

ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ И МЕХАНИКА ГРУНТОВ



—

УЧРЕДИТЕЛЬ : АССОЦИАЦИЯ “ФУНДАМЕНТ”.

1



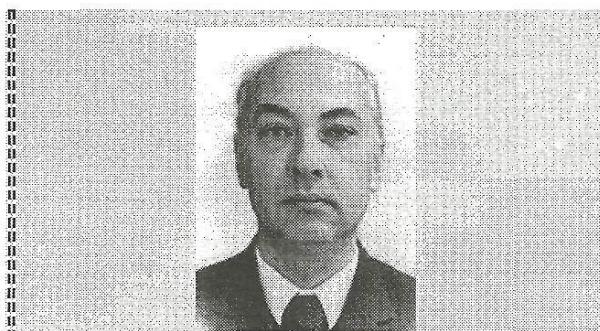
2005



УДК 624.131.54:624.131.35

ОЦЕНКА ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ ПО ДАННЫМ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

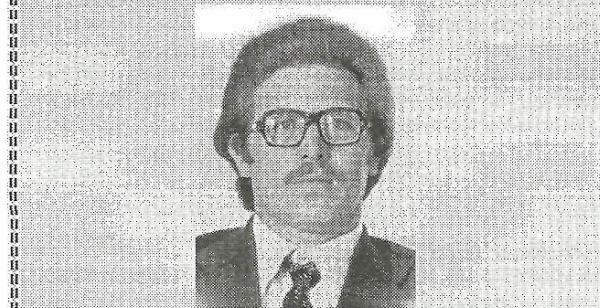
Приведены уравнения для оценки модуля деформации дисперсных (песчаных, супесчаных и глинистых) грунтов по данным статического зондирования. Уравнения составлены на основании многочисленных параллельных определений модуля деформации штампами и сопротивления грунта погружению стандартного зонда II типа. Впервые приводятся статистические зависимости для юрских глин, а также супесей различного генезиса.



ЗИАНГИРОВ РЭМ САБИРОВИЧ

Доктор геолого-минералогических наук, профессор главный геолог Мосгоргеотреста, член Президиума РОМГГиФ, лауреат Государственной премии СССР, академик РАЕН.

Основные направления научной деятельности – инженерно-геологические изыскания и прогноз изменения инженерно-геологических условий на площадках строительства зданий и сооружений, физико-механические свойства дисперсных грунтов. Автор свыше 150 опубликованных работ, в том числе 6 монографий и учебников.



КАШИРСКИЙ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ

Начальник отдела инженерно-геологических изысканий НИИОСПа им. Н.М. Герсеванова.

Основное направление научной деятельности – полевые методы инженерно-геологических изысканий (статическое зондирование, испытание грунтов штампами, прессиометрия).

Автор более 20 опубликованных работ, в том числе 11 изобретений.

Статическое зондирование широко применяется в практике инженерных изысканий для предварительной оценки параметров деформационных свойств глинистых грунтов путем использования корреляционных зависимостей, установленных для грунтов-аналогов. Уравнения, связывающие параметры статического зондирования и деформируемости грунта, зависят от его вида [1, 2].

Корреляционная зависимость между параметром статического зондирования q_c и параметрами деформационных свойств (E_u – модуль общей деформации штамповий, E_k – дренированный компрессионный модуль деформации) имеет вид

$$E_u = aq_c \quad (1)$$

или

$$E_u = aq_c + b, \quad (2)$$

где a и b – эмпирические коэффициенты, зависящие от вида грунта.

В практике зарубежных исследований обычно устанавливается связь между E_k (дренированные испытания) и сопротивлением грунта внедрению конуса при статическом зондировании q_c

$$E_k = a_k q_c \quad (3)$$

В табл. 1 приведены значения q_c и a_k для различных видов глинистых грунтов [3], из которой видно, что коэффициент a_k зависит от q_c (чем выше q_c , тем ниже a_k).

Для слабых органо-минеральных глинистых грунтов коэффициент a_k снижается с ростом влажности или уменьшением плотности.

