

УДК

## **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ИСПЫТАНИЯ НА МОДУЛЬ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТОВ**

Болдырев Г.Г., Гордеев А.В., Новичков А.Г.  
(ООО «НПП Геотек», ООО «Строй-Тех»)

Летом 2007 года на площадке проектируемого трехсекционного 9-ти этажного жилого дома в г.Набережные Челны были проведено комплексное определение модуля деформации грунтов. В программу исследований входили испытания грунтов штампом, испытания образцов грунта в компрессионном приборе, испытания образцов грунта в стабилометре. Цель испытаний заключалась в определении влияния методов испытаний на модель деформации грунтов. Методика испытаний принята стандартной, в рамках ГОСТ 12248-96 [1] и ГОСТ 1248-96 [2].

### **1. Физико-механические свойства грунтов по результатам ранее выполненных инженерно-геологических изысканий. Площадка строительства жилого дома номер 4А-4**

В результате инженерно-геологических изысканий, выполненных в 2005 г. ОАО «Камский трест инженерно-строительных изысканий» [3] на площадке строительства выделено 7 инженерно-геологических элементов (рис. 1, 2).

Компрессионный модуль деформации твердой супеси ИГЭ 3а/1 при показателе текучести  $I_L < 0$  и коэффициенте пористости  $e = 0,69$  равен  $E_k = 10,2$  МПа в естественном состоянии и при водонасыщении  $S_r = 0,8$  равен 7,8 МПа, удельный вес  $\gamma = 17,6$  кН/м<sup>3</sup>.

Компрессионный модуль деформации пылеватого песка средней плотности ИГЭ 4а при коэффициенте пористости  $e = 0,67$  равен  $E_k = 14,6$  МПа в естественном состоянии и при водонасыщении 12,2 МПа, удельный вес  $\gamma = 17,1$  кН/м<sup>3</sup>.

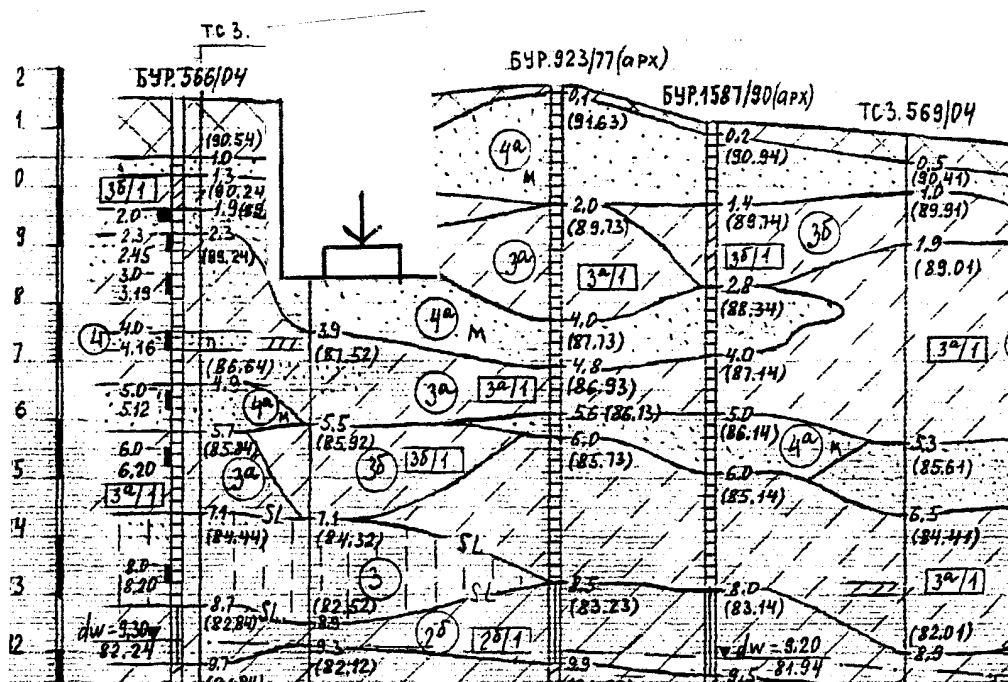


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез и место испытания штампом, песок пылеватый средней плотности (штамп 1, отметка 88,30 м, глубина шурфа 3,2 м)

