdot 18,98 + 6,67 \cdot 12] = 241,5 \text{ кПа}$$

$$p = 201,2 \text{ кПа} < R = 241,5 \text{ кПа}$$

б.) максимальное давление под подошвой фундамента

$$p_{max} = \frac{N_{0II}}{A} + \frac{M_{0IIx} + Q_{0IIx} \cdot d}{W} \leq 1,2R , \quad (19)$$

где  $W$  – момент сопротивления подошвы фундамента ( $W = b^3/6 = 3^3/6 = 4,5$  м<sup>3</sup>)

$$p_{max} = \frac{1530}{9} + \frac{70 + 23 \cdot 1,5}{4,5} = 262,2 \text{ кПа} < 1,2R = 289,8 \text{ кПа}$$

в.) минимальное давление под подошвой фундамента

$$p_{min} = \frac{N_{0II}}{A} - \frac{M_{0IIx} + Q_{0IIx} \cdot d}{W} > 0 , \quad (20)$$

$$p_{min} = \frac{1530}{9} - \frac{70 + 23 \cdot 1,5}{4,5} = 146,8 \text{ кПа} > 0$$

Все условия выполняются, увеличения размеров подошвы фундамента не требуется.

## 18.) Расчет оснований по деформациям (по II группе предельных состояний)

Расчет грунтового основания, сложенного просадочными грунтами, выполняется из условия

$$S + S_{sl} \leq S_u , \quad (21)$$

где  $S$  – осадка грунтового основания, $S_{sl}$  – просадка грунтового основания,

$S_u$  – предельное значение совместной деформации основания и сооружения ( $S_u=10$  см для производственных зданий с ж/б каркасом по СП 50-101-2004)  
 18.1 Определение осадки грунтового основания. Составляем схему для определения осадки и просадки (рис.5)

