



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.2.05

УДК 624.131

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ СЛАБЫХ ГРУНТОВ

А.А. Зайцев, В.Г. Офрихтер

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 27 декабря 2018
Принята: 25 февраля 2019
Опубликована: 28 июня 2019

Ключевые слова:

полевые испытания, слабые грунты, динамическое зондирование, статическое зондирование, вращательный срез грунта, сдвигометр-крыльчатка, пенетрометр, динамический плотномер, статический плотномер.

АННОТАЦИЯ

Организация строительства на площадках, сложенных слабыми грунтами, сопряжена с определенными проблемами, одной из которых является сооружение временных автодорог и оснований под строительные механизмы (копры, краны и т.д.). Временные дороги являются необходимым элементом любой стройки, обеспечивающим доступность объектов и линейных сооружений. Особенностью временных дорог является их устройство в соответствии с поэтапной схемой организации строительства. Для конструирования таких проездов необходимы физико-механические характеристики грунтов, используя которые можно оперативно выполнять расчеты, применяя разработанные модели грунтов. При строительстве на слабых грунтах важно также сохранение геологического разнообразия, что возможно при всесторонней оценке свойств грунтов. Работа на слабых грунтах даже на этапе изысканий сопряжена с проблемами доступности в связи с их невысокой несущей способностью. Зачастую проезд по таким грунтам в теплое время года невозможен. Оценка физико-механических характеристик слабых грунтов возможна с использованием легких переносных приборов, которые можно доставить к местам работы вручную.

В статье представлены результаты оценки механических характеристик слабого грунта с использованием легких переносных приборов – зондового пенетрометра, сдвигомера-крыльчатки, динамических плотномеров. Полученные при полевых исследованиях характеристики могут использоваться в качестве входных параметров расчетных моделей, применение которых позволяет сразу производить расчеты конструкции временной автодороги или основания под строительный механизм. Работы, выполненные по предлагаемой методике, отличаются невысокой трудоемкостью, малой стоимостью и высокой оперативностью, не требуют применения механизмов и могут выполняться одним человеком.

© ПНИПУ

© Зайцев Алексей Александрович – студент, e-mail: zaytsev95aa@gmail.com.

Офрихтер Вадим Григорьевич – доктор технических наук, доцент, e-mail: ofrikhter@mail.ru.

Alexey A. Zaitsev – Student, e-mail: zaytsev95aa@gmail.com.

Vadim G. Ofrikhter – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: ofrikhter@mail.ru.

THE RESULTS OF FIELD TESTS OF WEAK SOILS

A.A. Zaitsev, V.G. Ofrikhter

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 27 December 2018
Accepted: 25 February 2019
Published: 28 June 2019

Keywords:

Field tests, weak soils, dynamic sounding, static sounding, rotational slice of the ground, shear impeller, penetrometer, dynamic density meter, static density meter.

ABSTRACT

Organization of construction on sites built of weak soils is associated with certain problems, one of which is the construction of temporary roads and foundations for building mechanisms (pile drivers, cranes, etc.). Temporary roads necessary attributes of any construction, ensuring the availability of facilities and linear structures. One of the features of the temporary roads is their erection in accordance with the staged scheme of the organization of construction. Physico-mechanical characteristics of the soils are necessary for the design of such passages using which it is possible to perform calculations using approved soil models. During civil engineering processes on weak soils, it is also important to preserve geological diversity, which is possible with a comprehensive assessment of soil properties. Work on weak soils, even at the survey stage, is associated with accessibility problems due to their low bearing capacity. Usually travel by transport on such soils in warm season is impossible. Evaluation of the physico-mechanical properties of weak soils is possible using lightweight portable devices that can be delivered to the testing sites manually. This paper presents the results of the evaluation of the mechanical characteristics of weak soil using lightweight portable devices such as probe penetrometer, vane shear meter, and dynamic density meters. Soil properties obtained during field tests can be used as input parameters for design models, the use of which allows to perform immediate out calculations temporary road construction or the base for the construction mechanism. Works performed according to the proposed method are of low laboriousness, low cost and high efficiency, do not require the use of mechanisms and can be performed by one person.

