

4. ЗАДАЧА №4. Определение абсолютной осадки основания ленточного фундамента методом эквивалентного слоя (метод Н.А. Цытовича)

Условия задачи.

Определить абсолютную величину осадки ленточного железобетонного фундамента многоэтажного бескаркасного здания с несущими стенами из кирпичной кладки методом эквивалентного слоя. Схема к задаче приведена на рис. 4.1. Варианты исходных данных приведены в таблице П 1.4. приложения 1 настоящего пособия.

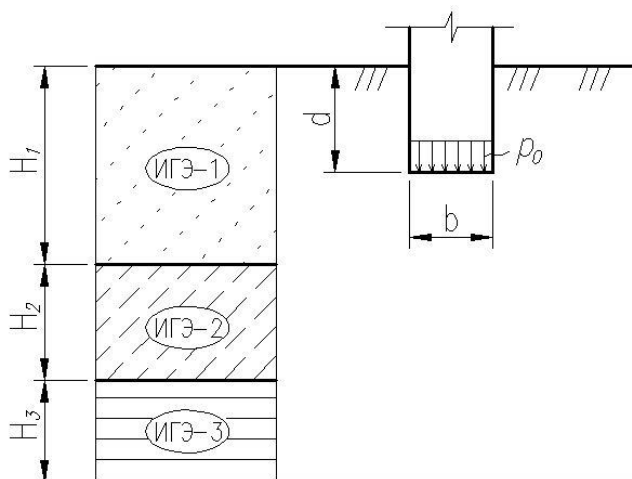


Рис. 4.1. Схема к задаче №4

Указания к решению.

Метод эквивалентного слоя, предложенный Н.А. Цытовичем, дает возможность для многослойных оснований существенно упростить технику расчета конечных осадок и их развития во времени. Этот метод приводит сложную пространственную задачу к эквивалентной, одномерной. По теоретическим предпосылкам он занимает промежуточное положение между строгими аналитическими решениями и методом послойного суммирования. Методом эквивалентного слоя, как считает Н.А. Цытович, можно пользоваться при площади подошвы фундаментов менее 50 м^2 . Это ограничивает возможность использования метода для определения осадки фундаментов с учетом загрузки соседних площадей.

Основные предпосылки, положенные в основу данного метода:

- грунт рассматривается как линейно-деформируемая среда;
- учитывается ограниченное боковое расширение грунтов и жесткость фундаментов;
- учитываются вес компоненты нормальных напряжений.

Эквивалентным слоем называется такой слой грунта толщиной h_0 , осадка которого при сплошной нагрузке p_0 на поверхности грунта равна осадке грунтового полупространства под воздействием местной нагрузки той же интенсивности.

Толщина эквивалентного слоя h_0 грунта зависит от коэффициента Пуассона ν , коэффициента формы площади и жесткости фундамента ω и его ширины b . Толщина эквивалентного слоя h_0 грунта рассчитывается по формуле (4.1):

$$h_0 = A\omega b, \quad (4.1)$$

где $A\omega$ – коэффициент эквивалентного слоя грунта, зависящий от коэффициента Пуассона ν для различных грунтов и соотношения сторон загруженной площади $\alpha = \frac{a}{b}$. Значения $A\omega$ приведены в табл. П2.13 приложения 2.

Осадка линейно-деформируемого слоя грунта при сплошной равномерно-распределенной нагрузке рассчитывается по формуле:

$$S = p_0 \cdot h_0 \cdot m_v, \quad (4.2)$$

где p_0 – давление по кровле сжимаемого слоя;

h_0 – толщина эквивалентного слоя грунта, к поверхности которого приложена сплошная равномерно-распределенная нагрузка интенсивностью p ;

m_v – коэффициент относительной сжимаемости грунта.

