

6. Чаликова Е.С., Степанова Е.В. Долговечность силикатных тампонажных растворов. Материалы к пятому совещанию по закреплению и уплотнению грунтов. Новосибирск, 1966. С. 163-167.

7. Patil V.M., Patil K.A. Effect of industrial waste and RBI Grade 81 on swelling characteristics of clayey soil. Facta Universitatis Series : Architecture and Civil Engineering. 2013; 11(3), hh 231-236.

8. <http://www.geol.vsu.ru/ecology/ForStudents/4Graduate/GroundCleaning/Lecture2.pdf>

9. <http://ru-ecology.info/term/77410/>

УДК 624.154.046.2

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПЕСЧАНЫХ ОСНОВАНИЙ СВАЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЗОНДИРОВАНИЯ

Бабак М. С. канд. техн. наук, доцент, **Никитенко М. И.**

д-р техн. наук, профессор,

(Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Беларусь)

Семенюк С. Д. д.т.н., профессор

(УО «Белорусско-российский университет»)

Введение

Уточненная методика расчета несущей способности песчаных грунтов в основании буронабивных и забивных свай по данным статического зондирования была предложена [1] на базе синтеза существующих методов [2,6,7,8,9,10], а также выполненных в БНТУ экспериментальных и теоретических исследований. В ней использованы известные формулы с поправочными коэффициентами для учета технологии и глубины погружения в несущий слой грунта указанных свай, диаметров их стволов и пят при корректировке расчетных схем использования полученных сопротивлений грунтов зондированию в пределах активной зоны по глубине основания.

Несущую способность песчаных оснований сваи постоянного сечения и с уширением нижнего конца предложено определять по следующей формуле:

$$Q = Q_b + Q_s = k_c \cdot \bar{q}_c \cdot A_b + k_f \cdot f_p \cdot A_s \quad (1)$$

где Q_b – несущая способность грунта под концом сваи, МН;

Q_s – сопротивление грунта вдоль ствола сваи, МН;

k_c – безразмерный поправочный коэффициент условной работы грунта под пятой сваи определяемый согласно зависимости:

$$k_c = \alpha \cdot \left(\frac{\bar{q}_c}{P_A} \right)^{-0,455} \quad (2)$$

где \bar{q}_c – среднее значение сопротивления грунта в пределах активной зоны у пяты сваи по данным статического зондирования, МПа;

P_A – сопротивление грунта, $P_A = 1 \text{ МПа}$;

A_b – площадь сечения ствола или пяты сваи в месте наибольшего уширения, м^2 ;

α – безразмерный коэффициент, учитывающий технологию и глубину ее погружения в несущий слой грунта с его мощностями выше и ниже пяты свай, принимаемый 1,9 для всех схем, кроме II, для которой определяется по таблице 5.4 [1].

k_f – безразмерный поправочный коэффициент условной работы грунта вдоль ствола сваи, определяемый по формуле;

$$k_f = \frac{A_o}{2A_s} \quad (3)$$

где A_o – единичная площадь боковой поверхности ствола сваи, $A_o = 1 \text{ м}^2$;

A_s – площадь боковой поверхности ствола сваи в грунтовом слое, м^2 .

f_p – среднее значение сопротивления сдвигу слоя грунта вдоль боковой поверхности ствола сваи на соответствующей глубине, МПа.

Значения несущих способностей песчаных грунтов в основаниях набивных и забивных свай на опытных площадках

Такие значения определялись натурными статическими испытаниями свай на трех объектах и расчетом по данным статического зондирования на них согласно уточненной методике [1] и по действующему в Республике Беларусь нормативному документу [2]. Полученные при этом результаты представлены в таблице 1. В ней приведены также показатели отклонения опытных значений несущих способностей оснований свай от получаемых расчетом согласно [1, 2] и параметры математического ожидания для оценки обеспеченности точности расчетов по [1].

Таблица 1

Несущие способности песчаных грунтов в основаниях свай по экспериментальным данным и расчетам согласно [2] и [1], отклонение опытных значений от расчетных, параметры математического ожидания для оценки обеспеченности точности расчетов F_T [1] в сопоставлении с данными их испытаний статическими вдавливающими нагрузками F_3

№ п/п	№ сваи/длина/сечение	Факт. тич. несущ. спос. F_3 , кН	Расчетная несущая способность $F_{рас}$, кН		Отклонение опытных значений от расчетных $\Delta = 100(F_3 - F_{T[1]})/F_3$, %		$Z_i = \frac{F_3}{F_T}$	$Z_m - Z_i$	$(Z_m - Z_i)^2$
			по [2]	по [1]	по [2]	по [1]			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Площадка № 1 – (сваи буронабивные Ø0,35 м разных длин)									
1	1/8	800	561	801,33	29,90	-0,17	0,9983	0,0973	0,0095
2	2/4	600	312	598,89	48,00	0,19	1,0019	0,0937	0,0088
3	3/5	900	416	738,70	53,78	17,92	1,2184	-0,1228	0,0151
4	5/7	1000	551	909,39	44,90	9,06	1,0996	-0,0040	0,0000
5	6/8	800	486	737,13	39,30	7,86	1,0853	0,0103	0,0001
6	7/8	900	567	816,52	37,00	9,28	1,1022	0,0066	0,0000
7	8,7	900	604	913,90	32,89	-1,54	0,9848	0,1108	0,0123
8	11/5	700	479	761,80	31,53	-8,83	0,9189	0,1767	0,0312
9	12/8	700	328	643,64	53,14	8,05	1,0876	0,0080	0,0001

