

УДК 624.154

DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-1-46-56

© А. Ж. Жусупбеков, д-р техн. наук, профессор
(Евразийский национальный университет
им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан)

© A. Zh. Zhussupbekov, Dr. Sci. Tech., Professor
(The L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Kazakhstan)

© В. М. Улицкий, д-р техн. наук, профессор
(Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I,
Санкт-Петербург, Россия)

© V. M. Ulitsky, Dr. Sci. Tech., Professor
(Emperor Alexander I St. Petersburg
State Transport University,
St. Petersburg, Russia)

© В. М. Полунин, аспирант

© V. M. Polunin, post-graduate student

© А. Ю. Швалучинский, студент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)

© A. Yu. Shvaluchinsky, student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)

E-mail: n1ce2u@yandex.ru, alex.shvaluchinsky@yandex.ru

E-mail: n1ce2u@yandex.ru, alex.shvaluchinsky@yandex.ru

ПРОГНОЗ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ В БИЛИНЕЙНОЙ ПОСТАНОВКЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ СВАЙ

FORECASTING OF THE BEARING CAPACITY OF PILES IN A BILINEAR FORMULATION BASED ON THE RESULTS OF PILE TESTS

Проанализирована возможность использования аналитического метода прогноза несущей способности свай в билинейной постановке для свай заводского изготовления. Метод прогноза несущей способности свай в билинейной постановке является альтернативным способом прогноза несущей способности свай, позволяющим получить график «нагрузка–осадка» для одиночной сваи, откуда можно вывести несущую способность сваи в аналитической постановке. Проанализировано 12 натурных испытаний буронабивных свай и 19 — свай заводского изготовления на статическую вдавливающую нагрузку. Для каждого испытания выполнено численное моделирование испытания свай на статическую вдавливающую нагрузку и аналитический расчет несущей способности сваи в билинейной постановке. Результаты аналитического расчета сопоставлены с результатами натурных испытаний свай и результатами численного моделирования. На основе сопоставления расчетных и экспериментальных данных сделаны выводы о возможности использования аналитического расчета несущей способности свай в билинейной постановке.

Ключевые слова: свайные фундаменты, несущая способность, натурные испытания свай, численное моделирование.

The article analyzes the possibility of using the analytical method for forecasting the bearing capacity of piles in a bilinear formulation for prefabricated piles. The pile bearing capacity forecasting method in a bilinear formulation is an alternative pile bearing capacity forecasting technique that allows obtaining a load-settlement graph for a single pile, which makes it possible to forecast the pile bearing capacity in an analytical formulation. There were carried out 12 full-scale tests of bored piles and 19 factory-made piles for static indentation load. For each test, there was performed a numerical simulation of pile testing for a static indentation load and an analytical calculation of the bearing capacity of the pile in a bilinear formulation. The results of the analytical calculation are compared with the results of field tests of piles and the results of numerical simulation. Based on a comparison of calculated and experimental data, conclusions have been made about the possibility of using an analytical calculation of the bearing capacity of piles in a bilinear formulation.

Keywords: pile foundations, load-bearing capacity, full-scale testing of piles, numerical modeling.

Введение

Много сложных и ответственных зданий и сооружений возводят на свайном фундаменте, особенно в Санкт-Петербурге, так как имеются большие толщи слабых грунтов, а достаточно прочные грунты находятся на большой глубине [14, 15]. Сперва осуществляется расчет согласно нормативно-технической базе, который имеет определенные запасы [11, 16, 18], затем рассчитывают здание с полученной жесткостью свай, получают усилия в сваях и проверяют расчетно-допускаемую нагрузку полевыми статическими испытаниями, поэтому испытания не доводят до срыва свай [1]. Одним из способов уточнения и обоснования реального запаса свайного фундамента является билинейный расчет. Расчет осадки в билинейной постановке осуществляется в два этапа.

Осадку сваи S_C на первом этапе ее нагружения $N < N_C + N_0$ следует определять по формуле

$$S_C = \frac{N}{G_1 l} 0,17 \ln \frac{k_v G_1 l}{G_2 d}, \quad (1)$$

где N — вертикальная нагрузка, передаваемая на сваю, кН; N_0 — нагрузка, передаваемая на пяту сваи в момент полного развития предельного сопротивления N_C , (кН) ее боковой поверхности; G_1 и G_2 — соответственно среднее значение модуля сдвига для грунтов околосвайного пространства и минимальное значение модуля сдвига под нижним концом свай, кПа; l и d — длина и диаметр свай, м; k_v — коэффициент, зависящий от среднего значения коэффициента Пуассона для грунтов (для расчетов можно принимать $k_v = 2$); ν — коэффициент Пуассона.