© PNRPU

Введение

Для определения исходных данных на проектирование модели грунтовых дорог в программных комплексах производились полевые испытания слабых грунтов в городе Перми тремя методами:

1. Статическое зондирование пенетрометром П-5А.
2. Динамическое зондирование плотномером Д-51.
3. Испытание грунта на вращательный срез сдвигометром-крыльчаткой СК-10а.

Характеристики приборов, методика проведения испытаний, результаты испытаний и полученные результаты приведены в основной части статьи.

Исследовалось основание из торфа с характеристиками:

- удельный вес – 11,5 кН/м³;
- удельный вес частиц грунта – 18,9 кН/м³;
- влажность – 1,03 д.ед.;
- коэффициент пористости – 2,42.

Основная часть

Испытания грунтов ручным зондовым пенетрометром П-5А

Зондовый пенетрометр П-5А – портативный переносной прибор для статического зондирования слабых грунтов при ручном погружении зонда со стандартным конусным наконечником. Площадь поперечного сечения основания конуса – 10 см². Угол при вершине конуса –

60°. По данным тарировки постоянная характеристика упругой пластины равна 0,254 кгс/дел. Масса прибора с одной штангой длиной 1 м – 3,8 кг. Масса одной штанги – 1 кг.

Испытания пенетрометром проводились в соответствии с ГОСТ 19912–2012. Записи показаний производились через 0,2 м. Глубина погружения зонда составила 1–1,7 м. Зондирование производили 4 раза. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Обработка и интерпретация результатов испытаний выполнялись с учетом ГОСТ 19912–2012 [1].

$$q_c = \frac{n \cdot l}{F}, \quad (1)$$

где F – площадь основания конуса, см²; n – характеристика упругой пластины пенетрометра, 0,254 кгс/дел.; l – показания индикатора, дел.

Таблица 1

Результаты испытаний грунтов зондовым пенетрометром П-5А

Table 1

Processing of soil test results by probe penetrometer

Испытание 1		Испытание 2		Испытание 3		Испытание 4	
Глубина погружения, м / показание индикатора, дел.	Сопротивление грунта вдавливанию q_c , МПа	Глубина погружения, м / показание индикатора, дел.	Сопротивление грунта вдавливанию q_c , МПа	Глубина погружения, м / показание индикатора, дел.	Сопротивление грунта вдавливанию q_c , МПа	Глубина погружения, м / показание индикатора, дел.	Сопротивление грунта вдавливанию q_c , МПа
0,2/10	0,025	0,2/15	0,038	0,2/70	0,178	0,2/20	0,051
0,4/50	0,127	0,4/35	0,089	0,4/70	0,178	0,4/40	0,101
0,6/40	0,102	0,6/50	0,127	0,6/70	0,178	0,6/40	0,101
0,8/120	0,305	0,8/170	0,432	0,8/110	0,279	0,8/70	0,177
1/160	0,406	1/90	0,229	1/130	0,33	1/80	0,203
1,1/310	0,787	1,1/120	0,305	1,2/100	0,254	1,2/120	0,304
1,2/490	1,245	1,2/160	0,406	1,4/150	0,381	1,4/140	0,356
		1,3/180	0,457	1,6/180	0,457	1,6/165	0,419

На рис. 1–4 приведены графические зависимости сопротивления грунта вдавливанию от глубины погружения рис. 1–4.

