

*П.А. Литовченко, к.т.н., доцент
Т.В. Ищенко, аспирантка
Национальная академия природоохранного
и курортного строительства, г. Симферополь*

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БУРОИНЪЕКЦИОННОЙ СВАИ С ЛОКАЛЬНЫМ ЗАКРЕПЛЕНИЕМ В ГРУНТЕ ПРИ ДЕЙСТВИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

Приведен сравнительный анализ перемещений головы буринъекционной сваи с локальным закреплением в грунте при горизонтальных нагрузках, полученных по результатам натурных испытаний в инженерно-геологических условиях г. Севастополя, с величинами, рассчитанными с привлечением программного комплекса «Лира 9.6» и по рекомендациям существующих норм.

Ключевые слова: буринъекционная свая с локальным закреплением в грунте, горизонтальное перемещение, натурные испытания, метод конечных элементов.

*П.А. Литовченко, к.т.н., доцент
Т.В. Ищенко, аспирантка
Національна академія природоохоронного
та курортного будівництва, м. Симферополь*

ОЦІНКА НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ БУРОІН'ЄКЦІЙНОЇ ПАЛІ З ЛОКАЛЬНИМ ЗАКРІПЛЕННЯМ У ГРУНТІ ПРИ ДІЇ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Наведено порівняльний аналіз переміщень голови бурин'єкційної палі з локальним закріпленням у ґрунті при горизонтальних навантаженнях, отриманих за результатами натурних випробувань в інженерно-геологічних умовах м. Севастополя з величинами, розрахованими із залученням програмного комплексу «Ліра 9.6» та за рекомендаціями існуючих норм.

Ключові слова: бурин'єкційна паля з локальним закріпленням в ґрунті, горизонтальне переміщення, натурні випробування, метод скінченних елементів.

*P.A. Litovchenko, Ph.D
T.V. Ischenko, post-graduate student
National Academy of Nature Protection and Resort Development, Simferopol*

ESTIMATION OF BEARING CAPACITY OF MICROPILE WITH LOCAL FIXATION IN SOIL UNDER ACTION OF HORIZONTAL LOAD

The comparative analysis of movements of head of micropile with the local fixing in soil under horizontal loads is presented. Compared information by the results of field tests pile in the engineering and geological conditions in Sevastopol with the values calculated with the involvement of the software complex «Lira 9.6» and on the recommendations of the existing standards.

Keywords: micropile with the local fixing in soil, horizontal moving, field testing, method of finite elements.

Введение. В современных условиях строительства существенно возросли нагрузки на основание, застраиваются участки со сложными инженерно-геологическими условиями, строительство ведется в условиях плотной городской застройки. Все это приводит к увеличению объемов

применения свайных фундаментов, так как они в данных условиях являются наиболее надежным решением. За последние годы наметилась тенденция к уменьшению применения забивных свай. Это связано с передачей значительных динамических усилий на грунтовое основание при погружении сваи сваебойными установками, которые негативно влияют на здания и сооружения вблизи строительной площадки и могут привести к их разрушению. Массовое применение находят свайные фундаменты из монолитного бетона, помимо традиционных буронабивных, активно внедряются новые типы свай.

В фундаментостроении развиваются направления, в которых сочетаются тенденции применения монолитного бетона и искусственно улучшенного основания. В рамках этого направления разработана технология устройства висячих буроинъекционных свай с локальным закреплением в грунте, суть которого заключается в нагнетании цементно-силикатного раствора в грунт через перфорацию иньектора, расположенного в стволе сваи. Инъекционные уширения по высоте сваи не только изменяют свойства грунта вокруг ствола сваи, но и являются дополнительными связями, которые снижают расчетную длину ствола сваи, и уменьшают ее гибкость. Однако широкому распространению данной технологии препятствует отсутствие экспериментально обоснованных предложений по расчету.