На втором этапе нагружения сваи при $N > N_C + N_0$ ее осадка определяется по формуле

$$S = S_C + \frac{N - (N_C + N_0)}{4G_2 d}. \quad (2)$$

Также вычислить необходимую нагрузку на сваю для достижения определенной осадки на втором этапе можно по формуле

$$N = (S - S_C) 4G_2 d + (N_C + N_0); \quad (3)$$

$$G = \frac{E_0}{2(1+\nu)}. \quad (4)$$

Стоит отметить некоторые особенности билинейного расчета несущей способности свай:

- это метод интерполяции функций двух переменных с использованием повторяющейся линейной интерполяции;
- билинейный прогноз осуществляют, используя значения нагрузок, передаваемых на пяту сваи в момент полного развития предельного сопротивления по боковой поверхности, вертикальных нагрузок, передаваемых на сваю, геометрических характеристик сваи и осадки на первом этапе ее загрузки с целью прогноза осадки сваи при нагрузках, превышающих натурные испытания;
- билинейный расчет осуществляют без привязки к результатам натурного испытания, используя характеристики грунтов и рассчитанную несущую способность свай;
- метод регламентирован только для технологии буронабивных свай, но также представляет интерес возможность использования этого метода для забивных свай.

Зачастую величина несущей способности принимается как величина нагрузки при величине осадки в 4 см (рис. 1) [2].

Чтобы проверить точность билинейного расчета, проведем его на примере графика натурного испытания сваи, доведенной до осадки 29 мм под нагрузкой в 3000 кН (рис. 2). Для этого осуществим расчет от нагрузки 2100 кН до осадки в 30 мм (рис. 3), из которого хорошо видно несовпадение результата расчета с реальным испытанием в сторону занижения нагрузки. Отметим, что данный метод занижает несущую способность свай, в связи с этим есть необходимость уточнения или корректировки данного метода.

Анализируя существующие методы по определению несущей способности свай и сопоставляя результаты численного расчета с натурными испытаниями и билинейной

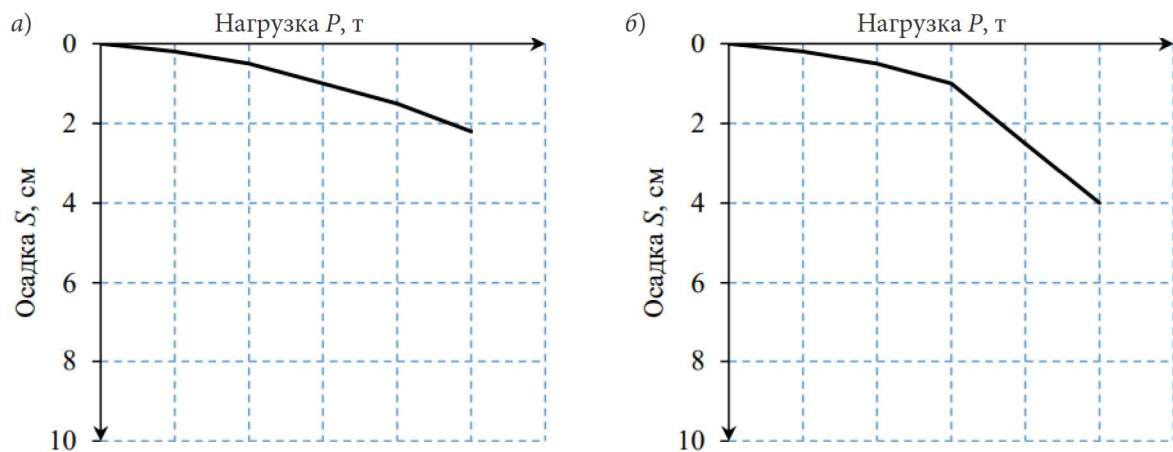


Рис. 1. Зависимость осадок свай от величины нагрузки: а — отказ свай; б — свая, доведенная до осадки в 4 см [12]