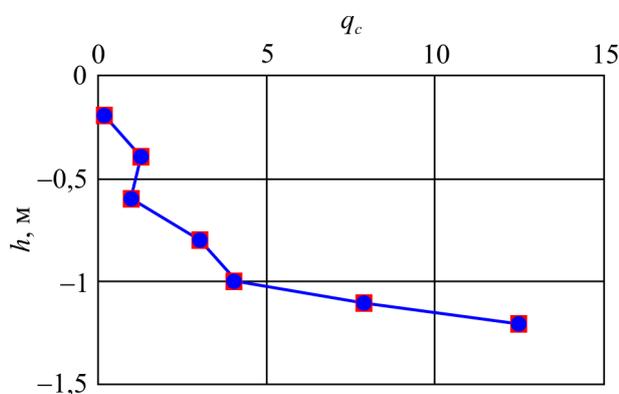


Рис. 1. График первого испытания
 Fig. 1. First test schedule

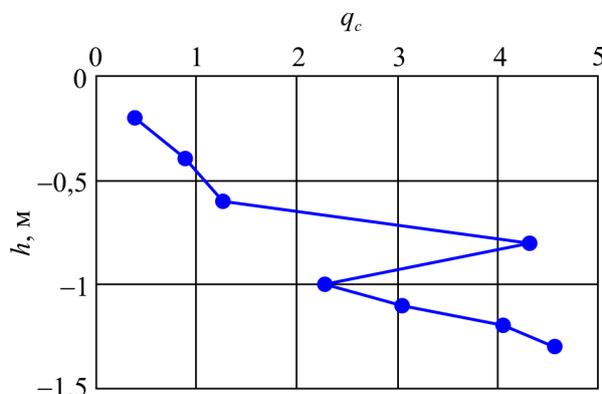


Рис. 2. График второго испытания
 Fig. 2. Second test schedule

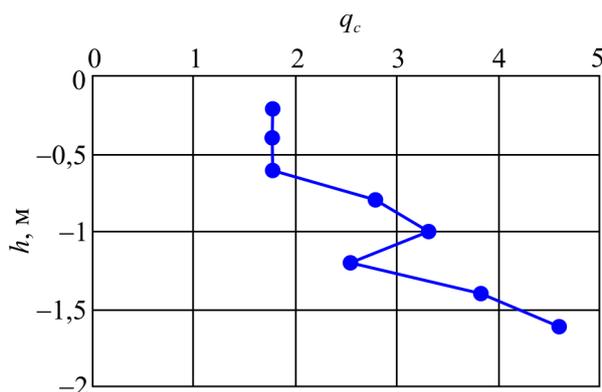


Рис. 3. График третьего испытания
 Fig. 3. Third test schedule

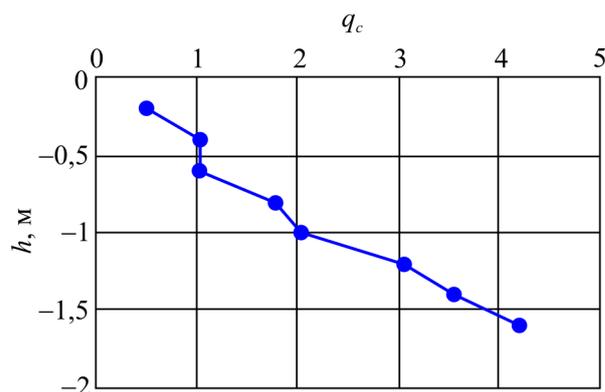


Рис. 4. График четвертого испытания
 Fig. 4. Fourth test schedule

Для расчетов автодорожной насыпи необходим модуль деформации грунтового основания.

В статье [2] приведены рекомендации по оценке модуля деформации торфа и органических грунтов по результатам статического зондирования с использованием зависимости

$$E = [1 - 4] q_c, \quad (3)$$

где E – модуль деформации грунта, МПа; q_c – сопротивление грунта вдавливанию, МПа.

Результаты оценки модуля деформации приведены в табл. 2.

Таблица 2

Оценка модуля деформации по результатам статического зондирования грунта легким пенетрометром П-5А

Table 2

Evaluation of deformation modulus by results of static penetration of the soil by light-weight penetrometer P-5A

Испытание 1			Испытание 2		
h , м	q_c , МПа	E , МПа	h , м	q_c , МПа	E , МПа
-0,2	0,025	0,1	-0,2	0,038	0,2
-0,4	0,127	0,5	-0,4	0,089	0,4
-0,6	0,102	0,4	-0,6	0,127	0,5
-0,8	0,305	1,2	-0,8	0,432	1,7
-1	0,406	1,6	-1	0,229	0,9
-1,1	0,787	3,2	-1,1	0,305	1,2
-1,2	1,245	5,0	-1,2	0,406	1,6
			-1,3	0,457	1,8
Испытание 3			Испытание 4		
h , м	q_c , МПа	E , МПа	h , м	q_c , МПа	E , МПа
-0,2	0,178	0,7	-0,2	0,051	0,2
-0,4	0,178	0,7	-0,4	0,101	0,4
-0,6	0,178	0,7	-0,6	0,101	0,4
-0,8	0,279	1,1	-0,8	0,177	0,7
-1	0,33	1,3	-1	0,203	0,8
-1,2	0,254	1,0	-1,2	0,305	1,2
-1,4	0,381	1,5	-1,4	0,356	1,4
-1,6	0,457	1,8	-1,6	0,419	1,7

По результатам испытаний грунта легким пенетрометром модуль деформации исследованной толщи грунта составил менее 5 МПа.