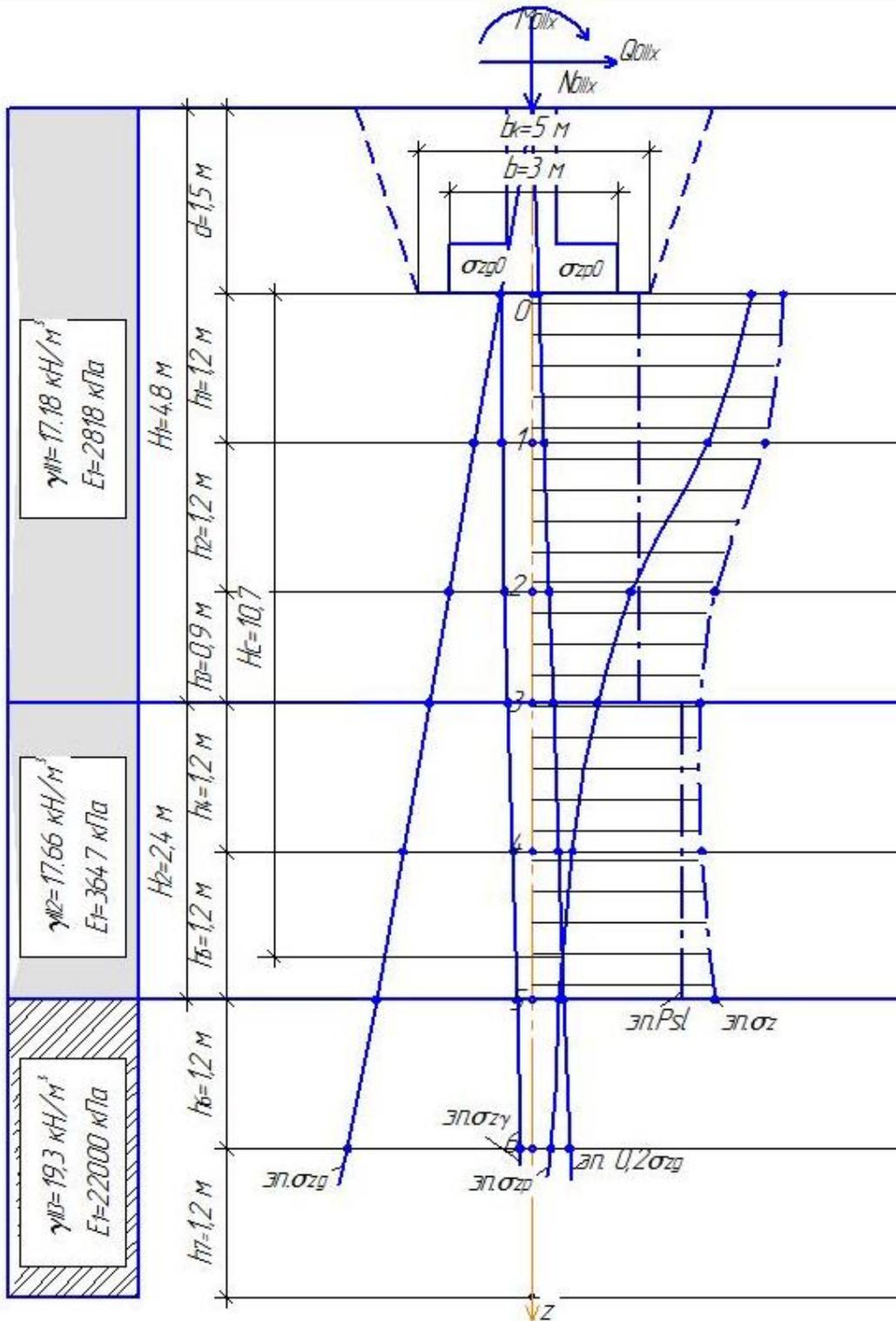


Рис.5 Схема к определению суммарной деформации

- а.) толщю грунтов под подошвой фундамента разбиваем на элементарные слои толщиной  $h_i = 0.4 \cdot b = 0.4 \cdot 3 = 1.2 \text{ м}$
- б.) напряжение от собственного веса грунта под подошвой фундамента  
 $\sigma_{zg0} = \gamma_{II1} \cdot d = 17.18 \cdot 15 = 25.77 \text{ кПа}$
- в.) дополнительное давление от сооружения в уровне подошвы фундамента  
 $\sigma_{zp0} = p_0 = p - \sigma_{zg0} = 201.2 - 25.77 = 173.43 \text{ кПа}$
- г.) составляем таб.11 для определения суммарной деформации
- д.) заполняем 1-8 столбец
- е.) напряжение от собственного веса грунта в  $i$ -тых точках  
 $\sigma_{zg1} = \sigma_{zg0} + \gamma_{IIIi} \cdot h_i$   
 $\sigma_{zg2} = \sigma_{zg1} + \gamma_{IIIi} \cdot h_i \text{ и т. д}$
- Заполняем 9 столбец, строим эпюру  $\sigma_{zg}$ .
- ж.) вертикальное дополнительное давление от сооружения в  $i$ -тых точках  
 $\sigma_{zpi} = \alpha_i(b) \cdot \sigma_{zp0}$
- Заполняем 10 столбец, строим эпюру  $\sigma_{zp}$ .
- з.) определяем вертикальное напряжение от собственного веса котлована в  $i$ -тых точках  
 $\sigma_{z\gamma i} = \alpha_i(b_k) \cdot \sigma_{zg0}$
- где  $b_k$  – ширина котлована. Заполняем 11 столбец, строим эпюру  $\sigma_{z\gamma}$ .
- и.) заполняем 12 столбец, строим эпюру  $0,5(0,2)\sigma_{zg}$  см.рис.6
- к.) Определяем осадку методом послойного суммирования в пределах границы сжимаемой толщи  $H_c$ , см.рис 7. Заполняем 14 столбец. Суммируем 14 столбец.

