

ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕФОРМАТИВНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ОТ СПОСОБА ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Ткалич А.П.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина

До преодоления структурной прочности грунта в основании фундаментов развиваются в основном упругие деформации, где правомерно использовать в расчетах коэффициент Пуассона (μ). Величины деформаций в грунтах основания колеблется от 2 до 10% от полной осадки, а процесс их развития полностью еще не изучен [1]. При давлениях превышающих структурную прочность, под подошвой фундамента появляются остаточные деформации [1;2;3;4;5].

Нормативным методом расчета оснований фундаментов сооружений по деформациям предусмотрено использование одного показателя деформативных свойства грунта - модуля деформации. Фактически осадка является следствием двух параметров: уплотнения и бокового расширения, развивающихся под подошвой фундамента. Оба этих параметра необходимо учитывать в пределах фактической глубины зоны деформации.

Васильев Б. Д. в своей книге [6] приводит мнение К.Терцаги: *«Проф. К. Терцаги предложил считать осадку штампа S состоящей из двух составляющих: одной S_o зависящей от обжатия столба грунта, мысленно выделенного в виде призмы под подошвой штампа, и другой S_b , зависящей от бокового вытеснения грунта из указанного объема за его пределы, т.е.»*

$$S = S_o + S_b$$

Для реализации этого предложения необходимы два показателя деформативных свойств отвечающих этим составляющим, для первой части модуль деформации (E_n) определенный с учетом уплотнения столба грунта под площадью фундамента, на глубину зоны деформации, а для второй - коэффициент боковой деформации (ν).

Модуль общей деформации определяется как в лабораторных, так и в полевых условиях, с учетом упругих и остаточных деформаций грунта [7;8]. В лаборатории в основном используют одомер, где образец заключен в обойму и лишен возможности бокового расширения. В полевых - с наличием боковых деформаций. Полученные результаты для одних и тех же грунтов разными методами не совпадают и требуют корректировки [9].

Коэффициент поперечной деформации (ν) аналогичный коэффициенту Пуассона - это отношение относительной поперечной деформации грунта к продольной [9;10]. В практике проектирования их значения являются величиной постоянной для данного вида грунта [9]. В лабораторных условиях, согласно ДСТУ, его значение определяется по результатам испытаний методом трехосного сжатия, в стабилометре [7]. Фактически его значение зависит от состава и состояния данного вида грунта, размера фундамента и давления по его подошве. Коэффициент поперечной деформации необходимо определять при напряжениях превышающих структурную прочность грунта (P_{str}), по значениям (величине) остаточных деформаций, (коэффициент боковой деформации ν) это предложение апробировано полевыми исследованиями [11].

В лабораторных условиях исследования проводились в компрессионных приборах до давления 0,8 МПа, по ускоренной методике испытаний, заключающейся в сокращении периода условной стабилизации. Под штампы стандартных приборов устанавливали дополнительные штампы высотой 8 мм, с площадью (A , см²) от 10 до 50 (рис. 1.А.).

Образцы для испытаний отобраны с глубины 2...2,5 м. (абс. отм. 20,4 м.) от дневной поверхности, в котловане, разработанном под строительство общественного здания в г. Одессе (10 ст. Б. Фонтана.), в пределах слоя красно - бурой глины. В Одесском регионе

этот ИГЭ залегает на глубинах 12...18 м., ниже лессовой толщи. Площадка строительства расположена на склоне возле моря, где отсутствуют лессовые грунты, а глина залегает под почвенным слоем. По данным изысканий выполненных ОАО ГП ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ «ОДЕСАКОМУНПРОЕКТ», ниже дна котлована залегают следующие инженерно - геологические элементы (ИГЭ): 3а. Глина красно - бурая $\gamma = 1,99 \text{ т/м}^3$; $E = 11 \text{ МПа}$; $\varphi = 19^0$; $c = 45 \text{ кПа}$. 4'. Известняк - ракушечник плитчато - перекристаллизованный, трещиноватый $R_0 = 0,1 - 0,3 \text{ МПа}$; $E = 500 \text{ кг/см}^2$.

