

УДК 624.195.5

**Р.И. Софьин, Р.И. Шенкман**

**R.I. Sof'in, R.I. Shenkman**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

## **ТЕХНОЛОГИЯ УСИЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ ИНЪЕКЦИОННЫМИ СВАЯМИ**

### **TECHNOLOGY OF STRENGTHENING THE FOUNDATIONS OF RECONSTRUCTIVE BUILDINGS BY INJECTION PILES**

Описывается технология реконструкции зданий с усилением фундаментов инъекционными сваями. Данная технология усиления была успешно применена в нашей стране на ряде объектов, но является малоизученной и сложноприменимой в условиях слабых глинистых грунтов, что характерно для г. Перми. Проведено технико-экономическое обоснование технологии усиления фундаментов инъекционными сваями. Представлено общее описание эффективности описываемой технологии усиления фундамента на примере реального объекта в г. Перми.

**Ключевые слова:** инъекционные сваи, реконструкция, технология, усиление фундаментов, несущая способность свай.

Technology of reconstruction of buildings with reinforcement of foundations by injection piles is describe. This reinforcement technology has been successfully applied in our country, but is poorly understood and difficult to apply in conditions of weak clay soils, which is typical for the city of Perm. The feasibility study of the technology for reinforcing foundations with injection piles was carried out. A general description of the effectiveness of the described technology for reinforcing the foundation is presented using the example of a real object in Perm.

**Keywords:** Injection piles, reconstruction, technology, reinforcement of foundations, bearing capacity of piles.

На сегодняшний день актуальной проблемой при реконструкции зданий является усиление фундамента. Фундаменты зданий во время эксплуатации теряют несущую способность из-за различных дефектов, таких как образование трещин, частичное разрушение конструкций, намокание и др. Потеря прочности происходит из-за природных или техногенных факторов, например: воздействия грунтовых вод, неравномерной осадки оснований, гнили деревянных элементов, коррозии арматуры, балок. Недопустимые повреждения конструкций фундамента приводят к снижению несущей способности, что, в свою очередь, может привести к возникновению опасных аварийных ситуаций.

Существует множество различных способов усиления фундамента зданий. В последнее время стали популярными усиления фундаментов инъекционными методами. Они имеют ряд преимуществ по сравнению с другими технологиями, используемыми при реконструкции существующих зданий и сооружений, например:

- усиление фундаментов происходит без изменения внешнего вида фасадов и конструктивных особенностей здания;

- возможность увеличения полезного объема здания за счет устройства под ним дополнительных подвальных помещений или надстройки дополнительных этажей;

- возможность производства работ по усилению фундаментов из подвалов зданий;

- проведение усиления фундаментов зданий практически в любых геологических условиях;

- минимальные сроки изготовления и высокая надежность инъекционных методов;

- высокая экономическая эффективность за счет низкой материало- и энергоемкости, минимальных объемов земляных работ и высокой механизации.

Инъекционные сваи являются одним из инъекционных способов усиления фундаментов. Данная технология усиления была успешно применена на нескольких объектах в г. Томске [1–3]. Ее применение при реконструкции зданий в г. Перми имеет трудности из-за сложных геологических условий (характерно широкое распространение слабых глинистых грунтов; это связано с низким значением коэффициента фильтрации глинистых грунтов), однако их можно решить, применяя минеральные особо тонкодисперсные вяжущие, которые улучшают свойства грунтов оснований. Для подбора наиболее подходящего для геологических условий г. Перми прототипа было произведено патентное исследование.

В результате проведенных изысканий был выбран прототип, наиболее подходящий и оптимальный для слабых глинистых грунтов, – инъекционная свая, изображенная на рис. 1, по патенту РФ № 154896 [4].

