

# Основания и фундаменты, подземные сооружения

УДК 624.159.4

DOI: 10.14529/build210402

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСИЛЕНИЯ ФРАГМЕНТА ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА С ПОМОЩЬЮ БУРОИНЪЕКЦИОННОЙ СВАИ С УШИРЕННОЙ ПЯТОЙ

*М.А. Самохвалов, О.В. Ашихмин, В.А. Демин, А.А. Паронко  
Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия*

Представлены результаты статических испытаний фрагмента ленточного фундамента, усиленного при помощи буроинъекционной сваи, которая имеет на своем нижнем конце уширенную пятю. Статические испытания были проведены летом 2020 г. на экспериментальной площадке в городе Тюмени. Буроинъекционная свая с уширенной пятю представляет собой трубу-инъектор, которая имеет на нижнем конце мембрану-стакан. Инъекция раствора в резиновую мембрану-стакан осуществлялась при помощи конструкции гидравлического пакера. После набора прочности раствора на нижнем конце трубы-инъектора образуется уширенная пятя требуемого объема. Для оценки полученных результатов также были проведены испытания на статическую нагрузку фрагмента ленточного фундамента без усиления при помощи буроинъекционной сваи с уширенной пятю и отдельно расположенной буроинъекционной сваи с уширенной пятю. По данным, полученным при испытаниях на статическую вдавливающую нагрузку, были построены графики зависимости: осадки фрагмента ленточного фундамента без усиления и с усилением при помощи сваи с уширенной пятю от давления под его подошвой и осадки буроинъекционной сваи с уширенной пятю от статической вдавливающей нагрузки. В результате было установлено, что применение в качестве усиления фрагмента ленточного фундамента буроинъекционной сваи с уширенной пятю позволило увеличить предельно допустимое давление под подошвой фрагмента ленточного фундамента на грунт в среднем на 25 % и снизить осадку фрагмента ленточного фундамента в среднем на 43 %.

*Ключевые слова:* буроинъекционная свая, уширенная пятя, резиновая мембрана-стакан, труба-инъектор, гидравлический пакер, усиление фундаментов, пылевато-глинистые грунты.

### Введение

На сегодняшний день в мировой практике известно большое количество технологий усиления фундаментов, в частности ленточных [1–11], однако не все они могут быть использованы для усиления фундаментов зданий и сооружений исторической застройки и культурного наследия, поскольку, согласно требованиям нормативных документов, для таких зданий недопустимо развитие дополнительных осадок и кренов [12–16]. Наибольшей популярностью при усилении фундаментов зданий и сооружений исторической застройки и культурного наследия пользуются способы, выполняемые по «щадающим» технологиям, применение которых позволяет выполнять работы без вибрационных и динамических воздействий [17–19]. Одним из способов усиления фундаментов по «щадающим» технологиям является устройство буроинъекционной сваи с имеющейся на ее нижнем конце уширенной пятю. В связи с недостаточностью исследования вопросов взаимодействия буроинъекционной сваи с уширенной пятю совме-

стно с усиленным ленточным фундаментом, а также оценки ее несущей способности в составе усиленного ленточного фундамента данная тема исследования является актуальной.

Цель исследования – оценить работу фрагмента ленточного фундамента, усиленного при помощи буроинъекционной сваи с имеющейся на ее нижнем конце уширенной пятю в условиях экспериментальной площадки.

Задачи исследования:

– определить максимальное значение вертикальной сжимающей нагрузки, способной воспринять фрагментом ленточного фундамента, усиленного при помощи буроинъекционной сваи длиной 2,0 м с уширенной пятю, для формирования которой будет осуществляться инъекция раствора в объеме 50 л;

– провести статические испытания фрагмента ленточного фундамента без усиления при помощи буроинъекционной сваи с уширенной пятю и буроинъекционной сваи длиной 2,0 м с уширенной пятю, для формирования которой осуществлялась инъекция раствора в объеме 50 л, с целью оценки

их несущей способности в грунтовых условиях экспериментальной площадки для последующей оценки влияния эффекта усиления фрагмента ленточного фундамента при помощи буроинъекционной сваи с уширенной пятой.

#### Метод исследования

Фрагмент ленточного фундамента представлял собой плоский жесткий штамп с размерами в плане 1000 × 1000 мм, высотой 200 мм (рис. 1), армированный арматурными сетками с ячейкой 175 мм из арматуры класса А400 диаметром 10 мм.

В качестве элемента усиления фрагмента ленточного фундамента использовалась буроинъекционная свая с уширенной пятой. Буроинъекционная свая с уширенной пятой представляет собой иньектор (рис. 2), выполненный из стальной трубы длиной 2000 мм, наружным диаметром 57 мм, с толщиной стенки 3,5 мм с имеющейся на ее нижнем конце резиновой мембраны-стаканом. Резиновая мембрана-стакан была установлена поверх трех рядов сквозных отверстий диаметром 8 мм для выхода раствора и зафиксирована на трубе-иньекторе при помощи двух червячных хомутов.

