

УДК 624.131.35:624.154.1

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПЕСЧАНЫХ ОСНОВАНИЙ ОДИНОЧНЫХ СВАЙ ПО МЕЖДУНАРОДНЫМ СТАНДАРТАМ

**Б. МОРАДИ САНИ**
*(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

*Рассматриваются зарубежные методы оценки несущей способности свай по данным статического зондирования в грунтовых условиях на одной из площадок строительства в городе Минске. Показаны грунтовые условия объекта со свойствами грунтов и опытными зависимостями для испытанных на нем буронабивных и забивных свай. Оценена достоверность зарубежных и применяемых в Республике Беларусь методов предварительной оценки несущей способности оснований одиночных свай. Полученные результаты для данного объекта проанализированы и сопоставлены с опытными данными сопротивления грунтов по результатам зондирования.*

**Введение.** Современные методы проектирования свайных фундаментов нашли широкое применение при анализе данных полевых испытаний. Одним из путей достижения эффективности фундаментостроения и улучшения качества их проектирования является повышение точности и надежности методов прогноза несущей способности оснований свай. В Республике Беларусь и за рубежом для определения характеристик грунтов и несущей способности свай широко используется метод полевого испытания грунтов статическим зондированием.

В данном исследовании рассмотрены методы определения несущей способности свай, осуществляя сравнение, по данным статического зондирования согласно Еврокоду, Шмертманну, Бустаманте и Гианеселли (метод LCPC) и белорусским нормам.

Чтобы предсказать несущую способность оснований свай, по результатам статического зондирования грунтов оценивали взаимосвязь между ними и статическими испытаниями 67 натурных свай на одном из объектов в городе Минске [1]. Для анализа грунтовых условий использовали результаты статического зондирования в точках вблизи испытанных свай [2–4].

**Грунтовые условия и результаты испытаний свай статической нагрузкой.** В связи с разными свойствами грунтов (табл. 1) и характером напластований (рис. 1) были запроектированы буронабивные вибровштампованные сваи с длинами 4,0; 5,0; 6,0; 9,0 м.

Таблица 1

Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов

№ ИГЭ	Наименование грунта	$\gamma_{II}$ , кН/м <sup>3</sup>	$e$	$c_n$	$c_{II}$ , кПа	$\varphi_n$	$\varphi_{II}$	$E$ , МПа	
1	Искусственные образования	Насыпной грунт	20,1	–	–	–	–	–	
2		Торф, загорфованный грунт	10,1	6,09	20	13	22	19	1,1
3		Супесь с примесью органики	17,3	0,93	13	9	21	18	6
4		Супесь средней прочности	20,7	0,53	15	10	21	18	7
5		Мел, мергель	15,0		16	11	13	10	7,5
6		Песок средний средней прочности	10,2	0,63	1	0,7	35	32	16
7		Песок крупный, гравелистый средней прочности	10,1	0,64	–	–	35	32	16
8	Волноледниковые отложения	Суглинок средней прочности	20,3	0,61	26	17	21	21	11
9		То же, прочный и очень прочный	20,5	0,61	35	30	24	21	24
10		Песок пылеватый средней прочности	10,2	0,63	4	4	31	31	14
11		То же, прочный	11,0	0,51	6	4	34	31	34
12		Песок мелкий средней прочности	10,2	0,63	2	1,3	32	29	16
13		То же, прочный	10,9	0,52	4	2,7	36	33	34
14		Песок средний средней прочности	10,5	0,57	2	1,3	37	34	16
15		То же, средней прочности	11,0	0,50	2	1,3	38	35	34
16		Песок крупный/гравелистый средней прочности	10,5	0,58	1	0,7	39	35	16
17	Моренные отложения	То же, прочный	11,0	0,50	1	0,7	41	37	34
18		Супесь средней прочности	22,9	0,30	40	34	27	26	6
19		Супесь прочная	23,0	0,29	40	34	27	26	17
20		Супесь очень прочная	23,0	0,29	48	32	30	26	26
21		Песок мелкий прочный	11,0	0,50	4	2,7	36	31	34



Рис. 1. Геологические разрезы в точках выполнения опытных свай на площадке

Бурунабивные вибровштампованные сваи устраивали посредством вибропогружения обсадной трубы диаметром 325 мм с тераемым наконечником, погружением каркаса в скважину и заполнением ее бетоном с последующим виброизвлечением обсадной трубы. В грунтовых условиях объекта (см. рис. 1) несущая способность таких свай составляла от 600 до 703 кН [1] при осадках от 6,4 до 16 мм [5].

