

МОДУЛЬ ДЕФОРМАЦИИ В МЕХАНИКЕ ГРУНТОВ, МЕТОДЫ ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ИХ ДОСТОВЕРНОСТЬ

Тугаенко Ю.Ф. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Наведені методи визначення модуля деформації. За результатами досліджень природи деформування ґрунтів в підваліні фундаментів запропоновані критерії для оцінки їх стискуваності.

Модуль деформации является показателем сжимаемости грунта под действием внешней нагрузки. Критерием для его оценки следует считать степень сжатия, вызванную повышением плотности скелета грунта (снижением его пористости). Его значение получают в заданном интервале давлений, и зависит оно от способа определения.

В инженерно-геологической практике сжимаемость грунтов оценивается по результатам испытаний, как в лабораторных, так и в полевых условиях. Несовпадение данных испытаний, проведенных по разным методикам, свидетельствует об их несовершенстве.

В лабораторных условиях для определения модуля деформации применяются, в основном, компрессионные приборы (одеметры). Испытания проводятся в условиях одноосного сжатия. Конструкция прибора исключает развитие деформаций в стороны, ограничивая их нарастание по глубине, что снижает достоверность показателей фактической сжимаемости грунта в основании фундамента.

Согласно действующему стандарту, по результатам полевых исследований грунтов штампами, модуль деформации определяется по зависимости:

$$E = (1 - \nu^2) \kappa_1 D \Delta p / \Delta s \quad (1)$$

где: ν - коэффициент Пуассона; κ_1 - коэффициент, зависящий от формы фундамента в плане; D - диаметр штампа; Δp - приращение давления; Δs - приращение осадки.

Для конкретных грунтов, при испытаниях стандартным штампом ν ; κ_1 и D имеют постоянные значения, а величина модуля деформации зависит от двух переменных: давления и осадки. Деформации, протекающие в основании фундамента (штампа) не измеряются, а оцениваются их следствием - осадкой.

С 60^х годов прошлого столетия, исследования, проводились с измерениями параметров процесса нарастания деформаций ниже подошвы опытных фундаментов. По их результатам установлен факт последовательного развития деформаций по глубине основания, в ограниченном объеме ниже подошвы фундамента - зоне деформации. [1...14 и др.]. На параметры зоны деформации оказывают влияние много факторов, главными из которых являются размеры фундамента, давление по его подошве и деформативные свойства грунтов. Опытами установлен третий параметр - зона деформации оказывающий влияние на осадку, величина которой является внешним проявлением процессов деформирования грунтов. Для определения модуля деформации была предложена зависимость, в которую вместо ν ; κ_1 и D включено значение глубины зоны деформации:

$$E_{гр} = \kappa \rho H_a / s \quad (2)$$

где: κ - коэффициент, учитывающий распределение напряжений в пределах глубины зоны деформации. Вначале его значение было принято равным 0,7 [2], а затем - 0,5 [10]; ρ - давление по подошве фундамента; H_a - глубина зоны деформации; s - осадка фундамента.

Комплексными исследованиями процессов развития деформаций в основаниях фундаментов, выполненных с измерениями упругих и остаточных деформаций, геометрических параметров зоны деформации с определением плотности скелета грунта в ее пределах позволили определить природу деформирования грунтов [2;4;8;9;12].

При давлениях меньших структурной прочности в основании фундамента нарастают упругие деформации, исчезающие после снятия нагрузки. При давлениях превышающих структурную прочность внутри зоны упругих деформаций нарастают остаточные (необратимые) деформации, сохраняющиеся после разгрузки фундамента (рис.1,а). Преобладающими являются остаточные деформации. По их значению следует оценивать сжимаемость грунтов.

Остаточные деформации возникают в результате процессов уплотнения и бокового расширения протекающих под действием нагрузки в пределах объема призмы $V_{a,ф}$ - ограниченной площадью подошвы фундамента, горизонтальной плоскостью на отметке нижней границы зоны деформации и вертикальными плоскостями по его периметру (рис. 1,б).