#### Грунтовые условия экспериментальной площадки

Исследование было проведено в сентябре 2020 г. на строительной площадке, расположенной в городе Тюмени. В инженерно-геологическом

отношении в основании площадки залегают связанные грунты: суглинки и глины. Физико-механические характеристики грунтов основания строительной площадки представлены в таблице. Установившийся уровень грунтовых вод на период изысканий был зафиксирован на глубине 0,7 м.

#### Процесс изготовления объекта исследования

##### Изготовление фрагмента ленточного фундамента с усилением при помощи буроинъекционной сваи с уширенной пятой

Процесс формирования уширенной пяты заключался в инъекции раствора в мембрану-стакан при помощи гидравлического пакера. Процесс формирования ствола буроинъекционной сваи заключался в инъекции раствора в затрубное пространство между трубой-иньектором и стенками скважины.

Технологическая последовательность выполнения работ по моделированию процесса усиления фрагмента ленточного фундамента следующая:

- в грунтовом массиве в месте расположения центра подошвы фрагмента ленточного фундамента бурится скважина на проектную глубину;
- в пробуренную скважину монтируется труба-иньектор с герметично закрепленной на нижнем конце мембраны-стаканом. Для исключения возможности обратного попадания раствора в иньектор в нижней его части приваривалась сферическая заглушка, а отверстия закрывались рези-

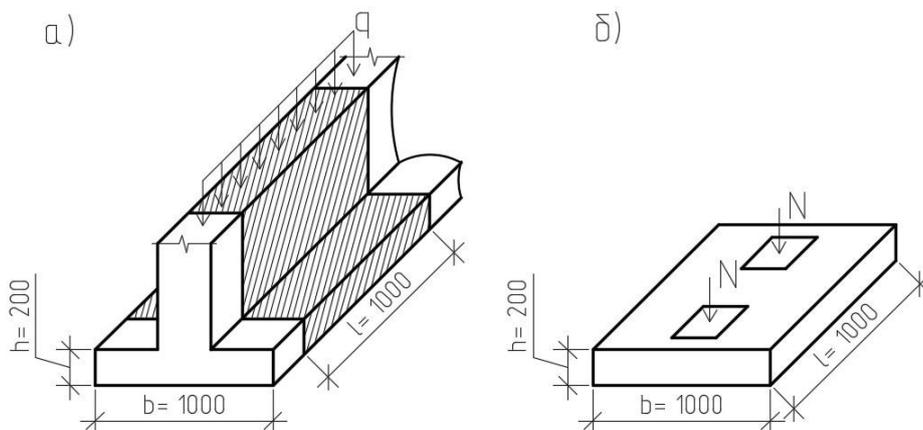


Рис. 1. Схема испытываемого фрагмента ленточного фундамента:  
а – ленточный фундамент; б – фрагмент ленточного фундамента (плоский жесткий штамп)

#### Физические и механические характеристики грунтов основания строительной площадки

№ ИГЭ	Грунт	Мощность Н, м	Показатель текучести $I_L$	Удельный вес $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град.	Удельное сцепление $c$ , кПа	Модуль деформации $E$ , МПа
1	Суглинок тугопластичный	0,4–1,5	0,42	18,7	19	27	9
2	Суглинок текучепластичный	1,5–5,5	0,81	17,9	15	18	5
3	Полутвердая глина	5,5–10,0	0,22	17,8	15	35	10

## Основания и фундаменты, подземные сооружения

новыми манжетами, выполняющими роль обратного клапана, и фиксировались на инжекторе при помощи вязальной проволоки;

- после монтажа трубы-инъектора в верхней части устраивается бетонная пробка для исключения выхода раствора из устья скважины в процессе формирования ствола буроинъекционной сваи;
- выполняется подготовка искусственного основания под подошву фрагмента ленточного фундамента из песчаной подсыпки толщиной 200 мм и щебёночной подготовки толщиной 100 мм;
- устанавливается арматурный каркас и опалубка для бетонирования фрагмента ленточного фундамента;
- труба-инъектор жёстко закрепляется к арматурному каркасу при помощи дополнительных стержней, привариваемых к трубе-инъектору;
- выполняется бетонирование фрагмента ленточного фундамента путём послойного укладки бетонной смеси с вибрированием. Для предупреждения попадания бетонной смеси в трубу-инъектор в верхней ее части устанавливается пластиковая заглушка;
- устраивается технологический перерыв, равный 28 суткам, необходимый для набора прочности бетона;
- после набора прочности бетона на фрагмент ленточного фундамента устанавливается упорная конструкция и гидравлический домкрат;
- монтируется реперная система, на которой неподвижно закрепляются датчики измерения перемещений в количестве 11 шт.;
- осуществляется нагружение фрагмента ленточного фундамента статической нагрузкой ступенями по 20 кПа (нагрузка 20 кН);
- после стабилизации осадок фрагмента ленточного фундамента на 5-й ступени нагружения (давление под подошвой 100 кПа) осуществляется формирование уширенной пяты на нижнем