На объекте были испытаны также забивные сваи, погружаемые СУМ-96 дизель-молотом С-330. Отказ при забивке составлял 0,77...1,1 см. Статическим испытаниям подвергались предусмотренные проектом забивные сваи № 1...34 сечением 300×300 мм с длинами 6,0...12,0 м, что соответствовало несущей способности от 800 до 12 кН. В качестве несущего слоя для свай служили преимущественно пески пылеватые, мелкие, средние и крупные, средней прочности и прочные (ИГЭ-11, 13, 15, 17).

Испытывали сваи статической вдавливающей нагрузкой гидродомкратом ДГ-200 грузоподъемностью 2000 кН, прикладывая нагрузку ступенями по 100 кН.

На объекте для уточнения длины, условий погружения и несущей способности свай выполнены испытания грунтов эталонной сваей динамическими и статическими нагрузками. Свойства грунтов на объекте приведены в таблице 1.

**Классификация зарубежных методов оценки несущей способности свай по данным статического зондирования.** Для оценки несущей способности свай по данным зондирования используют два подхода – прямой и косвенный. При *косвенном подходе* вначале по данным зондирования определяют прочностные характеристики грунтов (сопротивление недренированному сдвигу  $S_u$  и угол внутреннего трения  $\phi$ ), а затем используют их для вычисления несущей способности свай. *Прямой подход* предполагает вычисление  $q_b$  и  $f_i$  с использованием непосредственно параметров статического зондирования (сопротивления грунта под наконечником зонда  $q_c$  и по боковой поверхности муфты трения зонда  $f_s$ , а также порового давления  $u$ ).

В зависимости от используемых параметров зондирования прямые методы вычисления  $q_b$  и  $f_i$  можно разделить на три группы [6]. В *первую группу* входят методы, в которых для вычисления  $q_b$  и  $f_i$  используют только значения  $q_c$ . К ней относятся методы: Бустаманте и Гианеселли (метод LCPC, фр. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées), Аоки и Де Аленкара, Филиппоннэ и рекомендуемый европейскими нормами ENV 1997-3:2000. В методах *второй группы* для вычисления несущей способности свай применяют значения  $q_c$  и  $f_s$ . К ним относят методы: Шмертманна, Тумайя и Фахроо, Прайса и Вэрдла, Клисби и др. Метод Эслами и Феллениуса относится к третьей группе прямых методов вычисления несущей способности свай, в которых используются значения параметров зондирования  $q_c$ ,  $f_s$  и  $u_2$ . Динамическое поровое давление  $u_2$  фиксируют во время погружения зонда.

В данном исследовании для определения несущей способности песчаных оснований свай использовали 3 из вышеназванных методов, а также метод из ТНПА Республики Беларусь.

**Метод Бустаманте и Гианеселли (метод LCPC)** [7] используют для забивных, набивных, буровых и буроинъекционных свай разных видов в песках, гравии и глинистых грунтах, применяя следующие формулы:

$$q_b = k_b q_{eq,b}, \quad (1)$$

$$f_i = q_{eq,s} / k_s, \quad (2)$$

где  $k_b$  и  $k_s$  – эмпирические коэффициенты, значение каждого из которых зависит от разновидности грунта и технологии заглубления свай (табл. 2);  $q_{eq,b}$  – эквивалентное среднее значение  $q_c$  в пределах активной зоны от  $1,5D$  выше пяты свай до  $1,5D$  ниже нее ( $D$  – сторона или диаметр поперечного сечения пяты свай в месте наибольшего уширения);  $q_{eq,s}$  – эквивалентное среднее значение  $q_c$ , определяемое в пределах  $i$ -го слоя грунта, прорезаемого свайей.

Таблица 2

Значения коэффициентов  $k_b$  и  $k_s$  в методе Бустаманте и Гианеселли для набивных свай

Грунт	$q_c$ , МПа	$k_b$	$k_s$
Глина	< 1,0	0,50	30
	1,0...5,0	0,45	40
	> 5,0	0,55	60
Пылеватый грунт	≤ 5,0	0,50	60
	> 5,0	0,55	60
Песок	< 5	0,50	60
	5,0...12,0	0,50	100
	> 12	0,40	120

Значение  $q_{eq,b}$  определяют в следующей последовательности:

- 1) вычисляют среднее значение лобового сопротивления  $q'_{ca}$  в пределах активной зоны от  $1,5D$  выше пяты свай до  $1,5D$  ниже неё;
- 2) в пределах зоны  $1,5D$  выше пяты свай исключают значения  $q_c$ , которые больше  $1,3 q'_{ca}$  и меньше  $0,7 q'_{ca}$ ;
- 3) в пределах зоны  $1,5D$  ниже пяты свай исключают значения  $q_c$ , которые больше  $1,3 q'_{ca}$ ;
- 4) вычисляют  $q_{eq,b}$  как среднее значение лобовых сопротивлений в пределах активной зоны после исключения экстремальных значений по пунктам 2 и 3.