В работах [4...6] предлагается оценивать модуль E_k по результатам статического зондирования по следующему уравнению:

Таблица 1

Грунты	Сопротивление грунта внедрению конуса q_c , МПа	Коэффициент пропорциональности a_k
Суглинки и глины низкой пластичности	<0,7	3 - 8
	0,7 - 2	2 - 5
	>2	1 - 2,5
Суглинки легкие, супеси	<2	3 - 6
	>2	1 - 3
Суглинки тяжелые, глины высокой пластичности	<2	2 - 6
Органо-минеральные глинистые грунты	<1,2	2 - 8
Торф и органо-минеральные глинистые грунты (илы)	<0,7	-
	50 < W < 100	1,5 - 4
	100 < W < 200	1 - 1,5
	$W > 200$	0,4 - 1

$$E_k = a_k(q_c - \sigma_{v0}), \quad (4)$$

где q_c – скорректированное значение сопротивления грунта погружению конуса; σ_{v0} – природное давление тотальное.

Значение a_k в (4) для глинистых грунтов изменяется от 5 до 15.

Помимо определения по данным статического зондирования модуля E_k , зарубежными исследователями [4] рекомендуется определять недренированный компрессионный модуль деформации E_k^H (мгновенный модуль упругости)

$$E_k^H = 12(q_c - \sigma_{v0}^e) \text{ при } q_c \leq 1 \text{ МПа}; \quad (5)$$

$$E_k^H = 8(q_c - \sigma_{v0}^e) \text{ при } q_c \leq 3 \text{ МПа}, \quad (6)$$

где σ_{v0}^e – природное давление эффективное.

В отечественной практике для прогноза осадки фундаментов сооружений для дисперсных грунтов принято использовать модуль деформации, определенный по данным полевых штамповых испытаний, или компрессионный модуль деформации, но приведенный к штамповому значению. Обычно в зависимости от вида грунта (супеси, суглинки, глины) и коэффициента пористости e переходный коэффициент от компрессионного к штамповому модулю деформации t_k может достигать 4...6 для нормально уплотненных и переуплотненных глинистых грунтов, или быть меньше единицы [7] для слабых, органо-минеральных глинистых грунтов.

В табл. 2 приведены основные статистические зависимости между E_w и q_c по работам отечественных исследователей [8...11], которые устанавливали связи на основе параллельных

Таблица 2

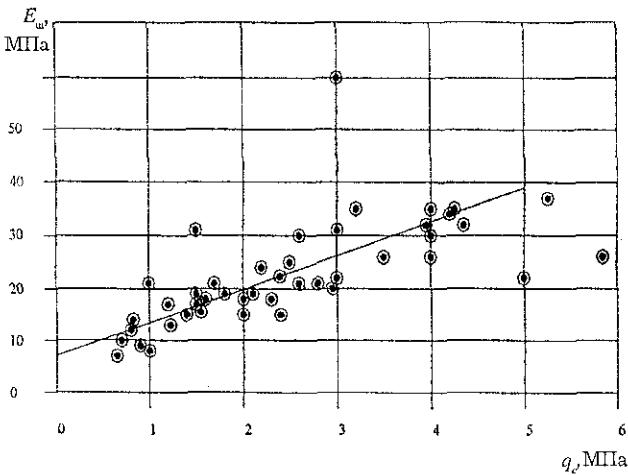
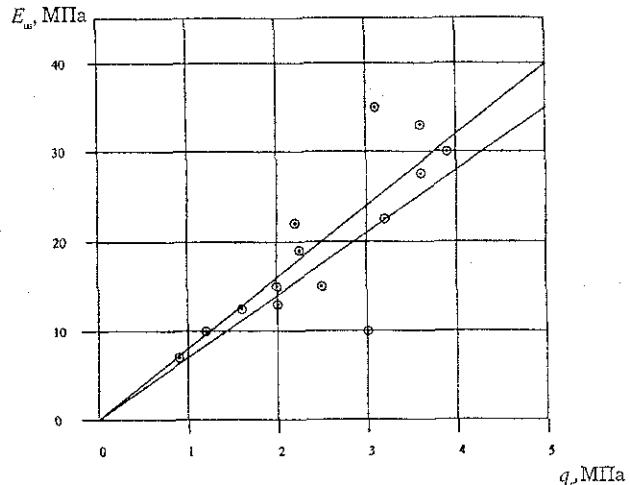
Грунты	E_w	Литература
Глинистые	$7q_c$	СН-448-72
Суглинки делювиальные, флювиогляциальные $q_c = 0,5\text{--}5$ МПа	$4,9q_c + 12,3$	[11]
Супеси и суглинки моренные $q_c = 1\text{--}15$ МПа	$3,1q_c + 7,7$	[8]
Суглинки и глины современные аллювиальные и озерно-болотные	$7q_c$	[9]
Суглинки покровные, озерно-болотные, озерно-ледниковые	$7q_c$	[9]
Суглинки и глины покровные, озерно-болотные, озерно-ледниковые	$7,8q_c + 2$	МГСН-2.07-97
Суглинки и глины моренные	$7q_c + 5$	[9]
То же	$8q_c + 7,5$	МГСН-2.07-97
Суглинки и глины флювиогляциальные	$3q_c + 8$	[9]
То же	$5,4q_c + 7,4$	МГСН-2.07-97
Супеси	$3,5q_c$	[10]
Суглинки	$5,5q_c$	[10]
Глины	$7,0q_c$	[10]