конце трубы-инъектора путём инъекции раствора в мембрану-стакан в объёме 50 л, при этом действующая нагрузка на фрагмент ленточного фундамента в 100 кН сохраняется;

- после формирования уширенной пяты устраивался технологический перерыв, равный 1 суткам, необходимый для твердения инъекционного раствора;
- после технологического перерыва осуществлялся процесс формирования ствола буроинъекционной сваи путём инъекции раствора в затрубное пространство между трубой-инъектором и стенками скважины;
- после формирования ствола буроинъекционной сваи устраивался технологический перерыв, равный 7 суткам, необходимый для набора прочности инъекционного раствора;
- после технологического перерыва продолжалось статическое нагружение фрагмента ленточного фундамента до предельного значения незатухающих приращений его осадки.

*Изготовление отдельно расположенной буроинъекционной сваи с уширенной пятой [20]*

Для изготовления буроинъекционной сваи с уширенной пятой использовалась труба-инъектор с мембраной-стаканом, процесс сборки которой представлен на рис. 2.

Для предотвращения выдавливания буроинъекционной сваи во время формирования уширенной пяты в верхней ее части устраивалась бетонная пробка, в которую в дальнейшем упирались стойки, препятствующие ее выходу из грунта. Перед испытанием буроинъекционной сваи бетонная пробка разрушалась с помощью перфоратора (рис. 3).

Формирование уширенной пяты осуществлялось при помощи конструкции гидравлического пакера, расположенной на нижнем конце шланга высокого давления, подсоединенного к трехплунжерному буровому насосу.

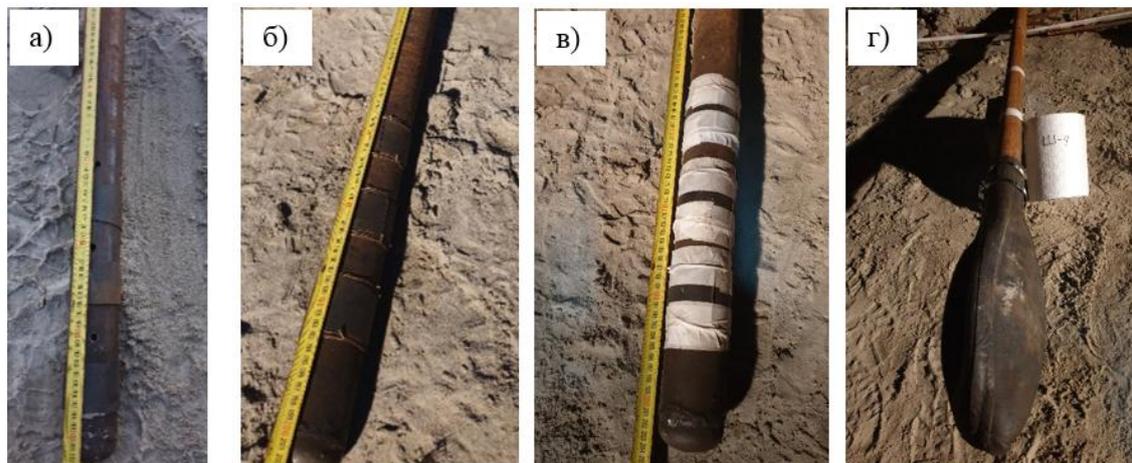


Рис. 2. Процесс сборки трубы-инъектора:

а – сквозные отверстия в месте установки резиновой мембраны-стакана; б – установка и крепление резиновых манжет; в – фиксация резиновых манжет малярной лентой; г – установка резиновой мембраны на трубу-инъектор

