УДК 624.15

А.Б. Пономарев, М.А. Безгодов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЗАБИВНЫХ СВАЙ В СЛАБЫХ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТАХ С УЧЕТОМ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ

Приведены результаты экспериментальных исследований несущей способности забивных свай в слабых водонасыщенных грунтах. Представлены результаты полевых испытаний свай статическими нагрузками и статическим зондированием. Рассмотрено статическое зондирование с применением наконечника 1-го и 2-го типа. Произведено сравнение несущей способности свай, определенной данными методами.

Ключевые слова: забивные сваи, слабые водонасыщенные глинистые грунты, статическое зондирование, несущая способность свай, натурные испытания свай.

Проведение натурных испытаний свай в слабых водонасыщенных глинистых грунтах сопряжено со значительными финансовыми потерями, связанными с длительностью и трудоемкостью испытаний. В связи с этим возникает необходимость достоверной оценки несущей способности свай по результатам экспресс-методов. Одним из наиболее распространенных экспресс-методов является метод статического зондирования (СРТ).

Исследованием работы свайных фундаментов занималось много ученых на протяжении всего XX в., среди них: М.Ю. Абелев, А.А. Бартоломей, Н.М. Большаков, Н.М. Герсевич, В.Н. Голубков, Б.И. Далматов, А.А. Луга, Г.Ф. Новожилов, Н.А. Цытович и мн. др. Установлено, что несущая способность свай, забитой в глинистый грунт, увеличивается во времени. Однако, несмотря на выполненные многочисленные исследования и разработанные методики расчета несущей способности свай с учетом фактора времени, данный фактор не нашел отражение в современных нормативных документах, регламентирующих проектирование свайных фундаментов [1].

В представленной статье авторами произведено сопоставление несущей способности свай, определенной по натурным испытаниям, с расчетными значениями, определенными по методу статического зондирования с учетом фактора времени.

В пригороде г. Перми осуществляется строительство комплекса жилых домов крупнопанельного домостроения по типовой серии 97-Н5.1. Фундаменты возводимых зданий – свайные комбинированные, под внутренние стены – безростверковые со сборными железобетонными оголовками, а под наружные – ленточные, однорядные, с монолитным железобетонным ростверком. В качестве элементов свайных фундаментов под наружные стены здания приняты сваи марки С80.30-6.1, а под внутренние оси – сваи марки С100.30-6.1 соответственно по серии 1.011.1-10, вып. 1. Расчетная нагрузка на сваю составляет $N = 250$ кН [2, 3].

В геологическом строении, по данным бурения скважин, в пределах исследованных глубин (до 14,0 м) принимают участие аллювиальные отложения современного отдела четвертичной системы (aQ_{IV}) (рис. 1).

Рис. 1. Инженерно-геологический разрез площадки строительства

С поверхности повсеместно залегает почвенно-растительный слой мощностью до 0,1 м. На площадке выделено 7 инженерно-геологических элементов:

ИГЭ-1. Суглинок легкий пылеватый, тяжелый пылеватый, мягкопластичный, редко тугопластичный (аQ_{IV});

ИГЭ-2. Суглинок легкий пылеватый, тяжелый пылеватый, теку-
чепластичный (aQ_{IV});

ИГЭ-3. Суглинок гравелистый, легкий пылеватый, тяжелый пылеватый, тугопластичный (аQ_{IV});

- ИГЭ-4. Глина легкая пылеватая твердая и полутвердая (aQ_{IV});
 ИГЭ-5. Глина легкая пылеватая тугопластичная (aQ_{IV});
 ИГЭ-6. Глина легкая пылеватая мягкопластичная (aQ_{IV});
 ИГЭ-7. Гравийный, галечниковый грунт (aQ_{IV}).

В гидрогеологическом отношении (в пределах исследованных глубин до 14,0 м) на момент изысканий (август 2012 г.) подземные воды были вскрыты повсеместно, в суглинках и глинах. Установившийся уровень подземных вод был зафиксирован на глубинах 3,8–5,6 м (отметки в Балтийской системе высот) [2–4].

Схема мест проведения полевых испытаний представлена на рис. 2.

Статическое зондирование проводилось в соответствии с ГОСТ 19912.

В период проведения инженерно-геологических изысканий (август 2012 г.) выполнено статическое зондирование грунтов установкой НУСЗ-15 типа С-979 с механической системой задавливания зонда. Тип применяемого зонда – 1. Параметры зонда следующие: диаметр основания конуса – 35,7 мм, угол при вершине конуса – 60° , площадь конуса 10 см^2 , наружный диаметр штанг – 36 мм. Результаты статического зондирования приведены на рис. 3, а, б.

