

ОЦЕНКА МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ В ПЕСЧАНЫХ ГРУНТАХ

¹Сысолятин С.Г., ¹Хрулев А.С.

¹ФГБОУ ВПО Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), nedra@nedra.perm.ru

Модуль общей деформации является одной из основных характеристик грунтов. Определение жесткости грунта или модулей деформации необходимо для решения одной из основных теоретических задач фундаментостроения, которой является прогноз осадки фундаментов, устойчивости сооружений на подрабатываемых территориях и др. Широко распространенный метод компрессионного сжатия дает заниженные значения модуля деформации. Модуль деформации грунта, найденный с использованием компрессионных кривых, отличается от действительного, т.к. при отборе образцов грунта всё же происходит какое-то нарушение его природной структуры, поэтому в практике широко используются полевые методы определения модуля деформации. Однако, они трудоемки и дорогостоящи. В том случае, когда на объекте необходимо провести большой объем штамповых испытаний или когда необходима информация в труднодоступных районах, необходимо разработать методику сокращения объема полевых работ, обеспечивающую получение надежной и достоверной информации. Объект исследований: территория дожимной компрессорной станции нефтяного месторождения. Идея, положенная в основу данной работы заключается в том, что первоначально изучается геологическое строение участка исследований, после чего проводится районирование и выделяются таксоны (ключевые участки). Для каждого таксона проводят определение модуля деформации компрессионным и штамповым методом. Затем рассчитывается корректировочный коэффициент для каждого таксона. По данным компрессионного сжатия прогнозируют модуль деформации для территорий со сходными инженерно-геологическими условиями. Это позволяет прогнозировать модуль деформации для соответствующих ИГЭ без проведения полевых работ и позволяет уменьшить количество полевых испытаний в несколько раз, что в свою очередь существенно сокращает сроки проведения работ и снижает стоимость изысканий.

Ключевые слова: грунт, модуль деформации, инженерно-геологический элемент, штамп, песок

EVALUATION OF DEFORMATION MODULUS IN SANDY SOILS

¹Sysolyatin S.G., ¹Khrulev A.S.

¹Perm State National Research University», National research», 614990, Perm, Bukireva str. 15, nedra@nedra.perm.ru

Module of structural strains is one of the main characteristics of the soil. Determination of soil stiffness or modulus of deformation is necessary to address one of the fundamental theoretical problems of foundation engineering, which is calculating of foundation settlement stability of structures on developed territories, etc. The widespread compression method gives decreased ration of the modulus of deformation. Modulus of deformation of the soil determined with the use of compression curve is different from the actual one because when sampling the soil there is certain violation of its natural structure, so on practice field methods for determining the deformation modulus are widely used. However, they are time-consuming and costly. In the case when it's required to hold a large amount of die tests or when information is needed in remote areas, there is need to develop a method of reducing the amount of field works, but providing reliable and accurate information. The object of research: the territory of a boosting compressor station of the oilfield. The idea forming the basis of this work lies in the fact that the geological structure of the site investigations is studied first, followed by zoning and stand taxa (key areas). For each taxon, determination of the deformation module by the compression and stamping methods is carried out. Then, the correction coefficient for each taxon is calculated. Using the compression data compression modulus of deformation is calculated for areas with similar geotechnical conditions. This allows to predict the deformation modulus for the corresponding IGE without conducting fieldwork and can reduce the number of the field tests several times, which in turn significantly reduces the time of work and reduces the cost of research.

Keywords: soil, deformation modulus, geotechnical element, stamp, sand

Актуальность. Модуль общей деформации является одной из основных характеристик грунтов. Он используется в расчетах осадок фундаментов, устойчивости сооружений на

подрабатываемых территориях и др. Широко распространенный метод компрессионного сжатия дает заниженные значения модуля деформации, поэтому в практике широко используются полевые методы определения модуля деформации. Однако, они являются трудоемкими и дорогостоящими. В том случае, когда на объекте необходимо провести большой объем штамповых испытаний или когда необходима информация в труднодоступных районах, необходимо разработать методику сокращения объема полевых работ, обеспечивающую получение надежной и достоверной информации.

Объект исследований: территория дожимной компрессорной станции нефтяного месторождения.

Идея, положенная в основу данной работы заключается в том, что первоначально изучается геологическое строение участка исследований, после чего проводится районирование, выделяются таксоны (ключевые участки). Для каждого таксона проводят определение модуля деформации компрессионным и штамповым методом. Затем рассчитывается корректировочный коэффициент для каждого таксона, и по данным компрессионного сжатия прогнозируется модуль деформации для территорий со сходными инженерно-геологическими условиями.