Достоинства выбранного прототипа заключаются в том, что достигается более высокое качество бетона ствола сваи и повышается ее несущая способность по материалу в слабых глинистых грунтах за счет формирования сплошного сечения сваи с уширениями в слоях слабых грунтов, что происходит благодаря одновременному заполнению формирующейся скважины инъекционным раствором по мере вдавливания инъектора сверху вниз. Также к достоинствам относятся повышенная технологичность, экономичность, снижение трудоемкости изготовления сваи и сроков ее устройства за счет сокращения технологических операций для изготовления инъектора. Данный

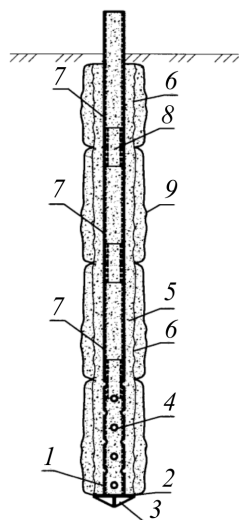


Рис. 1. Способ устройства инъекционной сваи по патенту № 154896 РФ: 1 – инъекторная труба; 2 – конусный наконечник в виде диска; 3 – режущие пластины; 4 – перфорированная нижняя часть инъектора; 5 – зазор между инъекторной трубой 1 и стенкой скважины 6; 6 – стенка скважины; 7 – отдельные секции инъекторной трубы; 8 – патрубки, соединяющие отдельные секции 7

способ является вполне подходящим для сложных геологических условий г. Перми.

При реконструкции зданий с усилением фундамента несущая способность фундамента увеличивается и принимается с запасом. Исходя из этого, совместно с усилением фундамента можно увеличить жилую площадь жилого дома за счет надстройки мансардного этажа. Благодаря надстройке мансарды можно получить прибыль за счет продажи жилых помещений в надстроенном этаже и частично компенсировать денежные средства, потраченные на восстановление несущей способности фундамента. Таким образом, решение о совместной реконструкции здания с усилением фундамента инъекционными сваями является экономически целесообразным.

**Выбор объекта и сбор нагрузок на фундамент.** В качестве объекта был выбран жилой дом по адресу: г. Пермь, ул. Куйбышева, д. 103, так как он является знаковым для нашего города и его фундаменты нуждаются в усилении.

Здание пятиэтажное, с цокольным и подвальным этажами, со встроенными помещениями общественного назначения на первом этаже.

Объект имеет сложную в плане форму, с размерами в осях 64,85×43,30 м, отметкой верха карнизной части наружных стен +16,955 м (за отметку чистого пола принята отметка первого этажа в осях 1-4/А-5).

Конструктивная схема – смешанный (неполный) каркас, с несущими наружными внутренними кирпичными стенами и внутренними железобетонными колоннами. Фундамент под наружные и внутренние несущие стены – ленточный монолитный железобетонный, армированный арматурной сеткой, шириной по подошве 2400 мм для наружных стен и от 1800 до 2800 мм для внутренних стен. Фундамент столбчатый железобетонный под внутренние колонны, с сечением по подошве от 2300 до 2600 мм.

В геологическом строении площадки строительства принимают участие отложения уфимского яруса пермской системы, перекрытые четвертичными аллювиальными отложениями и насыпными грунтами. Коренные породы встречены с глубины 12,6–14,6 м на отметках 146,82–150,17 м.

Для данного объекта был выполнен сбор нагрузок и проведен расчет основания по несущей способности (I группе предельных состояний). В результате было установлено, что сила предельного сопротивления основания (425,28 кН) меньше расчетной нагрузки на основание (526,9 кН) на 19,29 %. Следовательно, ленточный фундамент жилого дома нуждается в усилении.

Поскольку решение о надстройке здания с усилением фундамента инъекционными сваями является экономически целесообразным, был выполнен сбор нагрузок с учетом надстройки мансардного этажа из балок и стоек двутаврового сечения. В качестве покрытия были выбраны сэндвич-панели поэлементной сборки (утеплитель  $\delta = 0,25$  м, минераловатная плита полужесткая). Нагрузка на фундаменты увеличилась до 537,1 кН.