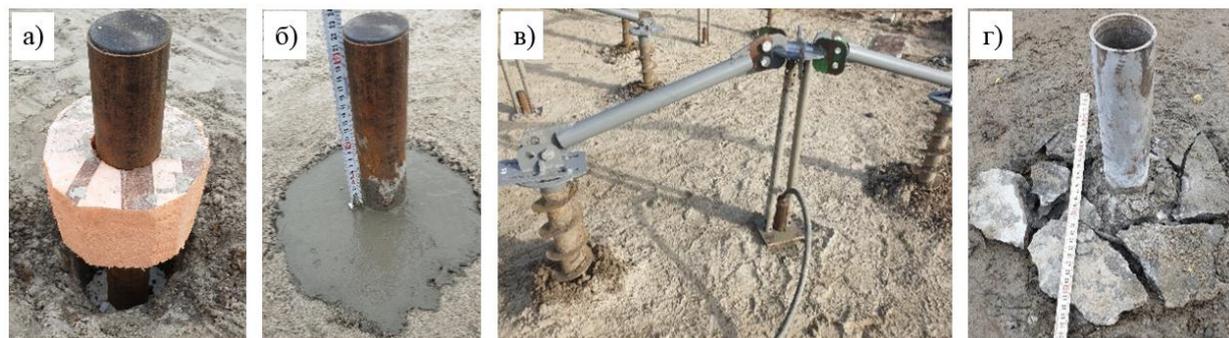


Рис. 3. Процесс изготовления буронъекционной сваи с уширенной пятой:  
а, б – устройство и бетонирование пробки в верхней части буронъекционной сваи; в – инъеция раствора для формирования уширенной пяты; г – демонтаж бетонной пробки до проведения статических испытаний

Уширенная пята объемом 50 л на глубине –1,8 м, расположенная на нижнем конце буронъекционной сваи, была сформирована за 5 этапов продолжительностью 14 с каждый и технологическими паузами, равными 5 мин.

После формирования буронъекционной сваи с уширенной пятой предусматривался технологический перерыв, равный 14 суткам, связанный с набором прочности раствора.

#### Выполнение статических испытаний

Для сопоставления результатов, полученных по окончании испытания фрагмента ленточного фундамента, усиленного при помощи буронъекционной сваи с уширенной пятой, также были проведены статические испытания отдельного стоящего фрагмента ленточного фундамента без усиления при помощи буронъекционной сваи с уширенной пятой и буронъекционной сваи длиной 2,0 м с уширенной пятой, для формирования кото-

рой осуществлялась инъеция раствора в объеме 50 л.

Количество ступеней нагрузки, величина ступени нагрузки, критерий условной стабилизации и критерий срыва при испытании фрагмента ленточного фундамента принимались по ГОСТ 20276-2012, а при испытании буронъекционной сваи с уширенной пятой (рис. 4) – по ГОСТ 5686-2012.

В качестве упора для домкрата при испытаниях была применена инновационная разработка мобильной малогабаритной установки [21], которая представляет собой конструкцию геодезического купола, состоящую из узловых, стержневых элементов и анкерных свай.

#### Результаты испытаний

На основании данных, полученных в ходе проведения статических испытаний, были построены графики зависимости: осадки фрагмента ленточного фундамента от давления под его по-