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	13/12	900	759	750,73	15,67	16,59	1,1988	- 0,1032	0,0107
11	15/10	800	767	871,00	4,13	-8,88	0,9185	0,1771	0,0314
12	16/12	1000	717	967,70	28,30	3,23	1,0334	0,0622	0,0039
13	20/8	900	736	769,71	18,22	14,48	1,1623	- 0,0667	0,0044
14	27/8	700	619	635,08	11,57	9,27	1,1022	- 0,0066	0,0000
15	29/8	800	770	787,54	3,75	1,56	1,0158	0,0798	0,0064
16	30/10	900	724	900,05	19,56	-0,01	0,9999	0,0957	0,0092
17	32/7	700	425	576,77	39,29	17,60	1,2137	- 0,1181	0,0139
18	34/9	800	487	578,26	39,13	27,72	1,3835	- 0,2879	0,0829
19	38/5	900	550	807,81	38,89	10,24	1,1141	- 0,0185	0,0003
20	39/7	900	861	787,30	4,33	12,52	1,1431	- 0,0475	0,0023
21	40/5	600	531	736,70	11,50	-22,78	0,8144	0,2812	0,0791
22	41/8	700	815	732,14	-16,43	-4,59	0,9561	0,1395	0,0195
23	42/10	900	674	804,44	25,11	10,62	1,1188	- 0,0232	0,0005
24	43/9	900	566	864,19	37,11	3,98	1,0414	0,0542	0,0029
25	45/4	700	361	711,50	48,43	-1,64	0,9839	0,1117	0,0125
26	46/8	900	585	899,00	35,00	0,11	1,0011	0,0945	0,0089
27	47/5	900	468	928,53	48,00	-3,17	0,9693	0,1263	0,0160
28	48/6	800	723	731,00	9,63	8,63	1,0944	0,0012	0,0000
29	50/4	700	528	708,70	24,57	-1,24	0,9877	0,1079	0,0116
30	53/8	1000	600	834,70	40,00	16,53	1,1980	- 0,1024	0,0105
31	54/8	600	524	687,74	12,67	-14,62	0,8724	0,2232	0,0498
32	56/6	700	739	667,66	-5,57	4,62	1,0484	0,0472	0,0022
33	57/5	800	531	729,76	33,63	8,78	1,0963	- 0,0007	0,0000
Площадка № 2 – (сваи забивные сечением 30х30 см, разных длин)									
34	1/5	800	482	653,00	39,75	18,38	1,2251	- 0,1295	0,0168
35	2/5	800	740	693,08	7,50	13,37	1,1543	- 0,0587	0,0034
36	6/5	900	855	813,00	5,00	9,67	1,1070	- 0,0114	0,0001

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
37	7/8	1100	965	798,00	12,27	27,45	1,3784	- 0,2828	0,0800
38	8/8	1200	804	920,00	33,00	23,33	1,3043	- 0,2087	0,0436
39	9/7	1000	861	924,42	13,90	7,56	1,0818	0,0138	0,0002
40	10/8	1000	870	1042,03	13,00	-4,20	0,9597	0,1359	0,0185
41	12/10	1100	1028	806,04	6,55	26,72	1,3647	- 0,2691	0,0724
42	15/10	1000	1007	920,60	-0,70	7,94	1,0862	0,0094	0,0001
43	18/10	1100	1076	1041,71	2,18	5,30	1,0560	0,0396	0,0016
44	19/9	900	961	799,07	-6,78	18,21	1,1263	- 0,0307	0,0009
45	22/8	1000	885	794,26	11,50	20,57	1,2590	- 0,1634	0,0267
46	23/9	1100	858	879,43	22,00	20,05	1,2508	- 0,1552	0,0241
47	25/9	1200	100	955,85	16,33	20,34	1,2554	- 0,1598	0,0255
48	32/11	1200	1164	1083,10	3,00	9,74	1,1079	- 0,0123	0,0002
49	33/12	1200	971	995,51	19,08	17,04	1,2054	- 0,1098	0,0121
50	34/12	1200	1193	871,00	0,58	27,42	1,3777	- 0,2821	0,0796
Площадка № 3 – (сваи бурунабивные Ø0,9 м разных длин)									
51	1/8,7	2900	3268	2807,10	-12,69	3,20	1,0331	0,0625	0,0039
52	2/8,4	3600	2876	3000,60	20,11	16,65	1,1998	- 0,1042	0,0109
53	3/8,6	3600	2410	3250,50	33,06	9,71	1,1075	- 0,0119	0,0001
54	4/8,7	3767	2033	2983,40	46,03	20,80	1,2627	- 0,1671	0,0279
55	5/8,6	3600	30050	3096,90	16,53	13,98	1,1625	- 0,0669	0,0045
56	6/8,7	2600	22270	2621,80	14,35	-0,84	0,9917	0,1039	0,0108
57	7/8,7	2405	3443	2635,80	-43,16	-9,60	0,9124	0,1832	0,0336