Осадку слоистого основания методом эквивалентного слоя вычисляют приближенно. В расчетной схеме сжимаемую толщину грунта, которая практически оказывает влияние на осадку фундамента, принимают в среднем равной двум мощностям эквивалентного слоя: $H_c = 2 \cdot h_0$, а распределение дополнительных давлений в основании – в виде треугольной эпюры. Вершину треугольной эпюры назначают на глубине, равной H_c , а основание эпюры, равное p_0 (рис. 4.2). Грунты, вошедшие в сжимаемую толщину, считают однородными с осредненными характеристиками.

Средневзвешенный коэффициент относительной сжимаемости $\overline{m_v}$ находится из условия, что полная осадка сжимаемой толщи H_c равна сумме осадок входящих в нее слоев:

$$\overline{m_v} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i m_{vi} z_i}{2h_0^2}, \quad (4.3)$$

где h_i – толщина отдельных слоев грунта в пределах глубины H_c ;

m_{vi} – коэффициент относительной сжимаемости i -го слоя грунта;

z_i – расстояние от точки, соответствующей глубине H_c , до середины рассматриваемого слоя i .

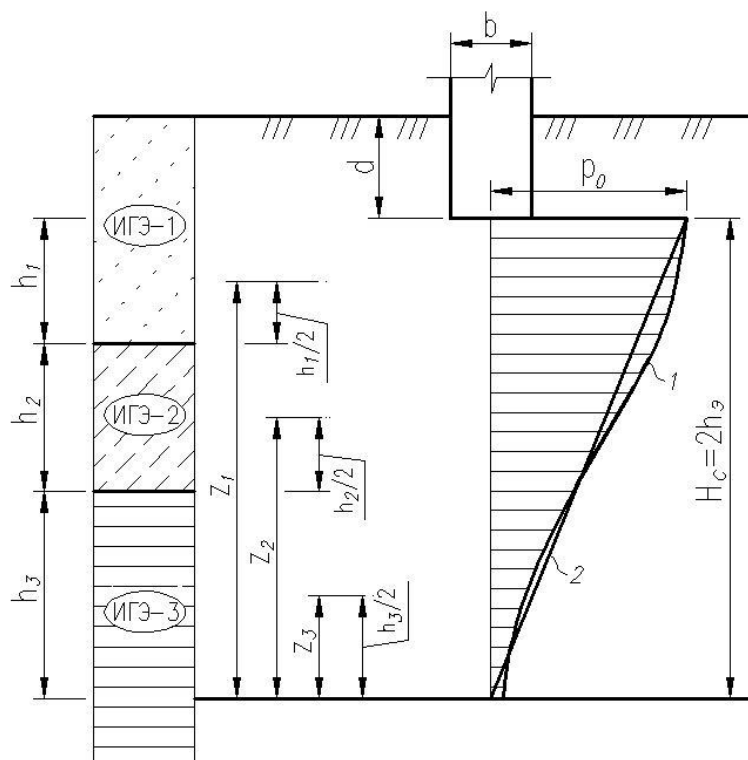


Рис. 4.2. Схема к расчету осадки методом эквивалентного слоя для слоистого напластования грунтового основания:

- 1 – криволинейная эпюра дополнительных напряжений по оси фундамента;
- 2 – эквивалентная по площади треугольная эпюра с вершиной на глубине $2h_3$ от уровня подошвы фундамента;
- z_i – расстояние от середины рассматриваемого слоя до глубины $2h_3$

Коэффициент относительной сжимаемости i -го слоя грунта определяется по формуле:

$$m_i = \frac{\beta_i}{E_i}, \quad (4.4)$$

где $\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}$, зависит от коэффициента поперечных деформаций грунта;

E_i – модуль деформации i -го слоя грунта.

При решении практических задач коэффициент β допускается принимать равным: для пылеватых и мелких песков – 0,8; супесей – 0,7; суглинков – 0,5; глин – 0,4.

Мощность эквивалентного слоя определяется так же, как и при однородном основании. В предварительных расчетах можно принимать коэффициент Пуассона ν для сжимаемой толщи с преобладанием глинистых грунтов $\nu=0,35$ и с преобладанием песчаных грунтов $\nu=0,3$.