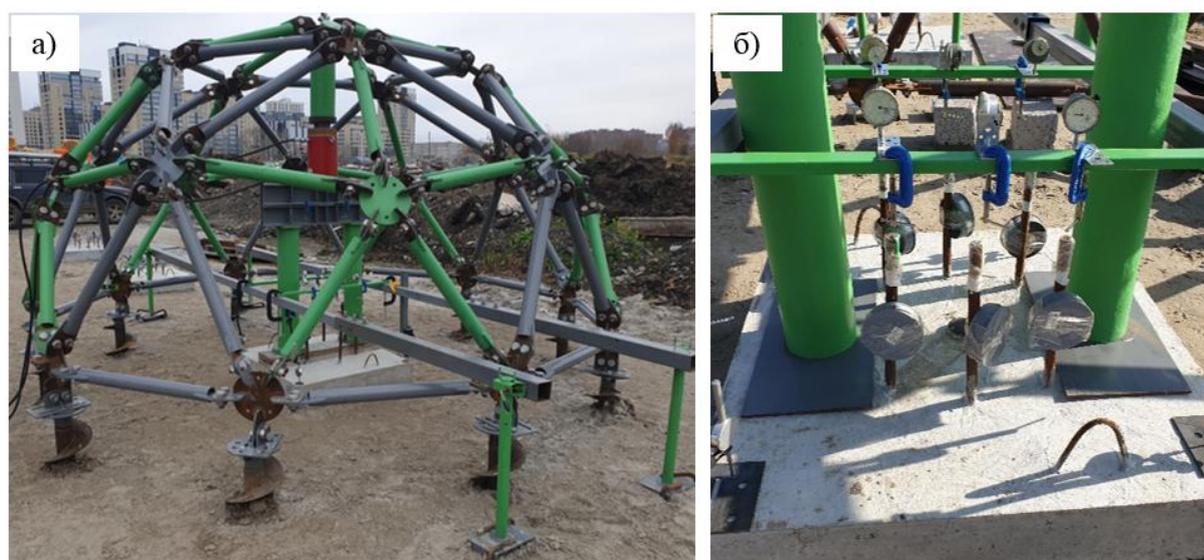
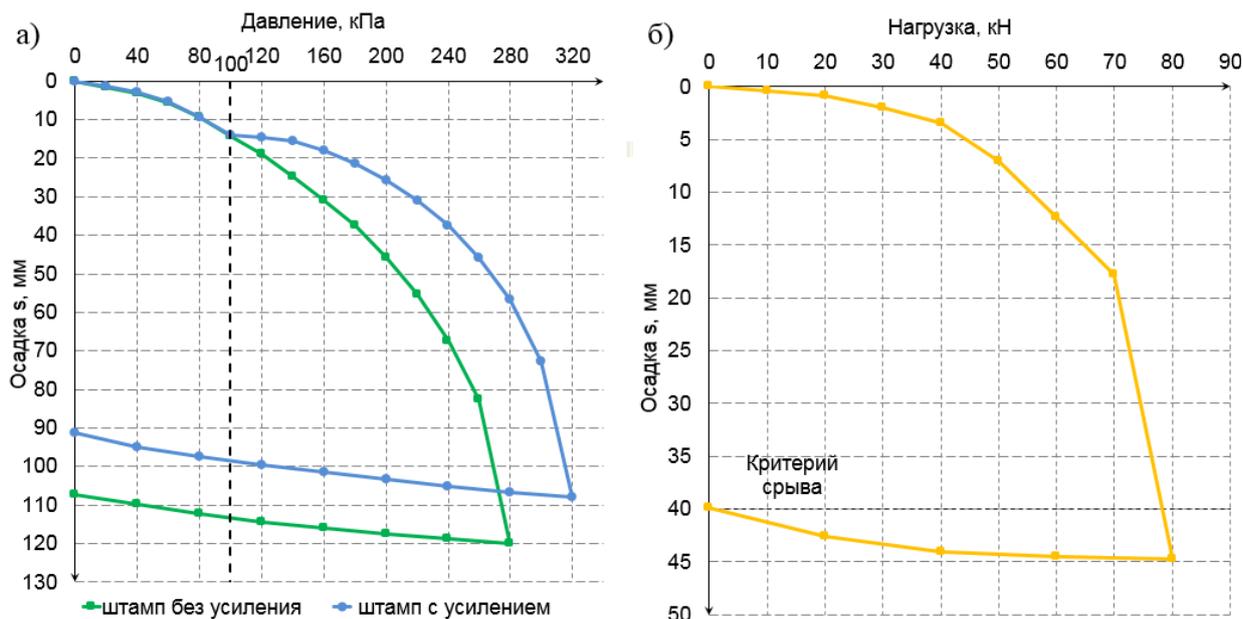


Рис. 4. Статические испытания фрагмента ленточного фундамента, усиленного при помощи буронъекционной сваи с уширенной пятой: а – общий вид установки для статических испытаний; б – испытываемый фрагмент ленточного фундамента с усилением



**Рис. 5. Графики зависимости осадки от давления (нагрузки):**  
**а – фрагмента ленточного фундамента без усиления и с усилением при помощи буроинъекционной сваи с уширенной пятой; б – буроинъекционной сваи длиной 2,0 м с уширенной пятой, для формирования которой осуществлялась инъекция раствора в объеме 50 л**

дошвой, осадки фрагмента ленточного фундамента, усиленного при помощи буроинъекционной сваи с уширенной пятой от давления, осадки буроинъекционной сваи от нагрузки (рис. 5).

### Выводы

В заключение следует отметить, что при испытании фрагмента ленточного фундамента, усиленного при помощи буроинъекционной сваи с уширенной пятой, формирование уширенной пяты осуществлялось после передачи нагрузки на фрагмент ленточного фундамента, равной 100 кН, при этом давление под подошвой фрагмента ленточного фундамента составляло 100 кПа.

Анализируя графики, представленные на рис. 5, можно сделать следующие выводы:

- несущая способность буроинъекционной сваи длиной 2,0 м с уширенной пятой, для формирования которой осуществлялась инъекция раствора в объеме 50 л, составила 70 кН, срыв буроинъекционной сваи произошел при нагрузке 80 кН, при этом осадка составила 44,7 мм, упругие деформации составили 4,9 мм;

- срыв фрагмента ленточного фундамента без усиления при помощи сваи с уширенной пятой произошел при нагрузке 280 кН, при этом осадка составила 120,2 мм;

- срыв фрагмента ленточного фундамента, усиленного при помощи буроинъекционной сваи с уширенной пятой, произошел при нагрузке 320 кН, при этом осадка составила 108,1 мм;

- установлено, что применение в качестве усиления фрагмента ленточного фундамента бу-

роинъекционной сваи с уширенной пятой позволило увеличить предельно допустимое давление под подошвой фрагмента ленточного фундамента на грунт в среднем на 25 % и снизить осадку фрагмента ленточного фундамента в среднем на 43 %.