Значение  $q_{eq,s}$  находят следующим образом:

- 1) вычисляют среднее значение лобового сопротивления  $q_{ca,s}$  в пределах  $i$ -го слоя грунта, прорезаемого свайей;
- 2) в пределах  $i$ -го слоя грунта исключают значения  $q_c$ , которые больше  $1,3 q_{ca,s}$  и меньше  $0,7 q_{ca,s}$ ;
- 3) вычисляют  $q_{eq,s}$  как среднее значение лобовых сопротивлений в пределах  $i$ -го слоя грунта после исключения экстремальных значений по пункту 2.

**Метод Шмертманна** используют для бетонных, деревянных и стальных свай, заглубляемых в глины и пески за счет их вытеснения [8]. Для вычисления удельной несущей способности грунта под пятой сваи применяют следующую зависимость:

$$q_b = (q_{c1} + q_{c2}) / 2 \leq 15 \text{ МПа.} \quad (3)$$

Осредненные значения  $q_{c1}$  и  $q_{c2}$  определяют по правилу кратчайшего пути:

- 1) определяют  $q_{c2,1}$  – минимальное среднее значение лобового сопротивления в пределах активной зоны от  $0,7D$  до  $4,0D$  ниже пяты сваи;
- 2) вычисляют  $q_{c2,II}$  – среднее значение лобового сопротивления по кратчайшему пути;
- 3) вычисляют осредненное значение лобового сопротивления в пределах активной зоны ниже пяты сваи:  $q_{c2} = 0,5(q_{c2,1} + q_{c2,II})$ ;
- 4) вычисляют  $q_{c1}$  – осредненное значение лобового сопротивления в пределах активной зоны  $8D$  выше пяты сваи по кратчайшему пути.

При вычислении значений  $q_{c1}$ ,  $q_{c2,1}$  и  $q_{c2,II}$  используют значения  $q_c$ , соответствующие координатам точек кратчайшего пути. Для определения удельной несущей способности  $i$ -го слоя глины по боковой поверхности сваи используют формулу:

$$f_i = \alpha_c f_{sa} \leq 120 \text{ кПа,} \quad (4)$$

где  $f_{sa}$  – среднее значение  $f_s$  в пределах слоя глины;  $\alpha_c$  – коэффициент для глины, значение которого для бетонных и деревянных свай вычисляют по эмпирической формуле:

$$\alpha_c = 0,2049 f_s^5 - 1,1778 f_s^4 + 2,2795 f_s^3 - 1,3222 f_s^2 - 0,7543 f_s + 1,25. \quad (5)$$

Несущую способность песка по боковой поверхности сваи вычисляют следующим образом:

$$Q_s = \alpha_s \left( \sum_{z=0}^{9d} \frac{z}{8d} f_s A_s + \sum_{z=8d}^L f_s A_s \right), \quad (6)$$

где  $f_s$  – сопротивление грунта по боковой поверхности зонда;  $z$  – глубина, для которой вычисляют удельную несущую способность грунта по боковой поверхности сваи;  $d$  – сторона или диаметр поперечного сечения ствола сваи;  $L$  – глубина погружения нижнего конца сваи;  $\alpha_s$  – коэффициент для песка, значение которого при  $L/d \geq 25$  принимают равным  $0,83$ , а при  $L/d < 25$  вычисляют по эмпирической формуле:

$$\alpha_s = -0,00009(L/d)^3 + 0,0062(L/d)^2 - 0,151(L/d) + 2,132. \quad (7)$$

**Метод Eurocode 7...3 method (process recommended by EC 7-3).** В этом методе максимальные боковое и лобовое сопротивления можно получить из уравнений:

$$p_{\max, \text{лоб.}} = \alpha_p \cdot 0,5\beta s \left[ \frac{q_{c,I, \text{сред.}} + q_{c,II, \text{сред.}}}{2} + q_{c,III, \text{сред.}} \right], \quad (8)$$

$$p_{\max, \text{бок.}} = \alpha_s \cdot q_{c,z}. \quad (9)$$

Здесь  $\beta$  – фактор, зависящий от формы сваи (рис. Д.3 [9]);  $s$  – фактор, зависящий от формы конца сваи:

$$s = \frac{\left[ 1 + \frac{\sin \phi'}{r} \right]}{(1 + \sin \phi')}; \quad (10)$$