## 18.2 Определение просадки грунтового основания.

- а.) Определяем коэффициент  $k_{sl}$ . Он принимается равным

$$\begin{aligned} \text{при } b \geq 12 \text{ м} \quad k_{sl} &= 1 \\ \text{при } b \leq 3 \text{ м} \quad k_{sl} &= 0,5 + 1,5 \cdot \frac{(P - P_{sli})}{P_0}, \end{aligned} \quad (22)$$

где  $P$  – среднее давление под подошвой фундамента, кПа

$P_{sli}$  – начальное просадочное давление каждого слоя грунта, кПа

$P_0$  – давление в 100 кПа

При промежуточных значениях  $b$ , коэффициент  $k_{sl}$  определяется интерполяцией.

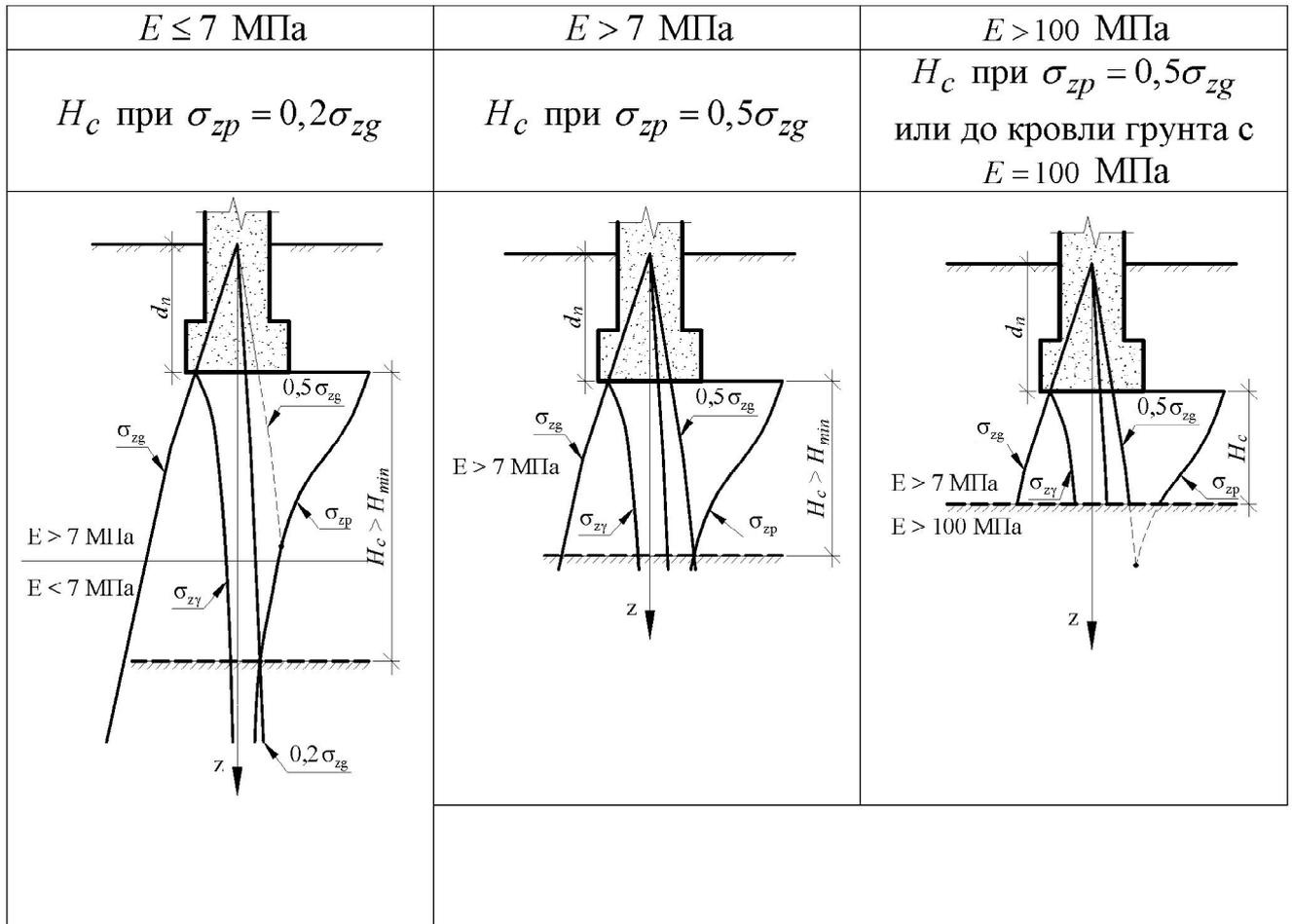
Т.к  $b=3 \text{ м}$

$$k_{sl1} = 0,5 + 1,5 \cdot \frac{(201,2 - 85)}{100} = 2,243$$

$$k_{sl2} = 0,5 + 1,5 \cdot \frac{(201,2 - 120)}{100} = 1,718$$

Строим эпюру  $P_{sl}$ . Заполняем 19,20 столбец.

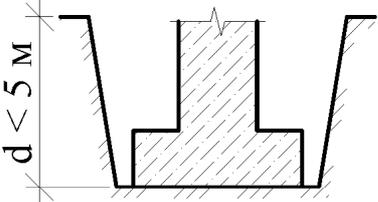
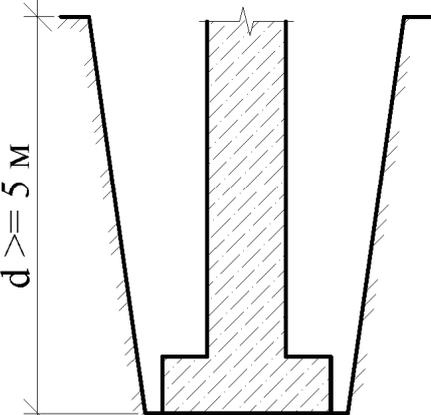
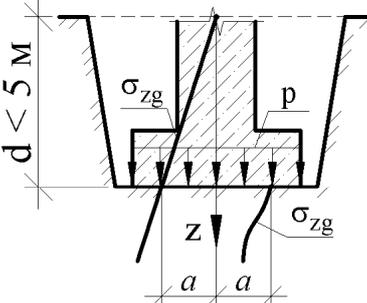
Нижнюю границу сжимаемой толщи основания принимают на глубине  $z = H_c$ , где выполняется условие  $\sigma_{zp} = 0,5\sigma_{zg}$  или  $\sigma_{zp} = 0,2\sigma_{zg}$  в зависимости от модуля деформации грунта основания.