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
58	8/8,6	3600	3002	3311,80	16,61	8,01	1,0870	0,0086	0,0001	
59	9/9,2	2200	2247	2859,30	-2,14	-29,97	0,7694	0,3262	0,1064	
60	10/9,25	3100	2256	2725,20	27,23	12,09	1,1375	- 0,0419	0,0018	
61	12/11	3600	3291	2993,60	8,58	16,84	1,2026	- 0,1070	0,0144	
62	14/10,6	2700	2703	2920,40	-0,11	-8,16	0,9245	0,1711	0,0293	
63	17/12,9	3600	4596	2344,30	-27,67	34,88	1,5356	- 0,4400	0,1936	
64	18/12,9	2500	2846	2737,50	-18,84	-9,50	0,9132	0,1824	0,0333	
65	19/12,9	2500	3682	2960,80	-47,28	-18,43	0,8444	0,2512	0,0631	
66	20/13	3000	4387	2434,10	-46,23	18,96	1,2325	- 0,1369	0,0187	
67	22/13,4	2600	3091	3165,40	-18,88	-21,73	0,8214	0,2742	0,0752	
							$\sum z_i =$ 73,4023	$\sum (z_m - z_i)^2 =$ 1,5764		
							$z_m = \frac{\sum z_i}{n} = \frac{73,4023}{67} = 1,0956$			

В этой таблице на трех объектах отклонения опытных значений несущих способностей свай от расчетных по [2] колебались в достаточно широком диапазоне от 57,48% до – 47,28, а по [1] они составили от 34,88% до – 29,97%.

Оценить достоверности предлагаемой методики по сравнению с существующими можно при помощи аппарата математической статистики [3, 4].

Оценка точности определения несущей способности песчаных оснований свай по данным зондирования согласно предлагаемой методике

Для оценки обеспеченности точности предлагаемой расчетной методики статистическими методами определяли следующие критерии [1], по которым принимаются или отвергается та или иная гипотеза:

1. Уравнения для наиболее подходящей линии отношения расчетной ($F_{сз}$) к измеренной несущей способности ($F_{ст.исп.}$) с коэффициентом детерминации (R^2).

2. Среднее арифметическое значение отношения $F_{сз}/F_{ст.исп.}$ и стандартное квадратическое отклонение $F_{сз}/F_{ст.исп.}$.

3. Средняя относительная погрешность при определении $F_{сз}/F_{ст.исп.}$, %

4. Коэффициент асимметрии (A_s).

5. Количество в % отношений ($F_{сз}/F_{ст.исп.}$), находящихся за пределами ± 20 %, от значения, равного 1 (в сторону завышения и занижения).

На базе такой обработки при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,986$ для буронабивных и забивных свай получаем следующую расчетную формулу:

$$F_{ст.исп.} = 1,08 \cdot F_{сз}, \quad (4)$$

где $F_{ст.исп.}$ – несущая способность свай по результатам их испытаний статической нагрузкой, кН;

$F_{сз}$ – прогнозируемая несущая способность свай по результатам статического зондирования, рассчитанная предлагаемым методом, кН.

Статистическая обработка прогнозируемой несущей способности оснований свай по предлагаемому методу показывает, что площадь под кривой нормального распределения составляет 86,34% при среднем арифметическом 0,92 от общей площади полученных данных под кривой нормального распределения, находящихся в пределах от 0,8 до 1,2 по сравнению с результатами согласно [2], которые составляют 45,79% при среднем арифметическом 0,785 [1111].

Исходя из полученных результатов, предлагаемый метод дает более точный прогноз несущей способности по сравнению с [2].

Поскольку данные критерии используются преимущественно в зарубежной практике, ниже при оценке точности использованы распространенные в отечественной практике [5]: математическое ожидание m_z ($m_z = z_m$), среднее квадратическое отклонение σ и его оценочное значение S , коэффициент вариации V , средняя ошибка среднего арифметического m , показатель точности $P\%$.

Шаг $S_{\text{кл}}$ принимали при количестве классов $n = 8 - 10$.

Теоретическая высота кривой нормального распределения определяется по формуле:

$$H = \frac{0,4 S_{\text{кл}} \cdot n}{S_z} \quad (5)$$

Для использованных исходных данных о значениях несущих способностей оснований свай по результатам их натурных испытаний статистическими вдавливающими нагрузками и определения по предлагаемой методике вычисленные значения указанных выше параметров представлены в таблице 1.