Осадка слоистых оснований методом эквивалентного слоя определяется по формуле 4.2 при замене в ней m_i на $\overline{m}_i$.

Расчетную величину осадки основания S сравниваем с предельным значением осадки основания фундаментов S_u , приведенным в рекомендуемом Приложении Д [6] или в табл. П 2.8 приложения 2 настоящего пособия

$$S \leq S_u, \quad (4.5)$$

Пример расчета.

Исходные данные:

Тип фундамента – железобетонный ленточный фундамент мелкого заложения.

Ширина подошвы фундамента: $b_f = 1,4\text{м}$.

Глубина заложения подошвы фундамента $d = 1,6\text{м}$.

Среднее давление на грунт основания под подошвой фундамента (контактное давление) $p = 250\text{кПа}$.

Грунты основания:

ИГЭ – 1, песок, $H_1 = 3\text{м}$, $E_1 = 10\text{ МПа}$, $\gamma_1 = 18\text{кН/м}^3$;

ИГЭ – 2, супесь, $H_2 = 4\text{м}$, $E_2 = 15\text{ МПа}$;

ИГЭ – 3, глина, $H_3 = 10\text{м}$, $E_3 = 20\text{ МПа}$.

Решение:

Давление на грунт основания под подошвой фундамента (вызывающее осадку):

$$p_0 = p - \sigma_{zg,0} = p - d \cdot \gamma_1 = 250 - 1,6 \cdot 18 = 221,2\text{ кПа}.$$

В основании преобладают глинистые грунты (супесь, глина), поэтому эквивалентную толщу определим при коэффициенте поперечных деформаций (Пуассона) $\nu = 0,35$. Для ленточного фундамента (при $\alpha = a/b \geq 10$) по табл. П 2.13 находим $A\omega_{const} = 2,98$, тогда толщина эквивалентного слоя грунта будет равна:

$$h_g = A\omega_{const} \cdot b = 2,98 \cdot 1,4 = 4,2\text{м}.$$

Толща грунта, практически влияющая на осадку, составит:

$$H_c = 2 \cdot h_g = 2 \cdot 4,2 = 8,4\text{м}.$$

Определим коэффициенты относительной сжимаемости для каждого слоя по формуле (4.4):

$$\text{ИГЭ – 1 песок: } \beta_1 = 0,8; m_{v1} = \frac{\beta_1}{E_1} = \frac{0,8}{10} = 0,08\text{ МПа}^{-1};$$

$$\text{ИГЭ – 2, супесь: } \beta_2 = 0,7; m_{v2} = \frac{\beta_2}{E_2} = \frac{0,7}{15} = 0,047\text{ МПа}^{-1};$$

$$\text{ИГЭ – 3, глина: } \beta_3 = 0,4; m_{v3} = \frac{\beta_3}{E_3} = \frac{0,4}{20} = 0,02\text{ МПа}^{-1}.$$