Зная нагрузки, действующие на фундамент здания после усиления, можно определить долю нагрузки, передаваемую на грунт ленточным фундаментом, и долю нагрузки, передаваемую на грунт инъекционными сваями. Перераспределение нагрузок в системе «ленточный фундамент – инъекционные сваи» зависит от геометрических параметров (ширины подошвы фундамента, длины свай и др.). Проведенные исследования показали эффективность работы комбинированного фундамента (усиление ленточного фундамента инъекционными сваями) в условиях глинистых грунтов.

***Технология производства и организации работ по усилению фундаментов инъекционными сваями.*** В качестве усиления были приняты по две примыкающие инъекционные сваи на каждый метр длины существующего ленточного фундамента со следующими характеристиками: длина свай – 5 м, диаметр – 0,2 м.

В результате расчетов были определены доли нагрузок, передаваемые на грунт основания ленточным фундаментом и инъекционными сваями при их совместной работе. Доля нагрузки, передаваемая на грунт ленточным фундаментом составляет 45 %, а примыкающими инъекционными сваями – 55 %. Это усилие уравнивается несущей способностью инъекционной сваи, равной 326,48 кН. Шаг между инъекционными сваями равен 1,2 м. Общее количество устраиваемых инъекционных свай – 918 штук (408 штук для фундаментов наружных стен, 474 штуки для фундаментов внутренних стен и 36 штук для фундаментов колонн).

В первую очередь производится усиление фундаментов наружных стен, работы ведутся снаружи здания и из подвальных помещений. После заверше-

ния работ по усилению наружных стен усиливают фундаменты внутренних стен, а затем колонн, работы ведутся из подвальных помещений.

Работы по усилению фундаментов производят захватками длиной 1,5–2 м. При реконструкции здания усиление существующих фундаментов инъекционными сваями выполняется в пять этапов. На первом этапе с помощью перфоратора производится демонтаж отмостки и асфальтового покрытия. Параллельно внутри подвальных помещений под каждую инъекционную сваю выполняется демонтаж участка пола размером 0,6×0,3 м.

После демонтажа отмостки и асфальтового покрытия производят земляные работы. На захватке одноковшовым экскаватором с обратной лопатой разрабатывается грунт глубиной до уровня подошвы фундамента. Грунт, расположенный вблизи фундамента, разрабатывается только вручную. Грунт складировается вблизи места проведения работ и используется для обратной засыпки. На рис. 2 изображена технология производства работ по усилению фундамента инъекционными сваями на первом этапе.

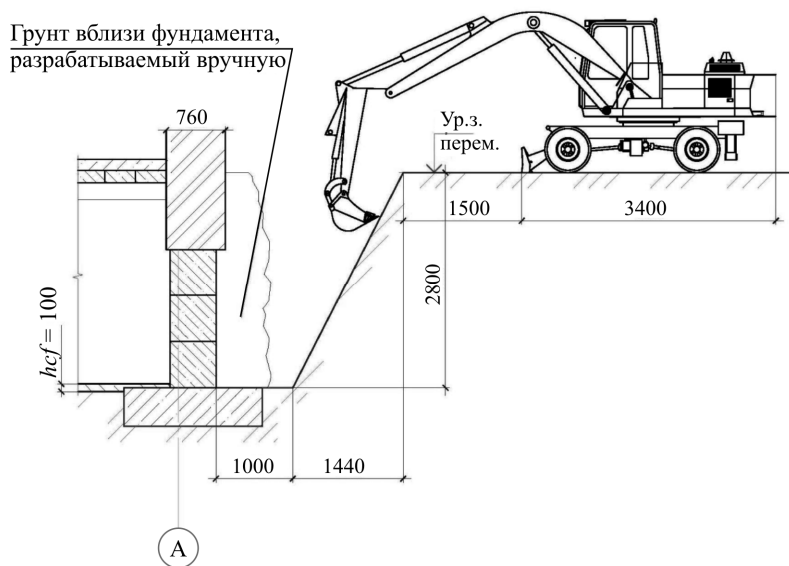


Рис. 2. Технология производства работ по усилению фундамента инъекционными сваями на первом этапе