Испытания производилось по методике циклически возрастающей нагрузки. После достижения условной стабилизации на каждой ступени, нагрузка снималась. Величина деформации, оставшаяся после разгрузки, равна остаточной составляющей полной осадки для данной ступени. Эта методика позволила определить упругую составляющую деформации для каждой ступени (s_y), равной разнице между ее полной величиной (s) и остаточной частью (s_0).

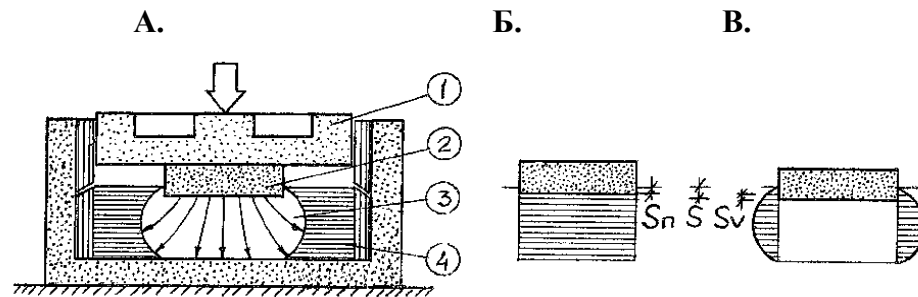


Рис. 1. Схема развития деформаций грунта под подошвой штампа.

- А.** Компрессионный прибор с дополнительным штампом; 1. основной (стандартный) штамп; 2. дополнительный штамп; 3. объем зоны деформации грунта; 4. природный грунт. **Б.** Фрагмент образца грунта под дополнительным штампом испытывающий деформации уплотнения; S_n - осадка грунта, вызванная уплотнением. **В.** Фрагмент образца грунта под дополнительным штампом испытывающий боковые деформации (расширение); S_v - осадка грунта, вызванная его боковым расширением. S - полная осадка, т.е. $S = S_n + S_v$

Плотность грунта определялась двумя способами: для природного грунта, методом «режущего кольца», после испытаний - методом «парафинирования». Образец уплотненного грунта вырезался под площадью дополнительного штампа.

От внешней нагрузки, под подошвой штампа деформируется грунт, как под контуром (в плане), так и за его пределами. Условно эти два вида необратимых деформаций можно обозначить как области сжатия и боковых деформаций, т.е. бокового расширения (рис.1.А.3) [7;12].

Уплотнение грунтов (рис.1.Б.) происходит за счет уменьшения его пористости, т.е. природная плотность сухого грунта (ρ_d) повышается до величины в уплотненном состоянии ($\rho_{d,com}$). Полная относительная деформация грунта равна:

$$\varepsilon = S / h \quad (1)$$

Относительная деформация уплотнения:

$$\varepsilon_n = 1 - \rho_d / \rho_{d,com} \quad (2)$$

Модуль деформации с учетом относительной деформации уплотнения равен:

$$E_n = k \cdot P / \varepsilon_n; \quad (3)$$

Осадка штампа за счет уплотнения грунта равна произведению относительной деформации уплотнения на высоту образца (25 мм) *рис.1.Б; 2.А.*

$$S_n = \varepsilon_n \cdot h \quad (4)$$

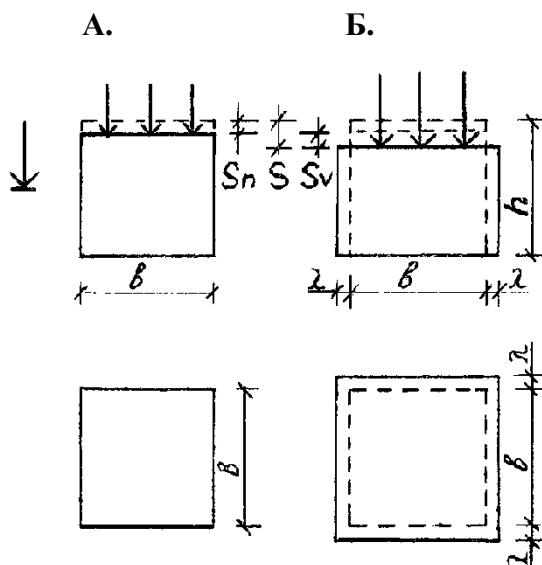


Рис. 2. Схема деформирования единичного объема грунта.