### Литература

1. Ter-Martirosyan, Z. *Settlement and bearing capacity of the circular foundation* / Z. Ter-Martirosyan, V. Sidorov // *MATEC Web of Conferences*. – 2018. – № 03019. – Vol. 196. – P. 1–6.
2. Voznesenskaya, E.S. *Strengthening the foundations of buildings and structures by hydraulic fracturing using collar technology* / E.S. Voznesenskaya, V.A. Ermolaev, A.I. Osokin, S.V. Tatarinov // *Foundations, bases and soil mechanics*. – 2014. – № 4. – P. 19–23.
3. Isaev, V.I. *Comparative evaluation of bearing capacity of a short driven pyramidal-prismatic pile using mathematical models* / V.I. Isaev, A.V. Maltsev, A.A. Karpov // *Procedia Engineering*. – 2016. – № 153. – P. 223–227.
4. Mangushev, R. *Modern technologies of foundation building in the conditions of weak soils of St. Petersburg* / R. Mangushev, S. Sotnikov, A. Osokin // *E3S Web of Conferences*. – 2018. – № 02018. – Vol. 164. – P. 1–13.
5. Самохвалов, М.А. *Результаты полевых исследований работы буроинъекционных свай с контролируемым уширением* / М.А. Самохвалов // *Академический вестник УралНИИпроект РААСН*. – 2015. – № 3. – С. 51–57.

6. Ter-Martirosyan, Z. Settlement and bearing capacity of the pile in a three-layer base taking into account the elastic-visco-plastic properties of soils / Z. Ter-Martirosyan, A. Ter-Martirosyan, V. Sidorov // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. – 2019. – № 012099. – Vol. 661. – P. 1–9.
7. Bayesteh, H. Full-scale field study on effect of grouting methods on bond strength of hollow-bar micropiles / H. Bayesteh, M. Sabermahani // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. – Vol. 144. – № 12. – P. 1–9.
8. Nakam, A. Additional bearing capacity of piles due to time delay of injection / A. Nakam, M.S. Asmirza, H.P. Andriani // *International Journal of GEOMATE*. – 2018. – Vol. 15. – Issue 47. – P. 151–157.
9. Полищук, А.И. Устройство буринъекционных конических свай в глинистых грунтах при усилении фундаментов мелко заложения / А.И. Полищук, И.В. Семенов // *Научные труды КубГТУ*. – 2019. – № 6. – С. 30–36.
10. Жывалевская, И.В. Усиление фундаментов существующих зданий с помощью свай различных типов / И.В. Жывалевская, А.П. Кремнев // *Моделирование и механика конструкций*. – 2016. – № 4. – С. 13.
11. Готман, Н.З. Опыт усиления свайных фундаментов с использованием буринъекционных свай (БИС) / Н.З. Готман, Д.А. Давлетяров, М.З. Каюмов // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. – 2014. – № 3. – С. 158–166.
12. Bekbasarov, I. Equations used to calculate vertical bearing capacity of driven piles with shaft broadenings / I. Bekbasarov, Y. Atenov // *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. – 2020. – № 64. – Vol. 4. – P. 1235–1243.
13. Il'ichev, V.A. Development of underground space in large Russian cities / V.A. Il'ichev, R.A. Mangushev, N.S. Nikiforova // *Soil Mech Found*. – 2012. – № 49. – Vol. 2. – P. 63–67.
14. Gotman, A. Design prediction of the strengthened foundation base deformation by field tests data / A. Gotman, N. Gotman // *18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: Challenges and Innovations in Geotechnics ICSMGE*. – 2013. – P. 2477–2480.
15. Rybicki, J. A novel numerical study of reservoir-induced subsidence and upheaval effects on bearing capacity of offshore piles / J. Rybicki, K. Atefi-Monfared // *Geotechnical Special Publications*. – 2018. – P. 242–251.
16. Самохвалов, М.А. Основные причины освоения подземного пространства реконструируемых зданий / М.А. Самохвалов, А.А. Паронко, Л.В. Васимов // *Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе*. – 2019. – Т. 1. – С. 191–194.
17. Polishchuk, A.I. CFA pile carrying capacity determination in weak clay soils for renovated-building foundations / A.I. Polishchuk, A.A. Tarasov // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. – 2017. – № 54. – P. 38–44.
18. Gotman, A.L. Strengthening of the foundations of a building under construction at a commercial complex in Ufa / A.L. Gotman, N.Z. Gotman // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. – 2011. – № 48. – P. 2–7.
19. Определение технологических осадок фундаментов близлежащих зданий при устройстве стены в грунте, грунтовых анкеров и буринъекционных свай / О.А. Шулятьев, О.А. Мозгачева, Д.К. Минаков, Д.Ю. Соловьев // *Academia. Архитектура и строительство*. – 2016. – № 4. – С. 129–140.
20. Самохвалов, М.А. Организация работ по устройству буринъекционных свай с контролируемым уширением при усилении ленточных фундаментов / М.А. Самохвалов, А.А. Паронко, И.С. Мусаев // *Организация строительного производства*. – 2020. – С. 101–107.
21. Самохвалов, М.А. Предпосылки модернизации существующих схем статических испытаний штампов и свай / М.А. Самохвалов, А.А. Матюков, И.С. Мусаев // *Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе*. – 2019. – С. 187–190.