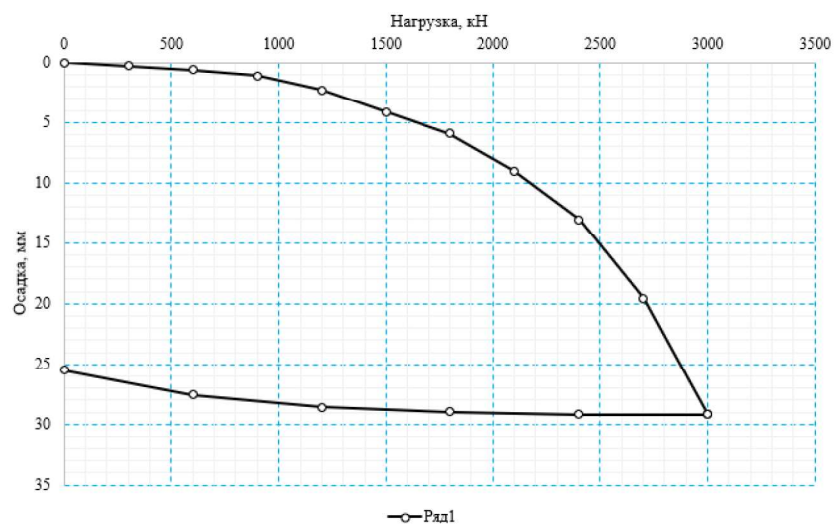


Рис. 2. Пример характерного графика натурного испытания

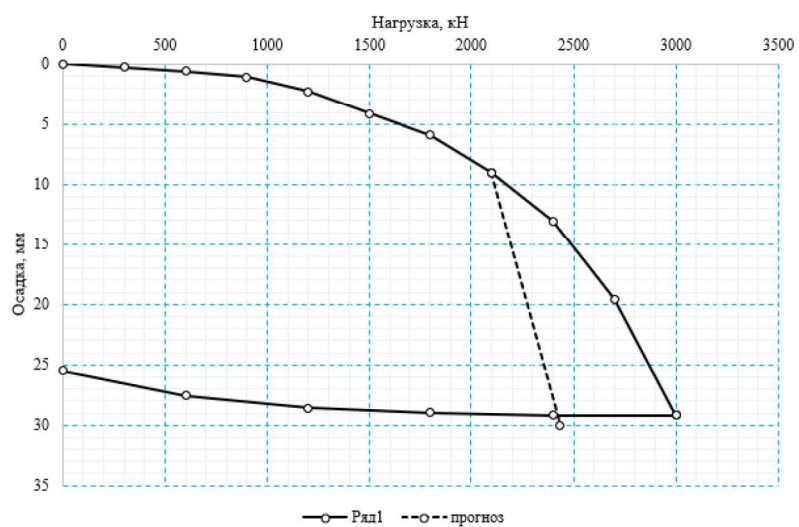


Рис. 3. Результат поверочного билинейного расчета

постановкой, возможно выяснить расхождение результатов билинейной постановки с другими методами и уточнить ее для прогноза несущей способности свай [13].

Методы

На практическом примере рассмотрено определение несущей способности свай различными методами:

- 1) натурное испытание;
- 2) аналитический расчет согласно нормативной документации;
- 3) численный эксперимент;
- 4) прогноз несущей способности свай в билинейной постановке.

Полевые испытания грунтов сваями выполняются с целью получения данных, необходимых для определения вида и параметров свай и их несущей способности, а также для определения зависимости перемещения свай в грунте от нагрузок и во времени. В состав установки для испытания грунтов сваями входят: устройство для нагружения свай, конструкция опор для восприятия реактивных сил и устройство измерения перемещения свай в процессе испытания [3].

Аналитический расчет свай осуществляется согласно требованиям и методике, описанным в нормативной документации, и нацелен на определение несущей способности свай и получение данных для более точных численных расчетов.

Численный эксперимент осуществляется расчетом в программном комплексе с целью прогнозирования осадок объекта строительства.

Метод определения несущей способности свай по СП 24.13330.2021 является эмпирическим и был предложен в 1950-х годах А. А. Лугой, а после доработан в НИИОСП им. Н. М. Герсевича для более точного определения сопротивления по боковой поверхности [4]. Также существуют полуэмпирический метод R. L. Nordlund, используемый для расчета несущей способности свай в песчаных грунтах [5], и метод M. J. Tomlinson,

который учитывает недренированное сопротивление сдвигу и допускает, что от давления верхних грунтов сопротивление на боковой поверхности свай не зависит [6].

Несущую способность и осадку свай можно определить также по результатам статического зондирования. Для этого существует несколько методов, которые описаны в работе М. С. Захарова [7, 17].

Осадку одиночной свай можно определить по СП 24 [8, 9], методом билинейной постановки или проведя натурное испытание.

В статье рассмотрено несколько способов определения осадки одиночной свай, чтобы сравнить их результаты с результатами, полученными путем расчета в билинейной постановке, для определения пригодности данного метода.

Результаты

После обработки данных натурных испытаний (пример приведен в табл. 1 и 2) и перевода результатов в графический вид (рис. 4) проводилось сравнение графиков билинейного расчета и/или прогноза с графиками натурального испытания или графиками, полученными путем расчета численным методом (рис. 5–6) [19]. Стоит отметить, что график, полученный путем билинейного расчета, рекомендуется использовать в качестве дополнения к анализу несущей способности свай, а не заменять недоверенный график натурального испытания на график билинейного расчета.

Численный расчет проводился в программном комплексе [10] на нагрузку, превышающую значение в натурном испытании. В качестве модели грунта используется *Hardening soil model*, ее выбор обусловлен следующими факторами: она является наиболее распространенной и актуальной в реальной геотехнической практике; в математической модели реализована зависимость жесткостных параметров от действующего уровня напряжений. Размеры расчетной области

Таблица 1

Пример данных натурного испытания

Степень нагрузки, кН	Время выдержки за ступень нагрузки, ч	Осадка, мм	
		С начала испытания	За ступень нагрузки
0	0	0	0,00
700	1	0,65	0,65
970	1	1,93	1,28
1250	1	3,49	1,56
1540	1	5,98	2,49
1840	2	9,80	3,82
2130	2	15,76	5,96
2420	3	25,52	9,76
2600	3	33,57	8,05
2800	1	41,72	8,15
Разгрузка			
1250	0,25	41,15	-0,57
510	0,25	40,07	-1,08
0	1	35,41	-4,66