Обзор последних источников исследований и публикаций. Буроинъекционные сваи с локальным закреплением в грунте были разработаны компанией ООО «ТИССА», г. Луганск, и защищены патентом Украины на полезную модель №19885 «Сваи буроинъекционные висячие с цементными уширениями» в 2007 году.

Буроинъекционные сваи с цементным уширением отличаются от традиционных буроинъекционных свай тем, что в расчетных местах ствола сваи выполнены уширения, закрепляющие грунтовый массив цементным раствором с изменением структурных, физико-механических и геотехнических характеристик грунта. Цементные уширения создаются путем инъекции цементного раствора в грунт через специальные иньекторы. Положение и размер зоны закрепления определяются положением перфорации в иньекторе, размерами зоны перфорации, свойствами грунта и давлением нагнетания. Уширение бетонной сваи тем значительнее, чем податливее грунт, благодаря чему автоматически перераспределяется запас прочности, т. е. диаметр сваи оказывается увеличенным там, где это наиболее необходимо. Основное достоинство таких свай заключается в том, что одновременно с их сооружением производится улучшение свойств грунта – его монолитизация за счет инъекций цементного раствора в грунт.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. При использовании буроинъекционных свай с локальным закреплением в грунте возникает необходимость выполнения расчета сваи на горизонтальную нагрузку и изгибающий момент. Анализ литературы показал, что на современном этапе проектирования отсутствуют какие-либо нормы или

рекомендации по их расчету. Для расчета таких свай на горизонтальную нагрузку в настоящее время используют положения норм [1, 7], которые были разработаны в основном для свай, применяемых в мостостроении, обладающих относительно большими диаметрами по сравнению с рассматриваемым типом свай. Кроме того, они не учитывают наличие зон локального закрепления, не отражают особенности взаимодействия буроинъекционных свай с зонами локального закрепления в грунте [6].

Цель работы состоит в проведении сравнительного анализа перемещения головы буроинъекционной сваи с локальным закреплением в грунте при действии горизонтальной нагрузки, полученной экспериментальным и расчетным путем.

Основной материал и результаты. Для исследования была принята буроинъекционная свая с локальным закреплением в грунте, запроектированная при строительстве объекта «Встроенный торговый комплекс с 16-этажным жилым домом» по ул. Капитанская в г. Севастополе.

В конструктивном отношении свая представляет собой металлическую перфорированную трубу диаметром 89 мм с толщиной стенки 10 мм (рис.1). Укрепительная цементация с доведением диаметра свай до 250 мм выполнена цементно-песчаным раствором под давлением. Свая установлена вертикально и погружена в грунт на глубину 5,4 м, выполнена с цементными инъекционными уширениями. Они предусмотрены в нижней части сваи с шагом 1,0 м. Уширения выполняли за счет нагнетания цементно-силикатного раствора в специально выполненную перфорацию в трубах под давлением 6 – 8 атм. Растворная часть сваи заполняла все неровности и поры грунтового основания, дополнительно укрепляя грунт вокруг ее тела. Армирование сваи осуществлено арматурными стержнями 8Ø20 А400С.

Расчетная оценка несущей способности одиночной сваи выполнена с привлечением ПК «Лира 9.6» и по рекомендациям норм [1, 7]. Характеристики грунтов основания принимали по результатам изысканий, они представлены в таблице 1.

