УДК 624.131

ДОСТОВЕРНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

О. А. ЛАЖЕВИЧ [1], ***Ю. В. ЗАИКА*** [1]

[1] *УП «Геосервис», ул. Я. Мавра, 53, 220015, г. Минск, Беларусь*

Обращается внимание на то, что применение традиционных для Беларуси методов полевых исследований при оценке инженерно-геологических условий на территории строительства высотных зданий и сооружений, а также наиболее ответственных объектов промышленности и энергетики с нестандартными характеристиками требует определения прочностных и деформационных свойств грунтов на глубине 70 и более метров. На основе анализа обширного фактического материала, полученного по итогам инженерно-геологических изысканий, сделан вывод о том, что используемые в настоящее время корреляционные зависимости между результатами зондирования и модулем деформации для значений q_c и p_d более 30 МПа не всегда отражают реальные деформационные свойства грунтов и нуждаются в дополнительной проверке. Практически на всех строительных площадках выявлено отсутствие четких корреляционных зависимостей, что указывает на недостатки действующих технических кодексов установившейся практики и необходимость их доработки.

Ключевые слова: грунты; статическое зондирование; динамическое зондирование; модуль деформации; инженерно-геологические условия.

ACCURACY OF DETERMINATION OF SOIL MECHANIC PROPERTIES

O. A. LAZHEVICH [a], ***Y. U. ZAIKA*** [a]

[a] *UE «Geoservice», Ja. Maŭra Street, 53, 220015, Minsk, Belarus*
Corresponding author: Y. U. Zaika (yu_z@tut.by)

Application of conventional methods of field testing of soils, which are currently in use in the Republic of Belarus, for estimation of geotechnical conditions on building grounds of high-rise buildings as well as of the most crucial industrial and power producing objects with nonstandard characteristics, requires determining the deformational and strength properties of soils on depths of 70 meters and even more. At that, there are valuable reasons to assume that correlation ratios widely used in Belarus between results of CPT and DPT and modules of deformation may not reflect the reality and require further verification when q_c and p_d exceed 30 MPa. This assumption is based on our practical experience and numerous facts obtained during carrying out engineering-geological survey in Belarus. Thus, there is an objective necessity to revise our currently used correlation ratios, which in many cases do not fully reflect real deformational properties of soil.

Key words: soils; cone penetration testing; dynamic penetration testing; modulus of deformation; engineering-geological conditions.

Образец цитирования:
Лажевич О. А., Заика Ю. В. Достоверность определения механических свойств грунтов // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 2. С. 184–192.

For citation:
Lazhevich O. A., Zaika Y. U. Accuracy of determination of soil mechanic properties. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 2. P. 184–192 (in Russ.).

Авторы:
Олег Анатольевич Лажевич – директор.
Юрий Владимирович Заика – кандидат геолого-минералогических наук; главный геолог.

Authors:
Oleg Lazhevich, director.
lazhevich@live.ru
Yury Zaika, PhD (geology and mineralogy); chief geologist.
yu_z@tut.by

Для расчета оснований и фундаментов, как правило, применяются четыре основные характеристики грунтов:

- модуль общей деформации E, МПа;
- угол внутреннего трения φ, °;
- удельное сцепление C, кПа;
- удельный вес γ, кН/м^3.

Существует ряд методов для определения данных показателей – в частности, по физическим свойствам или результатам зондирования.

Методической основой оценки прочностных и деформационных свойств грунтов для условий Беларуси является положение об определяющей роли их структурно-текстурных особенностей [1]. Физические характеристики (коэффициент пористости e, показатель текучести IL) не являются единственным и необходимым критерием, отражающим механические свойства глинистых и песчаных грунтов. Такое представление сформировалось с начала 1970-х гг. – времени массового внедрения зондирования – и было закреплено в Республиканских строительных нормах [2]. На протяжении 25 лет данные нормы считались ключевым элементом технической политики ведущей в этой сфере организации – Белорусского государственного института инженерных изысканий (БелГИИЗ), позднее преобразованного в УП «Геосервис». С 1996 г. методической основой инженерно-геологических изысканий стали Строительные нормы Беларуси [3].