$q_{c,I, \text{сред.}}$  – среднее значение  $q_{c,I}$  по глубине, проходящей от нижнего конца сваи до уровня критической глубины, составляющей по крайней мере  $0,7D$  и не более  $4D$  пяты сваи (критической глубиной считается такая, где расчетное значение  $p_{\max, \text{лоб.}}$  становится минимальным):

$$q_{c,I, \text{сред.}} = \frac{1}{d_{\text{крит.}}} \int_0^{d_{\text{крит.}}} q_{c,I} dz, \quad (11)$$

$$0,7D \leq d_{\text{крит.}} \leq 4D;$$

$q_{c,II,ср.ед.}$  – среднее значение наименьшего значения  $q_{c,II}$  по глубине, идущей вверх от критической глубины до концов свай, определяется по формуле

$$q_{c,II,ср.ед.} = \frac{1}{d_{ср.ит.}} \int_{d_{ср.ит.}}^0 q_{c,II} dz; \quad (12)$$

$q_{c,III,ср.ед.}$  – среднее значение  $q_{c,III}$  на интервале глубин, проходящем от конца сваи к уровню  $8D$  пяты сваи. Этот цикл начинается с самого низкого значения  $q_{c,III}$ , используемого для расчета  $q_{c,II,ср.ед.}$ ;

$$q_{c,III,ср.ед.} = \frac{1}{8D} \int_0^{-8D} q_{c,III} dz; \quad (13)$$

$q_{c,z}$  – есть  $q_c$  на глубине  $z$ ;  $\alpha_p$  – фактор класса сваи по таблице D.5;  $\alpha_s$  – фактор класса сваи и грунтовых условий (табл. 3) [9].

Таблица 3

Значение  $\alpha_s$  для разных видов грунтов

Виды грунта	Отношение $z / D$	$\alpha_s$
Песок мелкий	–	0,006
Песок крупный	–	0,0045
Гравий	–	0,003
Глина/пылеватый ( $q_c \leq 1$ МПа)	$5 < z / D < 20$	0,025
Глина/пылеватый ( $q_c \geq 1$ МПа)	$z / D \geq 20$	0,055
Глина/пылеватый ( $q_c > 1$ МПа)	не применяем	0,035
Торф	не применяем	0

**Анализ результатов статического зондирования на объектах.** Статистический анализ проводился для того, чтобы определить наиболее достоверный, то есть отражающий реальное взаимодействие свай с грунтами, метод определения их несущей способности по результатам статического зондирования. Установлены критерии оценки с учетом линий наибольшего соответствия соотношений между  $F_{c3}$  к  $F_{cm}$ , среднего арифметического и стандартного отклонения для  $F_{c3} / F_{cm}$ , функции кумулятивной вероятности ( $CP_i$ ) для относительной величины, нормального распределения  $F_{c3} / F_{cm}$ . Такой анализ позволяет достаточно верно оценить различные методы с позиции точности их предсказания.

Однако попытка оценить достоверность методов расчета по результатам зондирования только посредством их статистической обработки может привести к неверному заключению. Поэтому нужно рассмотреть графики сравнения предполагаемых (прогнозируемых) и измеренных значений несущей способности оснований свай вместе с результатами статистического анализа.

Отношение расчетной к измеренной несущей способности основания сваи  $F_{c3} / F_{cm}$  находится теоретически в диапазоне от 0 до бесконечности, с оптимальным значением 1. Это приводит к несимметрическому распределению  $F_{c3} / F_{cm}$  вокруг среднего. Нами использовано нормальное распределение отношения  $F_{c3} / F_{cm}$ , чтобы оценить применяемые методы определения несущей способности оснований свай.

Методы, базирующиеся на статическом зондировании при  $F_{c3} / F_{cm} < 1$ , бывают заниженными по сравнению с измеренными несущими способностями.

Результаты соотношений прогнозируемой несущей способности  $F_{c3}$  к измеренным значениям  $F_{cm}$  показаны на рисунке 2. Для каждого метода проводился анализ регрессии, чтобы получить более подходящую линию отношений  $F_{c3} / F_{cm}$ . Отношения между  $F_{c3} / F_{cm}$  и соответствующий коэффициент детерминации ( $R^2$ ) были определены применительно к каждому методу статического зондирования.

Далее представлена схема статистической оценки с применением четырёх различных критериев определения достоверности использования различных методов статического зондирования для прогноза несущей способности оснований свай. Нами использованы следующие критерии:

- 1) уравнения для наиболее оптимальной линии отношения расчетной ( $F_{c3}$ ) к измеренной несущей способности ( $F_{cm}$ ) с соответствующим коэффициентом детерминации ( $R^2$ );
- 2) среднее арифметическое ( $\mu$ ) и стандартное отклонение ( $\sigma$ ) для  $F_{c3} / F_{cm}$ ;
- 3) 50- и 90-процентные кумулятивные вероятности ( $P_{50}$  и  $P_{90}$ ) для  $F_{c3} / F_{cm}$ ;
- 4) 20-процентный уровень точности, полученный из логнормального распределения для отношений  $F_{c3} / F_{cm}$ .