Оценка инженерно-геологических условий. В геологическом строении площадки проектируемого строительства принимают участие четвертичные аллювиальные отложения, перекрытые с поверхности техногенными грунтами. Коренные породы выработками до глубины 15,0 м не вскрыты.

Геолого-литологический разрез представлен (сверху вниз): насыпной грунт (ИГЭ 1) представлен песком мелким коричневым, средней плотности, малой степени водонасыщения, с включениями гравия и гальки до 3-12%, реже дресвы доломита до 5%, участками с частыми прослоями суглинка полутвердого. Грунт слежавшийся, отсыпан сухим способом, давность отсыпки – менее 5 лет. Слой встречается на площадке с поверхности повсеместно. Мощность 1,4-1,7 м. В период изысканий грунт до глубины 0,4 м сезонномерзлый. Показатели физико-механические свойств ИГЭ 1 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели физико-механических свойств насыпного грунта: песка мелкого малой степени водонасыщения (tQ) ИГЭ 1

Характеристика грунта	Кол-во определений	Интервал значений	Нормативное значение	Средне-квадратичное отклонение	Коэффициент вариации	Расчетные значения	
						0,85	0,95
Природная влажность, д.ед.	10	0,090-0,139	0,113	0,016	0,142		
Плотность, г/см ³	10	1,68-1,76	1,71	0,025	0,015	1,70	1,70
Плотность частиц грунта, г/см ³	10	2,65-2,66	2,65	0,005	0,002		
Плотность сухого грунта, г/см ³	10	1,51-1,60	1,54	0,025	0,016		
Пористость, %	10	39,46-42,86	42,15	0,992	0,024		

Коэффициент пористости	10	0,652-0,750	0,729	0,029	0,040		
Коэффициент водонасыщения, д.ед.	10	0,330-0,499	0,409	0,052	0,127		
Угол естественного откоса, град	сухого	6	32-34	33			
	водонасыщенного	6	30-32	31			
Гранулометрический состав по фракциям в мм, %	20-10	10	0,00-10,20	1,38			
	10,0-5,0	10	0,00-1,13	0,19			
	5,0-2,0	10	0,00-0,76	0,12			
	2,0-1,0	10	0,00-0,25	0,07			
	1,0-0,50	10	0,45-1,85	0,97			
	0,50-0,25	10	29,56-47,60	37,75			
	0,25-0,10	10	40,40-55,40	50,70			
< 0,10	10	5,08-11,40	8,83				
Коэффициент сжимаемости, 1/МПа	6	0,055-0,063	0,059	0,004	0,068		
Компрессионный модуль деформации, МПа	6	21,9-24,9	23,0	1,499	0,065		
Коэффициент внутреннего трения, д.ед.	6	0,58-0,62	0,60	0,015	0,025	0,59	0,59
Угол внутреннего трения, градус	6	30-32	31	0,816	0,026	31	30
Удельное сцепление, кПа	6	0	0				

Песок мелкий (ИГЭ 2) рыжевато-коричневый, коричневый, средней плотности, малой степени водонасыщения, с единичными включениями гравия, участками с редкими прослоями (до 1 см) суглинка. Слой встречается повсеместно под насыпным грунтом на глубине 1,4-1,7 м, мощностью 3,3-5,2 м. Показатели физико-механические свойств ИГЭ 2 приведены в таблице 2.

Таблица 2

Показатели физико-механических свойств песка мелкого малой степени водонасыщения (аQ) ИГЭ 2

Характеристика грунта	Кол-во определений	Интервал значений	Нормативное значение	Средне-квадратичное отклонение	Коэффициент вариации	Расчетные значения	
						0,85	0,95
Природная влажность, д.ед.	16	0,046-0,067	0,057	0,006	0,105		
Плотность, г/см ³	16	1,62-1,78	1,68	0,046	0,027	1,67	1,66
Плотность частиц грунта, г/см ³	16	2,65-2,67	2,66	0,006	0,002		
Плотность сухого грунта, г/см ³	16	1,53-1,70	1,59	0,044	0,028		
Пористость, %	16	36,03-42,60	40,21	1,670	0,042		
Коэффициент пористости	16	0,563-0,742	0,674	0,046	0,068		
Коэффициент водонасыщения, д.ед.	16	0,193-0,277	0,226	0,026	0,115		
Коэффициент фильтрации, м/сут.	3	1,09-2,87	2,10				
Угол естественного откоса, град	сухого	6	32-34	33			
	водонасыщенного	6	29-32	31			
Гранулометрический состав по фракциям в мм, %	1,0-0,50	16	0,10-1,85	1,17			
	0,50-0,25	16	31,10-48,35	41,88			
	0,25-0,10	16	40,55-62,65	48,79			
	0,10-0,05	16	3,20-9,99	6,81			
	0,05-0,01	16	0,0-8,81	1,26			
	0,01-0,005	16	0,00	0,00			
	< 0,005	16	0,00-0,80	0,09			
Коэффициент сжимаемости, 1/МПа	9	0,050-0,069	0,057	0,007	0,123		
Компрессионный модуль деформации, МПа	9	19,8-24,8	23,2	2,082	0,090		