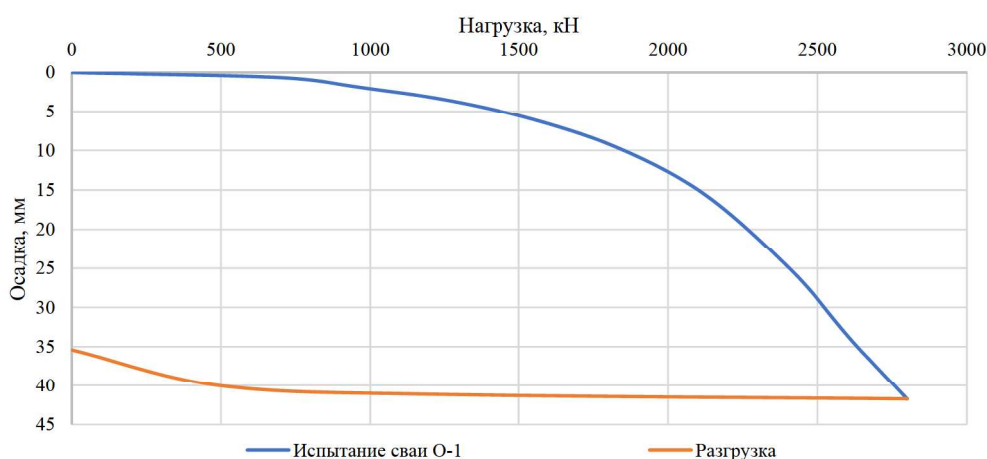


Рис. 4. Пример данных натурного испытания

приняты 20×20 м, глубина области зависит от размера испытываемой сваи (рис. 7). Нагрузка величиной 4000 кН прикладывается к оголовку сваи. Расчет осуществляется в три этапа:

1. Определение начальных напряжений грунта.
2. Активация сваи.
3. Активация нагрузки на сваю.

Для выполнения численного расчета свай была проведена верификация работы свай в модели путем сопоставления натуральных испытаний свай с численным моделированием.

Рассматривался случай работы сваи с дневной поверхностью (натурное испытание сваи) и работа сваи с учетом откопки котлована. Расчетная модель и этапы приведены на рис. 8.

На рис. 9 представлено сопоставление графиков «нагрузка — осадка» по результатам натуральных испытаний и численного моделирования.

Обсуждение

Для расчетов были использованы данные испытаний буронабивных свай диаметром от 0,4 до 0,5 м и длиной от 12 до 23 м

Таблица 2

Пример данных натурного испытания

Глубина, м	ИГЭ	Наименование грунтов	Абс. отм.	Данные о свае	
1,40	(1)	Насыпные грунты: супеси, с обломками кирпича, строительным мусором	11,30	Тип	Буроабивная
3,20	(3)	Суглинки легкие, пылеватые, ленточные, мягкопластичные ($J_r = 0,88$; $E = 70$ кГс/см ²)	9,60	Диаметр	490 мм
6,50	(4)	Супеси пылеватые, серые, с гравием, мягкопластичные ($J_r = 0,12$; $E = 140$ кГс/см ²)	6,20	Длина сваи	15,7 м
10,50	(5)	Супеси пылеватые, серые, с гравием, мягкопластичные ($J_r = 0,37$; $E = 90$ кГс/см ²)	2,20	Абс. отм. острия сваи	-3,20 м
13,70	(6)	Суглинки легкие, пылеватые, голубоватые, тугопластичные ($J_r = 0,17$; $E = 140$ кГс/см ²)	-1,00	Ожидаемая расчетная нагрузка	220 т
25,00	(7)	Глины пылеватые, голубые, с прослоями песчаника, дислоцированные, полутвердые ($J_r = -0,41$; $E = 260$ кГс/см ²)	-12,30	Максимальная нагрузка при испытании	280 т

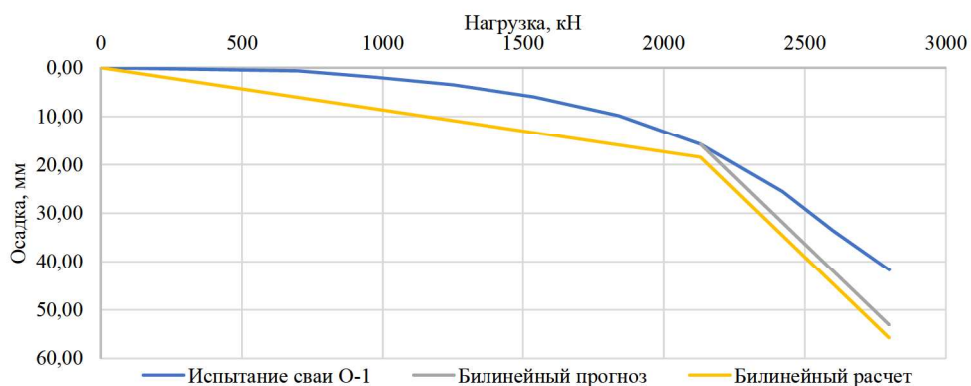


Рис. 5. Пример сравнения графиков результатов билинейного расчета и натурного испытания