*Примечание.* Если нижняя границы сжимаемой толщи находится в слое грунта с модулем деформации  $E \leq 7$  МПа или такой слой залегает непосредственно ниже глубины  $z = H_c$ , то этой слой включают в сжимаемую толщу, а за  $H_c$  принимают минимальное из значений, соответствующих подошве слоя или глубине, где выполняется условие  $\sigma_{zp} = 0,2\sigma_{zg}$

Рис.6 Схемы к определению границы сжимаемой толщи

При расчете осадки фундаментов, в зависимости от глубины котлована или величины среднего давления под подошвой фундамента формула (6) может быть в виде:

$d < 5 \text{ м}$	$d \geq 5 \text{ м}$	$p \leq \sigma_{zg,0}$
$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{z\gamma,i}) h_i}{E_i}$	$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{z\gamma,i}) h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{z\gamma,i} \cdot h_i}{E_{e,i}}$	$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp,i} \cdot h_i}{E_{e,i}}$
		

где  $\beta=0,8$  – безразмерный коэффициент

Рис.7 Схемы к расчету осадки фундамента

б.) Определяем суммарное напряжение  $\sigma_z = \sigma_{zg} + \sigma_{zp}$ , заполняем 17,18 столбец (где  $\bar{\sigma}_z$  - среднее суммарное напряжение в середине  $i$ -го слоя). Строим эпюру  $\sigma_z$ .

