УДК 624.131

В.Л. Седин¹, Ю.Л. Винников², Е.М. Бикус¹

¹Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры,
Днепропетровск, Украина

²Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка,
Полтава, Украина

О ВЛИЯНИИ ПОВТОРНЫХ НАГРУЖЕНИЙ НАБИВНЫХ СВАЙ В ПРОБИТЫХ СКВАЖИНАХ НА ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ИХ ОСНОВАНИЙ

Представлены результаты повторных статических испытаний глинистых грунтов в естественном и замоченном состоянии набивными сваями в пробитых скважинах, которые доказывают, что проведение повторных нагружений свай способствует снижению их осадок, а следовательно, положительно влияет на уменьшение неравномерности осадок и уровень надежности свайного основания будущего здания.

Ключевые слова: суглинок, супесь, набивная свая в пробитой скважине, статические испытания грунтов сваями, замачивание основания, осадка, уплотнение грунта.

V.L. Siedin¹, Yu.L. Vynnykov², K.M. Bikus¹

¹Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Dnepropetrovsk, Ukraine

²Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine

REPEATED LOADING EFFECT ON FOUNDATION DISTORTION UNDER FILLING PILES CAST IN BOREHOLES

The repeated static clayey soil loading results are shown in natural and wetted states using filled piles cast in boreholes, which demonstrated decrease of pile yielding and yield irregularity under repeated loading thereby increasing reliability of pile foundation under construction.

Keywords: loamy soil, clay sand, filled piles cast in boreholes, static pile testing, soil wetting, foundation settlement, soil compaction

Современное геотехническое проектирование тесно связано с проблемами увеличения нагрузок на основания фундаментов зданий и сооружений, что может вызывать увеличение как абсолютных, так и относительных неравномерных осадок оснований, в том числе свайных, зданий и сооружений.

Поэтому повышение уровня надёжности зданий и сооружений, достоверности определения несущей способности свай, снижение абсолютных и относительных осадок оснований свайных фундаментов без увеличения общей стоимости строительства являются актуальными задачами геотехников.

При проектировании свайных фундаментов, которые устраивают путем погружения в грунт сборных элементов или создания в грунте полости с последующим заполнением ее сборными или монолитными конструкциями враспор [1], необходимо знать фактическую несущую способность свай и будущую деформативность их оснований. Эти исходные геотехнические параметры значительно зависят от возможного (особенно в плотных и водонасыщенных грунтах при недостаточном расстоянии между сваями) выпора ранее уже устроенных соседних свай (фундаментов) [1–6]. Такой эффект снижает несущую способность свай и повышает деформативность их оснований при последующей работе свай в составе фундаментов зданий и сооружений.

Особенности состояния околосвайного грунта, несущей способности свай и деформативности свайных оснований при разных расстояниях между соседними сваями исследовали А.А. Бартоломей, Б.В. Бахолдин, И.П. Бойко, В.Н. Голубков, А.Л. Готман, А.А. Григорян, Б.И. Далматов, А.Ж. Жусупбеков, Н.Л. Зоценко, В.И. Крутов, Ф.К. Лапшин, А.А. Луга, Р.А. Мангушев, Н.И. Никитенко, А.Б. Пономарев, Ю.Ф. Тугаенко, В.М. Улицкий, Д.М. Шапиро, В.Б. Швец, Н. Brandl, R. Frank, R. Katzenbach, G. Meyerhof, R. Peck, M. Randolph и др. [1–10].

В частности, нами было принято во внимание предложение проф. Б.В. Бахолдина [7] о том, что влияние «отдыха» на изменение несущей способности свай корректно изучать по результатам однократных статических нагружений одинаковых свай (так называемых свай-близнецов) с разными сроками их «отдыха», что впоследствии использовалось полтавской геотехнической школой [1, 5].

Всесторонние полевые статические испытания свай, проведенные проф. Н. Brandl [3], подтвердили, что при первом нагружении зависимость осадки от нагрузки для отдельных свай одной и той же конструкции значительно отличаются. Повторное же их нагружение приводит к несомненному выравниванию осадок этих свай.

Профессорами Б.И. Далматовым и М.Л. Зоценко и их учениками установлены определённые закономерности объемов выпора грунтов

в зависимости от их характеристик и параметров соседних свай [1, 2]. Заслуживает также дальнейшего исследования предложение проф. В.И. Крутова [10] относительно того, что «предварительное пригружение фундаментов в вытрамбованных котлованах нагрузками, равными 0,7–0,9 от расчётных, полностью обеспечивает их несущую способность, соответствующую проектной нагрузке при их последующих осадках в 3–4 раза меньше допустимых».