Квадратическое отклонение σ согласно [3, 4] определяли по зависимости:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (z_m - z_i)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{1,5764}{67 - 1}} = 0,1545 \text{ или } 15,45\%, \text{ где}$$

$$z_{\text{max}} = 1,5356 \quad (63),$$

$$z_{\text{min}} = 0,7694 \quad (59)$$

Подставляя в нее параметры из таблицы 1, получим:

Коэффициент вариации:

$$V = \frac{\sigma}{z_m} = \frac{0,1545}{1,0956} = 0,1410 \text{ или } 14,10\%.$$

Средняя ошибка среднего арифметического:

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,1545}{\sqrt{67}} = \frac{0,1545}{8,1854} = 0,0189.$$

Показатель точности:

$$P\% = \frac{100m}{z_m} = \frac{100 \cdot 0,0189}{1,0956} = 1,725\%;$$

Высота кривой нормального распределения:

$$H = \frac{0,4 \cdot 67 \cdot 0,10}{0,1545} = 17,35.$$

Как известно, расчетная модель считается надежной, если коэффициент вариации V не превышает 0,15. В нашем случае $V = 0,141 < 0,15$, поэтому предлагаемую расчетную модель можно считать надежной.

Таблица 2
Параметры к построению кривой нормального распределения (рис. 1)

Отклонение от σ		Значение абсцисс		h	Значение ординаты «у»
$\pm \alpha$ в долях		X_1	X_2		
σ	величина				
0	0	1,0956		1,0	17,35
0,5	0,07725	1,01835	1,17285	0,883	15,32
1,0	0,15450	0,94110	1,25010	0,607	10,53
1,5	0,23175	0,86385	1,32735	0,325	5,64
2,0	0,30900	0,78660	1,40460	0,135	2,34
2,5	0,38625	0,70935	1,48185	0,044	0,76
3,0	0,46350	0,63210	1,55910	0,011	0,19

К нахождению критерия χ^2 Пирсона

Классы	Фактическая частота, m	Теоретическая частота, m'	$(m - m')$	$(m - m')^2$	$\chi^2 = \frac{(m - m')^2}{m'}$
0,701-0,800	1	1,4	-0,4	0,16	0,11
0,801-0,900	4	4,8	-0,8	0,64	0,13
0,901-1,000	14	11,5	2,5	6,25	0,54
1,001-1,100	16	16,6	-0,6	0,36	0,02
1,101-1,200	16	16,5	-0,5	0,25	0,02
1,201-1,300	10	10,3	-0,3	0,09	0,01
1,301-1,400	5	4,4	0,6	0,36	0,08
1,401-1,500	-	1,3	-1,3	1,69	1,30
1,501-1,600	1	0,2	0,8	0,64	3,20

67

67

$$\sum \chi_i^2 = 5,41$$

<p>Критерий Романовского В. И.</p> $\frac{ \chi^2 - K }{\sqrt{2K}} = \frac{ 5,41 - 9 }{\sqrt{2 \cdot 9}} = \frac{3,59}{4,243} = 0,846$	<p>Критерий Ястремского Б. С.</p> $\frac{ \chi^2 - K }{\sqrt{2K+2,4}} = \frac{ 5,41 - 9 }{\sqrt{2 \cdot 9 + 2,4}} = \frac{3,59}{4,52} = 0,794$
--	--

Следовательно, для приведенных опытных данных можно принять теоретическую модель нормального распределения.

Используя закон нормального распределения интегральным методом [5] по формуле А. М. Ляпунова

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left[\frac{S_n - A_n}{B_n} < x \right] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-z^2/2} \cdot dz \quad (6)$$

В заданных пределах определена обеспеченность точности предлагаемого метода при отклонении в процентах.

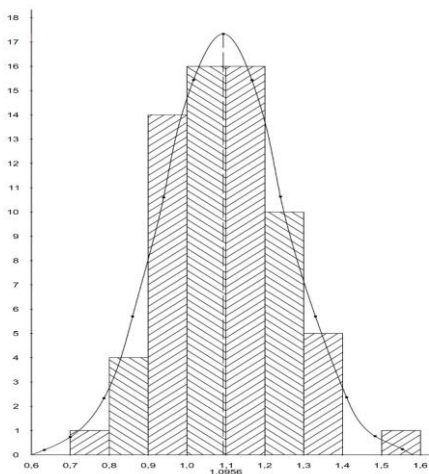


Рис. 1. Гистограмма и кривая нормального распределения отношений опытных значений к расчетным

$\frac{F_3}{F_r}$	σ	V, %	P, %	Обеспеченность точности % при отклонении					
				5%	10%	15%	20%	25%	30%
1,095 6	0,15 45	14,1	1,725	25,4	48,2	66,8	80,46	89,44	94,8

$$\begin{aligned}
t^5 &= 0,05:0,1545 = 0,324, \quad t^{10} = 0,10:0,1545 = 0,647, \quad t^{15} = \\
&= 0,15:0,1545 = 0,971, \\
t^{20} &= 0,20:0,1545 = 1,295, \quad t^{25} = 0,25:0,1545 = 1,61, \quad t^{30} = \\
&= 0,30:0,1545 = 1,942 \quad (94,8)
\end{aligned}$$

Оценка точности предлагаемой методики расчета несущей способности оснований свай по данным зондирования грунтов согласно с требованиями ТКП EN 1990-2011

Согласно ТКП EN 1990-2011 (02250), следует принимать измеренные характеристики в функции сопротивления грунта для получения теоретических значений Γ_{ti} , которые сравнивают с экспериментальными Γ_{zi} .