**Самохвалов Михаил Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства, Тюменский индустриальный университет (Тюмень), 89199431379@yandex.ru

**Ашихмин Олег Викторович**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства, Тюменский индустриальный университет (Тюмень), ashihminov@tyuiu.ru

**Демин Владимир Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет (Тюмень), deminva@tyuiu.ru

**Паронко Александр Александрович**, аспирант кафедры строительного производства Тюменский индустриальный университет (Тюмень), alexparonko@gmail.com

Поступила в редакцию 19 мая 2021 г.

## EXPERIMENTAL STUDY RESULTS OF THE EFFECTIVENESS OF UNDERPINNING A STRIP FOUNDATION FRAGMENT USING A DRILL-AND-INJECTION ENLARGED PILE

**M.A. Samokhvalov**, 89199431379@yandex.ru

**O.V. Ashikhmin**, ashikhminov@tyuiu.ru

**V.A. Demin**, deminva@tyuiu.ru

**A.A. Paronko**, alexparonko@gmail.com

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

The article presents the results of static load tests of a strip foundation fragment (bearing plate) underpinned by a drill-and-injection pile with enlarged base. The static load tests were carried out in the summer of 2020 at the testing site in the city of Tyumen. A drill-and-injection pile with enlarged base is an injection pipe that has a rubber membrane-glass at its lower end. With the help of a hydraulic packer, the solution is injected into the rubber membrane-glass. After the solution has hardened, an enlarged base of the injection pipe of the required size is formed. To assess the results obtained, static load tests are also carried out both for a strip foundation fragment not underpinned using a drill-and-injection pile with enlarged base and a separately located drill-and-injection pile with enlarged base. Based on the data obtained during static load tests in the course of the experimental study, the following dependency graphs are formed: the graph of the settlement of a strip foundation fragment without underpinning and with underpinning by means of an enlarged pile depending on the pressure under its base; and the graph of the settlement of an enlarged drill-and-injection pile depending on a static pressed load. The results indicate that the use of an enlarged drill-and-injection pile to underpin a strip foundation fragment allows increasing the safe working pressure under the strip foundation fragment base by an average of 25% and reducing its settlement by an average of 43 %.

*Keywords: drill-and-injection pile, enlarged base, rubber membrane-glass, injection pipe, hydraulic packer, foundation underpinning, silt-loam soil*

### References

1. Ter-Martirosyan Z., Sidorov V. [Settlement and Bearing Capacity of the Circular Foundation]. *MATEC Web of Conferences*, 2018, no. 03019, vol. 196, pp. 1–6. DOI: 10.1051/mateconf/201819603019
2. Voznesenskaya E.S., Ermolaev V.A., Osokin A.I., Tatarinov S.V. [Strengthening the Foundations of Buildings and Structures by Hydraulic Fracturing Using Collar Technology]. *Foundations, Bases and Soil Mechanics*, 2014, no. 4, pp. 19–23. DOI: 10.1051/e3sconf/202124701053
3. Isaev V.I., Maltsev A.V., Karpov A.A. [Comparative Evaluation of Bearing Capacity of a Short Driven Pyramidal-Prismatic Pile Using Mathematical Models], *Procedia Engineering*, 2016, no. 153, pp. 223–227. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.106
4. Mangushev R., Sotnikov S., Osokin A. [Modern technologies of foundation building in the conditions of weak soils of St. Petersburg], *E3S Web of Conferences*, 2018, no. 02018, vol. 164, pp. 1–13. DOI: 10.1051/e3sconf/202016402018
5. Samokhvalov M.A. [Results of Field Studies of the Operation of Drilling-Injection Piles with Controlled Widening]. *Akademicheskiiy vestnik UralNIIProyekt RAASN* [Academic Bulletin Uralniiprojekt RAASN], 2015, no. 3, pp. 51–57. (in Russ.)
6. Ter-Martirosyan Z., Sidorov V., Ter-Martirosyan A. [Settlement and Bearing Capacity of the Pile in a Three-Layer Base Taking into Account the Elastic-Visco-Plastic Properties of Soils]. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2019, no. 012099, vol. 661, pp. 1–9. DOI: 10.1088/1757-899X/661/1/012099
7. Bayesteh H., Sabermahani M. [Full-Scale Field Study on Effect of Grouting Methods on Bond Strength of Hollow-Bar Micropiles]. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 144, no. 12, pp. 1–9. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001983
8. Hakam A., Asmirza M.S., Andriani H.P. [Additional bearing capacity of piles due to time delay of injection]. *International Journal of GEOMATE*, 2018, vol. 15, iss. 47, pp. 151–157. DOI: 10.21660/2018.47.7235
9. Polishchuk A.I., Semenov I.V. [Installation of Bored Conical Piles in Clayey Soils with Strengthening of Shallow Foundations]. *Nauchnyye trudy KubGTU* [Scientific Works of KubGTU], 2019, no. 6, pp. 30–36.
10. Zhyvalevskaya I.V., Kremnev A.P. [Strengthening the Foundations of Existing Buildings with Various Types of Piles]. *Modelirovaniye i mekhanika konstruksiy* [Structural Modeling and Mechanics], 2016, no. 4, p. 13.