На рис. 1 и 2 приведена динамика средних по инженерно-геологическим элементам (ИГЭ) значений показателей физических свойств, модуля деформации и параметров зондирования глинистых и песчаных грунтов сожского горизонта. Фактический материал к графикам взят из отчета УП «Геосервис» [4].

На графиках для большой выборки ИГЭ визуально отображено отсутствие корреляционной зависимости между модулями общей деформации и параметрами зондирования, с одной стороны, и физическими свойствами грунтов – с другой.

В последнее десятилетие в Республике Беларусь все большую актуальность приобретают инженерные изыскания для зданий и сооружений с нестандартными характеристиками (повышенной этажности, с подземными помещениями, объектами с увеличенным общим весом надземной части), что предполагает поиск нового подхода к проведению исследований. Кроме того, это подразумевает определение деформационных и прочностных свойств грунтов на глубине 70 и более метров. Данные факторы обусловливают необходимость более взвешенной интерпретации результатов полевых исследований. В целях решения инженерно-геологических задач при выявлении механических свойств грунтов на большой глубине методами зондирования для значений q_c (удельное сопротивление грунта под наконечником зонда) и p_d (условное динамическое сопротивление грунта погружению зонда) до 70–100 МПа применяются установки тяжелого типа, но, как видно на рис. 1 и 2, а также следует из таблицы, установленные корреляционные зависимости между результатами зондирования и модулем деформации для значений q_c и p_d более 30 МПа требуют дополнительной проверки и уточнения. Примеры зондирования на большой глубине приведены на рис. 3 и 4.

В таблице приведены полученные по результатам испытаний штампом площадью 5000 см^2 модули общей деформации, рассчитанные в различных интервалах, а также модули деформации, определенные в соответствии с [5] по итогам зондирования. Для значений q_c или p_d от 20 до 100 МПа величины модуля деформации для q_c и p_d согласно [5] будут равны 50 и 54 МПа соответственно. Полевые испытания этих же грунтов штампом выявляют значения от 70 до 90 МПа (расчетный интервал – от 0,5 до 0,2 МПа); при увеличении расчетного интервала значение модуля деформации снижается до 50–70 МПа (расчетный интервал – от 1,0 до 0,2 МПа).

Фактически при установлении корреляционных зависимостей, принятых в [5], опирались на выборку результатов определений модулей деформации в интервалах от 0,3 до 0,1 МПа; они не отражают и не могут отразить реальных деформационных свойств грунтов при значениях q_c и p_d более 30 МПа.

Применение статического или динамического зондирования как единственно верного метода определения механических свойств в песчаных или глинистых грунтах без дополнительного комплексного исследования прямыми методами может привести к серьезным ошибкам в выборе типа и конструкции фундаментов. В таблице приведены результаты сравнения модулей деформации в соответствии с [5] для статического и динамического зондирования. Средние значения модуля деформации согласно [5] составляют 13 (q_c) и 54 (p_d) МПа (для ИГЭ-6), 27 (q_c) и 54 (p_d) МПа (для ИГЭ-8), причем модуль общей деформации в соответствии с испытаниями штампом для ИГЭ-6 изменяется в пределах от 10 до 20 МПа, для ИГЭ-8 – от 32 до 48 МПа. Подобные факты отсутствия четкой корреляционной зависимости встречаются практически на всех строительных площадках, что указывает на недостатки действующих технических кодексов установившейся практики. Следовательно, для достоверной оценки механических свойств грунтов необходимо одновременно использовать несколько методов полевых исследований при выполнении инженерных изысканий.

