



ЛУЧКОВСКИЙ ИЛЬЯ ЯКОВЛЕВИЧ

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой геотехники и подземных сооружений Харьковского национального технического университета строительства и архитектуры, Заслуженный деятель науки и техники Украины, Действительный член Академии строительства Украины.

Основные направления научной деятельности: исследование работы подземных конструкций и сооружений различного назначения, в том числе, в условиях реконструкции: облегченные фундаменты прокатных станов, вагоноопрокидыватели, насосные станции, вертикальные шахтные стволы, свайные фундаменты с превалярующими горизонтальными и моментными нагрузками, подпорные стены, технические подвалы, коллекторы, фундаменты высотных зданий; исследование нелинейных свойств железобетонных конструкций, изучение временных нагрузок на перекрытия технических этажей и подвалов, учет местных нагрузок в расчетах давления грунта на подпорные стены, вопросы назначения расчетное сопротивление грунта, а также разработка новых моделей грунтового основания.

Автор более 250 научных работ

E-mail: Lutchkovsky@yahoo.com, asamorodov@yandex.ru



САМОРОДОВ АЛЕКСАНДР ВИТАЛЬЕВИЧ

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Геотехники и подземных сооружений» и начальник лаборатории «Геотехнических изысканий» Харьковского национального университета строительства и архитектуры (ХНУСА), член международного общества ISSMGE, председатель харьковского отделения Украинского общества по механике грунтов, геотехники и фундаментостроения (УОМГГФ).

Основные направления научной деятельности: взаимодействие фундаментов высотных зданий с различными моделями грунтового основания; полевые исследования несущей способности свай на различные нагрузки, а также их сочетания; геотехнический мониторинг объектов строительства; фундаменты с вырезами по подошве; расчетное сопротивление грунта рядом расположенных фундаментов; давление грунта на подпорные стены и вертикальные шахтные стволы, в том числе от местных нагрузок на поверхности; оценка влияния строящихся зданий на существующие объекты и др.

Автор более 55 научных работ

E-mail: asamorodov@yandex.ru

УДК 624.131

**К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ
УПРУГОГО КОНЕЧНОГО СЛОЯ**

Ключевые слова: грунтовое основание, модель, упругий слой, толщина, модуль деформации.

Пропонується методика визначення параметрів пружного шару кінцевої товщини для адекватного модулювання взаємодії будинків та споруд з ґрунтовою основою.

Предлагается методика определения параметров упругого слоя конечной толщины для адекватного моделирования взаимодействия зданий и сооружений с грунтовым основанием.

Method for a definition of parameters of a elastic finite layer for modeling influence of buildings with a ground base is proposed.

ВВЕДЕНИЕ

В расчетах фундаментных плит большой площади широкое использование находит модель основания в виде упругого слоя конечной толщины, разработанная в трудах М.И. Горбунова-Посадова [1], К.Е. Егорова [2], О.Я. Шехтер [3], К. Marguerge и других отечественных и зарубежных ученых. Более сорока лет назад на базе этой модели в ряде институтов (НИИОСП, ГИПРОТИС, Гидропроект, Челябинский ПИ и др.) были разработаны алгоритмы и программы для расчета больших плит на ЭВМ [4, 5].

В программах ГИПРОТИС при расчете плит на основании в виде сжимаемого слоя его толщина H_0 определялась из условия равенства осадок конеч-

ного слоя и средней осадки фундаментной плиты, вычислявшейся в соответствии с действующими тогда СНиП II-Б.1-62*, а позже СНиП 2.02.01-83. Величина же модуля деформации E основания принималась по результатам штамповых испытаний.

В разработанной НИИОСП программе МРП-1 расчет плит производился на неограниченном упругом полупространстве с условным повышением модуля деформации, который вычислялся из условия равенства средней осадки равномерно нагруженной площадки поверхности упругого полупространства и слоя конечной толщины. При этом осадка определялась в соответствии со СНиП 2.02.02-85 до той глубины ниже подошвы плиты, на которой дополнительное (к природному) давление от сооружения составляло 50% от природного (бытового).

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализируя существующие и существовавшие рекомендации по назначению характеристик сжимаемого слоя, следует отметить, что они исходят из условия близкого соответствия ожидаемых осадок фундаментных плит расчетным. Это позволяет назначить либо условную толщину слоя H_p , либо условный модуль деформации E_0 . Однако, использование одного лишь этого условия не дает возможности решить контактную задачу, т.е. определить реактивные давления и усилия в плите в соответствии с реальной распределительной способностью грунтовых оснований.