Определение плотности сухого грунта в пределах зоны деформации позволило разграничить деформации, возникающие от уплотнения и за счет бокового расширения.

Следствием деформаций уплотнения является повышение плотности скелета грунта в пределах зоны деформации. В результате деформаций бокового расширения происходит изменение формы уплотненного грунта за счет его выпора в стороны, за пределы контура фундамента. Оба вида деформаций нарастают одновременно. Осадка фундамента является суммой осадок за счет уплотнения и бокового расширения (рис. 1,б).

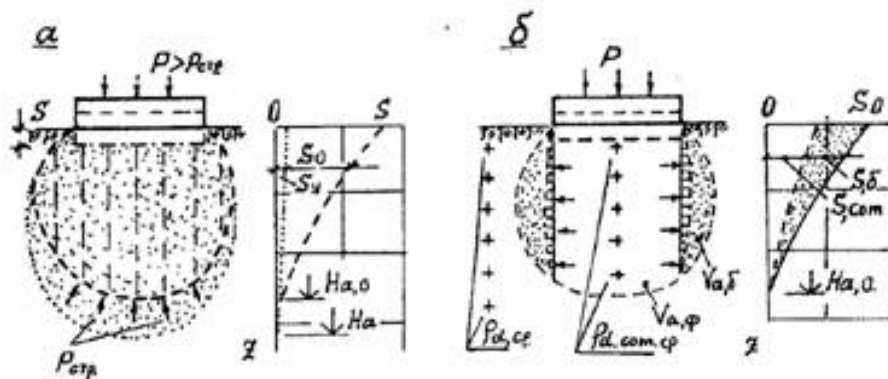


Рис.1. Схема процессов деформирования грунтов в основании фундамента

Доля осадки за счет боковых деформаций оценивается коэффициентом бокового расширения, значение которого снижается с увеличением площади фундамента при прочих равных условиях. При определении части осадки за счет уплотнения показателем сжатия следует считать модуль деформации, характеризующий степень уплотнения грунта по зависимости:

$$E_n = \sigma_{cp} / \epsilon_n \quad (3)$$

где: $\sigma_{cp} = 0,5(p + p_{str})$ – среднее напряжение по оси фундамента в пределах глубины зоны деформации (здесь p и p_{str} – соответственно давление по подошве фундамента и структурная прочность грунта); $\epsilon_n = 1 - \rho_d / \rho_{d,com}$ (здесь ρ_d и $\rho_{d,com}$ – средние значения плотности скелета природного грунта и уплотненного фундаментом в пределах глубины зоны деформации)

Результаты натуральных исследований проведенных на лессовых водонасыщенных грунтах приведены в таблице и на рис. 3 и 4.

Плотность скелета грунта в пределах глубины зоны деформации изменяется от максимума у подошвы штампа до природного значения у нижней границы, пропорционально снижению напряжения.

На рис. 2,а и 3а приведены графики плотности скелета природного грунта и по оси фундаментов в пределах зоны деформации, построенные по результатам исследований. По полученным данным определены их средневзвешенные значения, по которым подсчитаны относительные деформации за счет уплотнения.

Таблица 1

Результаты исследований деформаций в основаниях опытных фундаментов

№	A м ²	p МПа	H _a см	s см	ρ _{d,cp} г/см ³	ρ _{d,com,cp} г/см ³	ε _n	s _n см	p _{str} см	σ _{cp} МПа	Модуль деформации, МПа, по формуле:			литерат. источн.
											E (1)	E _{rp} (2)	E _n (3)	
1	0,04	0,3	39	10,914,0	1,45	1,64	0,115	4,5	0,041	0,17	0,38	0,54	1,48	[9]
2	0,10	0,3	62	16,8	1,45	1,62	0,105	6,5	0,045	0,17	0,47	0,66	1,62	"
3	0,25	0,3	88	18,5	1,44	1,60	0,10	8,8	0,057	0,18	0,62	0,78	1,8	"
4	0,5	0,3	116	17,0	1,45	1,58	0,082	8,8	0,067	0,18	0,79	0,94	2,19	"
5	0,5	0,2	110	22,7	1,43	1,54	0,071	7,8	0,061	0,13	0,65	0,65	1,83	[8]
6	1,0	0,2	125	21,9	1,38	1,55	0,11	13,7	0,071	0,136	0,61	0,55	1,24	[3]
7	1,0	0,3	112	38,4	1,39	1,57	0,115	13,8	0,10	0,20	0,63	0,77	1,74	[5]
8	1,0	0,35	162	8,0	1,42	1,62	0,123	20,0	0,084	0,217	0,63	0,74	1,76	[10]
9	1,0	0,25	85	17,4	1,41	1,53	0,078	6,7	0,122	0,186	2,16	1,33	2,38	[4]
10	2,0	0,2	148		1,39	1,49	0,067	9,9	0,09	0,134	1,76	0,85	2,0	[3]