испытаний глинистых грунтов путем нагружения штампов [12] и проведения статического зондирования [13].

Анализ уравнений табл. 2 показывает значительную вариацию опытных параметров в зависимости от вида грунта и условий проведения испытаний, т. е. статистические уравнения могут быть использованы на практике только для определенных типов грунтов, распространенных в данном регионе при строгих ограничениях в методике испытаний и конструкции штампов и зондов.

В соответствии с рекомендациями СП 50-102-2003 г. (п. 7.4.6) [14] минимальные значения модуля деформации на уровне подошвы свай E_{sl} принимаются в зависимости от q_c : в песках $E_{sl} = 6q_c$; в глинистых грунтах – $10q_c$.

Однако к расчету деформационных характеристик по результатам статического зондирования следует подходить с осторожностью, особенно для грунтов нечетвертичного происхождения. Так, меловые пески и супеси, как правило, находятся в переуплотненном состоянии [15], а юрские глины, напротив, имеют высокую пористость [7], т.е. для изучения деформационных свойств этих грунтов требуется дополнительные исследования и определение корреляционных зависимостей типа $E_{sl} - q_c$.

Рис.1. Зависимость $E_w - q_c$ для моренных суглинков МосквыРис.2. Зависимость $E_w - q_c$ для юрских глин Москвы
1 - глины от легких пылеватых до тяжелых $E_w = 8q_c$; 2 - стандартная прямая $E_w = 7q_c$

Рассмотрим статистическую зависимость $q_c - E_w$ для ряда грунтов Москвы.

Моренные отложения на территории Москвы широко распространены и часто являются основанием зданий и сооружений.

В них преобладают легкие и средние суглинки $\rho = 2,10 \dots 2,3 \text{ г}/\text{см}^3$, $e = 0,35 \dots 0,45$, $W = 0,1 \dots 0,16$, $I_p = 6 \dots 10\%$, $I_L = 0 \dots 0,25$.

Накоплен материал по статическому зондированию и штамповым испытаниям морены в основном винтовыми и круглыми штампами площадью 600 см^2 , обобщенные значения которых приведены на рис. 1.

Анализ параллельных испытаний моренных суглинков статическим зондированием и штампами позволил установить статистическую зависимость между q_c и E_w

$$E_w = 7 + 6,4q_c \quad (7)$$

Уравнение (7) позволяет получать удовлетворительную оценку модуля деформации суглинков московской и днепровской морен в диапазоне значений $q_c = 0,5 \dots 4,8 \text{ МПа}$ и $R_f = 4 \dots 7\%$ для естественной влажности и плотности.

Увеличение влажности моренных суглинков при водонасыщении заметно уменьшает E_w и q_c . В этом случае результаты параллельных испытаний грунтов статическим зондированием и штампами для q_c менее 2 МПа и $R_f = 4 \dots 5\%$ лучше аппроксимируются уравнением

$$E_{w,sat} = 3 + 6,8q_c \quad (8)$$

Сравнение (7) с уравнением, рекомендуемым в [9] для моренных суглинков

$$E = 5 + 7q_c \quad (9)$$

показывает их близкое сходство.