Вероятностная модель сопротивления Γ представляется в виде

$$r = b \cdot r_i \cdot \delta, \quad (7)$$

где b — уклон, определяемый по методу наименьших квадратов

$$b = \frac{\sum r_i \cdot r_t}{\sum r_t^2} \quad (8)$$

Значение ошибки δ_i для каждого экспериментального значения определяется по формуле

$$\delta_i = \frac{r_{zi}}{b \cdot r_{ti}} \quad (9)$$

Среднее значение теоретической функции сопротивления Γ_m , рассчитанное с использованием средних значений базисных переменных Z_m , находят по формуле

$$r_m = b \cdot \delta \cdot r_t \cdot z_m \quad (10)$$

Логарифм вектора ошибок Δ_i и его оценочное значение $\bar{\Delta}$:

$$\Delta_i = \ln(\delta_i); \quad (11)$$

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i. \quad (12)$$

Соответственно, выборочная дисперсия

$$S_{\Delta}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{\Delta} - \Delta_i)^2. \quad (13)$$

Коэффициент вариации вектора ошибок

$$V_{\delta} = \sqrt{\exp(S_{\Delta}^2) - 1}. \quad (14)$$

Расчет соответствующих параметров представлен в таблице 3.

Таблица 3

Оценка V_{δ} для модели расчета несущей способности свай

№ п/п	Шифр свай	$r_s = F_s$, кН	$r_t = F_t$, кН	$r_s \cdot r_t$	r_t^2	δ_i	Δ_i	$(\bar{\Delta} - \Delta_i)^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1 б. н. 8/0,35	800	801,33	641064	642129,77	0,9359	- 0,0662	0,007171
2	2 б. н. 4/0,35	600	598,89	359334	358669,23	0,9392	- 0,0627	0,006590
3	3 б. н. 5/0,35	900	738,70	664830	545677,69	1,1422	0,1329	0,013092
4	5 б. н. 7/0,35	1000	909,39	909390	826990,17	1,0309	0,0304	0,000142
5	6 б. н. 8/0,35	800	737,13	589704	543360,64	1,0174	0,0173	0,000001

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	7 б. н. 8/0,35	900	816,52	734868	666704,91	1,1022	0,0973	0,006213
7	8 б. н. 7/0,35	900	913,90	822510	835213,21	0,9232	- 0,0799	0,009679
8	11 б. н. 5/0,35	700	761,80	533260	580339,24	0,8623	- 0,1481	0,027749
9	12 б. н. 8/0,35	700	643,64	450548	414272,45	1,0196	0,0194	0,000000
10	13 б. н. 12/0,35	900	750,73	675657	563595,53	1,1239	0,1168	0,009667
11	15 б. н. 10/0,35	800	871,00	696800	758641,00	0,8611	- 0,1496	0,028251
12	16 б. н. 12/0,35	1000	967,70	967700	936443,29	0,9688	- 0,0317	0,002518
13	20 б. н. 8/0,35	900	769,71	692739	592453,48	1,0962	0,0918	0,005376
14	27 б. н. 8/0,35	700	635,08	444556	403326,61	1,0333	0,0328	0,000205
15	29 б. н. 8/0,35	800	787,54	630032	620219,25	0,9523	- 0,0489	0,004540
16	30 б. н. 10/0,35	900	900,05	810045	810090,00	0,9374	- 0,0646	0,006902
17	32 б. н. 7/0,35	700	576,77	403739	332663,63	1,1378	0,1291	0,012237
18	34 б. н. 9/0,35	800	578,26	462608	334384,63	1,2970	0,2600	0,058332
19	38 б. н. 5/0,35	900	807,81	727029	652557,00	1,0445	0,0435	0,000626
20	39 б. н. 7/0,35	900	787,30	708570	619841,29	1,0717	0,0632	0,002573
21	40 б. н. 5/0,35	600	736,70	442020	542726,89	0,7635	- 0,2698	0,083105
22	41 б. н. 8/0,35	700	732,14	512498	536028,98	0,8963	- 0,1095	0,016379
23	42 б. н. 10/0,35	900	804,44	723996	647123,71	1,0488	0,0477	0,000854
24	43 б. н. 9/0,35	900	864,19	777771	746824,36	0,9763	- 0,0240	0,001805
25	45 б. н. 4/0,35	700	711,50	498050	506232,25	0,9223	- 0,0809	0,009876