Испытания грунтов сдвигомером-крыльчаткой СК-10А

Зондовый сдвигомер-крыльчатка СК-10А – это портативный переносной прибор для испытаний слабых грунтов на вращательный срез при ручном повороте четырехлопастной крыльчатки. Диаметр крыльчатки – 75 мм. Высота крыльчатки – 150 мм. По данным тарировки постоянная характеристика упругой пластины равна 2,34 кг·см/дел. Масса прибора с одной штангой длиной 1 м – 4 кг. Масса одной штанги – 1 кг.

Испытания прибором производились в соответствии с пп. 9.3, 9.4 ГОСТ 20276–2012. Прибор погружали 6 раз. Глубина погружения прибора равнялась отметкам 0,4–0,8 м. Сопротивление недренированному сдвигу рассчитывается по формуле [1]

$$c_u = \tau = \frac{n \cdot l}{K}, \quad (4)$$

где n – характеристика упругой пластины сдвигомера, 2,34 кгс·см/дел.; l – показания индикатора, дел; K – постоянная крыльчатки, 1545 см³, рассчитывается по формуле [1]

$$K = \frac{\pi D^2}{2} (h + D/m), \quad (5)$$

где D – диаметр крыльчатки (7,5 см); h – высота крыльчатки (15 см); m – принимаем равным 3, поскольку крыльчатка имеет 2 торцевые поверхности [1].

Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытаний грунтов сдвигомером-крыльчаткой СК-10А

Table 3

Soil test results with shear impeller

Номер испытания	Отметка испытания на глубине, м	Показание прибора, дел.	Сопротивление недренированному сдвигу c_u , кПа	Оценочное значение q_c , кПа, по (6)
1	0,4	40	6,1	122
2	0,5	40	6,1	122
3	0,6	65	9,9	198
4	0,8	145	22	440
5	0,8	150	22,7	454
6	0,8	155	23,5	470

Испытания грунтов вращательным срезом с использованием легких приборов позволяют в кратчайшие сроки с минимальными трудовыми и финансовыми затратами определить недренированное сопротивление грунтов сдвигу в полевых условиях и выполнить инженерные расчеты земляных сооружений на слабых грунтах.

По результатам определения недренированного сопротивления грунта сдвигу на основании (6) (формула (13), Приложение К, МГСН 2.07–01) можно оценить сопротивление под конусом зонда и в дальнейшем – модуль деформации грунта. Оценочные значения приведены в табл. 3.

$$c_u = q_c / 20. \quad (6)$$

Испытания грунтов динамическим плотномером Д-51

Динамическое зондирование слабого грунта выполнялось для сравнительной оценки механических свойств. Для динамического зондирования применялся динамический плотномер Д-51.

Динамический плотномер грунта Д-51 – ручной переносной прибор для измерения сопротивления погружению зонда под действием возрастающего числа приложений ударной нагрузки. Площадь основания конуса – 8,04 см². Угол при вершине конуса – 60°. Масса гири – 2,523 кг. Высота падения груза – 30 см. Прибор представляет собой легкий пенетрометр с коническим наконечником.