Коэффициент внутреннего трения, д.ед.	7	0,56-0,64	0,63	0,030	0,048	0,62	0,61
Угол внутреннего трения, градус	7	29-33	32	1,512	0,047	32	31
Удельное сцепление, кПа	7	1	1	0,000	0,000	1	1

Песок средней крупности (ИГЭ 3) коричнево-серый, серовато-коричневый, серый, средней плотности, участками плотный, водонасыщенный, с редкими прослоями (до 1-2 см) суглинка мягкопластичного. Слой встречается повсеместно под песком мелким на глубине 4,8-6,7 м, вскрытой мощностью 3,3-10,2 м. Показатели физико-механических свойств ИГЭ 3 приведены в таблице 3.

Таблица 3

Показатели физико-механических свойств песка средней крупности водонасыщенного (аQ) ИГЭ 3

Характеристика грунта	Кол-во определений	Интервал значений	Нормативное значение	Средне-квадратичное отклонение	Коэффициент вариации	Расчетные значения	
						0,85	0,95
Природная влажность, д.ед.	17	0,158-0,196	0,173	0,008	0,046		
Плотность, г/см ³	17	1,96-2,10	2,01	0,043	0,021	2,00	1,99
Плотность частиц грунта, г/см ³	17	2,65-2,67	2,65	0,006	0,002		
Плотность сухого грунта, г/см ³	17	1,66-1,79	1,71	0,037	0,022		
Пористость, %	17	32,38-37,32	35,43	1,436	0,041		
Коэффициент пористости	17	0,479-0,595	0,549	0,034	0,062		
Коэффициент водонасыщения, д.ед.	17	0,801-1,000	0,837	0,061	0,073		
Коэффициент фильтрации, м/сут.	4	0,91-2,92	2,01				
Угол естественного откоса, град	сухого	6	33-36	35			
	водонасыщенного	6	31-33	32			
Гранулометрический состав по фракциям в мм, %	1,0-0,50	17	0,60-1,95	1,31			
	0,50-0,25	17	49,00-55,75	51,86			
	0,25-0,10	17	34,10-44,35	40,92			
	0,10-0,05	17	2,50-9,20	5,51			
	0,05-0,01	17	0,00-2,00	0,39			
Коэффициент сжимаемости, 1/МПа	6	0,032-0,044	0,038	0,004	0,105		
Компрессионный модуль деформации, МПа	6	28,1-39,1	32,7	3,980	0,122		
Коэффициент внутреннего трения, д.ед.	6	0,66-0,74	0,71	0,030	0,042	0,70	9
Угол внутреннего трения, градус	6	33-36	35	1,169	0,033	35	34
Удельное сцепление, кПа	6	1-2	2	0,548	0,274	2	2

Проведено районирование территории, выделено 2 таксона. Исследование модуля деформации проводилось на территории таксона 2 (ключевой участок 2).

Методика испытания штампами. Согласно требованиям п.п. 5.8, 7.13, 8.16 СП 11-105-97, часть I для сооружений повышенного уровня ответственности (площадка насосов) проведены испытания грунтов статическими нагрузками винтовым штампом площадью 600 см² (Рис 1.). Тип и площадь штампа определены в зависимости от испытываемого грунта согласно таблице 5.1 (ГОСТ 20276-2012). Подготовка к испытанию грунта штампом и проведение опыта выполнено в соответствии с ГОСТ 20276-2012. По данным испытаний

построены графики зависимости осадки штампа от давления согласно п.п. 5.5.1 ГОСТ 20276-2012. Модуль деформации грунта E , МПа, рассчитан соответственно п. 5.5.2 ГОСТ 20276-2012.