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
26	46 б. н. 8/0,35	900	899,00	809100	808201,00	0,9385	- 0,0635	0,006721
27	47 б. н. 5/0,35	900	928,53	835722	862167,96	0,9087	- 0,0958	0,013060
28	48 б. н. 6/0,35	800	731,00	584800	534361,00	1,0260	0,0256	0,000051
29	50 б. н. 4/0,35	700	708,70	496090	502255,69	0,9260	- 0,0769	0,009097
30	53 б. н. 8/0,35	1000	834,70	834700	696724,09	1,1231	0,1161	0,009530
31	54 б. н. 8/0,35	600	687,74	412644	472986,31	0,8179	- 0,2011	0,048215
32	56 б. н. 6/0,35	700	667,66	467362	445769,88	0,9829	- 0,0173	0,001280
33	57 б. н. 5/0,35	800	729,76	583808	532549,66	1,0277	0,0273	0,000078
34	1 с 5/0,3 × 0,3	800	653,00	522400	426409,00	1,1485	0,1385	0,014405
35	2 с 5/0,3 × 0,3	800	693,08	554464	480359,89	1,0821	0,0789	0,003651
36	6 с 5/0,3 × 0,3	900	813,00	731700	660969,00	1,0378	0,0371	0,000347
37	7 с 8/0,3 × 0,3	1100	798,00	877800	636804,00	1,2923	0,2564	0,056606
38	8 с 8/0,3 × 0,3	1200	920,00	1104000	846400,00	1,2228	0,2011	0,033350
39	9 с 7/0,3 × 0,3	1000	924,42	924420	854552,34	1,0141	0,0140	0,000020
40	10 с 8/0,3 × 0,3	1000	1042,03	1042030	1085826,52	0,8997	- 0,1057	0,015421
41	12 с 10/0,3 × 0, 3	1100	806,04	886644	649700,48	1,2794	0,2464	0,051948
42	15 с 10/0,3 × 0, 3	1000	920,60	920600	847504,36	1,0183	0,0182	0,000000
43	18 с 10/0,3 × 0, 3	1100	1041,71	1145881	1085159,72	0,9899	- 0,0101	0,000817

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
44	19 с 9/0,3 × 0,3	900	799,07	719163	638512,86	1,0559	0,0544	0,001290
45	22 с 8/0,3 × 0,3	1000	794,26	794260	630848,95	1,1803	0,1658	0,021703
46	23 с 9/0,3 × 0,3	1100	879,43	967373	773397,12	1,1726	0,1592	0,019802
47	25 с 9/0,3 × 0,3	1200	955,85	1146612	913649,22	1,1769	0,1629	0,020857
48	32 с 11/0,3 × 0,3	1200	1083,10	1299720	1173105,61	1,0387	0,0379	0,000377
49	33 с 12/0,3 × 0,3	1200	995,51	1194612	991040,16	1,1300	0,1223	0,010779
50	34 с 12/0,3 × 0,3	1200	871,00	1045200	758641,00	1,2916	0,2559	0,056368
51	1CFA 8,7/0,9	2900	2807,10	8140590	7879810,41	0,9685	- 0,0320	0,002548
52	2CFA 8,4/0,9	3600	3000,60	10802160	9003600,36	1,1247	0,1176	0,009825
53	3CFA 8,6/0,9	3600	3250,50	11701800	10565750,25	1,0383	0,0376	0,000366
54	4CFA 8,7/0,9	3767	2983,40	11238468	8900675,56	1,1837	0,1686	0,22536
55	5CFA 8,6/0,9	3600	3096,90	11148840	9590789,61	1,0898	0,0860	0,004559
56	6CFA 8,7/0,9	2600	2621,80	6816680	6873835,24	0,9297	- 0,0729	0,008350
57	7CFA 8,7/0,9	2405	2635,80	6339099	6947441,64	0,8554	- 0,1562	0,030513
58	8CFA 8,6/0,9	3600	3311,80	11922480	10968019,24	1,0191	0,0189	0,000000
59	9CFA 9,2/0,9	2200	2859,30	8175596, 49	8175596,49	0,7213	- 0,3267	0,119149
60	10CFA 9,25/0,9	3100	2725,20	7426715, 04	7426715,04	1,0664	0,0643	0,002099
61	12CFA 11/0,9	3600	2993,60	8961640, 96	8961640,96	1,1274	0,1199	0,010286
62	14CFA 10,6/0,9	2700	2920,40	8528736, 16	8528736,16	0,8667	- 0,1430	0,026076
63	17CFA 12,9/0,9	3600	2344,30	5495742, 49	5495742,49	1,4396	0,3644	0,119661

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
64	18СFA 12,9/0,9	2500	2737,50	7493906, 25	7493906,25	0,8561	- 0,1553	0,030200
65	19СFA 12,9/0,9	2500	2960,80	8766336, 64	8766336,64	0,7916	- 0,2337	0,063595
66	20СFA 13/0,9	3000	2434,10	5924842, 81	5924842,81	1,1554	0,1445	0,015881
67	22СFA 13,4/0,9	2600	3165,40	1001975 7,16	10019757,16	0,7700	- 0,2613	0,088277
		$\Sigma =$ 96475	$\Sigma =$ 89227,91	$\sum_{i=1}^{67} r_i \cdot r_i =$ 186508730	$\sum_{i=1}^{67} r_i^2 =$ 174847901,34	$\sum_{i=1}^{67} \delta_i =$ -68,8895 $\delta_m =$ -1,0282	$\sum_{i=1}^{67} \Delta_i =$ +1,2379 $\bar{\Delta} =$ 0,01848	$\sum_{i=1}^{67} (\bar{\Delta} - \Delta_i)^2 =$ 1,253577
		$\frac{96475}{67} =$ 1439,88	$\frac{89227,91}{67} =$ 1331,76					