в.) При значении  $\bar{\sigma}_z$  по графикам  $e=f(P)$  определяем  $e_{пр}$  и  $e_{sat,p}$  (по природному и водонасыщенному состоянию), только в слоях, где присутствует просадка (эп.  $P_{sl} < \text{эп.} \sigma_z$ )

г.) В тех же слоях по  $\sigma_{zgi}$  (начиная с 1-ой точки) по природному графику  $e=f(P)$  находим  $e_{ng}$ .

д.) Относительная просадочность определяется по формуле (3). Заполняем 24 столбец.

е.) Просадка грунтового основания

$$S_{sl} = \sum \varepsilon_{sli} \cdot k_{sli} \cdot h_i \quad , \quad (23)$$

Заполняем 25 столбец.

ж.) Суммарная деформация составит

$$S_{общ} = S + S_{sl} \quad , \quad (24)$$

$$S_{общ} = 9,5 + 18,1 = 27,6 \text{ см, что больше } S_u = 10 \text{ см}$$

Вывод: т.к суммарная деформация превышает предельно допустимую, требуется увеличение конструктивных размеров фундамента мелкого заложения, применение свайных фундаментов, а так же использование различных способов закрепления и усиления основания.

Таблица 10

№ элем. слоя	№ точки	$h_i$ , м	$Z_i$ , м	$\frac{2z_i}{b}$ , м	$\alpha_i(b)$	$\frac{2z_i}{b_k}$ , м	$\alpha_i(bk)$	$\sigma_{zgi}$ , кПа	$\sigma_{zpi}$ , кПа	$\sigma_{z\Box i}$ , кПа	$0.5(0.2)\sigma_{zgi}$ , кПа	$\bar{\sigma}_{zpi}$ , кПа	$\bar{\sigma}_{z\Box i}$ , кПа	$E$ , кПа	$S$ , м						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16						
1	0	0	0	0	1	0	1	25.77	175.4	25.77	5.2	158	24.8	2818	0.045						
	1	1.2	1.2	0.8	0.8	0.48	0.928	46.4	140.3	23.9	9.3										
	2	2	1.2	2.4	1.6	0.449	0.64	0.864	67	78.8	22.3					13.4	110	23.1	2818	0.03	
	3	3	0.9	3.3	2.2	0.297	0.88	0.762	82.5	52.1	19.6					16.5	65.5	21	2818	0.011	
	4	4	1.2	4.5	3	0.181	1.2	0.606	103.7	31.8	15.7					20.7	42	17.7	3647	0.006	
	5	5	1.2	5.7	3.8	0.12	1.52	0.474	124.9	21.1	12.2					24.97	26.5	14	3647	0.003	
	6	1.2	6.9	4.6	0.084	1.84	0.38	148	14.7	9.8	74				$\sum S_i=9.5$ см						
$\sigma_{zi}$ , кПа	$\bar{\sigma}_{zi}$ , кПа	$P_{sl}$ , кПа	$K_{sl}$ , кПа	$e_{np}$	$e_{sat,p}$	$e_{ng}$	$\varepsilon_{sl}$	$S_{sl}$													
17	18	19	20	21	22	23	24	25													
201,2	194	85	2,243	0,734	0,704	0,799	0,017	0,045													
186,7																					
145,8									166,3	85	2,243	0,746	0,711	0,786	0,02	0,053					
134,6									140,2	85	2,243	0,756	0,72	0,78	0,02	0,04					
135,5									135	120	1,718	0,708	0,691	0,714	0,01	0,02					
146									140,8	120	1,718	0,704	0,686	0,709	0,011	0,023	$\sum S_{sl}=18.1$ см				

Таблица 5

Тип глинистого грунта	Число пластичности, %
Супесь	$1 \leq J_p \leq 7$
Суглинок	$7 < J_p \leq 17$
Глина	$J_p > 17$