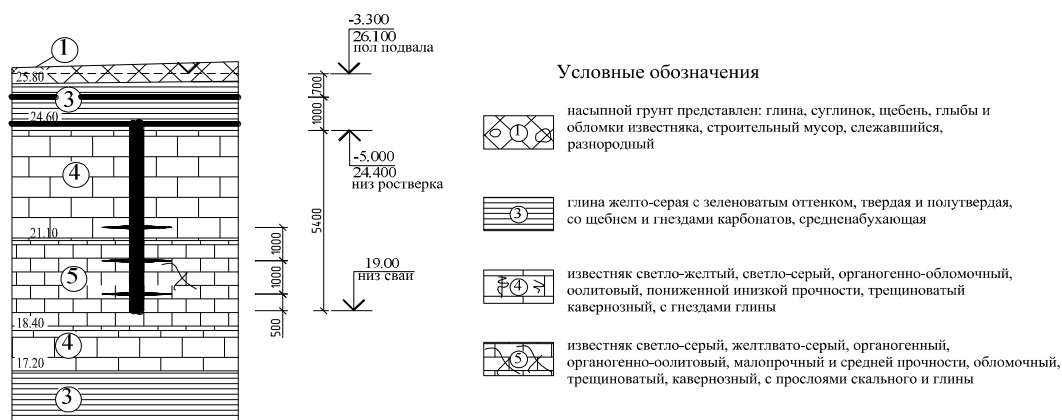


Рис. 1. Конструктивная схема буроинъекционной сваи с локальным закреплением в грунте

Таблица 1. Показатели физико-механических свойств грунтов

№ ИГЭ	Сопротивление сжатию	Сопротивление растяжению	Коэффициент Пуассона	Угол внутреннего трения	Удельное сцепление	Модуль деформации	Удельный вес
	R (т/м ²)	R _t (т/м ²)	ν	Φ (град.)	C (т/м ²)	E (т/м ²)	γ (т/м ³)
ИГЭ-3	30	1,0	0,42	16°30'	3,1	1900	1,93
ИГЭ-4	100	1,1	0,27	29	6,8	6500	2,18
ИГЭ-5	1300	1,5	0,27	29	6,8	10196,7	2,32

Грунтовые условия площадки характеризуются следующим составом:

- ИГЭ-3 – глина зеленовато-бурая, твердая и полутвердая, плотная, иногда с тонкими прослоями известняка, набухающая, давление набухания 2,5 кгс/см² (перед устройством свайного поля был удален);
- ИГЭ-4 – известняк очень низкой прочности с прослоями малопрочного и линзами глины;
- ИГЭ-5 – известняк серого цвета кавернозный малопрочный.

Расчетная схема одиночной сваи в ПК «Ли́ра» построена с привлечением объемных физически нелинейных конечных элементов (КЭ 231 и КЭ 233), позволяющих учитывать нелинейную работу материалов сваи, и физически нелинейных конечных элементов грунта (КЭ 271 и КЭ 276), которые позволяют смоделировать одностороннюю работу грунта на сжатие с учетом сдвига (рис. 2). Критерием пластичности была принята модель Мора – Кулона.

Расчет выполняли шагово-итерационным методом. Нагрузку на сваю прикладывали с шагом 3 т. Для каждого шага нагружения определяли перемещения головы сваи и напряжения в элементах грунта. Чтобы не учитывать в расчетах перемещения грунта от собственного веса, применяли систему «Монтаж» [3].

Устройство для испытания сваи на горизонтальную нагрузку представляло собой упор (металлическая ферма), установленный на четыре анкерные сваи. К оголовку сваи была приварена пластина, центрально передающая горизонтальную нагрузку (рис. 3). Нагрузку создавали гидродомкратом ДГ-50. Для измерения перемещений применяли прогибомеры 6 ПАО-ЛИСИ с ценой деления шкалы 0,01 мм [4].