На втором этапе в местах для вдавливания инъектора выполняется бурение в подошве фундамента скважин диаметром 0,2 м. Кроме этого, в фундаментных стеновых блоках (ФБС) под разгружающую балку устраиваются отверстия размером 250×200 мм. Затем стреловым краном осуществляется подача специальной конструкции – рамы из труб и швеллеров, предназначенной для упора при вдавливании инъектора. В качестве пригруза на конст-

рукции устанавливаются два блока ФБС 9.4.6 общей массой 940 кг. Происходит вдавливание инъекторов в грунт гидравлическим домкратом с усилием вдавливания, равным около 10 кН. Домкрат опирается в специальную конструкцию – раму из швеллеров и труб, в качестве пригруза используются блоки ФБС. При вдавливании инъектора из подвала инъектор опирается в надподвальное перекрытие. На рис. 3 показан второй этап технологии производства работ по усилению фундамента инъекционными сваями.

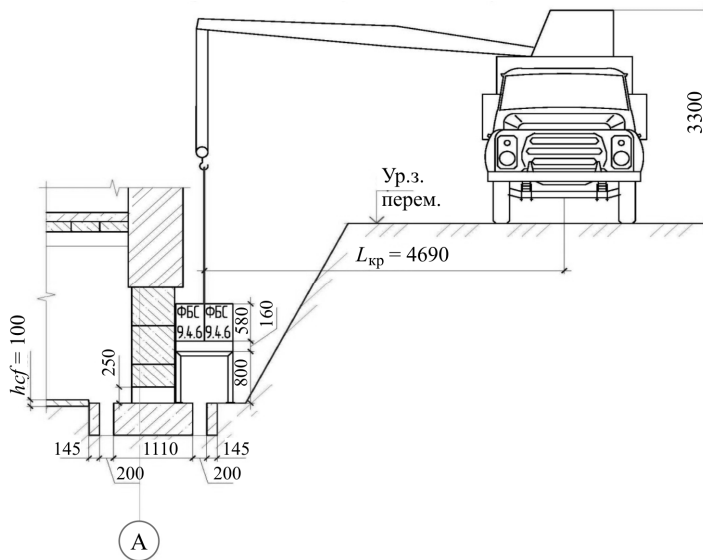


Рис. 3. Технология производства работ по усилению фундамента инъекционными сваями на втором этапе

На третьем этапе (рис. 4) на поверхность грунта в скважине, выбуренной в подошве фундамента, устанавливается первая секция инъектора, на конце расположен диск с режущими пластинами, превышающий диаметр металлической трубы инъектора. Первая секция выполнена перфорированной круглыми отверстиями. Вдавливание секций инъектора длиной 0,5 м (общая длина инъектора – 5 м) выполняется гидравлическим домкратом с усилием вдавливания  $N_{вд} = 9,98$  кН через соединительное устройство. Упор домкрата осуществляется в надподвальное перекрытие (внутри здания) и в специальную конструкцию из труб и швеллеров (снаружи здания). Устраивается тампонаж путем вдавливания в скважину пробки и удерживания ее нагрузкой. Затем одновременно с вдавливанием трубы через специальное устройство нагнетается раствор, что не позволяет стенкам скважины оплыть. Инъекционный раствор через перфорированные отверстия под давлением 0,35–0,5 МПа нагнетается в скважину при помощи растворонасоса, что приводит к расши-

рению скважины в радиальном направлении до 200 мм. Между собой секции трубы соединяются с помощью сварки. После достижения иньектором проектной отметки он остается в скважине и служит арматурным каркасом для иньекционной сваи.