Естественно, что распределительная способность идеализированного упругого слоя выше, чем в естественных грунтах. Поэтому для обеспечения близкого соответствия расчетных осадок натурным расчетная толщина упругого слоя должна быть больше действительной (при одинаковом модуле E_0), а для обеспечения соответствия эпюры контактных давлений – меньше действительной. Последнее замечание совпадает с мнением сотрудников Гидропроекта И.В. Самарина и Г.В. Крашенинниковой [6]. Следовательно, варьируя одним лишь параметром E_0 или H_0 модели конечного слоя, нельзя решить две основные задачи инженерного расчета: добиться соответствия расчетных осадок и расчетных усилий фундаментных плит ожидаемым в натуре осадкам и усилиям.

ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью настоящих исследований является аналитическое обоснование и разработка методики определения параметров упругого конечного слоя H_0 и E_0 для адекватного моделирования взаимодействия инженерных конструкций с грунтовыми основаниями. Эта методика базируется на двух основных положениях, подтвержденных имеющимися в литературе экспериментальными данными и нашими исследованиями [7, 8]:

- реальная глубина сжимаемой толщи грунта H_p соответствует расчетной глубине, определяемой по действующим нормам [9] из условия, что деформации основания больших плит учитываются до глубины, на которой дополнительное давление от фундамента оставляет 50% от природного, т.е. $k=0,5$;
- ожидаемая средняя осадка S фундаментных плит большой площади может быть вычислена по

существующим нормам при использовании установленной глубины H_p методом послойного суммирования.

В дальнейшем, по мере накопления экспериментальных данных и натуральных наблюдений, эти положения могут уточняться. Введем понятие о коэффициенте распределительной способности основания α :

$$\alpha = \frac{W}{S}, \tag{1}$$

где S – средняя осадка основания под площадкой, нагруженной гибкой равномерно распределенной нагрузкой; W – осадка основания под площадкой, непосредственно нагруженной равномерно распределенной нагрузкой, без учета сдерживающего влияния ненагруженной области.

Для реального грунтового основания

$$W = \frac{p \cdot H_p}{\beta E}, \tag{2}$$

где p – среднее удельное давление под подошвой фундамента площадью F_ϕ ; H_p – глубина активной зоны (сжимаемой толщи); E – приведенный модуль деформации грунта; β – коэффициент ограниченного поперечного расширения грунта, который принимается как средне-интегральный показатель бокового расширения столбца основания (площадью, равной площади плиты и высотой H_p) между условиями свободного поперечного расширения столбца и невозможностью его расширения:

$$\beta = 1 - \frac{2\mu^2}{1 - \mu}, \tag{3}$$

где μ – коэффициент поперечного расширения грунта.

Далее найдем коэффициент распределительной способности реального грунтового основания

$$\alpha_{cp} = \frac{p \cdot H_0}{S \beta E}. \tag{4}$$

Для идеализированной модели упругого слоя конечной толщины получим осадку

$$W_0 = \frac{p \cdot H_0}{\beta E_0}. \tag{5}$$

Затем, используя исследования М.И. Горбунова-Посадова [1] и К.Е. Егорова [2], запишем формулу осадки упругого слоя конечной толщины

$$S_0 = \frac{2bp(1 - \mu^2)}{E_0} K_{cp}, \tag{6}$$

где b – полуширина или радиус фундаментной плиты; K_{cp} – безразмерный коэффициент, зависящий от формы фундамента и приведенной мощности слоя H_0/b .

Используя зависимости (5) и (6), получим выражение для коэффициента распределительной способности модели основания в виде конечного слоя

$$\alpha_0 = \frac{H_0}{2b\beta(1 - \mu^2)K_{cp}}. \tag{7}$$

Для определения расчетных параметров слоя H_0 и E_0 составим два уравнения

$$\left. \begin{aligned} \alpha_0 &= \alpha_{zp} \\ S_0 &= S_{zp} \end{aligned} \right\}, \quad (8)$$

которые после преобразований приводятся к виду

$$\frac{H_0}{2bK_{cp}} = A, \quad (9)$$

$$E_0 = \frac{2bp(1-\mu^2)}{S} K_{cp}, \quad (10)$$

где

$$A = \frac{pH_p(1-\mu^2)}{SE}. \quad (11)$$

Особенность полученного решения состоит в том, что величина A , с одной стороны, определяется по формуле (11) с использованием результатов расчета осадок по нормативной методике, а, с другой стороны, величина A может быть затабулирована (табл.1) или представлена графически (рис. 1) на основании формулы (9) и таблиц значений K_{cp} , представленных в работах [1] и [2] как функции H_0/b и формы фундамента.