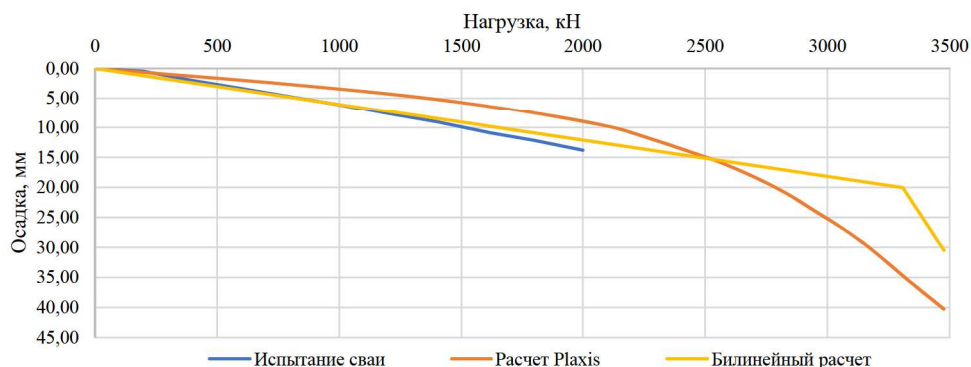


Рис. 6. Пример сравнения графиков результатов билинейного расчета и численного расчета

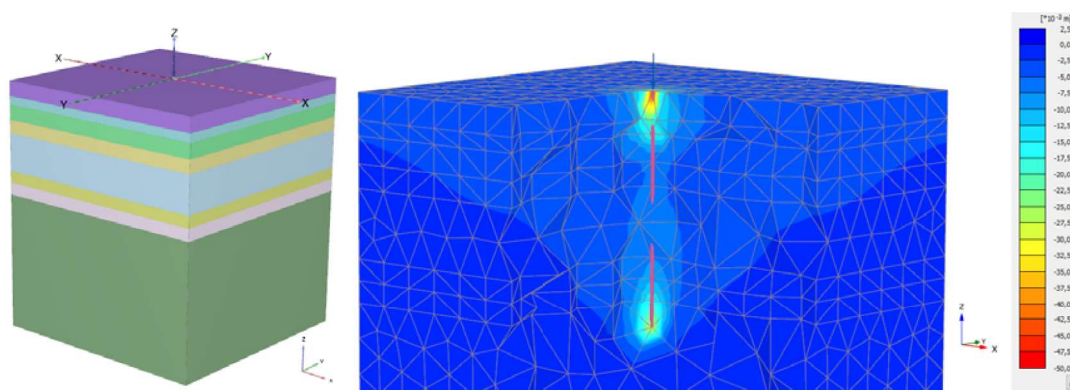


Рис. 7. Расчетная схема моделирования испытания

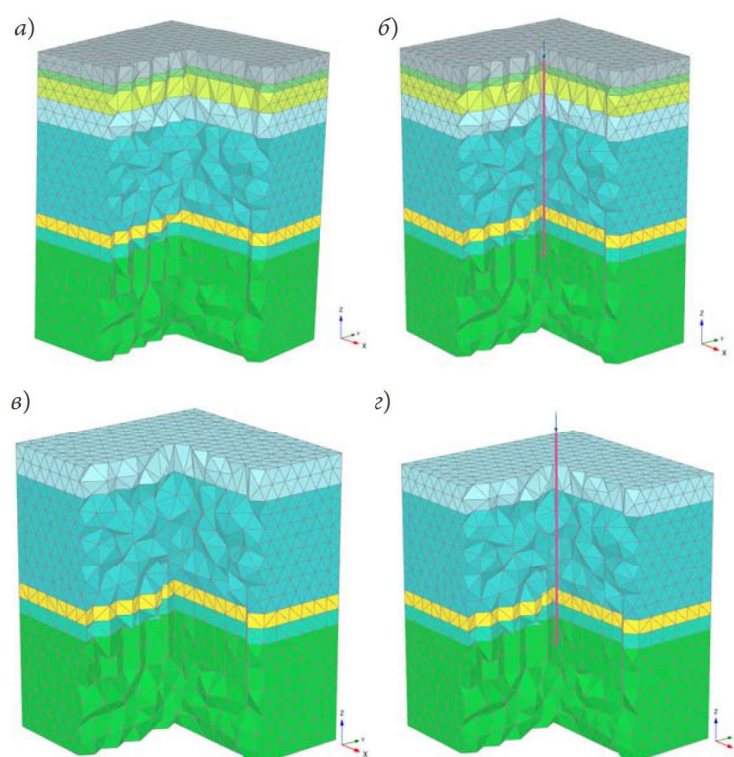


Рис. 8. Расчетная модель верификации работы сваи: а — на этапе формирования природного НДС; б — на этапе нагружения сваи с дневной поверхности; в — на этапе откопки котлована; г — на этапе нагружения сваи со дна котлована

и забивных свай квадратного сечения со стороной 0,5 м и длиной от 19 до 36 м в характерных для Санкт-Петербурга грунтах.

По результатам расчетов были составлены табл. 3–5 сходимости результатов билинейного расчета и прогноза с итогами натурного испытания буронабивной сваи и численного расчета забивной сваи.