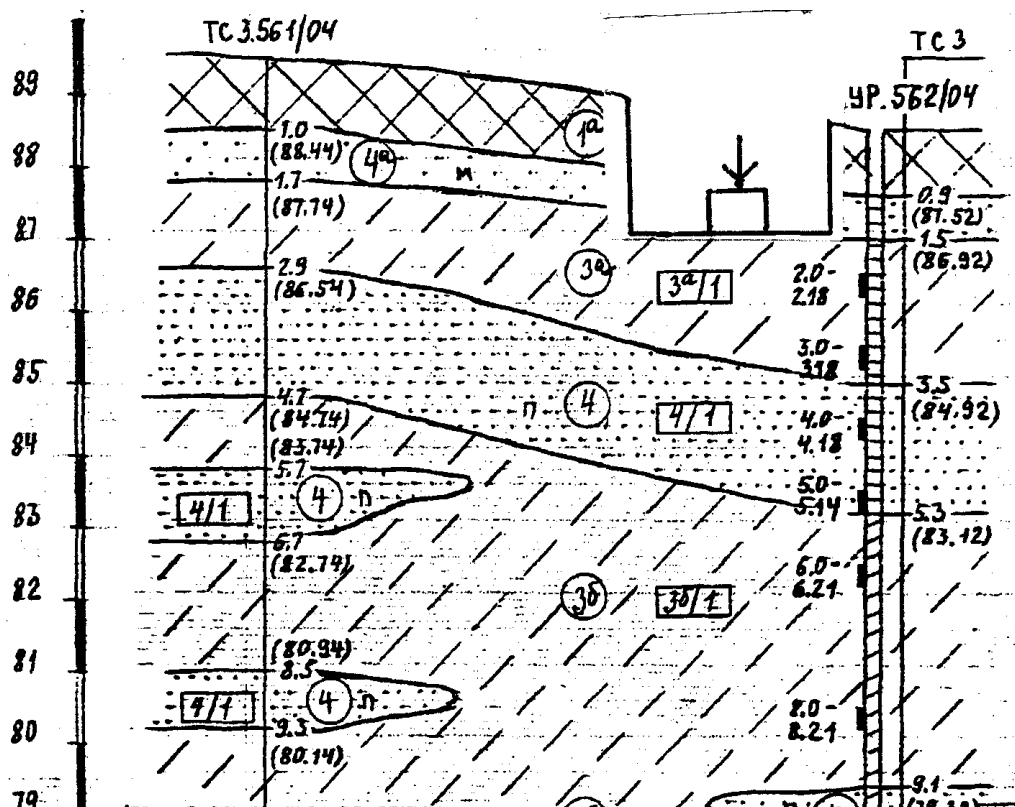


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез и место испытания штампом, супесь твердая (штамп 3 на отм. 87,00 м, глубина шурфа 2 м)