Таблица 6

Разновидность глинистого грунта	Показатель текучести, д.е
Супеси	
твердые	$J_L < 0$
пластичные	$0 \leq J_L \leq 1$
текучие	$J_L > 1$
Суглинки и глины	
твердые	$J_L \leq 0$
полутвердые	$0 < J_L \leq 0,25$
тугопластичные	$0,25 < J_L \leq 0,50$
мягкопластичные	$0,5 < J_L \leq 0,75$
текучепластичные	$0,75 < J_L \leq 1$
текучие	$J_L > 1$

Таблица 7

Особенности сооружения	Коэффициент $k_h$ при расчетной среднесуточной температуре воздуха в помещении, примыкающем к наружным фундаментам, °С				
	0	5	10	15	20 и более
Без подвала с полами, устраиваемыми: по грунту	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
на лагах по грунту	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
по утепленному цокольному перекрытию	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7
с подвалом или техническим подпольем	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

Таблица 8

Грунты	Коэффициент $\alpha_{c1}$	Коэффициент $\alpha_{c2}$ для сооружений с жесткой констр. схемой при отношении длины сооружения или его отсека к высоте $L/H$ , равном	
		4 и более	1,5 и менее
Крупнообломочные с песчаным заполнителем песчаные, кроме мелких и пылеватых	1,4	1,2	1,4
Пески мелкие	1,3	1,1	1,3
Пески пылеватые: маловлажные и влажные насыщенные водой	1,25 1,1	1,0	1,2
Пылевато-глинистые, а также крупнообломочные с пылевато-глинистым заполнителем с $I_L < 0,25$	1,25	1,0	1,2
Пылевато-глинистые, а также крупнообл. с пылевато-глинистым заполнителем с $0,25 \leq I_L < 0,5$	1,2	1,0	1,1
Пылевато-глинистые, а также крупнообломочные с пылевато-глинистым заполнителем с $I_L \geq 0,5$	1,0	1,0	1,0

Таблица 9

Угол внут- реннего трения $\varphi_{\text{п}}$ град.	Коэффициенты			Угол внутрен- него трения $\varphi_{\text{п}}$ град.	Коэффициенты		
	$M_g$	$M_q$	$M_c$		$M_g$	$M_q$	$M_c$
0	0	1,00	3,14	23	0,69	3,65	6,24
1	0,01	1,06	3,23	24	0,72	3,87	6,45
2	0,03	1,12	3,32	25	0,78	4,11	6,67
3	0,04	1,18	3,41	26	0,84	4,37	6,90
4	0,06	1,25	3,51	27	0,91	4,64	7,14
5	0,08	1,32	3,61	28	0,98	4,93	7,40
6	0,10	1,39	3,71	29	1,06	5,25	7,67
7	0,12	1,47	3,82	30	1,15	5,59	7,95
8	0,14	1,55	3,93	31	1,24	5,95	8,24
9	0,16	1,64	4,05	32	1,34	6,34	8,55
10	0,18	1,73	4,17	33	1,44	6,76	8,88
11	0,21	1,83	4,29	34	1,55	7,22	9,22
12	0,23	1,94	4,42	35	1,68	7,71	9,58
13	0,26	2,05	4,55	36	1,81	8,24	9,97
14	0,29	2,17	4,69	37	1,95	8,81	10,37
15	0,32	2,30	4,84	38	2,11	9,44	10,80
16	0,36	2,43	4,99	39	2,28	10,11	11,25
17	0,39	2,57	5,15	40	2,46	10,85	11,73
18	0,43	2,73	5,31	41	2,66	11,64	12,24
19	0,47	2,89	5,48	42	2,88	12,51	12,79
20	0,51	3,06	5,66	43	3,12	13,46	13,37
21	0,56	3,24	5,84	44	3,38	14,50	13,98
22	0,61	3,44	6,04	45	3,66	15,64	14,64