Результаты испытаний приведены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты определения деформационных характеристик грунтов на ключевом участке №2

№ штампа	Отметка поверхности земли, м	Отметка основания штампа, м	Глубина проведения испытания, м	Компрессионный модуль деформации в интервале 0,1–0,2 МПа	Модуль деформации по штамповым испытаниям	Корректировочный коэффициент, m_k	
						Частные значения	Среднее значение
Насыпной грунт: песок мелкий малой степени водонасыщения (tQ), ИГЭ 1							
1	134,37	133,37	1,0	22,1	23,8	1,1	1,1
4	134,30	133,30	1,0	22,0	24,4	1,1	
Песок мелкий малой степени водонасыщения (aQ), ИГЭ 2							
2	134,37	130,37	3,0	24,8	29,52	1,2	1,2
5	134,28	130,28	4,0	24,6	29,76	1,2	
Песок средней крупности водонасыщенный (aQ), ИГЭ 3							
3	134,41	123,59	9,0	39,1	41,63	1,1	1,3
6	134,26	120,48	9,0	28,8	42,39	1,5	

Из таблицы видно, что для каждого выделенного инженерно-геологического элемента на ключевом участке №2 рассчитаны корректирующие коэффициенты. Так, для ИГЭ 1 корректирующий коэффициент составляет $m_k = 1,1$; для ИГЭ 2 он равен $m_k = 1,2$; для ИГЭ 3 – $m_k = 1,3$. Установлено, что с увеличением крупности песков корректирующий коэффициент возрастает: в песках мелких $m_k = 1,2$; а в песках средней крупности $m_k = 1,3$.

Закключение. Дана оценка инженерно-геологических условий территории исследований. Установлено, что по данным компрессионных испытаний в лабораторных условиях на участках №№ 1, 3, 4 и с использованием значения корректирующих коэффициентов, полученных на ключевом участке №2, можно прогнозировать модуль деформации для соответствующих ИГЭ без проведения полевых работ.

Это позволит уменьшить количество полевых испытаний с 18 до 6, что существенно сократит сроки проведения работ и снизит стоимость изысканий.

Список литературы

1. Болдырев Г.Г., Арефьев Д.В., Гордеев А.В. Определение деформационных характеристик грунтов различными лабораторными методами // Инженерные изыскания. 2010. №8. С. 16-23.
2. Зиангиров Р.С., Кошелев А.Г. Определение модуля деформации грунтов методом нагружения штампа // Инженерные изыскания. 2010. №2. С. 26-31.
3. Каченов В.И., Середин В.В., Карманов С.В. К вопросу о влиянии нефтяных загрязнений на свойства грунтов // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2011. № 11. С. 164-165.
4. Красильников П.А., Середин В.В., Леонович М.Ф. Исследование распределения углеводородов по разрезу грунтового массива // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-14. С. 3100-3104.
5. Середин В.В. Исследование температуры пород в зоне трещины разрушения // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-12. С. 2713-2717.
6. Середин В.В., Галкин В.И., Пушкарева М.В., Лейбович Л.О., Сметанин С.Н. Вероятностно-статистическая оценка инженерно-геологических условий для специального районирования // Инженерная геология. 2011. № 4. С. 42-47.
7. Середин В.В., Каченов В.И., Ситева О.С., Паглазова Д.Н. Изучение закономерностей коагуляции глинистых частиц // Фундаментальные исследования. 2013. № 10-14. С. 3189-3193.
8. Середин В.В., Леонович М.Ф., Красильников П.А. Прогноз фильтрации углеводородов в дисперсных грунтах при разработке нефтяных месторождений // Нефтяное хозяйство. 2015. №5. С.106-109.
9. Середин В.В., Стародумова А.О., Пушкарева М.В., Лейбович Л.О. Экспериментальное изучение распределения углеводородного загрязнения в геологической среде // Нефтяное хозяйство. 2014. №10. С.131-133.
10. Середин В.В., Сысолятин С.Г., Вагин А.Л., Хрулев А.С. Влияние напряженного состояния грунтов на модуль деформации // Инженерная геология. 2015. № 2. С. 12-16.
11. Середин В.В., Красильников П.А., Чижова В.А. Влияние вязкости поровой жидкости (углеводородов) на модуль деформации глины // Инженерная геология. 2015. № 4. С. 60-63.

12. Середин В. В., Ядзинская М. Р., Красильников П.А. Прогноз прочностных свойств песков, загрязненных углеводородами // Инженерная геология. 2014. № 6. С. 42-47.
13. Текучев Ю.Б., Конашинская Е.П. О полевых испытаниях грунтов штампами малой площади // Инженерные изыскания. 2010. №8. С.24-25.

Рецензенты:

Ибламинов Р.Г., д.г.-м.н., зав. кафедрой минералогии и петрографии Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь;

Середин В.В., д.г.-м.н., профессор, заведующий кафедрой инженерной геологии и охраны недр Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.