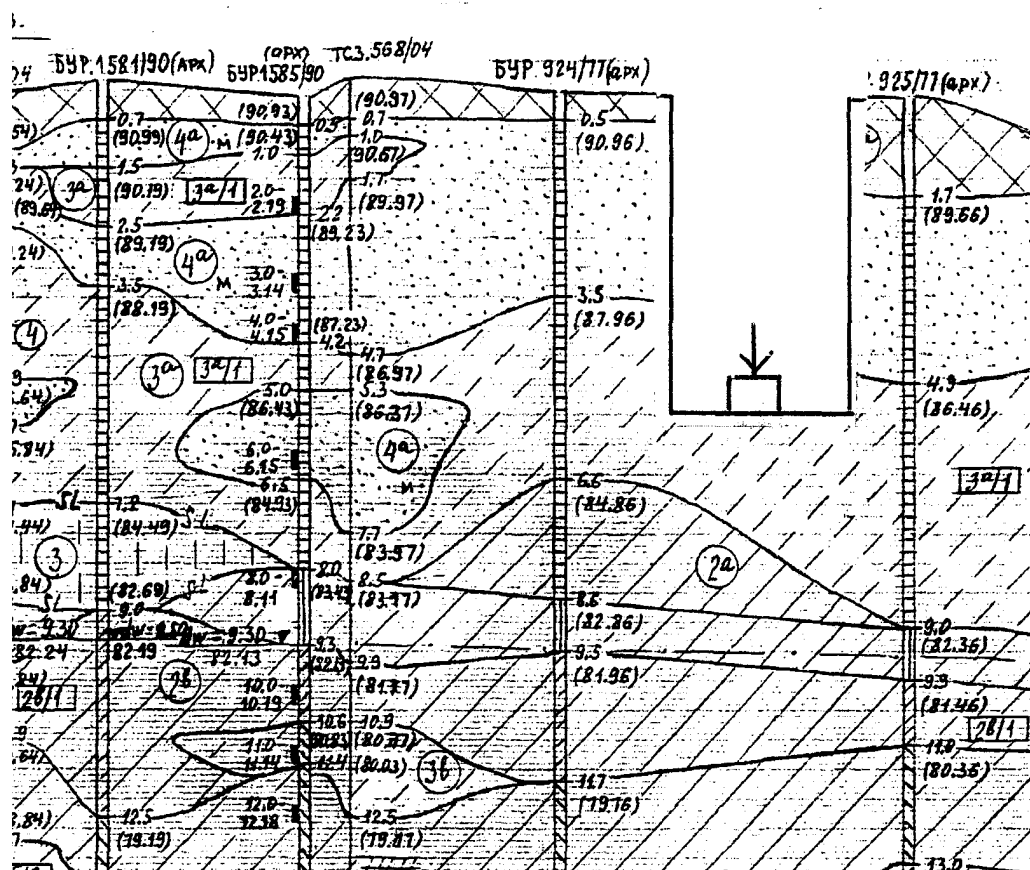


Рис. 3. Испытания штампом, супесь твердая (штамп 2 на отм. 85,90 м, глубина шурфа 10 м)

## 2. Испытания грунтов штампом

Согласно п. 5.8 СП 11-105-97 [4] полевые исследования грунтов следует проводить при изучении массивов грунтов, в том числе и с целью определения деформационных свойств грунтов в условиях естественного залегания. Приложение Ж [4] рекомендует проводить испытания штампом по ГОСТ 20276-85 с целью определения деформационных свойств крупнообломочных, песчаных и глинистых грунтов.

Испытания грунтов штампами предусматриваются также для корректировки значений модуля деформации грунтов, определенных в лабораторных условиях, при их использовании для расчетов оснований зданий и сооружений I-II уровня ответственности. При определении деформационных характеристик грунтов и их корректировке в качестве эталонного метода рекомендуется проводить испытания штампом площадью не менее 2500-5000 см<sup>2</sup>.

Модуль деформации грунта определяют по графику зависимости осадки штампа от давления при испытании грунта штампом. Минимальная толщина испытываемого слоя грунта должна составлять не менее двух диаметров штампа. Образцы грунта для

определения его характеристик отбирают на расстоянии не более 3 м от оси выработки для проведения испытаний. Образцы грунта были отобраны (рис. 6 а) на расстоянии не более 1 м от мест штамповых испытаний с целью последующего их испытания в условиях трехосного и компрессионного сжатия.

### *Приборы и оборудование*

В опытах применялся квадратный штамп (рис. 4 а) размером 1,5х1,5х0,4 м, выполненный из железобетона с массой 2,07 тн. Нагружение штампа (рис. 4 б) осуществлялось фундаментными блоками ФБС 6 длиной 2,4 м и массой 1,9 тн.