Отношения рассчитанных несущих способностей ( $F_{c3}$ ) к измеренным значениям ( $F_{cm}$ ) проиллюстрированы рисунком 2. Для каждого метода анализ регрессии проводился с целью получить наиболее

оптимальную линию отношений  $F_{c3} / F_{cm}$ . Отношения  $F_{c3} / F_{cm}$  и соответствующий коэффициент детерминации ( $R^2$ ) были определены применительно к каждому методу статического зондирования.

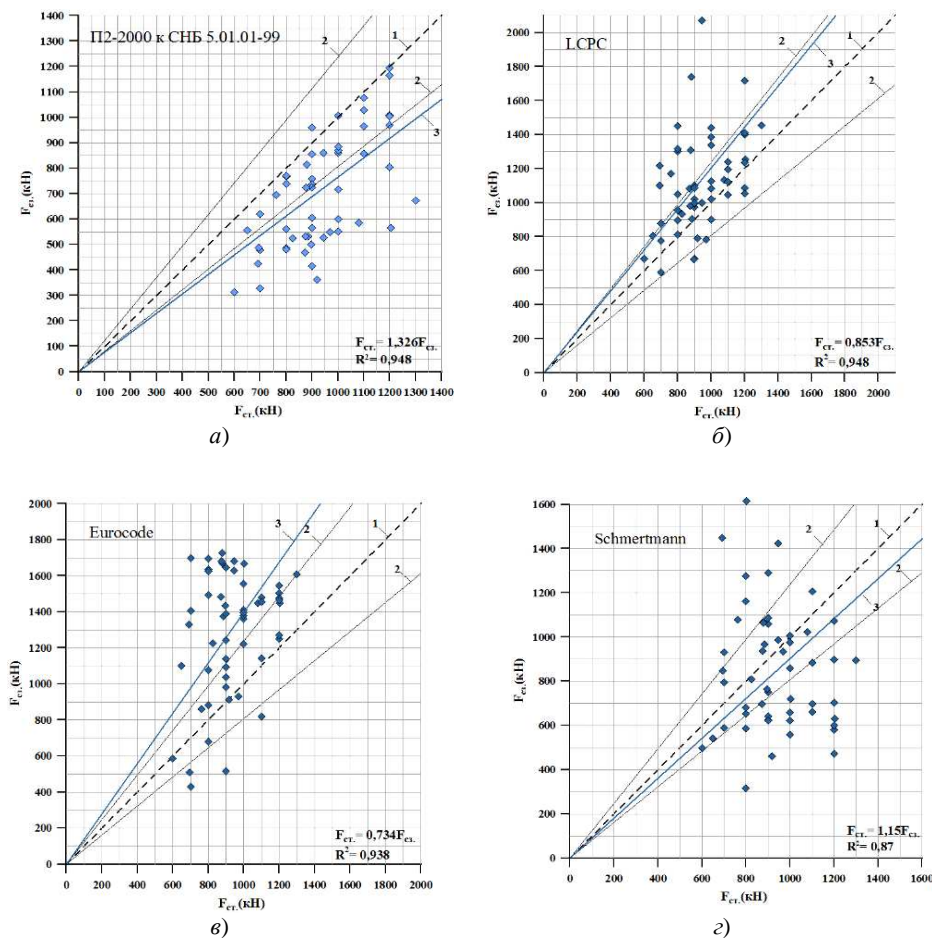


Рис. 2. Отношения, рассчитанные разными методами по данным зондирования ( $F_{c3}$ ), к определяемым статическими испытаниями ( $F_{cm}$ ) несущим способностям свай:

- 1 – линии абсолютной сходимости; 2 – линии отклонений на  $\pm 20\%$ ;
- 3 – линия, соответствующая заданным критериям, с использованием поправочного коэффициента

Из рисунка 2 видно, что самая оптимальная линия описывается уравнением  $F_{cm} = 0,853F_{c3}$  с  $R^2 = 0,948$ . Этому критерию отвечают методы LCPC, Шмертманна и методы, применяемые в Республике Беларусь (П2-2000 к СНБ 5.01.01-99). Методы Шмертманна и П2-2000 к СНБ 5.01.01-99 имеют тенденцию занижать в среднем на 0,15 % расчетную несущую способность оснований свай по сравнению с фактически измеренной. При этом метод расчета по Еврокоду имеет тенденцию завышать результаты расчета (табл. 4), что нежелательно.