Таким образом, в связи с вышеизложенным возникла необходимость проведения натурных исследований возможного влияния повторных статических испытаний вертикальным нагружением набивных свай в пробитых скважинах, в частности в глинистых грунтах, на их несущую способность и деформативность их оснований.

Набивные сваи в пробитых скважинах [1, 5] отличает высокая степень использования несущей способности основания вследствие формирования в ней уплотненной зоны, в пределах которой увеличивается прочность и снижается деформативность грунта. Как показывает практика строительства, набивные сваи в пробитых скважинах наиболее рационально применять в лёссовых макропористых грунтах природной влажности при возведении жилых зданий преимущественно с ленточными ростверками.

Такие сваи устраивают путем пробивки скважин в грунте цилиндрической трамбовкой диаметром 0,4–0,6 м, массой 3–6 т с заполнением их бетоном, железобетоном, грунтобетоном, смесью щебня и глины. Для увеличения сопротивления нагрузке в их нижней части устраивают расширение из втрамбованного щебня или жесткого бетона. Размеры набивных свай в пробитых скважинах колеблются в пределах: диаметр ствола составляет 400–800 мм; глубина скважины 1,5–10 м (иногда до 20 м); диаметр уширения 700–1200 мм.

Опытная площадка располагалась в г. Пирятине Полтавской области. До глубины 8,4 м она сложена суглинками лёссовыми, просадочными (ИГЭ-2 и ИГЭ-3), которые подстилаются плотными супесями (ИГЭ-4) и суглинками (ИГЭ-5), а сверху перекрыты грунтово-растительным слоем и суглинком гумусированным общей мощностью 1,2 м. Инженерно-геологическая колонка опытной площадки с привязкой набивной сваи в пробитой скважине представлена на рис. 1.

Показатели физико-механических характеристик грунтов этой площадки сведены в таблице.

Уровень грунтовых вод на площадке был зафиксирован на глубине 13 м от ее дневной поверхности.

Рис. 1. Инженерно-геологическая колонка опытной площадки с привязкой набивной сваи в пробитой скважине: 1 – ствол набивной сваи в пробитой скважине; 2 – уширение сваи из втрамбованного щебня объемом $V_{cr}=15 \text{ м}^3$; 3 – зона достаточного уплотнения грунта

Показатели физико-механических характеристик грунтов опытной площадки

Характеристика	Значение для грунтов			
	IGЭ-2	IGЭ-3	IGЭ-4	IGЭ-5
Влажность природная w	0,11	0,17	0,09	0,21
Влажность на границе текучести w_L	0,28	0,33	0,19	0,28
Влажность на границе раскатывания w_p	0,19	0,21	0,15	0,18
Число пластичности I_p	0,09	0,12	0,04	0,08
Показатель текучести I_L	< 0	< 0	< 0	0,38
Показатель текучести при $S_r = 0,90$	> 1,0	> 1,0	0,01	0,10
Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³	2,68	2,68	2,68	2,68
Плотность грунта ρ , г/см ³	1,42	1,65	1,96	2,08
Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³	1,28	1,41	1,80	1,72
Коэффициент пористости e	1,09	0,90	0,49	0,56
Коэффициент водонасыщения S_r	0,27	0,51	0,49	1,00
Относительная просадочность при давлении σ , МПа				
0,05	0,010	0,004	–	–
0,10	0,017	0,006	–	–
0,20	0,037	0,010	–	–
0,30	0,069	0,017	–	–
Начальное давление просадочности p_{st} , МПа	0,050	0,200	–	–

Окончание таблицы

Угол внутреннего трения φ_{II} , град	12	14	30	23
Удельное сцепление грунта c_{II} , кПа	9	14	17	32
Модуль деформации грунта в замоченном с остоянии E , МПа	1,5	2,5	30	25
Удельный вес грунта γ_{II} , кН/м ³	14,20	16,50	19,60	20,80

Были устроены опытные сваи в пробитых скважинах диаметром 0,5 м, глубиной около 6,5 м и объемом втрамбованного в уширение щебня 1,5 м³ (см. рис. 1).

После устройства опытных свай и их «отдыха» более 40 сут были проведены их статические испытания по нормативной методике согласно ДСТУ Б В.2.1-27: 2010 как в природном, так в замоченном до коэффициента водонасыщения $S_r = 0,85$ состоянии грунтов основания. При этом конечная нагрузка на каждую сваю доводилась до величины $F_v = 1400$ кН. Каждая ступень нагрузки выдерживалась до условной стабилизации осадки сваи в соответствии с ДСТУ Б В.2.1-27:2010, после чего осуществлялось полное разгружение сваи. После перерыва до 3 сут этот цикл полностью повторялся. Количество циклов испытаний для каждой опытной сваи составило пять. Примеры результатов таких статических испытаний свай представлены на рис. 2.