Определение статистической зависимости $q_c - E_w$ для юрских глин, имеющих широкое распространение на территории Москвы, проводилось на основе экспериментов по определению E_w с помощью винтового штампа и определению q_c с использованием зонда II (ПИКА-15).

Для юрских глин характерны следующие средние значения характеристик состава, структуры и свойств: $\rho = 1,7 \dots 2,0 \text{ г}/\text{см}^3$, $\rho_d = 1,1 \dots 1,7 \text{ г}/\text{см}^3$, $e = 0,7 \dots 1,4$, $S_r = 0,8 \dots 1,1$; $W = 0,25 \dots 0,50$; $W_L = 0,35 \dots 1,05$; $I_p = 0,20 \dots 0,50$; $\varepsilon_{sw} = 7 \dots 20\%$; $q_c = 1,0 \dots 4,0 \text{ МПа}$; $R_f = 2 \dots 6\%$. Модуль деформации (штамповый) в зависимости от состава и консистенции изменяется от 5...6 МПа (мягкопластичные, набухшие разности) до 30...35 МПа (твердые и полутвердые разности на глубинах более 10 м). Угол внутреннего трения изменяется от $7 \dots 8^\circ$ для жирных глин до $15 \dots 25^\circ$ для опесченных и пылеватых легких глин.

Модуль деформации юрских глин определялся с помощью винтового штампа площадью 600 см^2 для первой ветви нагружения. Для этих же глубин в интервале 10...20 м определялось сопротивление q_c . Всего выполнено 14 парных опытов.

Результаты испытаний представлены на рис. 2, из которого видно, что большая часть точек группируется около осредняющей прямой

$$E_w = 8,0q_c \quad (10)$$

На этом же графике показана стандартная прямая

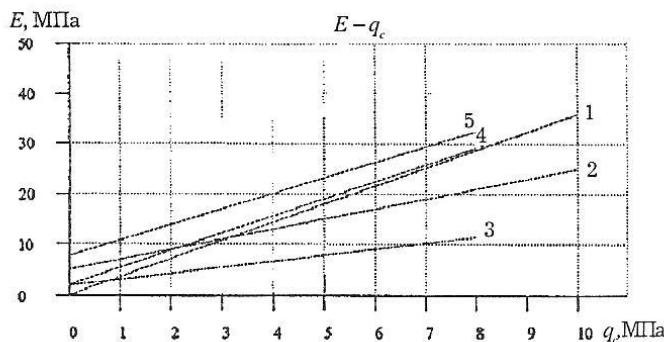


Рис.3. Корреляционная зависимость для определения модуля деформации (нормативного) для супесей по данным статического зондирования

1 - $E = 3,6q_c$; 2 - $E = 2q_c + 5$; 3 - $E = 1,05q_c + 3$; 4 - $E = 3,4q_c + 2$; 5 - $E = 3,1q_c + 7,7$

$$E_w = 7,0q_c, \quad (11)$$

Значения q_c для юрских глин находятся в диапазоне 1...4 МПа. Для q_c менее 1 МПа имеем зону неопределенности. Такие значения q_c могут быть только для разуплотненной и набухшей юрской глины, лишенной давления вышележащих слоев грунта и характеризующейся низкими значениями модулей деформации.

Аналогичные испытания были проведены и с супесчаными грунтами Москвы.

Супеси на территории Москвы встречаются среди отложений четвертичного, мелового и юрского периодов и по генезису могут быть континентальными (аллювиальные, водо-ледниковые, озерно-ледниковые) и морскими.

Коэффициент пористости супесей $e = 0,45 \dots 0,85$, $E_k = 0,1 \dots 0,2$ МПа для диапазона давлений от 6...8 до 12...17 МПа; $E_w = 8 \dots 25$ МПа.

Коэффициент $m_k = 4$ для $e = 0,45$ и $m_k = 2$ для $e = 0,85$ [16].

Супеси быстро уплотняются и модуль деформации заметно увеличивается с ростом действующего давления.