Исследования прибором проводились в соответствии с пп. 6.3, 6.4 ГОСТ 19912–2012. Производили два испытания до отказа (в соответствии с пунктом 6.4.6). Отказ произошел на глубине 2 и 3 м. Результаты испытаний приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты испытаний грунтов динамическим плотномером Д-51

Table 4

Soil test log dynamic density meter

Глубина погружения, см	Число ударов в залеге	Глубина погружения зонда за залог, см	Поправочные коэффициенты		Исправленное число ударов в залеге	Удельная энергия зондирования A , Н/см	Условное динамическое сопротивление грунта p_d , МПа
			K_1	K_2			
1	2	3	4	5	6	7	8
Испытание 1							
42	1	42	0,49	1	0,49	366,11	0,0427
50	2	8	0,49	1	0,98	366,11	0,4485
60	3	9	0,49	1	1,47	366,11	0,5980
70	2	10	0,49	1	0,98	366,11	0,3588
80	3	10	0,49	1	1,47	366,11	0,5382
90	18	10	0,49	1	8,82	366,11	3,2291
100	20	10	0,49	1	9,80	366,11	3,5879
110	20	10	0,49	1	9,80	366,11	3,5879
120	22	10	0,49	1	10,78	366,11	3,9467
130	27	10	0,49	1	13,23	366,11	4,8436
140	24	10	0,49	1	11,76	366,11	4,3055
150	23	10	0,49	1	11,27	366,11	4,1261
160	20	10	0,43	1	8,60	366,11	3,1485
170	34	10	0,43	1	14,62	366,11	5,3525
180	49	10	0,43	1	21,07	366,11	7,7139
190	50	10	0,43	1	21,50	366,11	7,8714
200	51	10	0,43	1	21,93	366,11	8,0288
Испытание 2							
46	1	46	0,49	1	0,49	0,941	0,0390
53	1	7	0,49	1	0,49	0,941	0,2563
63	2	10	0,49	1	0,98	0,941	0,3588
70	3	7	0,49	1	1,47	0,941	0,7688
80	4	10	0,49	1	1,96	0,941	0,7176
90	5	10	0,49	1	2,45	0,941	0,8970
100	8	10	0,49	1	3,92	0,941	1,4352
110	13	10	0,49	1	6,37	0,941	2,3321
120	20	10	0,49	1	9,80	0,941	3,5879
130	25	10	0,49	1	12,25	0,941	4,4848

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
140	29	10	0,49	1	14,21	0,941	5,2024
150	26	10	0,49	1	12,74	0,941	4,6642
160	44	10	0,43	1	18,92	0,941	7,8933
170	46	10	0,43	1	19,78	0,941	8,2521
180	36	10	0,43	1	15,48	0,941	6,4582
190	35	10	0,43	1	15,05	0,941	6,2788
200	37	10	0,43	1	15,91	0,941	6,6376
210	59	10	0,43	1	25,37	0,941	10,5842
220	30	10	0,43	1	12,90	0,941	5,3818
230	30	10	0,43	1	12,90	0,941	5,3818
240	36	10	0,43	1	15,48	0,941	6,4582
250	40	10	0,43	1	17,20	0,941	7,1758
260	58	10	0,43	1	24,94	0,941	10,4048
270	54	10	0,43	1	23,22	0,941	9,6873
280	67	10	0,43	1	28,81	0,941	12,0194
290	63	10	0,43	1	27,09	0,941	11,3018
300	62	10	0,43	1	26,66	0,941	11,1224

Сопротивление грунта зондированию R_s определяется как работа W_s , необходимая для погружения конуса от начала его движения до остановки, деленная на глубину погружения конуса h [3]:

$$R_s = \frac{W_s}{h}. \quad (7)$$

Работа, совершаемая при погружении конуса, равная кинетической энергии в случае падения на наковальню груза массой 2,5 кг с высоты 30 см, определяется из выражения [3]

$$W_s = \frac{1}{2}mv^2 = mgH = 7,3575 \text{ Дж} = 7,3575 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Удельная энергия зондирования A определяется путем деления кинетической энергии на площадь основания конуса (в нашем случае – конус диаметром 16 мм):

$$A = \frac{W_s}{A_{\text{кон}}} = \frac{7,3575 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,016^2} = 36\,611 \frac{\text{Н}}{\text{м}} = 366,11 \frac{\text{Н}}{\text{см}}.$$

Тогда условное динамическое сопротивление грунта без поправочных коэффициентов для первого участка (глубина погружения 42 см за один удар) составит:

$$p_d = \frac{A}{h} = \frac{366,11}{42} = 8,7 \frac{\text{Н}}{\text{см}^2} = 87 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} = 87 \text{ кПа} = 0,087 \text{ МПа}.$$

Условное динамическое сопротивление при испытании ударным способом определяется по формуле ГОСТ 19912–2012 [4]:

$$p_d = AK_1K_2 n/h. \quad (8)$$

Графики зависимости условного динамического сопротивления грунта от глубины погружения зонда приведены на рис. 5, 6.