Рис. 2. Графики зависимости осадки набивных свай в пробитых скважинах от вертикальной нагрузки при повторных статических испытаниях свай грунта:

a – в природном состоянии; *б* – в замоченном состоянии; 1 – первый цикл статических испытаний сваи; 2 – второй цикл статических испытаний сваи; 3 – пятый цикл статических испытаний сваи

Из рис. 2, *a* четко видно, что при испытании грунта в природном состоянии после первого цикла нагружения осадка головы сваи составила $S_1 = 28$ мм, что графически показано линией 1. После разгруже-

ния сваи произошел ее подъем на 6 мм. После второго нагружения осадка сваи составила всего лишь $S_2 = 19,5$ мм, что показано линией 2. После пятого нагружения осадка сваи снизилась до $S_3 = 17$ мм, что показано линией 3.

На рис. 2, б также прослеживается, что при испытании грунта в замоченном состоянии после первого нагружения осадка сваи составила $S_1 = 40$ мм, что графически показано линией 1. После разгружения сваи произошел ее подъем на 5 мм. После второго нагружения осадка сваи составила только $S_2 = 28$ мм, что показано линией 2. После разгружения сваи произошел ее подъем на 3 мм. После пятого нагружения осадка сваи снизилась до $S_2 = 22$ мм, что показано линией 3.

Таким образом, уже при втором статическом испытании свай в пробитой скважине грунта величина осадки как природного, так и замоченного основания сваи снизилась примерно на 30 % при одинаковом значении конечной нагрузки $F_v = 1400$ кН на нее. Этот эффект достигается за счет доуплотнения свайного основания.

По нашему мнению, полученный эффект вполне возможно использовать для повторного (или, по терминологии проф. В.И. Крутова [10] и проф. Н. Brandl [3], «предварительного») нагружения свай для ликвидации поднятия соседних свай в границах свайного поля, снижения деформативности оснований буровых свай, свай в пробитых скважинах и фундаментов в вытрамбованных котлованах и т. п.

Таким образом, путем повторных статических испытаний глинистых грунтов в природном и замоченном состоянии набивными сваями в пробитых скважинах доказано, что деформативность как природных, так и замоченных глинистых грунтов при повторных нагружениях свай существенно (на 30 %) снижается за счет доуплотнения свайного основания. Потому повторное нагружение свай положительно влияет на уменьшение неравномерности осадок свай в границах строительной площадки, а следовательно, повышает уровень надежности свайного основания будущего здания.

Результаты исследований также показывают, что, если для хорошо подготовленных оснований набивных свай в пробитых скважинах повторные нагружения дают существенный эффект, то, следовательно, для обычных буровых свай, у которых дефектов намного больше, такая методика будет еще более эффективной. Поэтому, метод предвари-

тельного (повторного) нагружения свай целесообразно применять для ликвидации поднятия соседних свай при забивке в границах свайного поля и снижения деформативности оснований буровых свай, свай пробитых скважинах и фундаментах в вытрамбованных котлованах.

Библиографический список

1. Зоценко М.Л. Напружено-деформований стан основ фундаментів, які споруджують без виймання ґрунту: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Київ, 1994. – 44 с.
2. Середюк И.П. Исследование процессов, происходящих в глинистых грунтах при погружении свай: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л.: Изд-во Лен. инж.-строит. ин-та, 1978. – 23 с.
3. Brandl H. Cyclic preloading of piles to minimize (differential) settlements of high-rise buildings // Slovak, 2005. – Slovak University of Technology, 2006. – P. 1–12.
4. Бартоломей А.А., Омельчак И.М., Юшков Б.С. Прогноз осадок свайных фундаментов. – М.: Стройиздат, 1994. – 384 с.
5. Винников Ю.Л. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при їх зведенні та наступній роботі: моногр.; ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка. – Полтава, 2004. – 237 с.
6. Научно-техническое сопровождение проектирования и строительства оснований и фундаментов специалистами СПбГАСУ / Р.А. Мангушев, А.А. Веселов, В.В. Конюшков, Д.А. Сапин // Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение: материалы междунар. науч.-технич. конф., посвященной 80-летию образования кафедры геотехники СПбГАСУ («Механика грунтов, оснований и фундаментов» ЛИСИ) и 290-летию российской науки; СПбГАСУ. – СПб., 2014. – Ч. I. – С. 72 – 88.
7. Бахолдин Б.В. Экспериментальные и теоретические исследования процесса взаимодействия грунта с забивными сваями и создание на их основе практических методов расчета свай: автореф. ... дис. д-ра техн. наук / ВНИИОСП. – М., 1987. – 48 с.
8. Пономарев А.Б. Основы исследований и расчета фундаментов из полых конических свай. – М.: АСВ, 2005. – 160 с.
9. Fleming K. Piling Engineering / K. Fleming, A. Weltman, M. Randolph, K. Elson. – London and New York: Taylor and Francis, 2008. – 398 p.