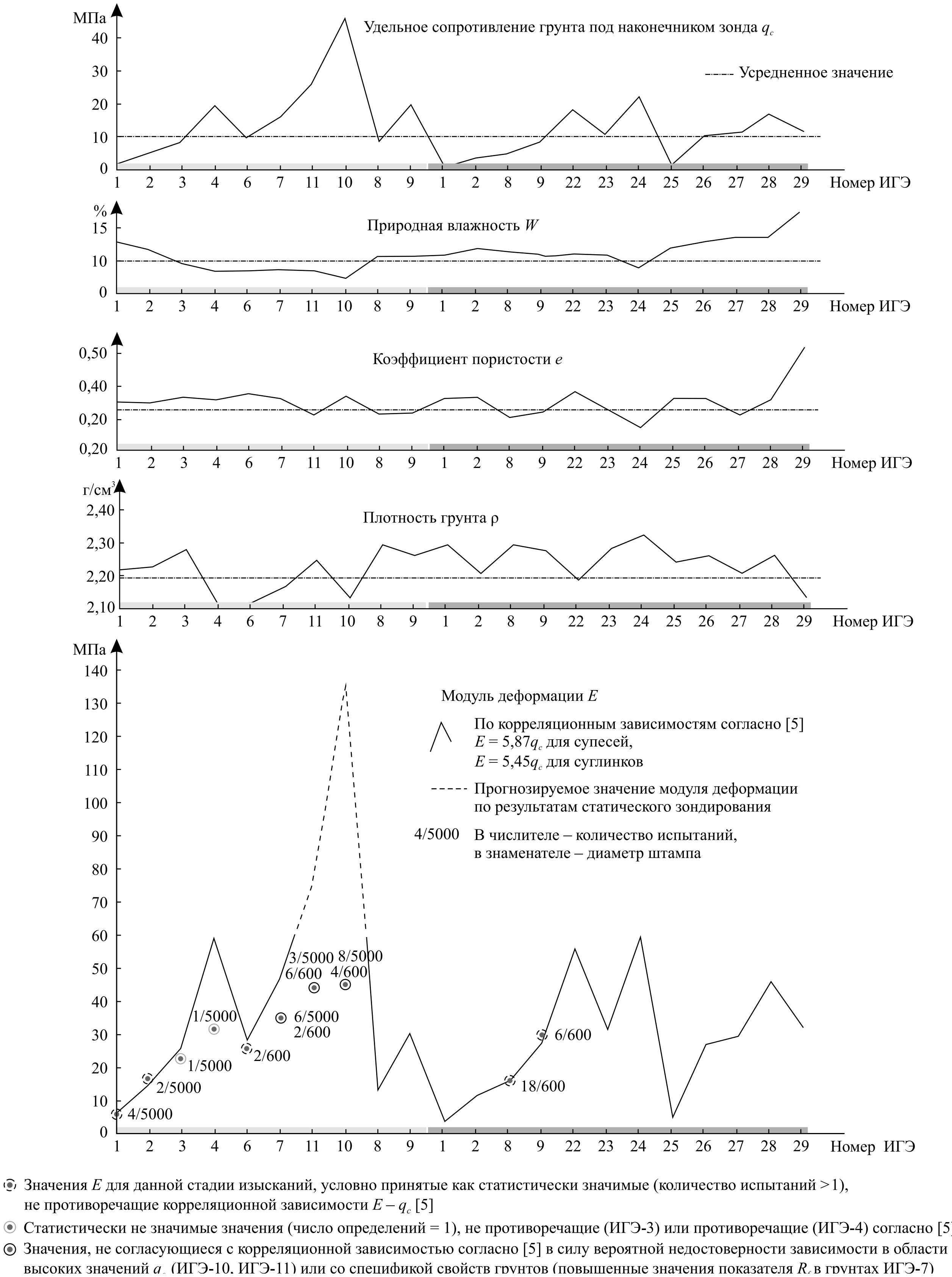

Рис. 1. Изменение средних по ИГЭ значений показателей физических свойств, модуля деформации и параметра статического зондирования супесей и суглинков конечной (—) и основной (—) сожских морен (по [4])

Fig. 1. Engineering-geological elements average values of physical properties, deformation modules, CPT parameters of loamy sands and loams of the terminal (—) and ground (—) moraines of the Sozh Horizon (Pleistocene) (after [4])