А. Единичный объем грунта, испытывающий деформацию уплотнения; ширина; S_n - осадка за счет уплотнения. **Б.** Единичный объем грунта, испытывающий деформацию за счет бокового расширения; h - высота; λ - средняя величина бокового расширения; S_v - осадка, за счет расширения.

Боковое расширение грунтов (рис.1.В.) возникает в основании, при превышении под подошвой штампа давления равного величине структурной прочности. Величина осадки штампа приходящаяся на долю бокового расширения грунта, равна разности между осадками полной и за счет уплотнения:

$$S_v = S - S_n \quad (5)$$

Осредненная величина бокового расширения единичного объема грунта (рис.2.Б.) от внешней нагрузки составляет:

$$\lambda = S_v \cdot b / 2h \quad (6)$$

Относительная деформация поперечного сечения равна отношению деформации поперечного сечения к двойной высоте образца

$$\varepsilon_\lambda = S_v / 2h \quad (7)$$

Коэффициент боковой деформации равен отношению относительной деформации в поперечном сечении к относительной деформации (вертикальной).

$$\nu = \varepsilon_\lambda / \varepsilon_n \quad (8)$$

Исследования по методике циклически возрастающей нагрузки позволили определить остаточные составляющие полной деформации (s_0), с помощью которых определены деформативные свойства грунта: модуль деформации (E_n), коэффициент боковой деформации (ν) и структурная прочность (P_{str}).

Модуль деформации (E_n) определен как показатель уплотнения, без учета боковых деформаций грунта.

По результатам исследований определены значения модуля деформации от общей деформации (E) и деформации уплотнения (E_n). На рис. 3. построены графики этих величин, которые имеют различное очертание. На зависимость $E_{cp.} = f(A)$ оказывает влияние площадь дополнительного штампа, с ее увеличением величина модуля от общих деформаций (E) растет. При уменьшении площади дополнительных штампов изменяется величина боковых деформаций. При этом значения модуля деформации за счет уплотнения (E_n) практически не изменяются.

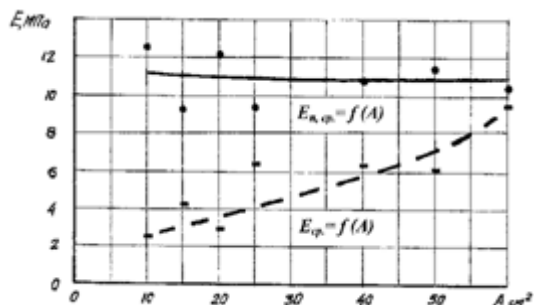


Рис. 3. Графики зависимости средних величин модулей деформаций от площади штампа при давлении 0,8 МПа

Коэффициент боковой деформации (ν) является показателем изменения формы деформированного объема грунта под площадью штампа. На его величину оказывает влияние размер опытного штампа, с уменьшением его площади повышается значение ν рис. 4. Наибольшая величина среднего значения коэффициента боковой деформации получена для штампа площадью 10 см² и равна $\nu = 0,40$ с увеличением площади значение ν уменьшается до 0,20. Для штампов площадью 25 и 40 см² значения коэффициента почти имеют близкие значения 0,18 и 0,20. Объясняется это тем, что при диаметре штампа 7,1 мм (40см²) на деформирование образца оказывает влияние ограничение развития боковых деформаций грунта стенками кольца одометра (8,74 мм).