10. Крутов В.И., Танатаров Н.Т. Упрочнение оснований фундаментов в вытрамбованных котлованах путем их предварительной пригрузки // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1990. – № 6. – С. 11–13.

References

1. Zotsenko, M.L. Napruzhenno-deformovaniy stan osnov fundamentiv, yaki spo-rudzhuyut' bez viymannya rruntu. Abstract of the thesis of doctor degree dissertation. Kiev: NDIBK, 1994. 44 s.

2. Seredyuk I.P. Issledovanie protsessov, proiskhodyashchikh v glinistykh gruntakh pri pogruzhении svay [The study of the processes occurring in clay soils when submerged piles]. Abstract of the thesis of the candidate of technical sciences. Leningradskiy inzhenerno-stroitelnyy institut, 1978. 23 s.

3. Brandl H. Cyclic preloading of piles to minimize (differential) settlements of high-rise buildings. *Slovak, 2005*. Slovak University of Technology, 2006. pp. 1-12.

4. Bartolomei A.A., Omel'chak I.M., Iushkov B.S. Prognoz osadok svajnykh fundamentov [The prediction of settlements of the pile foundation]. Moscow: Stroizdat, 1994. 384 s.

5. Vinnikov, Yu.L. Matematichne modelyuvannya vzaemodii fundamentiv z ushchil'nenimi osnovami pri ikh zvedenni ta nastupniy roboti. *Poltava, 2004*. 237 s.

6. Mangushev R.A. Veselov A.A., Konyushkov V.V., Sapin D.A. Nauchno-tekhnikeskoe soprovozhdenie proektirovaniya i stroitel'stva osnovaniy i fundamentov spetsialistami SPbGASU. *Trudy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii "Sovremennye geotekhnologii v stroitel'stve i ikh nauchno-tekhnikeskoe soprovozhdenie"*, Saint Petersburg, SPbGASU, vol. 1, 2014, pp. 72-88.

7. Bakhholdin, B.V. Eksperimental'nye i teoreticheskie issledovaniya protsessa vzaimodeystviya grunta s zabivnymi svayami i sozdanie na ikh osnove prakticheskikh me-todov rascheta svay [Experimental and theoretical researches of the interaction of soil with precast piles and creation on their basis of practical methods for calculating piles]. Abstract of the thesis of doctor degree dissertatia, Moscow, 1987. 48 s.

8. Ponomarev, A.B. Osnovy issledovaniy i rascheta fundamentov iz polykh ko-nicheskikh svay [Fundamentals of research and calculation bases of hollow conical piles]. Moscow: ASV, 2005. 160 s.

9. Fleming K., Weltman A., Randolph M., Elson K. Piling Engineering. London and New York, Taylor and Francis. 2008. 398 s.

10. Krutov V.I., Tanatarov N.T. Uprochnenie osnovanij fundamentov v vytrambovannykh kotlovanakh putem ikh predvaritel'noy prigruzki [Hardening of base foundations in beating pits by their preliminary Surcharging]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*, 1990, no. 6, pp. 11-13.

Об авторах

Седин Владимир Леонидович (Днепропетровск, Украина) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Основания и фундаменты» Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры; e-mail: geotecprof@mail.ru

Винников Юрий Леонидович (Полтава, Украина) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Добычи нефти и газа и геотехники» Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка; e-mail: vynnykov@yandex.ru

Бикус Екатерина Михайловна (Днепропетровск, Украина) – младший научный сотрудник, аспирант кафедры «Основания и фундаменты» Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры; e-mail: geotecprof@mail.ru

About the authors

Siedin Vladimir Leonidovich (Dnepropetrovsk, Ukraine) – Doctor Technical Sciences, Professor, Head of Foundation Engineering Department, Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture; e-mail: geotecprof@mail.ru

Vynnykov Yuri Leonidovich (Poltava, Ukraine) – Doctor Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Oil and Gas Industry and Geotechnique, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University; e-mail: vynnykov@yandex.ru

Bikus Katharina Mikhaylovna (Dnepropetrovsk, Ukraine) – Junior Researcher, Doctoral Student of Foundation Engineering Department, Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture; e-mail: geotecprof@mail.ru

Получено 27.03.2014