Рис. 4. Штамп площадью 22500 см<sup>2</sup> и нагружение штампа весом фундаментных блоков.

Измерение осадки штампа измерялось в четырех точках с использованием датчиков перемещений LVDT (рис. 5 а) и регистрирующей аппаратуры производства ООО «Геотек»



Рис. 5. Датчик перемещений и его крепление к реперной системе и блок регистрирующей аппаратуры с компьютером

(рис. 5 б). Точность измерения перемещений (осадки) – 0,01 мм. Осадку штампа измеряли как среднеарифметическое из показаний четырех датчиков перемещений, расположенные с каждой из сторон квадратного штампа.

#### *Подготовка к испытаниям*

Штамп устанавливался на выравненную поверхность грунта (рис. 6 б). Для достижения плотного контакта подошвы штампа с грунтом поверхность грунта засыпалась маловлажным песком толщиной 1-2 см с выравниванием по уровню. После установки штампа тем же уровнем проверялось горизонтальность его положения.



Рис. 6. Отбор монолитов супеси. Штамп номер 3 и подготовка дна выработки перед установкой штампа

#### *Проведение испытаний*

После монтажа штампа, установки реперной системы, датчиков перемещения и измерительной системы создавалась первая ступень нагружения, равная вертикальному нормальному напряжению от собственного веса грунта  $\sigma_{zg,0}$  на отметке испытания. В первую ступень давления входит также вес штампа.

После стабилизации перемещений от собственного веса грунта нагрузку на штамп увеличивали ступенями. За критерий условной стабилизации деформации принималась скорость осадки штампа, не превышающую 0,1 мм за время, указанное в [1]. Время выдержки каждой последующей ступени давления должно быть не менее времени выдержки предыдущей.



Отсчеты с датчиков перемещений измерялись автоматически с использованием управляющей программы GEOTEK ASIS и заносились в журнал испытаний. Отсчеты с датчиков на каждой ступени производились для пылеватого песка (ИГЭ 4а) через каждые 10 мин в течение первого получаса, 15 мин – в течение второго получаса и далее через 30 минут. При испытании супеси отсчеты с датчиков перемещений на каждой ступени производились через каждые 10 мин в течение первого получаса, 15 мин – в течение второго получаса и далее через 30 мин.

### *Обработка результатов*

Для вычисления модуля деформации  $E$  строят график зависимости осадки от давления  $S = f(p)$ , откладывая по оси абсцисс значения  $P$  и по оси ординат - соответствующие им условно стабилизированные значения  $S$  (рекомендуемое приложение 8 ГОСТ 20276-85). Через нанесенные на график четыре опытные точки необходимо провести осредняющую прямую методом наименьших квадратов или графическим методом.

За начальные значения  $P_0$  и  $S_0$  (первая точка, включаемая в осреднение) принимают давление, равное напряжению  $\sigma_{zg,0}$  и соответствующую осадку; за конечные значения  $P_n$  и  $S_n$  - значения  $P_i$  и  $S_i$ , соответствующие четвертой точке графика на прямолинейном участке.

Модуль деформации грунта  $E$ , МПа ( $\text{кгс/см}^2$ ), вычисляют для линейного участка графика  $S = f(p)$  по формуле:

$$E = (1 - \nu^2) K_p K_1 b \frac{\Delta p}{\Delta S},$$

где  $\nu$  - коэффициент Пуассона;  $K_p$  - коэффициент, принимаемый в зависимости от заглубления штампа  $d/b$ ;  $d$  - глубина расположения штампа относительно поверхности грунта, см;  $b$  - диаметр или ширина штампа, см;  $K_1$  - коэффициент, принимаемый для жесткого квадратного штампа равным 0,88 [5];  $\Delta P$  - приращение давления на штамп, МПа, равное  $P_n - P_0$ ;  $\Delta S$  - приращение осадки штампа, соответствующее  $\Delta P$ , см, определяемое на осредняющей прямой. Коэффициент  $K_p$  принимают равным 1 при испытаниях грунтов штампами в котлованах, шурфах и дудках независимо от  $d/b$ .