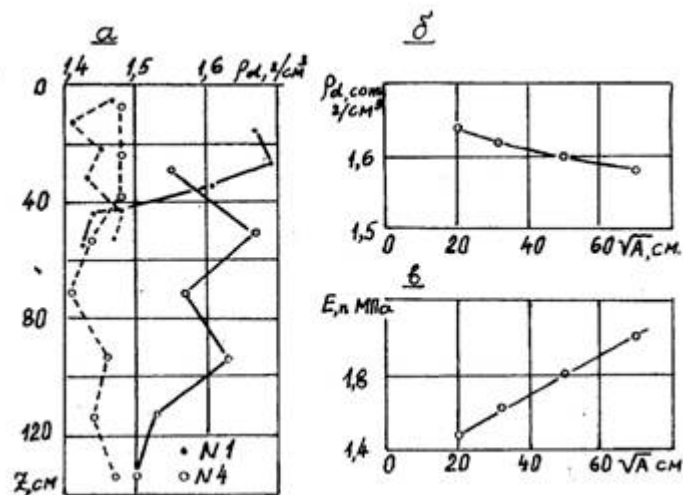


Рис. 2. Влияние размеров штампа на процессы деформирования грунтов. а) Изменение плотности скелета грунта по глубине в природном состоянии (пунктир) и уплотненного штампом – сплошная линия; б,в) Зависимости среднего значения плотности скелета уплотненного грунта и модуля деформации-уплотнения от размера штампа

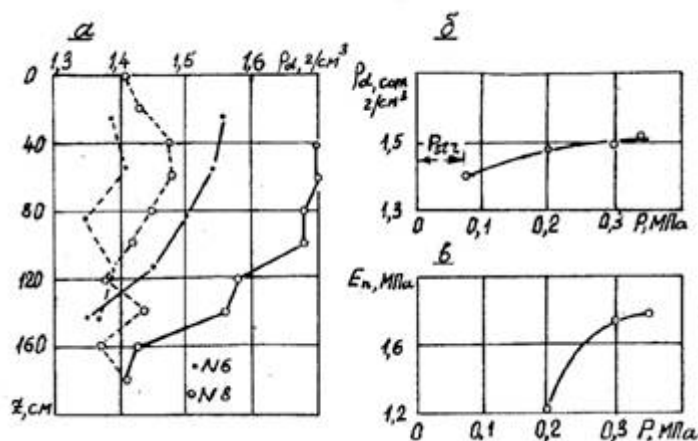


Рис. 3. Влияние давления по подошве фундамента на процессы деформирования грунтов: а) изменение плотности скелета грунта по глубине при повышении давления; б,в) графики зависимости среднего значения плотности скелета грунта и модуля деформации от давления

Среднее значение степени уплотнения в пределах центральной части зоны деформации уменьшается с увеличением площади штампа вследствие снижения влияния боковых деформаций на процессы деформирования грунтов. При снижении среднего значения плотности повышается величина модуля деформации за счет уплотнения. На рис.2,а и б приведены графики влияния площади штампа на изменение среднего значения плотности скелета грунта и модуля деформации.