Таблица 4

Параметры статистической обработки разных методов определения несущих способностей оснований свай (при количестве свай 67)

Методы	Среднее арифметическое( $\gamma$ )	Стандартное отклонение (s)	Коэффициент вариации ( $V_6$ ) %	Медиана (Median)	Коэффициент асимметрии ( $A_3$ )
Испытания статической нагрузкой	880,54	178,17	20,23	900	0,259
П 2-2000 к СНБ 5.01.01-99	700,89	218,34	31,15	706,5	0,339
LCPC	1106,17	282,94	25,58	1082,4	0,884
Еврокод	1290,88	342,34	26,52	1392,9	-0,903
Шмертманна	843,64	274,66	32,56	801,8	0,672

Рассмотренные наиболее достоверные методы определения несущей способности имеют коэффициент асимметрии меньше 1, что видно из таблицы 5. Это свидетельствует о том, что точки на графиках (см. рис. 2) распределены относительно соответствующих линий симметрично, поэтому при анализе данных нами использованы графики нормального распределения.

Таблица 5

Статистические и вероятностные оценки для разных методов

Методы определения несущей способности	Для оптимальной линии			Геометрические расчеты $F_{расч.} / F_{см.}$			Кумулятивная вероятность $F_{сз} / F_{см.}$			Точность $\pm 20\%$		RI
	$F_{см} / F_{сз}$	R2	R1	s	$V_{\sigma}, \%$	R2	$P_{50}$	$P_{90}$	R3	–	R4	
П 2-2000 к СНБ	1,326	0,948	3	0,176	23,60	1	0,78	0,96	3	45,65	2	9
LCPC	0,853	0,948	1	0,297	24,77	2	1,12	1,62	1	47,03	1	5
Еврокод	0,734	0,938	4	0,408	29,09	4	1,35	1,96	4	38,30	3	15
Шмертманна	1,150	0,870	2	0,368	39,31	3	0,84	1,43	2	32,60	4	11

Третий критерий для оценки методов основан на 50 и 90 % кумулятивных вероятностей  $P_{50}$  и  $P_{90}$  отношений  $F_{расч.} / F_{см.}$ . Кумулятивные вероятности для разных методов представлены на рисунке 3.

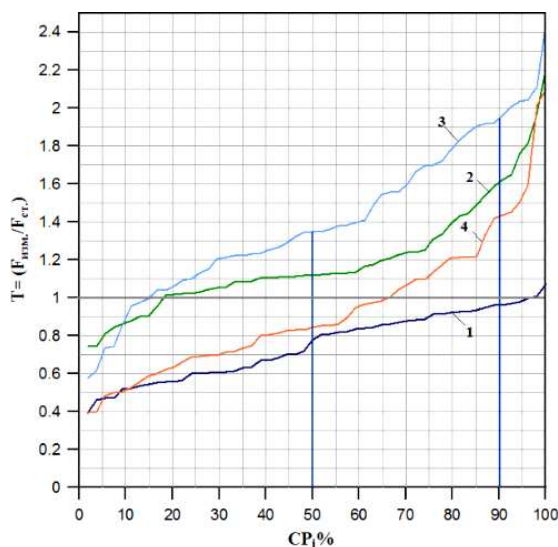


Рис. 3. Функция кумулятивной вероятности (cumulative probability) (CP, %) и отношения между расчётными и измеренными допустимыми нагрузками  $T$  ( $T = F_{расч.} / F_{см.}$ ) для разных методов

Величины  $P_{50}$  и  $P_{90}$  были определены и представлены в таблице 5. Обычно считают лучшими методы при  $P_{50}$  ближе к единице и с их низкими значениями в диапазоне  $P_{50} \dots P_{90}$ .

Основанные на этом критерии методы LCPC при  $P_{50} = 1,12$ ,  $P_{90} = 1,62$  и Шмертманна при  $P_{50} = 0,84$  и  $P_{90} = 1,43$  оказались лучшими.

Четвертый критерий использовали, чтобы оценить эти методы на основе нормального распределения  $F_{сз} / F_{см.}$ . После определения отношения  $F_{расч.} / F_{см.}$ , а затем среднего арифметического и стандартного отклонений для каждого метода получали графики их нормального распределения (рис. 4). Эти графики использовали для определения вероятности расчетных допустимых нагрузок с 20-процентной точностью по площади, которая находится под кривой нормального распределения в пределах заданной точности (20 %). Вероятности в пределах 20-процентной точности соответствуют несущим способностям оснований свай в пределах  $0,8 F_{расч.} < F_{см.} < 1,2 F_{расч.}$ .