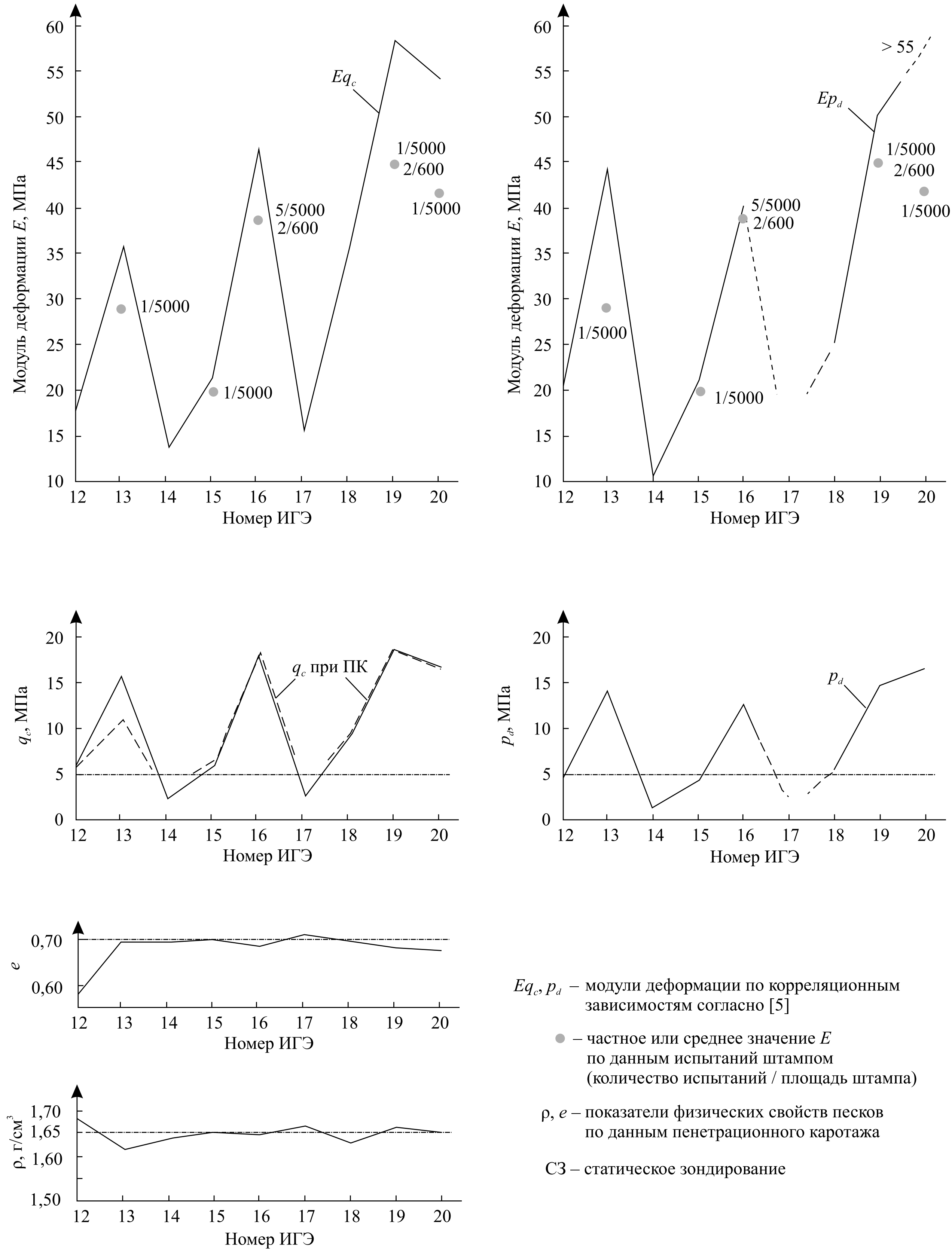

Рис. 2. Изменение средних по ИГЭ значений показателей физических свойств, модуля деформации, параметров статического и динамического зондирования конечно-моренных песков (по [4])

Fig. 2. Engineering-geological elements average values of physical properties, deformation modules, CPT and DPT parameters of terminal moraine sands (after [4])