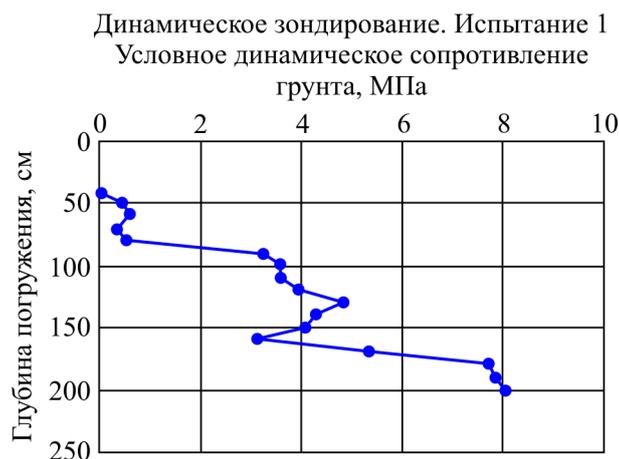


Рис. 5. Условное динамическое сопротивление грунта (испытание 1)
 Fig. 5. Conditional dynamic resistance of the soil (test 1)



Рис. 6. Условное динамическое сопротивление грунта (испытание 2)
 Fig. 6. Conditional dynamic resistance of the soil (test 2)

Анализ полученных результатов и их сравнение с результатами испытаний зондовым пенетрометром и сдвигомером-крыльчаткой позволяет оценить величину модуля деформации торфа по результатам испытания динамическим зондом, равную условному динамическому сопротивлению грунта.

$$E = p_d. \quad (9)$$

Заключение

Применение легких портативных приборов позволяет оперативно и незатратно определить характеристики слабого грунта и выполнить расчеты конструкции временных автодорог. По результатам современных исследований предложено множество корреляционных зависимостей [5–15], применяя которые к результатам статического и динамического зондирования и испытаний на вращательный срез, возможно оценить физико-механические

характеристики грунтов. Механические характеристики грунта, полученные в ходе испытаний, будут использованы в качестве исходных данных для расчета конструкции автодорог с улучшенным покрытием на слабом основании.

Библиографический список

1. Амарян Л.С. Свойства слабых грунтов и методы их изучения. – М.: Недра, 1990. – 219 с.
2. Мариупольский Л.Г. Исследования грунтов для проектирования и строительства свайных фундаментов. – М.: Стройиздат, 1989. – 195 с.
3. Болдырев Г.Г. Методы динамического зондирования [Электронный ресурс]. – URL: http://npp-geotek.com/d/942856/d/glava2_metodydinamicheskogozondirovaniya.pdf (дата обращения: 01.12.2018).
4. Болдырев Г.Г., Мельникова А.В., Новичков Г.А. Интерпретация результатов полевых испытаний с целью определения деформационных характеристик грунтов // Инженерные изыскания. – 2014. – № 5-6. – С. 86–97.
5. Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса. – Пенза: ПГУАС, 2008. – 696 с.
6. Цытович Н.А. Механика грунтов: учеб. пособие. – М.: Стройиздат, 1963. – 638 с.
7. Robertson P. K. Soil classification using the cone penetration test // Canadian Geotechnical Journal. – 1990. – Vol. 27, iss. 1. – P. 151–158.
8. Estimating coefficient of consolidation from piezocone tests / P.K. Robertson [et al.] // Canadian Geotechnical Journal. – 1992. – Vol. 29, iss. 4. – P. 539–550.
9. Robertson P.K., Wride C.E. Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test // Canadian Geotechnical Journal. – 1998. – Vol. 35, iss. 3. – P. 442–459.
10. Robertson P.K. CPT interpretation – a unified approach // Canadian Geotechnical Journal. – 2009. – Vol. 46, iss. 11. – P. 1337–1355.
11. Robertson P.K., Cabal K.L. Estimating soil unit weight from CPT // Proceedings of the 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, 9–11 May 2010, Huntington Beach, California, USA. – Session 2. – Paper 2–40. – URL: <http://www.cpt10.com>. (дата обращения: 02.12.2018).
12. Robertson P.K. Estimating in-situ soil permeability from CPT & CPTu // Proceedings of the 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, 9–11 May 2010, Huntington Beach, California, USA. – Session 2. – Paper 2–51. – URL: <http://www.cpt10.com>. (дата обращения: 02.12.2018).
13. Robertson P.K. Soil behaviour type from CPT: an update // Proceedings of the 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, 9–11 May 2010, Huntington Beach, California. – Session 2. – Paper 2–56. – URL: <http://www.cpt10.com>. (дата обращения: 02.12.2018).
14. Robertson P.K., Cabal K.L. Guide to cone penetration testing for geotechnical engineering. – 5th ed. – Gregg Drilling & Testing Inc., 2012. – 131 p.
15. Sanglerat G. The penetration and soil exploration. – Amsterdam: Elsevier, 1972. – 464 p.