В заключение сформулируем основные этапы предлагаемой методики определения параметров конечно-сжимаемого слоя.

1. В соответствии с рекомендациями действующих нормативных документов [8] определяется глубина активной зоны H_p при заданном среднем удельном давлении по подошве фундамента p (без вычета бытового давления).
2. Вычисляется ожидаемая осадка фундаментной плиты S с учетом найденной глубины активной зоны H_p .
3. Определяется коэффициент A по формуле (11).
4. По найденному значению A и соотношению сто-

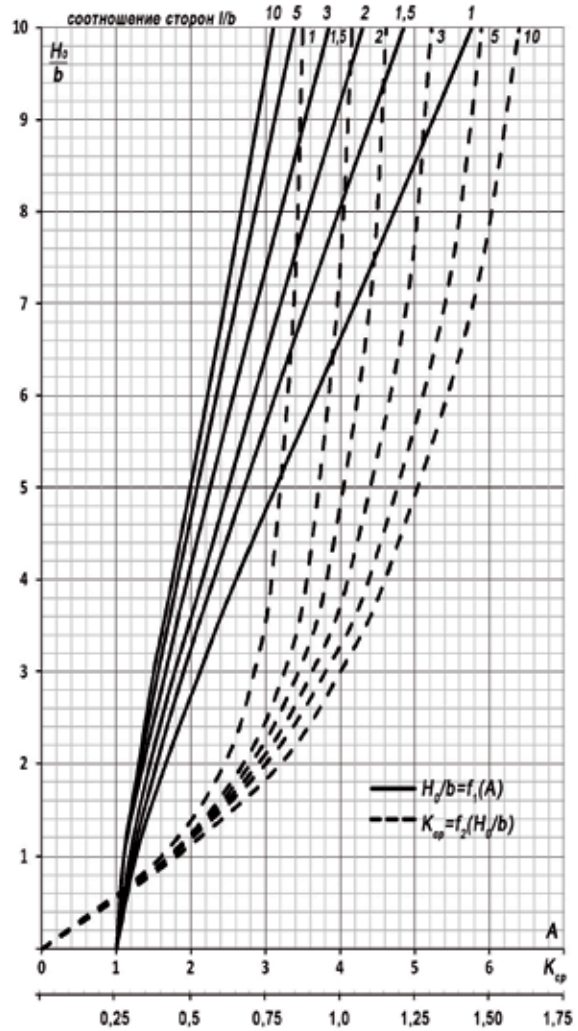


Рис.1. Графики зависимостей H_0/b от A и коэффициента K_{cp} от H_0/b для прямоугольных плит.

Таблица 1. Значения коэффициентов A и K_c .

H_0/b	Круг		Прямоугольник с соотношением сторон l/b , равным					
			1		3		10	
	A	K_{cp}	A	K_{cp}	A	K_{cp}	A	K_{cp}
0	1	0	1	0	1	0	1	0
0,2	1,042	0,096	1,042	0,096	1,020	0,098	1,010	0,099
0,5	1,111	0,225	1,106	0,226	1,073	0,233	1,050	0,238
0,75	1,210	0,31	1,210	0,31	1,103	0,34	1,071	0,35
1	1,263	0,396	1,241	0,403	1,149	0,435	1,121	0,446
1,5	1,500	0,50	1,415	0,53	1,230	0,61	1,190	0,63
2	1,730	0,578	1,642	0,609	1,376	0,727	1,309	0,764
2,5	1,984	0,63	1,838	0,68	1,506	0,83	1,404	0,89
3	2,269	0,661	2,110	0,711	1,648	0,910	1,527	0,982
4	2,857	0,70	2,597	0,77	1,923	1,04	1,739	1,15
5	3,378	0,740	3,125	0,800	2,234	1,119	1,990	1,256
7	4,510	0,776	4,157	0,842	2,862	1,223	2,427	1,442
10	6,112	0,818	5,727	0,873	3,820	1,309	3,088	1,619
50	30,12	0,83	26,882	0,93	16,892	1,48	9,398	2,66

рон фундаментной плиты l/b по графику рис. 1 или табл. 1 находится соотношение H_0/b и K_{cp} .