Рис. 2. Схема мест испытания свай статической нагрузкой (стат. исп.), динамической нагрузкой (дин. исп.) и точек статического зондирования (СРТ)

Рис. 3. Графики статического зондирования: *а* – сопротивление по конусу зонда 1-го типа (установка HUC3-15); *б* – сопротивление грунта по боковой поверхности зонда 1-го типа (установка HUC3-15); *в* – сопротивление по конусу зонда 2-го типа (установка GeoMil LWC100 XS); *г* – сопротивление грунта по боковой поверхности зонда 2-го типа (установка GeoMil LWC100 XS)

В период с августа по сентябрь 2013 г. лабораторией кафедры «Строительное производство и геотехника» ПНИПУ выполнено статическое зондирование грунтов установкой GeoMil LWC100 XS с гидравлической системой задавливания зонда. Зондирование осуществлялось электрическим пьезоконусом (СРТУ) с датчиком порового давления и муфтой трения (зонд 2-го типа). Параметры зонда следующие: диаметр основания конуса – 35,7 мм, угол при вершине конуса – 60° , площадь конуса – 10 см^2 , площадь муфты трения – 150 см^2 , наружный диаметр штанг – 36 мм, длина штанг – 1 м. Результаты статического зондирования приведены на рис. 3, в, г.

В период с апреля по июнь 2013 г. проведены испытания свай в соответствии с требованиями ГОСТ 5686. В качестве нагрузочного устройства использовался гидравлический домкрат с фиксацией каждой ступени нагрузки по манометру. Нагружение испытываемой сваи производилось равномерно, ступенями нагрузки по 40,25 кН (1/10 от 402,5 кН). Всего было испытано три сваи длиной 10 м (С100.30-6.1) через 9 дней (свая № 42), 20 дней (свая № 52) и 39 дней (свая № 69) после их погружения. Несущая способность свай № 42, № 52 и № 69 составила соответственно 402 кН, 241 кН и 350 кН [2, 3].

Расчет несущей способности свай по данным статического зондирования производился в соответствии с СП 24.13330.2011. На основании того, что инженерно-геологические условия строительства представлены водонасыщенными глинистыми грунтами с коэффициентами водонасыщения $S_r = 0,841 \dots 1,026$, было спрогнозировано увеличение несущей способности свай во времени с учетом тиксотропного упрочнения и консолидации грунтов по методике А.А. Бартоломея¹ [5]. Расчеты выполнялись с учетом данных инженерно-геологических изысканий. Результаты расчетов приведены в табл. 1, 2.

Усредним полученные результаты расчетов (см. табл. 1, 2) и сведем их в табл. 3.

На основании полученных результатов (см. табл. 3) относительно грунтовых условий площадки можно сделать следующие выводы:

¹ Рекомендации по применению полых конических свай повышенной несущей способности в развитие СНиП 2.02.03–85 / Минстрой РФ. НИИОСП, ПГТУ. М., 1995. 27 с.

1. Несущая способность свай определенная по статическому зондированию с использованием зонда 1-го типа (НУСЗ-15), что приводит к завышению несущей способности свай по сравнению с натурными испытаниями на 25–98 %. Это значительно превышает значения коэффициента надежности по грунту ($\gamma_k = 1,25$) при определении несущей способности свай методами полевых испытаний согласно СП 24.13330.2011.

Таблица 1

Несущая способность свай, определенная
по статическому зондированию

Методика испытания	Номер точки статического зондирования	Блок секция	Несущая способность свай F_d , кН				
			по СП 24.13330.2011 [5]	среднее значение	10 дней*	20 дней*	40 дней*
Зонд 1-го типа	НУСЗ-15 № 1	4–6	480,41	464,49	488	520	598
	НУСЗ-15 № 3		448,57				
	НУСЗ-15 № 4	1–2	483,36	481,14	505	537	616
	НУСЗ-15 № 6		478,92				
Зонд 2-го типа	СРТУ № 4	4–6	263,04	276,83	297	324	383
	СРТ № 4		290,62				
	СРТУ № 2	1–2	352,91	357,16	378	407	475
	СРТ № 1		348,47				
	СРТ № 2		370,1				

* Несущая способность свай рассчитывалась по методике А.А. Бартоломея [5].

Таблица 2

Несущая способность свай, определенная по статическим испытаниям

Номер свай	Блок секция	Несущая способность свай F_d , кН			
		0 дней	10 дней	20 дней	40 дней
42	1-2	381*	402	432*	502*
52	4-6	196*	215*	241	289*
69	4-6	248*	267*	294*	350

* Несущая способность свай рассчитывалась по методике А.А. Бартоломея [5].

Таблица 3

Блок-секция	Методика испытания	Несущая способность свай F_d , кН				Среднее отклонение от статистических испытаний
		0 дней	10 дней	20 дней	40 дней	
1–2	Статические испытания (свая № 42)	381	402	432	502	х
	Статическое зондирование (зонд 1-го типа)	481	505	537	616	+25 %
	Статическое зондирование (зонд 2-го типа)	357	378	407	475	–7 %
4–6	Статические испытания (свая № 52 и № 69)	222	241	267	319	х
	Статическое зондирование (зонд 1-го типа)	464	488	520	598	+98 %
	Статическое зондирование (зонд 2-го типа)	277	297	324	383	+22 %
Среднее значение по зданию	Статические испытания (свая № 42, № 52, № 69)	302	322	350	411	х
	Статическое зондирование (зонд 1-го типа)	473	497	529	607	+52 %
	Статическое зондирование (зонд 2-го типа)	317	338	366	429	+5 %

2. Несущая способность свай, определенная методом статического зондирования с использованием зонда 2-го типа (GeoMil LWC100 XS), дает расхождение несущей способности свай по сравнению с натурными испытаниями в пределах 7–22 %, что позволяет спрогнозировать несущую способность свай в водонасыщенных глинистых грунтах, близкую к реальным значениям.