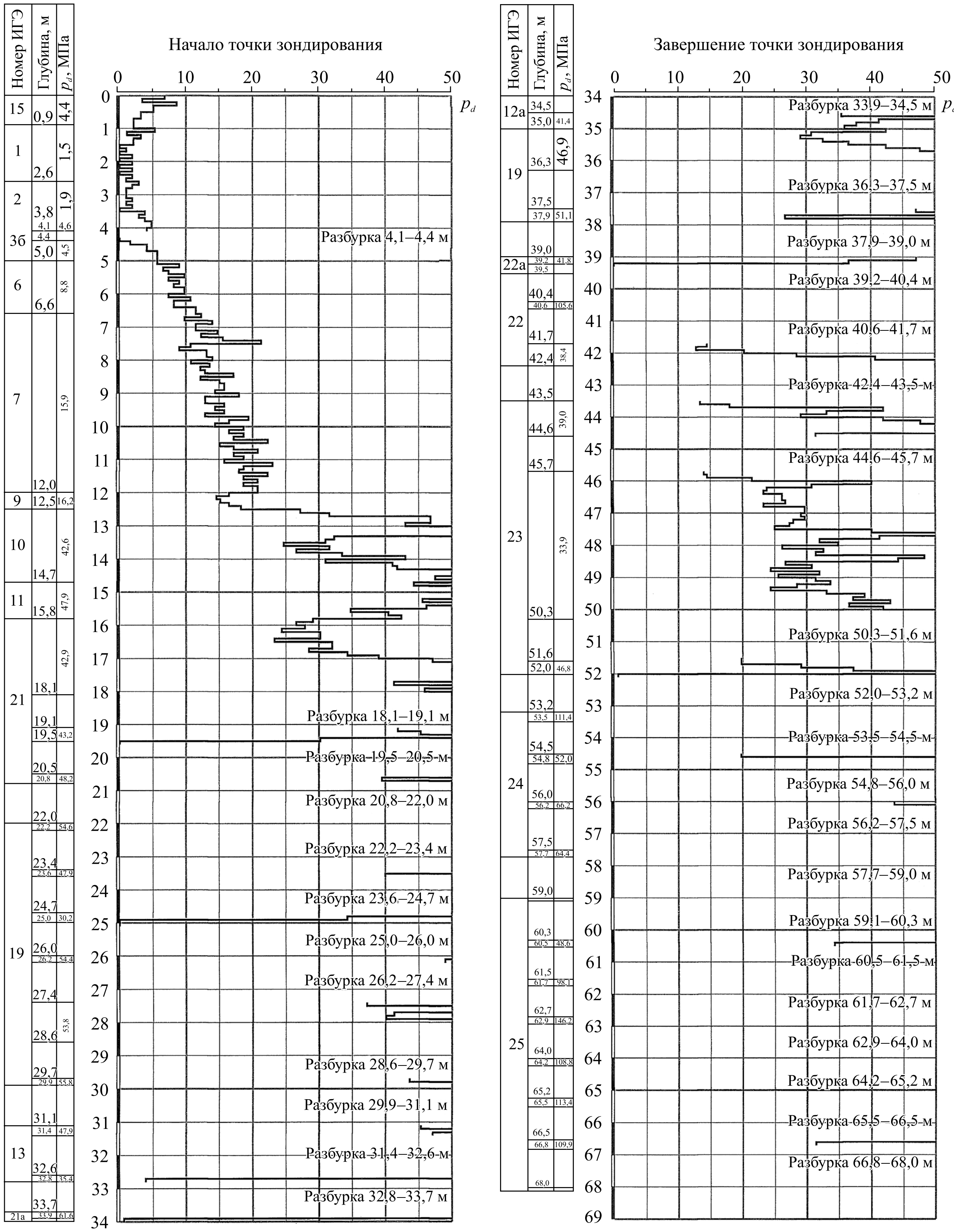

Рис. 3. Точка глубокого динамического зондирования
(по материалам изысканий УП «Геосервис»)

Fig. 3. An example of a deep Dynamic Penetration Test log
(UE «Geoservice» engineering-geological survey data)