Общая площадь под каждой кривой на рисунке 4 равна единице. Основываясь на 20-процентной точности, методы определения несущей способности по LCPC и П 2-2000 к СНБ показывают самую высокую вероятность (47,03 и 45,65 %), поэтому оказались наиболее достоверными, в то время как метод Шмертманна показал самые худшие результаты (32,60 %) по отношению к опытным данным при статических испытаниях свай.

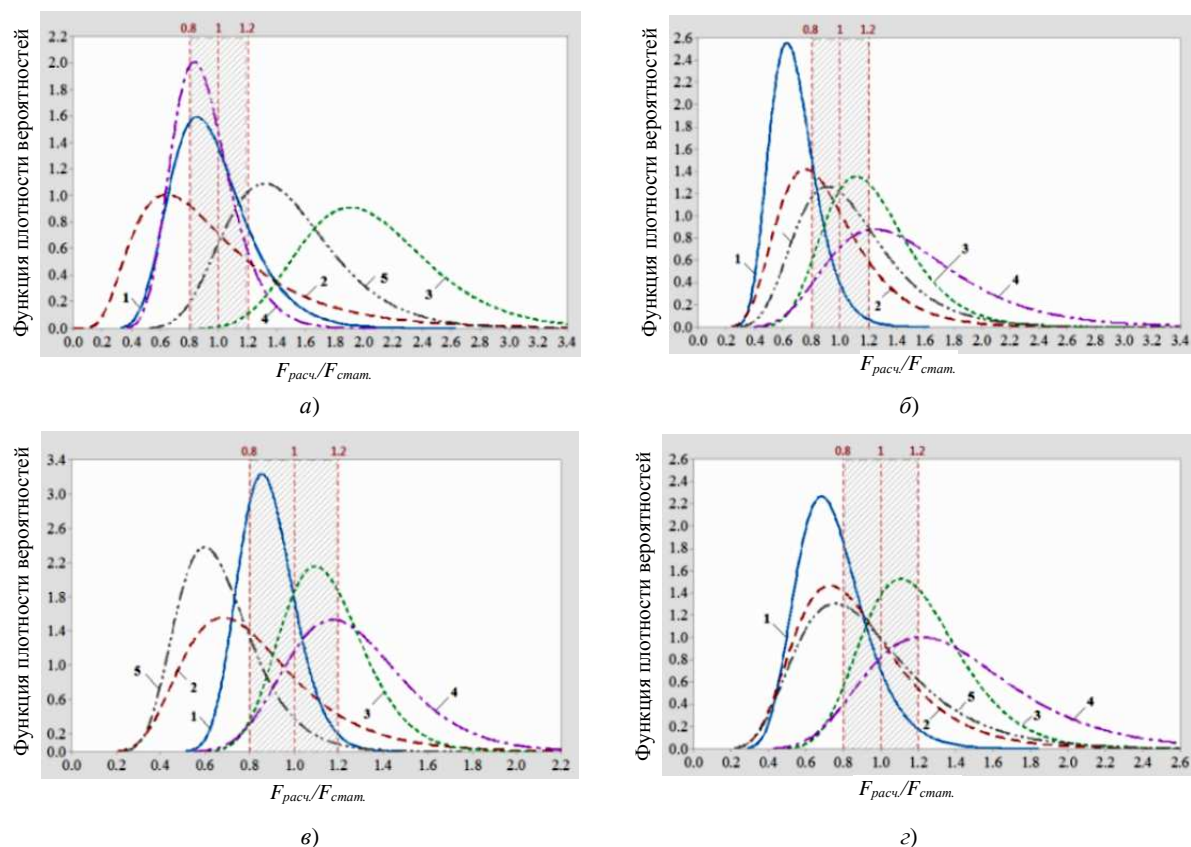


Рис. 4. Нормальное распределение  $F_{расч.}/F_{ст.}$  для разных методов:

*a* – для свай SFA; *б* – для буронабивных свай; *в* – для забивных свай; *з* – обобщенное;  
 1 – по П 2-2000 к СНБ; 2 – по П 13-19 к СНБ; 3 – по LCPC; 4 – по Еврокоду; 5 – по Шмертманну

Итоговая оценка методов статического зондирования по четырем категориям производилась с использованием рангов ( $RI$ ). Например, ранг  $RI$  для метода Шмертманна определяется суммированием  $R1 \dots R4$ : ( $RI = R1 + R2 + R3 + R4 = 7$ ). Величины  $RI$  для всех методов представлены в таблице 5. В итоге при сравнении  $RI$  у всех методов оказалось, что лучшим из них является метод по LCPC ( $RI = 5$ ), а по П 2-2000 к СНБ занимает второе место ( $RI = 9$ ).