По данным сравнения расчетов видно, что диапазон сходимости билинейного расчета с другими способами определения осадки имеет разброс от 1 до 58 %.

Стоит отметить, что билинейный расчет зачастую дает заниженное значение несущей способности сваи. Это связано с углом наклона второй кривой графика (желтая кривая на

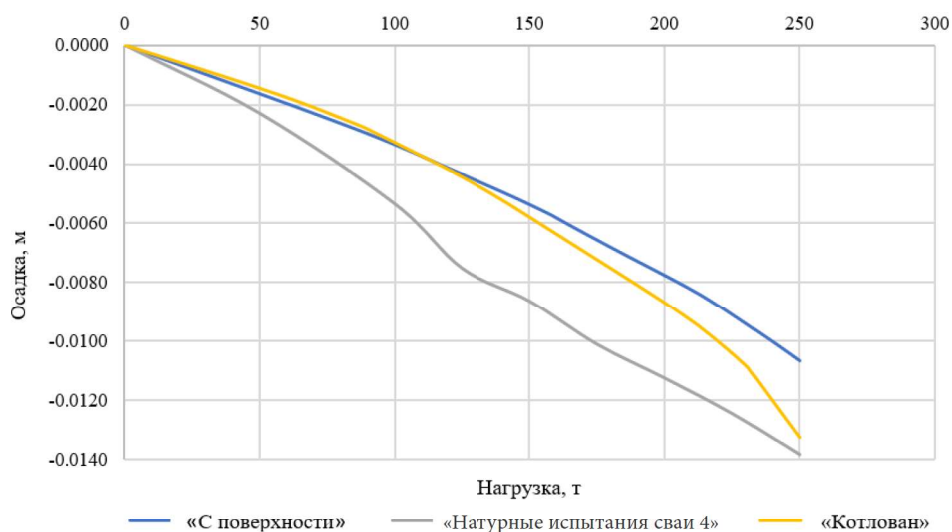


Рис. 9. Сопоставление графиков «нагрузка–осадка» для верификации работы свай в численной модели

Таблица 3

Сравнение результатов билинейного расчета и натурного испытания (тип свай: буронабивная)

№ сваи	$S_{исп}$, мм	$S_{билин. расч.}$, мм	Сходимость, %
О-1	41,72	55,78	25,20
О-2	41,08	50,47	18,60
79	27,57	32,93	16,28
164	37,79	32,93	12,86
30	40,33	53,07	24,00
16	40,44	46,88	13,75
17	26,47	45,11	41,32
19	32,26	77,32	58,28
20	42,00	55,02	23,66
45	40,67	40,34	0,82
117	39,87	43,64	8,65
Средняя			22,13

Таблица 4

Сравнение результатов билинейного прогноза и натурного испытания (тип свай: буронабивная)

№ сваи	$S_{исп}$, мм	$S_{билин. прогноз}$, мм	Сходимость, %
О-1	41,72	53,10	21,43
О-2	41,08	42,61	3,60
79	27,57	41,60	33,72
164	37,79	49,32	23,37
36	44,85	68,29	34,32
55	27,85	57,80	51,82
30	40,33	49,39	18,35
16	40,44	59,32	31,83
17	26,47	43,60	39,29
19	32,26	72,90	55,75
20	42,00	68,47	38,66
45	40,67	48,39	15,95
117	39,87	56,21	29,07
Средняя			30,55

рис. 5, 6), полученного методом билинейного прогноза. Если расчетная точка перегиба не будет совпадать с фактической несущей способностью свай, то величина расчетной несущей способности будет ошибочна.

Выводы

1. При проектировании свайных фундаментов зачастую несущая способность (НС) свай определяется с большим запасом, что связано с особенностями испытаний свай, которые доводят не до срыва, а до расчетной

нагрузки, и метод билинейной постановки возможно использовать для определения нагрузки на сваю, при которой произойдет срыв, что в свою очередь дает возможность удешевить устройство свайного поля без превышения нормативной осадки здания.

2. Использование метода билинейного расчета сваи регламентировано только для технологии буронабивных свай, несмотря на

Таблица 5

**Сравнение результатов билинейного расчета
и численного (тип сваи: забивная)**

№ сваи	S_{Plaxis} , мм	$S_{билин. расч.}$, мм	Сходимость, %
6	30,18	42,77	29,43
43	24,73	20,64	16,57
63	41,29	25,81	37,49
68	40,27	38,19	5,16
90	22,94	27,53	16,65
101	22,94	17,14	25,28
180	41,88	20,11	51,99
196	20,06	20,90	4,01
257	24,76	28,43	12,91
275	25,89	41,77	38,01
485	41,91	20,08	52,08
488	40,41	17,91	55,67
559	41,06	26,32	35,91
592	41,11	23,50	42,83
604	24,73	20,51	17,07
611	41,95	22,99	45,20
614	24,06	19,99	16,94
707	40,65	23,69	41,71
1066	40,74	31,52	22,63
Средняя			29,87

то что метод показывает тот же результат и в случае расчета забивных свай, ввиду этого можно сделать вывод о том, что метод можно регламентировать и для забивных свай.