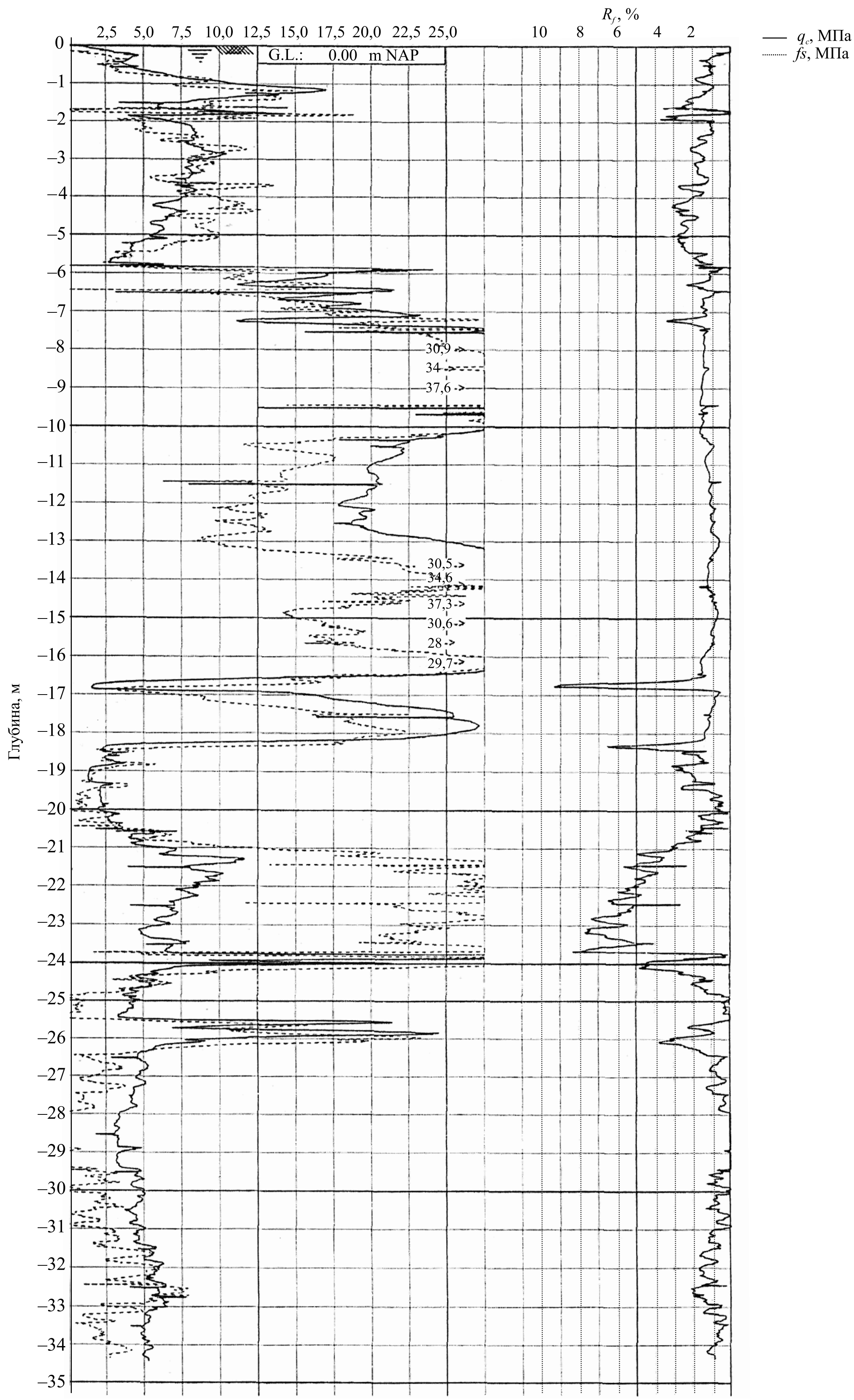

Рис. 4. Точка глубокого статического зондирования (по материалам изысканий УП «Геосервис»)

Fig. 4. An example of a deep CPT log (UE «Geoservice» engineering-geological survey data)