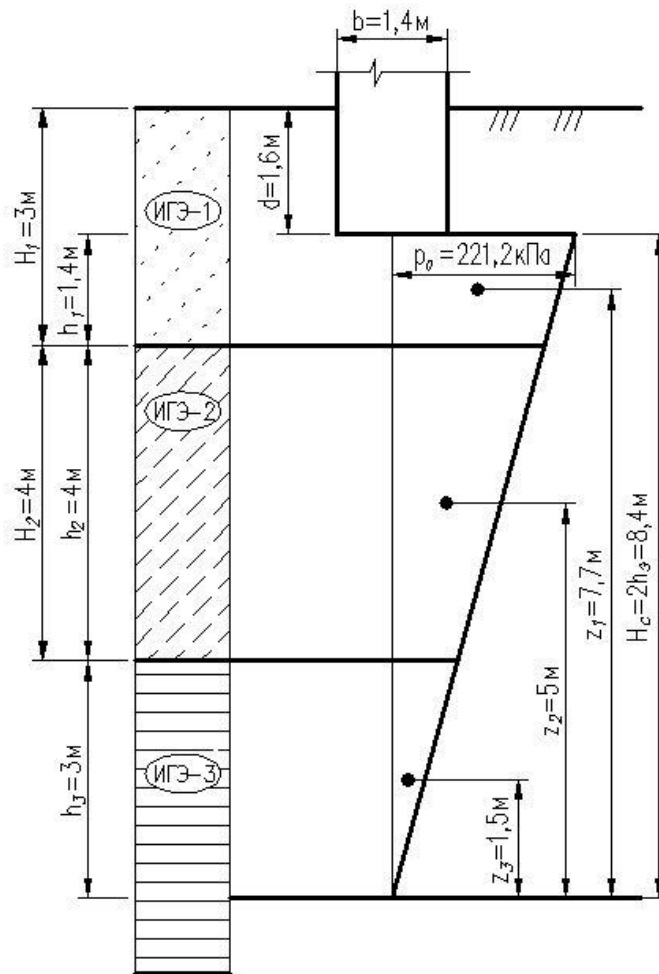


Рис. 4.3. Схема к расчету осадки методом эквивалентного слоя

Определим средневзвешенный коэффициент относительной сжимаемости по формуле (4.3):

$$\overline{m_v} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i m_{vi} z_i}{2h_3^2} = \frac{1,4 \cdot 0,08 \cdot 7,7 + 4 \cdot 0,047 \cdot 5 + 3 \cdot 0,02 \cdot 1,5}{2 \cdot 4,2^2} = 0,054 \text{ МПа}^{-1},$$

$$\text{где } \begin{cases} z_1 = h_3 + h_2 + h_1 / 2 = 3 + 4 + 1,4 / 2 = 7,7 \text{ м;} \\ z_2 = h_3 + h_2 / 2 = 3 + 4 / 2 = 5 \text{ м;} \\ z_3 = h_3 / 2 = 3 / 2 = 1,5 \text{ м.} \end{cases}$$

Средняя осадка фундамента при этом составит:

$$S = p_0 \cdot h_3 \cdot \overline{m_v} = 221,2 \cdot 4,2 \cdot 0,000054 = 0,05 \text{ м} = 5 \text{ см.}$$

Проверяем соблюдение условия $S = 5 \text{ см} \leq S_d = 12 \text{ см}$, условие соблюдается, следовательно, фундамент запроектирован верно.

Таблица П1.4

Исходные данные для задачи №4

№ вари ри- анта	p , $кПа$	b_f , $м$	d , $м$	ИГЭ–1 (песок)			ИГЭ–2 (супесь)		ИГЭ–3 (глина)	
				γ_1 , $кН/м^3$	E_1 , $МПа$	H_1 , $м$	E_2 , $МПа$	H_2 , $м$	E_3 , $МПа$	H_3 , $м$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	200	1,50	1,65	15	7	5	11	2,5	13	8
2	185	1,35	1,50	19	11	4,5	10	3	12	9
3	195	1,40	1,70	18	8	3,5	12	4	10	10
4	220	1,60	1,50	17	6	4	13	4,5	9	12
5	210	1,60	1,60	16	5	2,5	10	3,5	11	10
6	200	1,55	1,60	18	6	3	12	3	10	9
7	190	1,50	1,50	17	12	4,5	10	4	8	11
8	205	1,45	1,60	19	10	2,5	14	3,5	11	5
9	200	1,60	1,80	15	15	3	10	5	14	10
10	195	1,50	1,70	19	14	5	9	4	13	8
11	215	1,60	1,90	16	12	4	10	3,5	15	9
12	170	1,40	1,60	20	12	2,5	15	3	18	12
13	250	2,00	2,10	17	10	3,5	9	5	15	9
14	150	1,65	1,70	19	12	3	8	4	9	12
15	180	1,60	1,50	20	5	4	11	3,5	17	6
16	195	1,65	1,80	15	6	4,5	12	2	15	8
17	190	1,50	1,70	16	5	2,5	10	3	14	7
18	185	1,80	1,80	18	7	3,5	12	5,5	17	9
19	200	1,90	2,00	19	8	4	12	4,5	16	10
20	210	2,00	1,80	15	6	3	15	4	13	10
21	160	1,25	1,70	19	9	3,5	12	2,5	11	8
22	175	1,50	1,50	16	7	4	11	3,5	14	12
23	185	1,40	1,50	20	11	2,5	12	4	6	8
24	195	1,60	1,65	20	15	4,5	13	2	10	10
25	180	1,50	1,60	15	12	4	9	3,5	16	9
26	190	1,80	1,80	16	11	3,5	10	4	9	7
27	180	1,40	1,70	18	6	3	16	3	11	13
28	200	2,00	2,10	19	6	4	12	4,5	13	10
29	185	1,50	1,80	15	9	2,5	16	2	18	9
30	205	1,80	1,60	19	10	3,5	12	1	17	13