3. Использование билинейного метода расчета НС свай зачастую приводит к запасу НС, из-за того что на втором этапе билинейного расчета осадка развивается очень быстро ввиду специфики метода, что говорит о необходимости введения поправочного коэффициента, но из-за большого диапазона сходимости введение коэффициента является неэффективным решением.

4. Сопоставляя результаты сходимости метода для буронабивных свай и забивных, можно сделать вывод, что их средняя сходимость одинакова. Несмотря на разную технологию изготовления свай, можно рекомендовать использовать эту технологию для забивных свай.

Библиографический список

1. Свиридов И. В., Белов А. В. Испытание грунтов статической вдавливающей нагрузкой // Материалы 60-й студ. науч.-техн. конф. инженерно-строительного института ТОГУ. Хабаровск: Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та, 2020. С. 390–394.
2. Полянкин А. Г. Исследование работы свай на горизонтальные и моментные нагрузки и совершенствование методов расчета оснований свайных фундаментов: дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2014. 158 с.
3. Миронова И. П. Анализ критериев оценки несущей способности свай по результатам статических испытаний // Прочность и разрушение материалов и конструкций: сб. докл. Всерос. науч.-техн. конф. Орск, 1998. С. 59–60.
4. Кургузов К. В., Фоменко И. К., Сироткина О. Н. Оценка несущей способности свай. Методы расчета и проблематика // Известия Томского политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330, № 10. С. 7–25.
5. Nordlund R. L. Point Bearing and Shaft Friction of Piles in Sand // Proc., 5th Annual Short Course on Fundamentals of Deep Foundations Design, University of Missouri-Rolla, St. Louis, Missouri, 1979.
6. Tomlinson M. J. Foundation design and construction. London: Longman Scientific and Technical, 1986. 842 p.
7. Захаров М. С. Статическое зондирование в инженерных изысканиях. СПб.: СПбГАСУ, 2007. 71 с.
8. Мельников В. А., Алексеев Н. С., Ионов К. И. Сравнительный анализ методик расчета осадки свайных фундаментов // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 9-1 (53). С. 37–45.
9. Мангушев Р. А., Карлов В. Д., Сахаров И. И., Осокин А. И. Основания и фундаменты. М.: АСВ; СПб.: СПбГАСУ, 2011. 394 с.
10. Зарецкий Ю. К., Карабаев М. И. Расчетная оценка взаимодействия экспериментальных свай с основанием и сравнение с результатами испытаний // Вестник МГСУ. 2006. № 1. С. 93–99.
11. Конюшков В. В., Кондратьева Л. Н., Кириллов В. М., Ле Ван Чонг. Ускоренные способы определения несущей способности буровых свай // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 3 (74). С. 52–60.
12. Ле Ван Чонг. Несущая способность свай, изготавливаемых в грунте, по результатам статических полевых испытаний: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2021. 144 с.
13. Бартоломей А. А., Омельчак И. М., Юшков Б. С. Прогноз осадок свайных фундаментов / под ред. А. А. Бартоломей. М.: Стройиздат, 1994. 384 с.
14. Далматов Б. И., Лапшин Ф. К., Россихин Ю. В. Проектирование свайных фундаментов в условиях слабых грунтов / под ред. Б. И. Далматова. Л.: Стройиздат, 1975. 240 с.

15. Нарбут Р. М. Работа свай в глинистых грунтах. Л.: Стройиздат, 1972. 159 с.

16. Силин К. С., Глотов Н. В., Луга А. А., Завриев К. С. Свайные фундаменты. М.: Транспорт, 1975. 432 с.

17. Ершов А. В., Нутрихин В. В. Оценка несущей способности набивных свай с использованием данных статического зондирования // Инженерные изыскания. 2011. № 7. С. 42–52.

18. Конюшков В. В. Техничко-экономическое сравнение технологий набивных и буровых свай на основе расчетно-теоретического анализа их несущей способности // Вестник гражданских инженеров. 2009. № 2 (19). С. 105–108.

19. Уткин В. С. Усовершенствованный метод расчета осадки свай-стоек в грунте основания фундамента // Вестник Вологодского гос. ун-та. Серия: технические науки. 2019. № 2 (4). С. 81–83.

References

1. Sviridov I. V., Belov A. V. *Ispytanie gruntov staticheskoy vdavlivayushchey nagruzкой* [Soil testing with static indentation loading]. *Trudy 60-y stud. nauch.-tekhn. konf. inzhenerno-stroitel'nogo instituta TOGU* [Proceedings of the 60-th Student Scientific and Technical Conference of the Engineering and Construction Institute of TOSU]. Khabarovsk, Tikhookeansk. gos. un-t Publ., 2020, pp. 390–394.

2. Polyankin A. G. *Issledovanie raboty svay na gorizontal'nye i momentnye nagruzki i sovershenstvovanie metodov rascheta osnovaniy svaynykh fundamentov*. Diss. kand. tekhn. nauk [Study of piles' operation on horizontal and torque loads and improvement of methods of calculation of foundations of pile foundations. PhD in Sci. Tech. diss.]. Tyumen, 2014, 158 p.