2z / b	Коэффициент $\alpha$ для фундаментов							
	Круглых	Прямоугольных с соотношением сторон $l / b$ , равным						ленточных ( $l > 10$ )
		1,0	1,4	1,8	2,4	3,2	5	
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,4	0,949	0,960	0,972	0,975	0,976	0,977	0,977	0,977
0,8	0,756	0,800	0,848	0,866	0,876	0,879	0,881	0,881
1,2	0,547	0,606	0,682	0,717	0,739	0,749	0,754	0,755
1,6	0,390	0,449	0,532	0,578	0,612	0,629	0,639	0,642
2,0	0,285	0,336	0,414	0,463	0,505	0,530	0,545	0,550
2,4	0,214	0,257	0,325	0,374	0,419	0,449	0,470	0,477
2,8	0,165	0,201	0,260	0,304	0,349	0,383	0,410	0,420
3,2	0,130	0,160	0,210	0,251	0,294	0,329	0,360	0,374
3,6	0,106	0,131	0,173	0,209	0,250	0,285	0,319	0,337
4,0	0,087	0,108	0,145	0,176	0,214	0,248	0,285	0,306
4,4	0,073	0,091	0,123	0,150	0,185	0,218	0,255	0,280
4,8	0,062	0,077	0,105	0,130	0,161	0,192	0,230	0,258
5,2	0,053	0,067	0,091	0,113	0,141	0,170	0,208	0,239
5,6	0,046	0,058	0,079	0,099	0,124	0,152	0,189	0,223
6,0	0,040	0,051	0,070	0,087	0,110	0,136	0,173	0,208
6,4	0,036	0,045	0,062	0,077	0,099	0,122	0,158	0,196
6,8	0,031	0,040	0,055	0,064	0,088	0,110	0,145	0,185
7,2	0,028	0,036	0,049	0,062	0,080	0,100	0,133	0,175
7,6	0,024	0,032	0,044	0,056	0,072	0,091	0,123	0,166
8,0	0,022	0,029	0,040	0,051	0,066	0,084	0,113	0,158
8,4	0,021	0,026	0,037	0,046	0,060	0,077	0,105	0,150
8,8	0,019	0,024	0,033	0,042	0,055	0,071	0,098	0,143
9,2	0,017	0,022	0,031	0,039	0,051	0,065	0,091	0,137
9,6	0,016	0,020	0,028	0,036	0,047	0,060	0,085	0,132
10,0	0,015	0,019	0,026	0,033	0,043	0,056	0,079	0,126
10,4	0,014	0,017	0,024	0,031	0,040	0,052	0,074	0,122
10,8	0,013	0,016	0,022	0,029	0,037	0,049	0,069	0,117
11,2	0,012	0,015	0,021	0,027	0,035	0,045	0,065	0,113
11,6	0,011	0,014	0,020	0,025	0,033	0,042	0,061	0,109
12,0	0,010	0,013	0,018	0,023	0,031	0,040	0,058	0,106

**РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. СНиП 2.02.01.83\* Основания зданий и сооружений.–М.: Стройиздат, 1999\*.
2. СП 50-101-2004 Проектирование и устройство оснований зданий и сооружений, 2004.
3. ГОСТ 25100-95 Грунты. Классификация.–М.: Издательство стандартов, 1995.
4. Далматов,Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б.И.Далматов.–Л.: Стройиздат, 1988.
5. Ухов,С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты / С.Б.Ухов, В.В.Семенов, В.В.Знаменский, З.Г.Тер-Мартirosян, С.Н.Чернышов. –М., Изд-во АСВ, 1994. – 527 с.
6. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений.–М.: Стройиздат, 1986. – 415 с.
7. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика /Под ред. Е.А. Сорочана, Ю.С. Трофименкова.–М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.

Сергей Яковлевич Скворцов  
Елена Олеговна Сучкова

## Расчет столбчатого внецентренно-нагруженного фундамента на просадочных грунтах

Методические указания для студентов специальности ПГС

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Формат \_\_\_\_\_. Бумага «Снегурочка». Печать трафаретная.  
Уч.-изд. л. \_\_\_\_\_. Усл. печ. л. \_\_\_\_\_. Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_\_.  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
603950, Н.Новгород, Ильинская, 65  
Полиграфцентр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65