Таблица П 2.8

**Предельные деформации основания фундаментов
объектов нового строительства**

Сооружения	Предельные деформации основания фундаментов		
	Относительная разность осадок $(\Delta s/L)_u$	Крен i_u	Максимальная $s_u^{\max}$ или средняя $\bar{s}_u$ осадка, см
1	2	3	4
1. Производственные и гражданские одноэтажные и многоэтажные здания с полным каркасом:			
железобетонным	0,002	—	10
то же, с устройством железобетонных поясов или монолитных перекрытий, а также здания монолитной конструкции	0,003		15
стальным	0,004	—	15
то же, с устройством железобетонных поясов или монолитных перекрытий	0,005	—	18
2. Здания и сооружения, в конструкциях которых не возникают усилия от неравномерных осадок	0,006	—	20
3. Многоэтажные бескаркасные здания с несущими стенами из:			
крупных панелей	0,0016	—	12
крупных блоков или кирпичной кладки без армирования	0,0020		12
то же, с армированием, в том числе с устройством железобетонных поясов или монолитных перекрытий, а также здания монолитной конструкции	0,0024		18
Примечания			
1. Значение предельной максимальной осадки основания фундаментов $s_u^{\max}$ применяется к сооружениям, возводимым на отдельно стоящих фундаментах на естественном (искусственном) основании или на свайных фундаментах с отдельно стоящими ростверками (ленточные, столбчатые и т.п.).			
2. Значение предельной средней осадки $\bar{s}_u$ основания фундаментов применяется к сооружениям, возводимым на едином монолитном железобетонном фундаменте неразрезной конструкции (перекрестные ленточные и плитные фундаменты на естественном или искусственном основании, свайные фундаменты с плитным ростверком, плитно-свайные фундаменты и т.п.).			
3. Предельные значения относительного прогиба зданий, указанные в позиции 3, принимают равными $0,5(As/L)_u$, а относительного выгиба - $0,25(\Delta s/L)_u$			
5. Если основание сложено горизонтальными (с уклоном не более 0,1). выдержанными по толщине слоями грунтов, предельные значения максимальных и средних осадок допускается увеличивать на 20 %.			