Среднее значение экспериментальных результатов	$r_{эм} = 1439,88$
Среднее значение результатов расчета	$r_{тм} = 1331,76$
Уклон, определяемый по методу наименьших квадратов	$b = 1,0667$
Среднее значение ошибки для экспериментальных значений	$\delta_m = 1,0282$
Оценочное значение $E(\Delta)$	$\bar{\Delta} = 0,01848$
Выборочная дисперсия вектора Δ	$S_{\Delta}^2 = 0,018994$
Коэффициент вариации для вектора ошибок δ	$V_{\delta} = 0,13782$
Среднее значение теоретической функции распределения, рассчитанное с использованием средних значений базисных переменных	$r_m = 1460,65$
Отклонение от среднего значения теоретической функции r_m от среднего значения экспериментальных результатов	$\% D_{r_m} = -1,442$
$r_{эм}, \%$	

Точки, представляющие пары соответствующих значений (r_{ti} , r_{si}), а также прямая $r_s = b \cdot r_t$ изображены на диаграмме « $r_s - r_t$ » (рис. 2).

Поскольку на ней все точки расположены вблизи прямой $r_s = b \cdot r_t = 1,0667r_t$ (величина коэффициента детерминации $R^2 = 0,9218$), а угол наклона прямой составляет $46,85^\circ$, то можно считать, что функция сопротивления является достаточной. Таким образом, предлагаемая усовершенствованная методика [1] расчета несущей способности песчаных оснований забивных и набивных свай по результатам зондирования грунта на базе экспериментально обоснованных расчетных схем с уточненными размерами активной зоны под нижними концами свай обеспечивает вполне приемлемую для инженерных расчетов точность. В этой связи ее можно использовать в проектной практике Республики Беларусь для повышения достоверности полученных результатов и снижения стоимости свайных фундаментов.

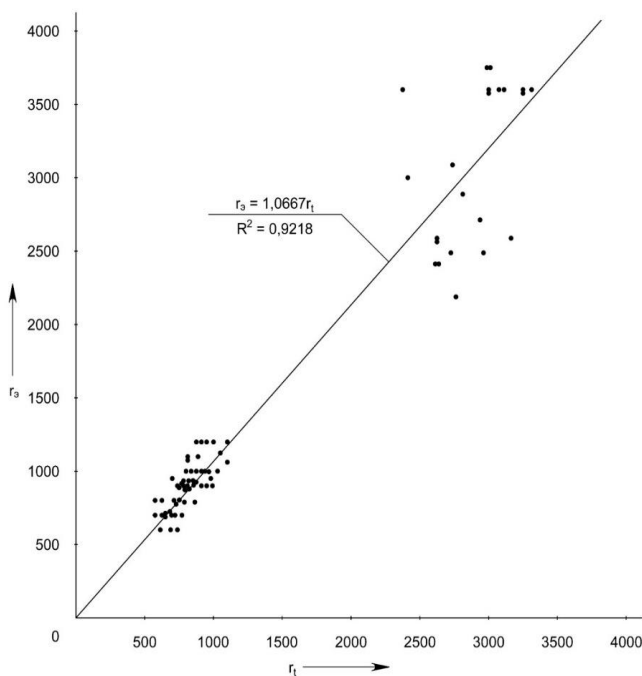


Рисунок 2. Диаграмма « $r_s - r_t$ ». Модель расчета несущей способности свай по [1]

Результаты расчета несущей способности свай по [2] с учетом предписаний ТКП ЕН 1990-2011 представлены также на рис. 3.

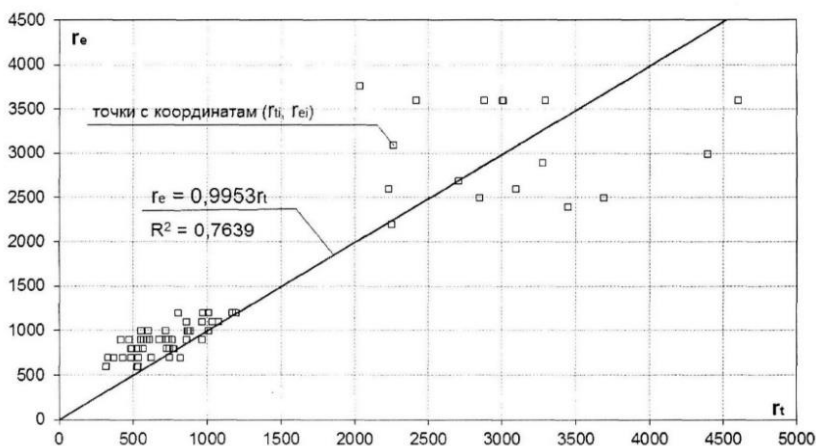


Рисунок 3. Диаграмма « $G_e - r_t$ ». Модель расчета несущей способности свай по [2]