При равной площади фундамента с повышением давления по подошве - повышается интенсивность уплотнения и увеличивается модуль деформации. На рис. 3,а и б приведены графики зависимости влияния давления на процессы деформирования грунта. Повышение плотности скелета грунта сопровождается снижением ее приращения с ростом давления.

Выводы

1. Модулем деформации следует учитывать сжимаемость грунтов в пределах зоны деформации за счет его уплотнения фундаментом.
2. На степень сжимаемости грунта оказывает влияние площадь фундамента, давление по его подошве, состав и состояние грунтов.

Литература

1. Голубков В.Н. Исследования деформаций лёссовых грунтов // Известия ВУЗ"ов. - Строительство и архитектура.- 1958. - № 11-12. - С.34-43.

2. Голубков В.Н., Тугаенко Ю.Ф., Шеховцов В.С. О некоторых закономерностях развития деформаций в лёссовых основаниях, и методы борьбы с осадками // Сб. науч. тр. Вопросы строительства на лёссовых грунтах. - Воронеж. - 1961. - С. 14-17.
3. Голубков В.Н., Тугаенко Ю.Ф., Шеховцов В.С. Полевые исследования зоны деформации в лёссовых основаниях // Известия ВУЗ"ов.- Строительство и архитектура. - 1963. - № 4 - С. 38-50.
4. Григорян А.А., Кулаченко В.Г. Полевые исследования деформаций просадочного грунта под опытными штампами // Основания фундаменты и механика грунтов. - 1965. - № 3.- С. 7-8.
5. Голубков В.Н., Тугаенко Ю.Ф., Марченко В.С., Синявский С.Д., Суходоев Ю.Ф., Бич Г.М. Результаты исследований параметров процесса деформаций основания опытных фундаментов // Известия ВУЗ"ов. - Строительство и архитектура. - 1981. - № 10. - С. 25-29.
6. Кодрянова Р.М. Определение размеров зоны деформации водонасыщенных, лёссовых грунтов // Основания фундаменты и механика грунтов. - 1969. - № 4. - С. 10-11.
7. Ефремов М.Г., Коновалов П.А., Михеев В.В. К вопросу о распределении послонных деформаций грунта в сжимаемой толще глинистых и песчаных оснований // Основания фундаменты и механика грунтов. - 1963. - № 6. - С. 5-7.
8. Лёссовые породы как основания зданий сооружений / В.П.Ананьев, Я.Д. Гильман, В.И. Коробкин, Л.В. Передельский. - Из-во Ростовского университета. - 1976. - 216 с.
9. Раевский И.Е. Влияние размеров штампов на характер просадки лёссовых грунтов // Основания фундаменты и механика грунтов. - 1962. - № 5. - С. 14-18.
10. Тугаенко Ю.Ф. Экспериментальные исследования совместной работы основания и фундаментов в лёссовых грунтах первого типа // Известия ВУЗ"ов. - Строительство и архитектура. - 1966. - № 2.- С. 22-31.
11. Тугаенко Ю.Ф. Исследования деформаций в основаниях опытных фундаментов в лёссовых грунтах первого типа // Основания фундаменты и подземные сооружения / Сб. научн. раб. Выпуск 2. М.: Высшая школа. - 1967. - С. 39-49.
12. Тугаенко Ю.Ф. Развитие деформаций в основаниях фундаментов, способы их ограничения и методы оценки. – Одесса: “Астропринт”, 2003. – 222с.
13. Швец В.Б., Казаков П.П. Измерения деформируемой зоны в связных грунтах // Основания фундаменты и механика грунтов. - 1965. - № 4. - С. 10-12.
14. Ji. Seyček. Průběh sedání základové půdy do hloubky // Inženýrské stavby. - ČSSR. - Bratislava. - 1982. - n 8. - p.368-379. (Процесс осадки грунта основания).
15. K. Frydlich. Odkształcenia podłoża gliniastego obciążonego płytą sztywną // Inżynieria i budownictwo. - Warszawa. - Wydawnictwo "Sigma". - 1984. - № 4. - str. 151-153. (Деформация глинистого основания под нагруженной жесткой плитой)