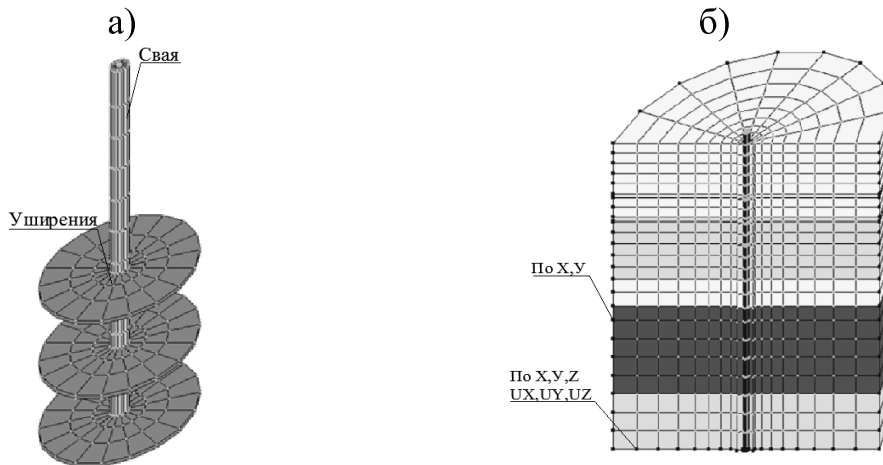


Рис. 2. Численная модель одиночной сваи в грунтовом массиве:
 а – модель сваи с привлечением КЭ231 и КЭ233; б – моделирование грунтового основания конечными элементами КЭ271 и КЭ276

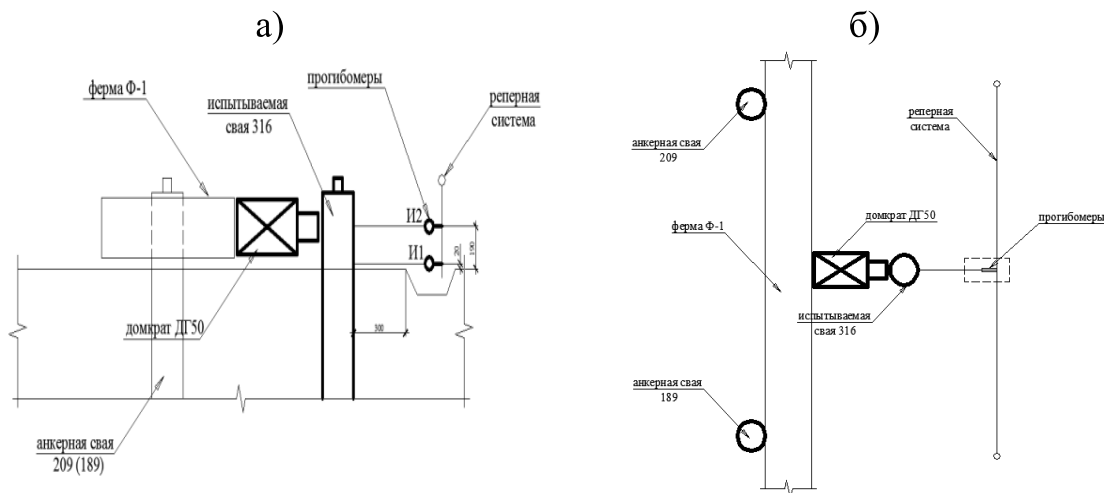


Рис. 3. Устройство для испытания сваи на горизонтальную нагрузку:
 а – вид сбоку; б – вид сверху

При испытаниях нагрузку прикладывали ступенями. На каждой ступени нагружения проводили выдержку при постоянной нагрузке до стабилизации деформаций, но не менее 60 минут [2]. Отсчеты по прогибомерам считывали сразу после приложения нагрузки и последовательно через каждые 15 минут выдержки. В процессе испытания контролировали горизонтальные перемещения оголовка сваи в двух уровнях по высоте: в уровне приложения нагрузки и в уровне грунта основания. За критерий стабилизации деформаций принята скорость горизонтального перемещения, не превышающая 0,1 мм за последний час наблюдения, так как горизонтальная нагрузка на сваю относится к кратковременным (сейсмическая).

Результаты расчетов горизонтальных перемещений и данные полевых испытаний сваи при действии горизонтальной нагрузки приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчета буринъекционной сваи с локальным закреплением в грунте при действии горизонтальной нагрузки

	Горизонтальные перемещения (см) при нагрузке (т)						
	3	6	9	12	15	18	21
Испытания	0,208	0,422	0,654	1	1,368	2,45	4,124
Расчет ПК «Лира 9.6»	0,287	0,623	0,996	1,408	1,859	2,36	2,92
Расчет по нормам	0,405	0,81	1,216	1,621	2,026	2,431	2,836

По результатам расчетов и полевых испытаний получены зависимости горизонтального перемещения головы от величины горизонтальной нагрузки (рис. 4).