Результаты определения модуля деформации грунтов, МПа

Results of the determination of the soil deformation modulus, MPa

Номер ИГЭ	Вид грунта	Модуль общей деформации МПа, полученный по результатам испытаний штампом площадью 5000 $см^2$					Зондирование			
		1,0–0,2	0,7–0,2	0,5–0,2	0,7–0,2	0,5–0,2	Модуль по [5], q_c	Модуль по [5], p_d	Статическое	Динамическое
6	Супесь прочная	–	–	–	67	88	30	38	5,7	10,2
		–	–	–	61	67				
		31	36	38	67	73				
		61	80	98	78	94				
		–	–	–	65	75				
		–	–	–	55	59				
8	Супесь средней прочности	11	16	20	–	–	13	54	2,5	18,6
		10	15	16	–	–				
		–	–	13	–	–				
9	Супесь прочная	–	–	–	32	41	27	54	5,1	17,9
		33	37	40	–	–				
		41	46	48	–	–				
10	Супесь очень прочная	–	–	–	88	90	50	54	25,0	29,8
		–	–	–	38	38				
		–	–	–	81	85				
		–	–	–	63	70				
		53	63	72	–	–				
		49	58	65	–	–				
		56	68	82	–	–				
11	Супесь очень прочная	–	–	–	67	75	50	54	22,8	35,3
		–	–	–	70	81				
		–	–	–	80	97				
		–	–	–	65	73				
		–	–	–	63	69				
		–	–	–	68	72				
		–	–	–	74	81				
		–	–	–	64	72				
		–	–	–	70	77				
		–	–	–	75	82				
		–	–	–	64	70				
13	Песок пылеватый прочный	–	–	–	84	91	50	54	38,4	39,7
		42	49	55	–	–				

Таким образом, сделанные выводы указывают на необходимость проведения исследований в целях установления единых инженерно-геологических закономерностей, проверки используемой в Беларуси корреляционной зависимости $E - q_c$ (согласно [5]) или выявления новой зависимости для оперативной оценки в будущем деформационных свойств грунтов и их динамики.

Особое внимание необходимо уделить показателю трения R_f при статическом зондировании, закономерности изменчивости которого в условиях Беларуси до настоящего времени в должной мере не учтены. По литературным данным, на этот показатель прямо влияют такие факторы, как увеличение содержания тонкозернистых частиц, глинистости, пластичности и концентрации органического вещества в грунте [6; 7]. Однако на некоторых площадках, изученных специалистами УП «Геосервис», установлены отклонения от этих правил. Так, рост средних по ИГЭ значений R_f от 2 до 4 % в глинистых грунтах сожского горизонта на объекте, рассмотренном в [4], не был связан с повышением глинистости и пластичности грунтов, а также с какими-либо отчетливыми литологическими изменениями. Причины данного явления остаются невыясненными. Также неясна природа дальнейшего снижения R_f с глубиной до средних значений 2 % [4]. Нельзя исключать связи показателя трения R_f с величиной порового давления в грунте, влияние которого на показатели статического зондирования необходимо изучать с применением зондов, снабженных датчиками порового давления (пьезоконусов).

График показателя трения R_f для песчаных и глинистых грунтов морен даже при одинаковых значениях, например 2 %, имеет различную форму. В частности, кривые песчаных грунтов обладают более ровной (гладкой) формой без выраженной зубчатости. Между тем график, отражающий состояние глинистого грунта, имеет пилообразную форму. Опыт изучения показателя трения R_f специалистами УП «Геосервис» выявил следующие закономерности его изменения в зависимости от вида моренных грунтов: песчаные – от 1 до 4 %; супеси – от 2 до 8 %; суглинки и глины – от 6 до 12 %. Данные исследования получены на ограниченном количестве площадок и в настоящее время не могут быть использованы для прогнозирования свойств грунтов на всей территории Беларуси.