Методика испытаний методом циклически возрастающей нагрузки позволила по результатам исследований построить графики зависимостей: остаточной (S_o) и упругой (S_y) деформаций от давления (рис.5). По графику зависимости остаточной деформации от давления, определена величина структурной проч-ности грунта (рис.5.A). При продолжении графиков зависимости $s_o = f(P)$ до пересечения с горизонтальной осью (P), отсекаемый отрезок численно равен структурной прочности. Осредненное значение ее для испытанных грунтов, равно $P_{str} = 0,042$ МПа.

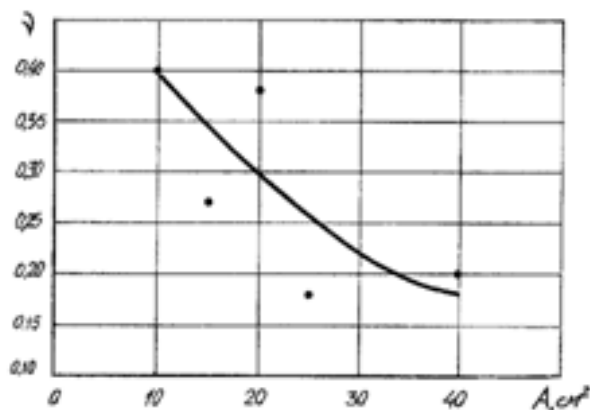


Рис. 4. График зависимости осредненной величины коэффициента боковой деформации грунта от площади штампа

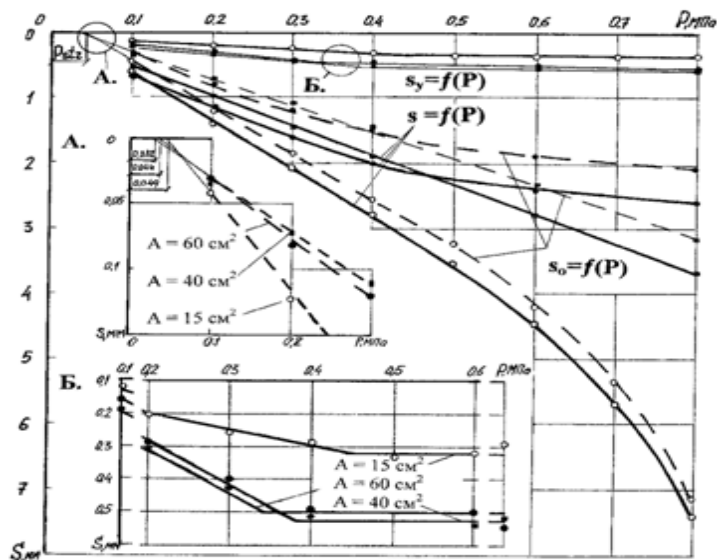


Рис. 5. Развитие деформаций под штампами площадью 60 см² (●), 40 см² (■) и 15 см² (○) от давления. Деформации основания: S - полная; S₀ - остаточная; S_y - упругая. Графики зависимости: А. Остаточной составляющей осадки от давления; Б. Давления и осадка в точке перегиба зависимости s_y = f(P).

Таблица № 1

№№ опыт ов	Площадь штампа, A, см ²	Относительные деформации грунта			Осадка, мм		Модуль деформации, МПа k = 1,0		Коэффициент боковой деформации, ν
		полная, ε	уплотнения, ε _п	в поперечном сечении, ε _λ	полная, S	уплотнения, S _п	E = κ·P / ε	E _п = κ·P / ε _п	
3 17	10	0,296	0,081	0,108	7,41	2,01	2,97	9,9	0,364
		0,385	0,053	0,165	9,63	1,33	2,08	15,1	0,429
1	15	0,159	0,082	0,039	3,99	2,05	5,03	9,8	0,244
2		0,189	0,084	0,053	4,74	2,10	4,23	9,5	0,278
4		0,254	0,079	0,088	6,35	1,98	3,15	10,1	0,344
5		0,248	0,102	0,073	6,21	2,55	3,23	7,8	0,295
7		0,239	0,089	0,075	5,99	2,23	3,35	9,0	0,313
10	0,124	0,086	0,019	3,10	2,15	6,45	9,3	0,15	
8 16	20	0,265	0,064	0,100	6,64	1,6	3,02	2,5	0,377
		0,311	0,067	0,122	7,78	1,67	2,57	11,9	0,392
12 15	25	0,111	0,085	0,013	2,78	2,12	7,92	9,4	0,117
		0,164	0,083	0,041	4,11	2,07	4,88	9,6	0,248
19	40	0,126	0,075	0,026	3,15	1,87	6,34	10,7	0,20
20	50	0,136	0,082	-	3,40	2,05	5,88	9,8	-
22		0,128	0,062	-	3,20	1,55	6,25	12,9	-