5. Вычисляются значения расчетных параметров слоя

$$\left. \begin{aligned} H_0 &= \left(\frac{H_0}{b} \right) b; \\ E_0 &= \frac{2pb(1-\mu^2)}{S} K_{cp}. \end{aligned} \right\} (12)$$

В качестве примера рассмотрим прямоугольную фундаментную плиту размером 26×26 м при 3-х уровнях распределенной нагрузки p . Результаты расчета сведены в табл. 2. Численное решение задачи взаимодействия упругого слоя с параметрами H_0 и E_0 и нагрузкой на поверхности с помощью программного комплекса SCAD дает прак-

Таблиця 2. Определение параметров E_0 и H_0

Наименование величины	Обозначение	Ед. изм.	Давление p под плитой размерами 26×26 м, кгс/см ²		
			1,0	2,5	4,0
Коэффициент поперечного расширения	μ	-	0,1	0,1	0,1
Приведенный модуль деформации	E	кгс/см ²	200	200	200
Расчетная глубина активной зоны	H_p	м	9,1	16,25	20,8
Ожидаемая осадка фундамента	S	см	4,25	16,96	31,73
Коэффициенты	A	-	1,06	1,19	1,30
	K_{cp}	-	0,14	0,39	0,48
	H_0/b	-	0,35	0,9	1,25
Расчетная глубина упругого конечного слоя	H_0	м	4,55	11,7	16,2
Модуль упругости конечного слоя	E_0	кгс/см ²	85	148	156

ВИВОДИ

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать основные выводы:

- при варьировании одним лишь параметром E_0 или H_0 модели конечного упругого слоя, нельзя добиться соответствия расчетных осадок и расчетных усилий фундаментных плит ожидаемым в натуре;
- предложена методика назначения параметров упругого слоя конечной толщины E_0 и H_0 для адекватного моделирования взаимодействия больших плит с грунтовыми основаниями, которая позволяет получить осадки, соответствующие существующим нормам, и снизить распределительную способность модели упругого основания;
- для удобного практического применения методики разработаны таблицы и графики.

тически совпадающие с табличными ожидаемые осадки фундамента.

Как видно из приведенного примера, расчетная глубина упругого слоя H_0 меньше глубины активной зоны H_p . Модуль упругости сжимаемого слоя E_0 также меньше приведенного модуля деформации грунта E . Это обеспечивает для идеализированной модели упругого конечного слоя приближение осадок и распределительной способности к реальным грунтам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбунов-Посадов М.И. Осадки фундаментов на слое грунта, подстилаемом скальным основанием / М.И. Горбунов-Посадов. - М.: Госстройиздат, 1946. - 60 с.
2. Егоров К.Е. К вопросу деформации основания конечной толщины / К.Е. Егоров // Механика грунтов: труды ин-та НИИ оснований и подземных сооружений, 1958. - Вып. 34. - С. 5-33.
3. Шехтер О.Я. Об определении осадок в грунтах с подстилающим слоем под фундаментом / О.Я. Шехтер // Гидротехническое строительство. - №10. - 1937.
4. Горлов А.М. Автоматизированный расчет прямоугольных плит на упругом основании / А.М. Горлов, Р.В. Серебряный. - М.: Госстройиздат, 1968.
5. Рекомендации по методам расчета фундаментных плит на сжимаемом основании конечной толщины // НИИОСП им. Н.М. Герсванова. - М.: Стройиздат, 1968.
6. Самарин И.К. Взаимодействие конструкций гидротехнических сооружений с основанием / И.К. Самарин. - М.: Стройиздат, 1978. - 136 с.
7. Маликова Т.А. Анализ натуральных осадок плитных и коробчатых фундаментов многоэтажных зданий / Т.А. Маликова // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 1972. - №2.
8. Практические рекомендации по определению расчетных параметров оснований больших фундаментных плит (2-ая редакция) // Харьковский ПромстройНИИпроект. - Харьков, 1971.
9. Основи та фундаменти споруд: ДБН В.2.1-10-2009. - Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. - 104 с.