Модуль деформации определен в интервале давления 100 – 200 кПа и имеет значения приведенные в табл. 1.

Табл. 1. Значения штампового модуля деформации

Наименование объекта	Модуль деформации, МПа		
	Песок пылеватый, ИГЭ-4а	Супесь тугопластичная ИГЭ-3а/1	Супесь полутвердая, ИГЭ-3а
Жилой дом 4А-4	38,20		13,18
Жилой дом 4А-5		10,22	

### 3. Испытания образцов грунта в компрессионном приборе

Испытания в условиях компрессионного сжатия были выполнены с использованием измерительно-вычислительного комплекса АСИС [6], в состав которого входят следующие приборы: компрессионный прибор, прибор одноплоскостного среза, прибор трехосного сжатия. Методика испытаний принята по ГОСТ 12248-96.

Ниже приведены результаты испытаний образцов ненарушенной структуры.

*Супесь полутвердая (ИГЭ-3а).* Показатель текучести  $I_L = 0,14$ ; степень влажности  $S_r = 0,74$ ; влажность  $w = 0,17$ ; коэффициент пористости  $e = 0,62$ . Среднее значение модуля деформации из трех испытаний в интервале давлений 100 – 200 кПа, равно  $E = 3,63$  МПа. Средние значения результатов испытаний приведены в табл. 2.

Табл. 2. Результаты компрессионных испытаний ИГЭ-3 а

$\sigma$ , МПа	$\Delta h_i$ , мм	$\varepsilon$	$E$ , МПа	$m_0$ , МПа <sup>-1</sup>	$e$
0	0	0	0	0	0,620
0,048	0,995	0,040	0,89	1,346	0,556
0,101	1,346	0,054	2,78	0,432	0,533
0,198	1,875	0,075	3,42	0,352	0,498
0,298	2,118	0,085	7,63	0,158	0,483
0,397	2,292	0,092	10,56	0,114	0,471

*Песок пылеватый (ИГЭ-4а).* Коэффициент пористости  $e = 0,41$ ; степень влажности  $S_r = 0,27$ . Среднее значение модуля деформации из трех испытаний в интервале давлений 100 – 200 кПа, равно  $E = 14,0$  МПа. Средние значения результатов испытаний приведены в табл. 3.

Табл. 3. Результаты компрессионных испытаний ИГЭ-4 а

$\sigma$ , МПа	$\Delta h_i$ , мм	$\varepsilon$	E, МПа	$m_0$ , МПа <sup>-1</sup>	e
0	0	0	0	0	0,699
0,048	0,336	0,013	2,6	0,485	0,677
0,101	0,454	0,018	8,14	0,155	0,669
0,198	0,583	0,023	14,43	0,088	0,660
0,298	0,659	0,026	24,29	0,052	0,655
0,397	0,722	0,029	29,57	0,043	0,650

Супесь тугопластичная (ИГЭ-3а/1). Показатель текучести  $I_L = 0,14$ ; степень влажности  $S_r = 0,62$ ; влажность  $w = 0,15$ ; коэффициент пористости  $e = 0,67$ . Среднее значение модуля деформации из трех испытаний в интервале давлений 100 – 200 кПа, равно  $E = 8,3$  МПа. Средние значения результатов испытаний приведены в табл. 4.

Табл. 4. Результаты компрессионных испытаний ИГЭ-3 а/1

$\sigma$ , МПа	$\Delta h_i$ , мм	$\varepsilon$	E, МПа	$m_0$ , МПа <sup>-1</sup>	e
0	0	0	0	0	0,666
0,048	0,471	0,019	1,94	0,639	0,635
0,101	0,663	0,027	5,19	0,238	0,622
0,198	0,86	0,034	9,19	0,135	0,609
0,298	0,958	0,038	18,17	0,068	0,602

#### 4. Испытания образцов грунта в приборе трехосного сжатия – стабилометре

Испытания образцов грунта с ненарушенной структурой диаметром 38 мм и высотой 76 мм были выполнены в стабилометре с использованием измерительно-вычислительного комплекса АСИС. Схема испытания консолидированно-дренированная по траектории сжатия. Значения модулей деформации для различных грунтов приведены в табл. 5.