11. Gotman N.Z., Davletyarov D.A., Kayumov M.Z. [Experience in Strengthening Pile Foundations Using Borehole Piles (BIS)]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture], 2014, no. 3, pp. 158–166. DOI: 10.15593/2224-9826/2014.3.13
12. Bekbasarov I., Atenov Y. [Equations used to calculate vertical bearing capacity of driven piles with shaft broadenings] *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 2020, no. 64, vol. 4, pp. 1235–1243. DOI: 10.3311/PPci.16482
13. Il'ichev V.A., Mangushev R.A., Nikiforova N.S. [Development of underground space in large Russian cities]. *Soil Mech Found*, 2012, no. 49, vol. 2, pp. 63–67. DOI: 10.1007/s11204-012-9168-6
14. Gotman A., Gotman N. [Design Prediction of the Strengthened Foundation Base Deformation by Field Tests Data]. *18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: Challenges and Innovations in Geotechnics ICSMGE*, 2013, pp. 2477–2480.
15. Rybicki J., Atefi-Monfared K. [A Novel Numerical Study of Reservoir-Induced Subsidence and Upheaval Effects on Bearing Capacity of Offshore Piles]. *Geotechnical Special Publications*, 2018, pp. 242–251. DOI: 10.1061/9780784481578.025
16. Samokhvalov M.A., Paronko A.A., Vasimov L.V. [The Main Reasons for the Development of the Underground Space of the Reconstructed Buildings]. *Energoberezheniye i innovatsionnyye tekhnologii v toplivno-energeticheskom komplekse* [Energy Saving and Innovative Technologies in the Fuel and Energy Complex], 2019, vol. 1, pp. 191–194. (in Russ.)
17. Polishchuk A.I., Tarasov A.A. [CFA Pile Carrying Capacity Determination in Weak Clay Soils for Renovated-Building Foundations]. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2017, no. 54, pp. 38–44. DOI: 10.1007/s11204-017-9430-z
18. Gotman A.L., Gotman N.Z. [Strengthening of the Foundations of a Building under Construction at a Commercial Complex in Ufa]. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2011, no. 48, pp. 2–7. DOI: 10.1007/s11204-011-9134-8
19. Shulyat'yev O.A., Mozgacheva O.A., Minakov D.K., Solov'yev D.Yu. [Determination of the Technological Settlement of Foundations of Nearby Buildings when Installing a Wall in the Ground, Ground Anchors and Drilling-Injection Piles]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and Construction], 2016, no. 4, pp. 129–140. (in Russ.)
20. Samokhvalov M.A., Paronko A.A., Musayev I.S. [Organization of Work on the Installation of Bored Injection Piles with Controlled Widening when Reinforcing Strip Foundations]. *Organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva* [Organization of Construction Production], 2020, pp. 101–107. (in Russ.)
21. Samokhvalov M.A., Matyukov A.A., Musayev I.S. [Prerequisites for the Modernization of Existing Schemes for Static Testing of Dies and Piles]. *Energoberezheniye i innovatsionnyye tekhnologii v toplivno-energeticheskom komplekse* [Energy Saving and Innovative Technologies in the Fuel and Energy Complex], 2019, pp. 187–190. (in Russ.)

Received 19 May 2021

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Результаты экспериментального исследования эффективности усиления фрагмента ленточного фундамента с помощью буринъекционной сваи с уширенной пятой / М.А. Самохвалов, О.В. Ашихмин, В.А. Демин, А.А. Паронко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 16–23. DOI: 10.14529/build210402

#### FOR CITATION

Samokhvalov M.A., Ashikhmin O.V., Demin V.A., Paronko A.A. Experimental Study Results of the Effectiveness of Underpinning a Strip Foundation Fragment Using a Drill-and-Injection Enlarged Pile. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2021, vol. 21, no. 4, pp. 16–23. (in Russ.). DOI: 10.14529/build210402