6		0,122	0,094	-	3,05	2,35	6,56	8,5	-
13		0,105	0,056	-	2,63	1,40	7,62	14,3	-
14	60	0,067	0,098	-	1,68	2,45	11,9	9,4	-
18		0,070	0,085	-	1,75	2,13	11,4	9,4	-

Зависимости $s_y = f(P)$ для всех проведенных опытов состоит из двух ветвей и точки перелома. Первая ветвь возрастает до величины упругой составляющей полной осадки, которая колеблется в пределах $s_y = 0,32...0,56$ мм, при давлениях $P = 0,31...0,55$ МПа, причем величина давления увеличивается с уменьшением диаметра штампа (рис.5.Б). Процесс деформирования образца происходит последовательно от подошвы штампа вглубь образца. При достижении нижней границей деформированной зоны, жесткой опоры прибора (подошвы), упругие деформации практически не нарастают, а остаются постоянными.

При определении деформативных характеристик грунтов основания можно использовать величины остаточных составляющих полной осадки.

Результаты проведенных исследований сведены в таблицу № 1.

Выводы

Результаты лабораторных исследований проведенных в одометре штампами разной площади, по методике циклически возрастающей нагрузки позволяют считать, возможным определять значения:

- 1.1. Модуля деформации за счет уплотнения.
- 1.2. Коэффициента боковой деформации.
- 1.3. Структурной прочности грунта.

SUMMARY

The article provides results and definition techniques of deformation modulus (E_n), coefficient of lateral distortion (ν) and structural strength value (P_{str}) under laboratory conditions. The test performed in compression equipment. Additional stamps of minor diameters were used. The test was based upon methods of cyclically increasing load.

1. Тугаенко Ю.Ф. Развитие деформаций в основаниях фундаментов, способы их ограничения и методы оценки. //Монография.- Астропринт, - Одесса . 2003. - 221с. 2. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс). - М.: Высшая школа, 1983. - 287с. 3. Далматов Б.И., Голи А.В., Чикишев В.М., Сидорук В.Ф. Полевые исследования напряженно - деформированного состояния глинистых грунтов // Труды VII Дунайско - Европейской конференции по механике грунтов и фундаментостроению. Т.1. - Кишинев, 1983. - С. 223-230. 4. Голубков В.Н., Тугаенко Ю.Ф., Матус Ю.В., Плахотный Г.Н., Юдин В.А. Исследования процесса формирования объема зоны деформации в основаниях опытных фундаментов // Известия вузов: Строительство и архитектура. - 1976.- №1.- С. 37-41. 5. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений.- М.: Высшая школа, 1985. - 351с. 6. Васильев Б.Д. Основания и фундаменты. - Л.: ОНТИ, 1937. - 595с. 7. ДСТУ Б В.2.1-4-96 Грунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформативності. Київ. 1997. 53 с. 8. Грунты. Метод полевого определения характеристик деформируемости. ГОСТ 20276 - 85 // М., Издательство стандартов.- 1985.- 34 с. 9. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М.: Стройиздат. - 1985. - 479 с. 10. Медков Е.И., Березанцев В.Г., Гольдштейн М.Н., Царьков А.А. Механика грунтов, основания и фундаменты. Москва, изд. Транспорт. 1970. 286 с. 11. Тугаенко Ю.Ф. Коэффициент Пуассона в геомеханике. - Вісник ОДАБА, випуск № 32, Одеса, 2008, с. 306 - 312.