Рис. 4. График увеличения фактических и расчетных перемещений головы сваи в зависимости от горизонтальной нагрузки

Полученная зависимость горизонтальных перемещений головы сваи от величины нагрузки носит криволинейный характер с ярко выраженной точкой перегиба, характерной для изгибаемых железобетонных элементов, наличие которой свидетельствует, как правило, о появлении трещин в растянутой зоне бетона или других физических процессах, снижающих жесткость сечения. Применительно к сваям, это может быть переход окружающего сваю грунта из стадии упругопластического деформирования в пластическое. При этом зона пластического деформирования распространяется на все большую глубину по высоте сваи. Выполненные участки локального закрепления ее в грунте служат своеобразным упругоподатливым защемлением пяты сваи.

Расчетные перемещения голов свай, полученные по рекомендациям норм, носят линейный характер и значительно отличаются от фактических данных. Это объясняется тем, что существующие нормы не рассматривают процессы деформирования ствола сваи, а также снижение модуля деформаций грунта при увеличении нагрузки.

По результатам расчетов в программе «Лира 9.6» зависимость перемещений от нагрузки, также как и при натурных испытаниях, носит

криволинейный характер, однако точка перегиба на графике «нагрузка – перемещения» отсутствует. Это можно объяснить тем, что сваю на каждой ступени нагружения выдерживали под нагрузкой не менее одного часа до стабилизации деформаций, а в программном комплексе «Ли́ра» такую «выдержку» в настоящий момент смоделировать не представляется возможным, так как при изысканиях не определяют снижение модуля деформаций в зависимости от величины напряжений в грунте. Таким образом, при численном моделировании в элементах сваи и грунта проявляются условно упругие деформации, которые соответствуют мгновенной скорости загрузки.

Выводы:

1. По результатам анализа полевого испытания сваи на горизонтальную нагрузку при малых деформациях грунта (до 7 мм) зависимость перемещения грунта от нагрузки близка к линейной. При возрастании нагрузки зависимость становится криволинейной, а при дальнейшем увеличении нагрузки грунт может резко перейти в пластическую стадию.

2. Оценка возможности применения программного комплекса «Ли́ра 9.6» и расчетов по рекомендациям норм для проектирования горизонтально нагруженной буроинъекционной сваи с локальным закреплением грунта показала, что результаты расчетов существенно отличаются от данных натуральных испытаний фундаментов.

3. Для обеспечения надежности конструкций несущую способность свай данного типа при расчете на горизонтальную нагрузку рекомендуем принимать при перемещениях грунта, ограниченных упругой стадией его работы.

Литература

1. ДБН В.2.1-10-2009. Зміна № 1. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
2. ДСТУ Б В.2.1-1-95. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. Держкомбуд архітектури та житлової політики України. –К.: Укрархбудінформ, 1996. – 62 с.
3. Городецкий, А.С. Компьютерные модели конструкций (изд-е второе и дополненное): учебное пособие / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Факт, 2007. – 394 с.
4. Кипко, Э.Я. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт: учебное пособие / Э.Я. Кипко, Н.А. Дудля и др. – 2-е издание. – Д.: Национальный горный университет, 2004. – 367 с.
5. Литовченко, П.А. Буроинъекционные сваи с локальным закреплением грунта: проблемы расчета и проектирования / П.А. Литовченко, Т.В. Панасюк // Строительство и техногенная безопасность: сб. научн. тр. НАПКС. – Симферополь, 2012. – Вып. 44. – С. 54–58.
6. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.

Надійшла до редакції 27.09.2013
© П.А. Літовченко, Т.В. Іщенко