Так как на данной диаграмме « $r_e - r_t$ » точки расположены вразброс относительно прямой $r_e = b \cdot r_t = 0,9953 \cdot r_t$ (коэффициент детерминации $R^2 = 0,7639$), то функция сопротивления не может считаться достаточно полной и точной, хотя угол наклона прямой составляет примерно 45° ($\arctan b = \arctan 0,9953 = 44,87^\circ$). При этом и коэффициент вариации превышает 15 % ($\nu = 0,2743 > 0,15$), поэтому предлагаемую расчетную модель нельзя считать надежной.

Обеспеченность точности определения несущей способности оснований свай по [2] с использованием теории А. М. Ляпунова не может быть представлена в связи невозможностью описать эмпирическое наблюдение кривой нормального распределения. Критерии согласия В. И. Романовского и Б. С. Ястремского больше 3, к тому же коэффициент вариации порядка 25%, что значительно больше 15,0 %.

Следовательно, для более достоверного проектирования и возведения свайных фундаментов на песчаных основаниях необходимо использовать предлагаемую Мореди С.Б. уточненную методику

расчета несущей способности их оснований по результатам статического зондирования [1] взамен ныне используемой согласно [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Моради Сани Б. Несущая способность песчаных оснований свай по результатам статического зондирования: дис. – канд. техн. наук: 05. 23. 02 / Б. Моради Сани: БНТУ. – Минск, 2016. – 160 с.

2. Пособие П2-2000 к СНБ 5.01.01-99 «Проектирование забивных и набивных свай по результатам зондирования грунтов». – Минск, Минархстройархитектуры РБ, 2001. – 23 с.

3. Венецкий А. Г. Теория вероятностной и математическая статистика / А. Г. Венецкий, Г. С. Кильдишев. – М.: Статистика, 1975. – 278 с.

4. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 1977. – 479 с.

5. Семенюк С. Д. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов, усиленных наращиванием сжатой зоны при статическом и малоцикловом нагружении / С. Д. Семенюк, Ю. Г. Москалькова. – Могилев: Беларус. – Док. дн – т2017. – 274 с.

6. ТКП EN 1990-2011 (02250) Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций. – Минск: Минархстрой архитектуры РБ, 2012. – 61 с.

7. Bustamane, M. Pile means of static penetrometer CPT / M. Bustamane, L. Gianceselli // Proceedings of the 2nd European Symposium on penetration testing/ ESOPTII. – Amsterdam, 1982. – P. 493–500.

8. DIN 4014, März 1990. Bohrfähle – Herstellung, Bemessung und Tragverhalten [Electronic resource]// Deutsche Institut für Normen. – Berlin, 1990. – Mode of access: https://www.umwelt-online.de/recht/bau/din/4014_ges.htm. – Date of access: 15.02.2012.

9. Schmertmann, J. H. Guidelines for cone penetration test, performance and design / J. H. Schmertmann // J. of U.S. Department of Transportation. Rep. No. FHWA-TS-78-209. – 1978 – P. 145.

10. Yamamoto, A. Geotechnical Investigation for Housing Construction in Japan / A. Yamamoto, S. Hirata, M. Tamura // Intern. offshore and polar Engineering conf., Lisbon, Portugal, 1 – 6 July. – Lisbon, 2007. – P. 1248–1250.

11. Моради Сани, Б. Совершенствование метода прогноза несущей способности песчаных оснований свай по результатам стати-

УДК 624.131.35: 624.154.1

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПЕСЧАНЫХ ОСНОВАНИЙ СВАЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Моради Сани Б. канд. техн. наук, доцент,
(Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь)

В статье представлен разработанный автором уточненный метод оценки при проектировании несущей способности оснований свай по результатам статического зондирования в песках посредством более достоверных корреляционных зависимостей с поправочными коэффициентами исходя из принятой активной зоны и учета характера опрессовки окружающего грунта за счет особенностей технологии устройства и размеров свай.

This article presents the developed method which gives more reliable results with using the correction factors for evaluation the bearing capacity of pile foundations based on the results of the static cone penetration test on sands.

Введение

Предлагаемый метод прогноза в песчаных грунтах несущей способности оснований забивных и набивных свай по результатам статического зондирования позволяет учитывать технологию устройства свай (набивные и забивные сваи), диаметры их стволов и глубину погружения в несущие слои.

Несущая способность свай

Несущую способность песчаных грунтов в основании сваи со стволом постоянного сечения определяем по следующей формуле:

$$Q = Q_b + Q_s = k_c \cdot \bar{q}_c \cdot A_b + k_f \cdot f_p \cdot A_s, \quad (1)$$