Мариупольский Л.Г. [17] справедливо отмечает, что на определение модуля деформации супесей по данным статического зондирования следует обращать особое внимание.

Это обусловлено тем, что супеси по своему гранулометрическому составу занимают граничное положение между типичными песками и пылевато-глинистыми грунтами. В зависимости от преобладания частиц определенного размера, супеси по своим свойствам могут приближаться к тонким пескам либо к легким суглинкам.

В первом случае оценку модуля деформации супесей следует выполнять по зависимостям, установленным для песков, например

$$E = 3q_c, \quad (12)$$

а во втором случае, установленным для глинистых грунтов

$$E = 7q_c \quad (13)$$

$$\text{или } E = a + bq_c \quad (14)$$

Из рис. 3, на котором приведены корреляционные зависимости для определения по данным статического зондирования модуля деформации (нормативного), видно, что зависимости 1, 2, 4, 5 образуют достаточно узкий пучок и характеризуют в основном значения E , залегающих выше уровня подземных вод (УПВ), т.е. в зоне аэрации. Линия 3 характеризует зависимость $E_w - q_c$ для супесей полностью водонасыщенных.

Для толщи переслаивающихся супесей и песков наблюдаются значения $q_c = 5 \dots 9$ МПа и сравнительно низкие $R_f \leq 1 \dots 3\%$. В этом случае значение E целесообразно определять по зависимости $E = (3,2 \dots 4,0)q_c$, что дает $E = 17 \dots 32$ МПа.

Для супесей твердой консистенции, залегающих в зоне аэрации и имеющих степень водонасыщения $S_r \leq 0,5$, можно пользоваться зависимостью $E = 3,1q_c + 7,7$. Однако в случае супесей текучей консистенции, залегающих ниже УПВ в приповерхностных слоях массива, модуль деформации оказывается заметно ниже, и его целесообразно определять по зависимостям $E = 1,05q_c + 3$ для $q_c \leq 1,5$ МПа и $R_f = 0,5 \dots 3\%$. Для супесей пластичной консистенции нормативные значения E будут находиться в промежутке между $E = 1,05q_c + 3$ (минимальные значения) и $E = 3,1q_c + 7,7$ (максимальные).

При оценке параметров сжимаемости песчаных грунтов территории Москвы по данным статического зондирования рассматривались два подхода:

1) реализованный за рубежом, в котором устанавливается связь между q_c , E_k и относительной плотностью песков по опытам в калибровочных камерах;

2) реализованный отечественными исследователями, который заключается в проведении параллельных испытаний в массиве, позволяющих установить корреляционную связь между сопротивлением конуса и штамповым модулем деформации путем испытания грунтов в скважинах штампом площадью 600 см².

В Норвежском геотехническом институте [10] реализация первого подхода для нормально уплотненных песков привела к следующим рекомендациям:

Таблица 3

Пески	E_w , МПа ₁	q_c , МПа
Крупные, средние	$16 + 1,2q_c$	$4 < q_c < 20$
Мелкие, пылеватые плотные и средней плотности	$13 + 1,3q_c$	$1,5 < q_c < 3,5$
Средней крупности, рыхлые	$3 + 1,4q_c$	$1 < q_c < 4/6$

$$E_k = 4q_c \text{ при } q_c < 10 \text{ МПа}; \quad (15)$$

$$E_k = 20 + 2q_c \text{ при } 10 < q_c < 50 \text{ МПа}; \quad (16)$$

для переуплотненных песков

$$E_k = 5q_c \text{ при } q_c = 25 \dots 50 \text{ МПа}; \quad (17)$$

$$E_k = 250 \text{ МПа при } q_c \geq 50 \text{ МПа}. \quad (18)$$

В работе [4] рекомендуется использовать связь между $E - q_c$ в виде уравнения

$$E = \alpha_1 + \beta_1 q_c, \quad (19)$$

где α_1 и β_1 – эмпирические коэффициенты.

В [9] для песков различного генезиса приведены следующие корреляционные зависимости $E = 3q_c$ для современных аллювиальных и озерно-болотных и $E = 2,5q_c + 10$ для древнеаллювиальных, флювиогляциальных, внутриморенных.