Опираясь на итоги настоящего исследования, можно с высокой степенью уверенности судить о целесообразности применения результатов статического зондирования для определения вида грунтов. Отображенную на рис. 4 форму графика R_f можно получить, используя точность оценки значений q_c и *fs* (трение по боковой поверхности зонда), составляющую не менее одного определения на каждый сантиметр глубины погружения зонда. Приведенная в [8] методика выполнения статического зондирования устанавливает точность, соответствующую не менее чем одному измерению на 10 см глубины погружения, однако этого недостаточно для максимально достоверной оценки показателя трения R_f.

Применение результатов зондирования на большой глубине без накопления материалов по другим видам полевых инженерно-геологических и геофизических работ в сочетании с лабораторным анализом, а также без опоры на научно-исследовательский базис недопустимо. Недопонимание того обстоятельства, что одни и те же значения зондирования в разных грунтах и на разной глубине отражают физико-механические характеристики несопоставимым образом, приводит к необоснованному выбору конструкций фундаментов, что в лучшем случае обернется существенным удорожанием работ при строительстве, а в худшем – станет причиной аварии.

Таким образом, для адекватной и безошибочной интерпретации результатов статического зондирования на большой глубине крайне важным является комплексное применение различных инженерно-геологических методов исследований, что также позволит осуществить независимую проверку их результатов. Для особо значимых и технически сложных зданий и сооружений количество этих методов должно быть максимально возможным.

Библиографические ссылки

1. *Бусел И. А.* Прогнозирование строительных свойств грунтов. Минск, 1989.
2. Инструкция по учету особенностей моренных грунтов при проектировании естественных оснований на территории БССР : РСН 27–78. Минск, 1979.
3. Инженерные изыскания для строительства : СНБ 1.02.01–96. Минск, 1996.
4. Заключительный отчет о комплексной инженерно-геологической и гидрогеологической съемке в масштабах 1 : 50 000 – 1 : 5 000 Островецкой площадки возможного размещения АЭС. УП «Геосервис». Объект № 333/08-02. Минск, 2009.
5. Прочностные и деформационные характеристики грунтов по данным статического зондирования и пенетрационного каротажа. Правила определения : введ. 01.07.2006. ТКП 45-5.01-15–2005. Минск, 2006.
6. *Olsen R. S.* Using the CPT for dynamic site response characterization // Proceedings of the Earthquake Engineering and Soil Dynamics II. Conference, American Society of Civil Engineers. New York, 1988. P. 374–388.
7. *Rogers J. D.* Subsurface Exploration Using the Standard Penetration Test and the Cone Penetrometer Test // Environ. Eng. Geosci. 2006. Vol. XII, № 2. P. 161–179.
8. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием : введ. Респ. Беларусь 01.01.2013. ГОСТ 19912–2012. Минск, 2015.

References

1. Busel I. A. [Prediction of engineering properties of soils]. Minsk, 1989 (in Russ.).
2. [Instruction on calculation of characteristics of moraine soils for design of natural foundations on the territory of BSSR : RSN 27–78]. Minsk, 1979 (in Russ.).
3. [Engineering survey for construction : SNB 1.02.01–96]. Minsk, 1996 (in Russ.).
4. [Final report on comprehensive engineering-geological and hydro-geological survey of the 1 : 50 000 – 1 : 5 000 scale on the Astravets Site of possible location of the NPP]. UE «Geoservice» technical archive. Object No. 333/08–02. Minsk, 2009 (in Russ.).
5. [Strength and deformational characteristics of soils according to CPT and Penetration Logging data. Technical regulations : intr. 01.07.2006. ТКР 45-5.01-15–2005]. Minsk, 2006 (in Russ.).
6. Olsen R. S. Using the CPT for dynamic site response characterization. In: *Proceedings of the Earthquake Engineering and Soil Dynamics II*. Conference, American Society of Civil Engineers. New York, 1988. P. 374–388.
7. Rogers J. D. Subsurface Exploration Using the Standard Penetration Test and the Cone Penetrometer Test. *Environ. Eng. Geosci.* 2006. Vol. XII, No. 2. P. 161–179.
8. [Soils. Field CPT and DPT methods : GOST 19912–2012]. Minsk, 2015 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 13.03.2017.
Received by editorial board 13.03.2017.