Табл. 5. Стабилометрический модуль деформации

Наименование грунта	Боковое давление, кПа					
	100		200		300	
	E, МПа	$\nu$	E, МПа	$\nu$	E, МПа	$\nu$
Супесь	8,6	0,31	12,3	0,27	17,0	0,32



полутвердая						
Песок мелкий	17,4	0,26	36,0	0,3	54,0	0,3
Супесь тугопластичная	9,0	-	15,0	-	22,1	-

### 5. Сопоставление результатов испытаний

Значения компрессионного модуля деформации, приведенные в табл. 2-4 получены в интервале давлений 100- 200 кПа, а трехосные испытания, проведены при различном боковом давлении в 100, 200 и 300 кПа. Как видно из табл. 6 значения модуля деформации, полученные из испытаний в условиях трехосного сжатия, при боковом давлении в 100, 200 и 300 кПа.

Табл. 6. Сравнение значений модуля деформации, определенных различными методами

Наименование грунта	Модуль деформации, МПа						$m_k$
	Компресс-сионные испытания (100 – 200) кПа	Трехосные испытания				Штамповые испытания	
		E, МПа	$\nu$	$\sigma_3$ , кПа	Бытовое давление, кПа		
Песок мелкий, средней плотности	13,81 (14,6)	17,43	0,26	100	54,0	38,20	2,6
		35,94	0,30	200			
		54,03	0,30	300			
Супесь полутвердая	3,63	8,57	0,31	100	170,0	10,20	3,4
		12,27	0,27	200			
		16,95	0,32	300			
Супесь тугопластичная	8,33 (10,2)	9,14		100	34,0	13,18	1,8
		15,17	-	200			
		22,12		300			

Примечание. В скобках в первом столбце приведены значения модуля деформации, определенные трестом ОАО «КамГисиз» [3]

Значения модуля деформации в 200 кПа близки к штамповому модулю деформации. Трехосный модуль деформации более компрессионного. Коэффициент перехода  $m_k$  изменяется от 1,8 до 2,6. В тоже время, штамповый модуль деформации имеет значения близкие к трехосному модулю деформации.

Однако следует иметь в виду следующее обстоятельство. Образцы грунта для испытаний отобраны с различной глубины, что соответствует бытовому давлению 54, 170 и 34 кПа. Испытания в условиях трехосного сжатия должны проводиться после изотропной консолидации образцов указанным бытовым давлением. Как видно из табл. 6 подобное условие было выдержано только для образцов супеси полутвердой, когда боковое давление в камере стабилометра было равно 200 кПа. В других двух испытаниях боковое давление было менее бытового давления.

#### Выводы:

1. Значения модуля деформации зависят от метода его определения. Наибольшие расхождения имеются между компрессионным и штамповым модулем деформации.
2. Значения стабилометрического модуля деформации зависят от давления предварительного уплотнения перед сдвигом и совпадают с данными штамповых испытаний только при определенной величине давления предварительного уплотнения. В выполненных опытах это совпадение имеет место при боковом давлении в камере стабилометра и в основании штампа, равное 200 кПа.

#### Литература

1. ГОСТ 20276-85. Методы полевого определения характеристик деформируемости. М., 1985.
2. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М., 1997.
3. Инженерно-геологическое заключение по объекту: «4-А микрорайон в пос. ГЭС г.Набережные Челны РТ». II Этап. ОАО «КамТИСИЗ», 2005.
4. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. М., 2005. – 131 с.
5. Цытович Н.А. Механика грунтов. М., 1979.
6. Измерительно-вычислительный комплекс АСИС. [www.geotek.ru](http://www.geotek.ru).