#### Выводы

1. Основываясь на зарубежных методах определения несущей способности свай по результатам статического зондирования и их сравнении с методом, применяемым в Республике Беларусь, путем учета влияния активной зоны на несущую способность свай, можно констатировать, что применяемый в Беларуси метод в целом дает хорошие результаты.

2. Фактические несущие способности оснований свай превышают в среднем в 1,33 раза расчетную несущую способность по П2-2000 к СНБ 5.01.01-99 и при статистической обработке выходят за пределы  $\pm 20\%$  от линии абсолютной сходимости, что требует корректировки этого метода.

3. Несущие способности оснований свай, определяемые по Еврокоду, имеют тенденцию завышать результаты расчета по сравнению с П2-2000 к СНБ 5.01.01-99. Одной из причин этого является недостоверное значение коэффициента  $\alpha_s$ , который зависит от вида сваи и грунтовых условий, поэтому требуется его уточнение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Объект № 301/11-02 Строительство многофункционального комплекса по проспекту Победителей в городе Минске; ООО «ТЕКТОНИТ». – Минск, 2012–2013.
2. Eslami, A. The bearing capacity of piles from cone penetration test (CPT) data [Electronic resource] / A. Eslami, B.H. Fellenius // International Symposium on Cone Penetration Testion, CPT '95, Linköping, Sweden, 4–5 Oct. 1995 year; University of Ottawa, 1995. – Mode of access: <http://www.fellenius.net/papers/180%20Toe%20Resistance%20from%20CPT%20analysis.pdf>. – Date of access: 15.02.2014.
3. Miller, A. Use of cone penetration test in pile design / A. Miller // Periodica Polytechnica SEB. Civ. Eng. – 2004. – Vol. 47, № 2. – P. 180–197.



4. Cone and piezocone penetration tests, Annex D [Electronic r source] / Eurocode 7: Geotechnical design DD ENV 1997-2:2000, 2007. – Mode of access: <http://www.law.rsource.org/pub/eur/ibr/en.1997.2.2007.html>. – Date of access: 15.02.2014.
5. Грунты. Методы полевых испытаний сваями: ГОСТ 5686-94. МНТКС. – Минск, 1995. – 36 с.
6. Ершов, А.В. Перспективы развития методов расчета несущей способности свай по данным статического зондирования / А.В. Ершов // Геотехника. – 2011. – № 1. – С. 50–65.
7. Bustamane, M. Pile means of static penetrometer CPT / M. Bustamane, L. Gianceselli // Proceedings of the 2<sup>nd</sup> European Symposium on penetration testing/ ESOPTII. – Amsterdam, 1982. – P. 493–500.
8. 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.
9. Eurocode 7: Geotechnical Design – part 3: Design Assisted by Fieldtesting; 1997-2; 2007 (E). – P. 118–119.
10. Фундаменты и подземные сооружения, возводимые с использованием струйной технологии. Правила проектирования и устройства: ТКП 45-5.01-45-2006 (02250); Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2006. – 33 с.
11. Проектирование забивных и набивных свай по результатам зондирования грунтов: пособие П2-2000 к СНБ 5.01.01-99; Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2001. – 23 с.
12. Никитенко, М.И. Некоторые проблемы свайных фундаментов в геотехнической практике Беларуси / М.И. Никитенко, В.Ю. Журавский // Строительная наука и техника. – Минск, 2008. – № 4(19). – С. 44–51.
13. Проектирование забивных свай: пособие П 4-2000 к СНБ 5.01.01-99; Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2001. – 68 с.
14. Проектирование и устройство буронабивных свай: пособие П 13-01 к СНБ 5.01.01-99; Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2002. – 43 с.
15. Проектирование и устройство буронаблюдательных анкеров и свай: пособие П 18-04 к СНБ 5.01.01-99; Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2005. – 79 с.
16. Проектирование и устройство фундаментов из свай с уплотненным основанием: пособие П 19-04 к СНБ 5.01.01-99; Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2006. – 88 с.

Поступила 02.06.2015

**PRELIMINARY EVALUATION OF THE BEARING CAPACITY  
OF SINGLE PILES IN SANDY SOILS USING  
INTERNATIONAL STANDARDS**

**B. MORADI SANI**

*Presented the foreign methods of evaluation the bearing capacity of piles according to the static cone penetration test on the one of the construction sites in Minsk. The article presents the soil conditions of the object with the properties of soils and experimental dependencies for bored and driven piles tested. Estimated and analyzed reliability of preliminary assessment of bearing capacity of single pile foundations through foreign methods and method applied in the Republic of Belarus for the object.*