3. Mironova I. P. *Analiz kriteriev otsenki nesushchey sposobnosti svay po rezul'tatam staticheskikh ispytaniy* [Analysis of criteria for evaluating the bearing capacity of piles according to the results of static tests]. *Trudy Vseros. nauch.-tekhn. konf. «Prochnost' i razrushenie materialov i konstruktsiy»* [Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference "Strength and Fracture of Materials and Structures"]. Orsk, 1998, pp. 59–60.

4. Kurguzov K. V., Fomenko I. K., Sirotkina O. N. *Otsenka nesushchey sposobnosti svay. Metody rascheta i problematika* [Estimation of carrying capacity of piles. Calculation methods and problems]. *Izvestiya Tomskogo politekhn.un-ta. Inzhiniring georesursov – Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Engineering of Geo-resources*, 2019, vol. 330, no. 10, pp. 7–25.

5. Nordlund R. L. Point Bearing and Shaft Friction of Piles in Sand. *Proceedings of the 5th Annual Short Course*

on Fundamentals of Deep Foundations Design, University of Missouri-Rolla Publ., St. Louis, Missouri, 1979.

6. Tomlinson M. J. *Foundation design and construction*. London, Longman Scientific and Technical Publ., 1986, 842 p.

7. Zakharov M. S. *Staticheskoe zondirovanie v inzhenernykh izyskaniyakh* [Cone penetration tests in engineering surveys]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2007, 71 p.

8. Mel'nikov V. A., Alekseev N. S., Ionov K. I. *Sravnitel'nyy analiz metodik rascheta osadki svaynykh fundamentov* [Comparative analysis of calculation methods of pile foundation settlement]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii – Modern Scientific Research and Innovations*, 2015, no. 9-1 (53), pp. 37–45.

9. Mangushev R. A., Karlov V. D., Sakharov I. I., Osokin A. I. *Osnovaniya i fundamenty* [Bases and foundations]. Moscow, ASV Publ.; St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2011, 394 p.

10. Zaretskiy Yu. K., Karabaev M. I. *Raschetnaya otsenka vzaimodeystviya eksperimental'nykh svay s osnovaniem i sravnenie s rezul'tatami ispytaniy* [Calculation assessment of the interaction of experimental piles with bases and comparison with test results]. *Vestnik MGSU – MSCU Bulletin*, 2006, no. 1, pp. 93–99.

11. Konyushkov V. V., Kondrat'eva L. N., Kirillov V. M., Le Van Chong. *Uskorennyye sposoby opredeleniya nesushchey sposobnosti burovnykh svay* [Accelerated methods for determining the bearing capacity of bored piles]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 3 (74), pp. 52–60.

12. Le Van Chong. *Nesushchaya sposobnost' svay, izgotavlivaemykh v grunte, po rezul'tatam staticheskikh polevykh ispytaniy*. Diss. kand. tekhn. nauk [The bearing capacity of in-place piles based on the results of static field tests. PhD in Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, 2021, 144 p.

13. Bartolomey A. A., Omel'chak I. M., Yushkov B. S. *Prognoz osadok svaynykh fundamentov* [Pile foundation settlement forecasting]. Ed. by Bartolomey A. A. Moscow, Stroyizdat Publ., 1994, 384 p.

14. Dalmatov B. I., Lapshin F. K., Rossikhin Yu. V. *Proektirovanie svaynykh fundamentov v usloviyakh slabyykh gruntov* [Designing pile bases in conditions of weak soils]. Ed. by Dalmatov B. I. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1975, 240 p.

15. Narbut R. M. *Rabota svay v glinistyykh gruntakh* [Piles' operation in clay soil condition]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1972, 159 p.

16. Silin K. S., Glotov N. V., Lugа А. А., Zavriev K. S. *Svaynye fundamenty* [Pile bases]. Moscow, Transport Publ., 1975, 432 p.

17. Ershov A. V., Nutrikhin V. V. *Otsenka nesushchey sposobnosti nabivnykh svay s ispol'zovaniem dannykh staticheskogo zondirovaniya* [Evaluation of the load bearing

capacity of cast-in-place piles using static sounding data]. *Inzhenernye izyskaniya – Engineering Research*, 2011, no. 7, pp. 42–52.

18. Konyushkov V. V. *Tekhniko-ekonomicheskoe sravnenie tekhnologiy nabivnykh i burovnykh svay na osnove raschetno-teoreticheskogo analiza ikh nesushchey sposobnosti* [Technical and economic comparison of technologies of driven and bored piles on the basis of computational and theoretical analysis of their carrying

capacity]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2009, no. 2 (19), pp. 105–108.

19. Utkin V. S. *Uovershenstvovanniy metod rascheta osadki svay-stoev v grunte osnovaniya fundamenta* [Improved method of calculating the settlement of pile-rack settlement in the foundation ground]. *Vestnik Vologodskogo gos. un-ta. Seriya: tekhnicheskie nauki – Bulletin of the Vologda State University. Series: Technical Sciences*, 2019, no. 2 (4), pp. 81–83.