References

1. Amaryan L.S. Svoystva slabyyh gruntov i metody ih izucheniya [Properties of weak soils and methods for their study]. Moscow, Nedra, 1990, 219 p.

2. Mariupol'skij L.G. Issledovaniya gruntov dlya proektirovaniya i stroitel'stva svajnyh fundamentov [Soil studies for the design and construction of pile foundations]. Moscow, Stroiizdat, 1989, 195 p.

3. Boldyrev G.G. Metody dinamicheskogo zondirovaniya [Dynamic sounding methods]. available at: http://npp-geotek.com/d/942856/d/glava2_metodydinamicheskogozondirovaniya.pdf (accessed 01 December 2018).

4. Boldyrev G.G., Mel'nikova A.V., Novichkov G.A. Interpretaciya rezul'tatov polevyh ispytaniy s cel'yu opredeleniya deformatsionnyh harakteristik gruntov [Interpretation of field test results to determine the deformation characteristics of soils]. *Inzhenernye izyskaniya*, 2014, no. 5-6, pp. 86-97.

5. Boldyrev G.G. Metody opredeleniya mekhanicheskikh svojstv gruntov. Sostoyanie voprosa [Methods for determining the mechanical properties of soils. State of the matter]. Penza, PGUAS, 2008, 696 p.

6. Tsytovich N.A. Mekhanika gruntov [Soil mechanics]. Moscow, Strojizdat, 1963, 638 p.

7. Robertson, P. K. Soil classification using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal*, 1990, vol. 27, iss. 1, pp. 151-158.

8. Robertson P.K. et al. Estimating coefficient of consolidation from piezocone tests. *Canadian Geotechnical Journal*, 1992, vol. 29, iss. 4, pp. 539-550.

9. Robertson P.K., Wride C.E. Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal*, 1998, vol. 35, iss. 3, pp. 442-459.

10. Robertson P.K. CPT interpretation – a unified approach. *Canadian Geotechnical Journal*, 2009, vol. 46, iss. 11, pp. 1337-1355.

11. Robertson P.K., Cabal K.L. Estimating soil unit weight from CPT. *Proceedings of the 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing*, 9–11 May 2010, Huntington Beach, California, USA, Session 2, Paper 2–40, available at: <http://www.cpt10.com>. (accessed 02 December 2018).

12. Robertson P.K. Estimating in-situ soil permeability from CPT & CPTu [electronic resource] / P.K. Robertson *Proceedings of the 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing*, 9–11 May 2010, Huntington Beach, California, USA, Session 2, Paper 2–51. available at: <http://www.cpt10.com>. (accessed 02 December 2018).

13. Robertson P.K. Soil behaviour type from CPT: an update *Proceedings of the 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing*, 9–11 May 2010, Huntington Beach, California, Session 2, Paper 2–56. available at: <http://www.cpt10.com>. (accessed 02 December 2018).

14. Robertson P.K., Cabal K.L. Guide to cone penetration testing for geotechnical engineering. 5th ed. Gregg Drilling & Testing Inc., 2012, 131 p.

15. Sanglerat G. The penetration and soil exploration. Amsterdam, Elsevier, 1972, 464 p.