Следует отметить, что в наших нормах не учитывается геологическая история формирования песков и степень их переуплотнения. Между тем, чаще в сферу влияния сооружений, особенно высотных зданий с повышенной нагрузкой на фундамент, вовлекаются переуплотненные коренные пески мелового и юрского возрастов. Данных определений E_w и q_c для переуплотненных песков для территории Москвы очень мало. Очевидно, что для песков переуплотненных отношение E/q_c будет значительно больше, чем для нормально уплотненных.

Обобщение данных для песков территории Москвы позволило установить следующие зависимости для нормально уплотненных песков (табл. 3).

Сравнение уравнений, рекомендованных в [9] и полученных нами, показывает наличие существенной разницы в свободных членах и коэффициентах пропорциональности. Это можно объяснить тем, что в [9] приведено осредненное уравнение И.А. Бусела, полученное для песков Беларуси, которые существенно отличаются от песчаных грунтов московского региона.

Таким образом, оценка деформационных свойств дисперсных грунтов в условиях современного строительства, когда в качестве оснований используются грунты с малоизученными свойствами, например, меловые и юрские отложения, требует всестороннего, комплексного исследования свойств грунтов. Особенно это актуально в условиях проектирования и строительства зданий и сооружений повышенной этажности и их значительного заглубления, когда на основания воздействуют повышенные нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зиангиров Р.С., Каширский В.И. Определение вида и оценка параметров состава и свойств песчаных грунтов по результатам статического зондирования// Объединенный научный журнал.- 2004.- №33.- С. 71-87.
2. Каширский В.И. Опыт использования статического зондирования и винтовых штампов на площадках изысканий в г. Москве/Академические чтения Н.А. Цытовича. 2-е Денисовские чтения. -М., МГСУ.- 2003.- С. 117-130.
3. Mitchell J.K., Gardner. Ju situ measurement of volume characteristics// Proc. of the ASCE Specialy Conference on Ju setu Measurement of soil Properties.- Raleigh, ASCE, 1975.- Pp.279-345
4. Van Impe W.F. The evaluation deformation and bearing capacities parameters of foundations from static CPT-results// Proc. Fourth Int. Geotechnical seminar/ Filed instrumentation and in-site measurements.- Singapore, 1986.- Pp.51-70.
5. Senneset K., Janbu N., Svano G. Strength and deformation parameters from cone penetration tests. Proceedings of the European Symposium on Penetration Testing. ESOPT - II, Amsterdam, 1982.- V.2.- Pp. 863-870.
6. Sandven, Senneset K., Janbu N. Interpretation of piezocone tests in cohesive soils. Penetration Testing 1988, ISOPT-1, Rotterdam. -Pp. 939-953.
7. Зиангиров Р.С., Каширский В.И. Оценка модуля деформации дисперсных грунтов по данным статического зондирования// Объединенный научный журнал.- 2004.- №30.- С. 74-82.
8. Бусел И.А. Прогнозирование строительных свойств грунтов.- Минск: Наука и техника, 1989.- 246 с.
9. МГСН 2.07-01. Основания, фундаменты и подземные сооружения.- М.: ГУП "НИАЦ", 2002.
10. Трофименков Ю.Г. Статическое зондирование грунтов в строительстве (зарубежный опыт).- М.: ВНИИТПИ.- 1995.-128 с.
11. Трофименков Ю.Г., Воробков Л.Н. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов.- М.: Стройиздат, 1981.- 214 с.
12. ГОСТ 30672-99. Межгосударственный стандарт. Грунты. Полевые испытания.
13. ГОСТ 19912-2001. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием.
14. СП 50-102-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и устройство свайных фундаментов.- М., 2004.
15. Каширский В.И., Зиангиров Р.С. Определение плотности песчаных грунтов по результатам статического зондирования// Объединенный научный журнал.- 2004.- №33.- С. 55-65.
16. Инструкция по инженерно-геологическим и геоэкологическим изысканиям в г. Москве.-М.: ГУП "НИАЦ", 2004.
17. Мариупольский Л.Г. Исследования грунтов для проектирования и строительства свайных фундаментов.-М.: Стройиздат, 1989.- 200 с.