Таблица П2.13

Значение коэффициента эквивалентного слоя $A\omega$

$\alpha = a/b$	Гравий и галька		Пески				Суглинки пластичные								Глины и суглинки мягкопластичные									
	глины и суглинки твердые и полутвердые				супеси твердые и пластичные				глины пластичные															
	$\nu_0 = 0,10$				$\nu_0 = 0,20$				$\nu_0 = 0,25$				$\nu_0 = 0,30$				$\nu_0 = 0,35$				$\nu_0 = 0,40$			
	A_{ω_0}	A_{ω_m}	$A_{\omega_{const}}$	A_{ω_0}	A_{ω_m}	$A_{\omega_{const}}$	A_{ω_0}	A_{ω_m}	$A_{\omega_{const}}$	A_{ω_0}	A_{ω_m}	$A_{\omega_{const}}$	A_{ω_0}	A_{ω_m}	$A_{\omega_{const}}$	A_{ω_0}	A_{ω_m}	$A_{\omega_{const}}$	A_{ω_0}	A_{ω_m}	$A_{\omega_{const}}$			
1,0	1,13	0,96	0,89	1,20	1,01	0,94	1,26	1,07	0,99	1,37	1,17	1,08	1,58	1,34	1,24	2,02	1,71	1,58						
1,5	1,37	1,16	1,09	1,45	1,23	1,15	1,53	1,30	1,21	1,66	1,40	1,32	1,91	1,62	1,52	2,44	2,07	1,94						
2,0	1,55	1,31	1,23	1,63	1,39	1,30	1,72	1,47	1,37	1,88	1,60	1,49	2,16	1,83	1,72	2,76	2,34	2,20						
3,0	1,81	1,55	1,46	1,90	1,63	1,54	2,01	1,73	1,62	2,18	1,89	1,76	2,51	2,15	2,01	3,21	2,75	2,59						
4,0	1,99	1,72	1,63	2,09	1,81	1,72	2,21	1,92	1,81	2,41	2,09	1,97	2,77	2,39	2,26	3,53	3,06	2,90						
5,0	2,13	1,85	1,74	2,24	1,95	1,84	2,37	2,07	1,94	2,58	2,25	2,11	2,96	2,57	2,42	3,79	3,29	3,10						
6,0	2,25	1,98	-	2,37	2,09	-	2,50	2,21	-	2,72	2,41	-	3,14	2,76	-	4,00	3,53	-						
7,0	2,35	2,06	-	2,47	2,18	-	2,61	2,31	-	2,84	2,51	-	3,26	2,87	-	4,18	3,67	-						
8,0	2,43	2,14	-	2,56	2,26	-	2,70	2,40	-	2,94	2,61	-	3,38	2,98	-	4,32	3,82	-						
9,0	2,51	2,21	-	2,64	2,34	-	2,79	2,47	-	3,03	2,69	-	3,49	3,08	-	4,46	3,92	-						
10 и более	2,58	2,27	2,15	2,71	2,40	2,26	2,86	2,54	2,38	3,12	2,77	2,60	3,58	3,17	2,98	4,58	4,05	3,82						
Коэффици- циент	A_{ω_0}	A_{ω_m}	$A_{\omega_{const}}$	A_{ω_0}	A_{ω_m}	$A_{\omega_{const}}$	A_{ω_0}	A_{ω_m}	$A_{\omega_{const}}$	A_{ω_0}	A_{ω_m}	$A_{\omega_{const}}$	A_{ω_0}	A_{ω_m}	$A_{\omega_{const}}$	A_{ω_0}	A_{ω_m}	$A_{\omega_{const}}$						

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малышев М.В., Болдырев Г.Г. Механика грунтов, основания и фундаменты / М.: АСВ, 2009.
2. Мангушев Р.А., Карлов В.Д., Сахаров И.И. Механика грунтов / М.: АСВ, 2009. – 264с.
3. Ухов С.Б., Семенов В.В., Знаменский В.В., Тер-Мартirosян З.Г., Чернышев С.Н. Механика грунтов, основания и фундаменты / Под ред. С.Б.Ухова. – М.: Высшая школа, 2005. - 528с.
4. Бартоломей А.А. Механика грунтов: Учебник. – М.: АСВ, 2003 - 304с.
5. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс). М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.
6. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Минрегион России. – М.:НИИОСП им. Н.М. Герсегонова, 2011. – 164с.
7. Руководство по проектированию свайных фундаментов. – М.: Стройиздат, 1980. – 150с.
8. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Минрегион России. – М.:НИИОСП им. Н.М. Герсегонова, 2011. – 89с.
9. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Минрегион России. – М.:НИИОСП им. Н.М. Герсегонова, 2011. – 83с.
10. Механика грунтов, основания и фундаменты. Практические занятия. Методические указания для студентов дневной формы обучения всех специальностей строительных вузов / Сост.: И.Т.Мирсаяпов, В.Р.Мустакимов, Д.Р.Сафин, Л.Ф.Сиразиев. – Казань: КГАСУ, 2008. – 97с.