3. Несущая способность свай, определенная по статическому зондированию с использованием зонда 1-го типа, в 1,5 раза больше значений несущей способности, полученных с использованием зонда 2-го.

4. Существующая в настоящее время методика расчета несущей способности свай с учетом фактора времени носит весьма приближенный характер. В связи с разработкой современных технологий статического зондирования грунтов, в частности пьезоэлектрического конуса с датчиком порового давления (CPTU), появляется возможность более достоверного получения данных грунтовых параметров и оценки несущей способности свай во времени. Дальнейшее развитие и совершенствование методики прогноза несущей способности свай во времени является задачей последующих исследований.

Библиографический список

1. Пономарев А.Б., Захаров А.В., Безгодов М.А. Исследование фактора увеличения несущей способности свай во времени // Сб. науч. тр. ПолНТУ. Машиностроение и строительство. – 2013. – Вып. 3(38), Т. 2. – С. 289–296.
2. Пономарев А.Б., Захаров А.В., Безгодов М.А. К вопросу о влиянии фактора времени на несущую способность свай // Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение: материалы междунар. науч.-техн. конф. / СПбГАСУ. – СПб., 2014.
3. Пономарев А.Б., Захаров А.В., Сурсанов Д.Н. К вопросу использования верхнепермских отложений в качестве грунтовых оснований // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Урбанистика. – 2011. – № 1. – С. 74–80.
4. Машенко А.В., Пономарев А.Б. К вопросу использования армированных сезоннопромерзающих пучинистых грунтов в качестве оснований фундаментов // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Строительство и архитектура. – 2012. – С. 56–80.
5. Бартоломей А.А., Омельчак И.М., Юшков Б.С. Прогноз осадок свайных фундаментов / под ред. А.А. Бартоломея. – М.: Стройиздат, 1994. – 384 с.

References

1. Ponomarev A.B., Zakharov A.V., Bezgodov M.A. Issledovanie faktora uvelicheniia nesushchei sposobnosti svai vo vremeni [Research of time ratio of increase a piles capacity]. *Sbornik nauchnykh trudov Poltavskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie i stroitel'stvo*, 2013, vol. 2, no. 3 (38), pp. 289–296.
2. Ponomarev A.B., Zakharov A.V., Bezgodov M.A. K voprosu o vliianii faktora vremeni na nesushchuiu sposobnost' svai [The question on influence of the time ratio for a piles capacity]. *Trudy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Sovremennye geotekhnologii v stroitel'stve i ikh nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdenie"*. St.-Petersburg: Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet, 2014, vol. 2, pp. 44–51.
3. Ponomarev A.B., Zakharov A.V., Sursanov D.N. K voprosu ispol'zovaniia verkhnepermских otlozhenii v kachestve gruntovykh osnovanii [The question upper permian depositions as earth foundations]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*, 2011, no. 1, pp. 74–80.

4. Mashchenko A.V., Ponomarev A.B. K voprosu ispol'zovaniia armirovannykh sezonnopromerzaiushchikh puchinistyykh gruntov v kachestve osnovanii fundamentov [The question of the use of reinforced seasonal freezing heaving soils as bases foundations]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2012, pp. 56–80.

5. Bartolomei A.A., Omel'chak I.M., Iushkov B.S. Prognoz osadok svainykh fundamentov [The prediction of settlements of the pile foundation]. Moscow: Stroiizdat, 1994, 384 p.

A.B. Ponomarev, M.A. Bezgodov

THE BEARING CAPACITY OF PILES IN SOFT WATER-SATURATED CLAYEY SOILS CONSIDERING THE TIME FACTOR

The paper presents the results of experimental studies bearing capacity of driven piles in soft water-saturated clayey soils. The results of field tests of piles static loads and cone penetration test. Cone penetration test performed using the tip of the 1st and 2nd type. Comparison of bearing capacity of piles defined by these methods.

Keywords: driven pile, soft water-saturated clayey soils, cone penetration test, bearing capacity of piles, pile load test.

Об авторах

Пономарев Андрей Будимирович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ac.ru).

Безгодов Михаил Александрович (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ac.ru).

About the authors

Ponomarev Andrey Budimirovich (Perm, Russia) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ac.ru).

Bezgodov Mikhail Aleksandrovich (Perm, Russia) – Postgraduate student, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ac.ru).

Получено 9.01.2014