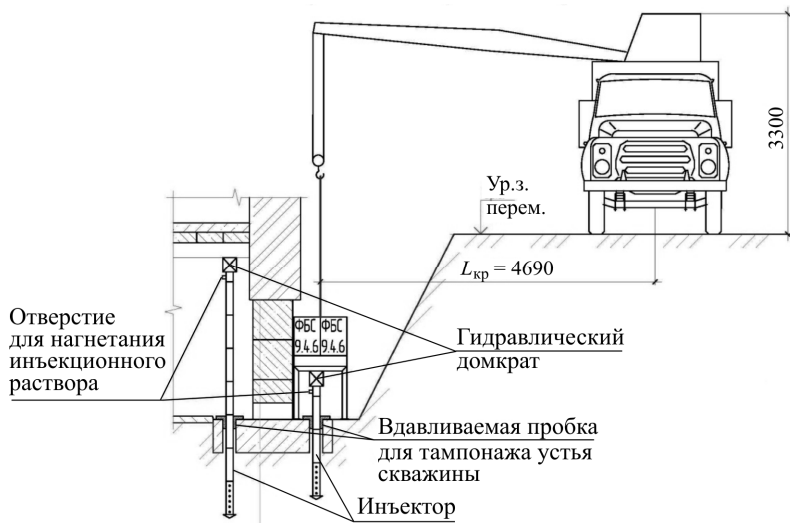


Рис. 4. Технология производства работ по усилению фундамента иньекционными сваями на третьем этапе

На четвертом этапе выполняется установка закладных деталей в виде гильз в подошве фундамента, которые позволят устраивать иньекционные сваи через тело фундамента. После этого производится установка в проектное положение поперечной разгружающей балки, выполненной из двутавра № 16 (рис. 5). Через установленные балки нагрузка передается на сваи. Длина продольной балки составляет 1,5 пог. м. После того как поперечная балка будет установлена в проектной положение, производят зачеканку цементным раствором отверстий в стене подвала. На рис. 5 изображена технология производства работ по усилению фундамента иньекционными сваями на четвертом этапе.

На пятом этапе осуществляют обратную засыпку шурфа грунтом с послойным уплотнением (трамбованием). После этого проводят работы по восстановлению отмостки и асфальтового покрытия с внешней стороны дома, а с внутренней – восстановление пола подвала.

Для наиболее тщательного изучения технологии выполнения усиления фундаментов был выполнен подбор материалов для изготовления иньекционных свай: иньекционного раствора и арматурного каркаса иньекционной сваи (иньектора).

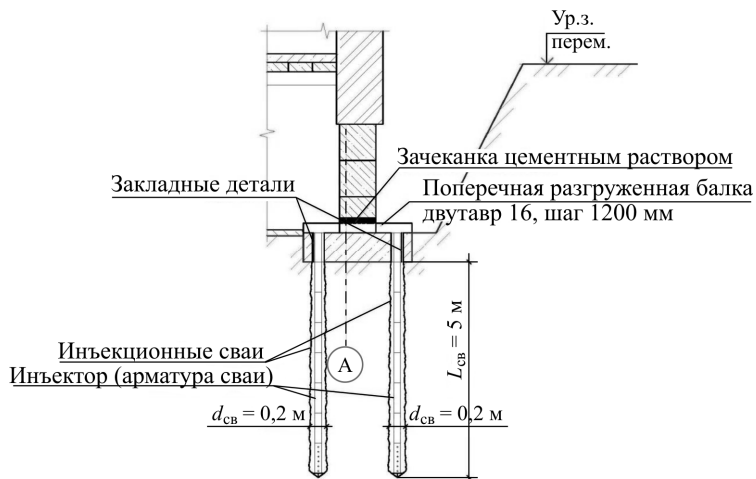


Рис. 5. Технология производства работ по усилению фундамента инъекционными сваями на четвертом этапе

Для данного объекта был подобран инъектор (рис. 6) из металлической перфорированной трубы 108×4 (диаметром 108 мм) и наконечника в виде стального диска диаметром 188 мм. Плоский стальной диск на нижнем конце служит для снижения усилия вдавливания.

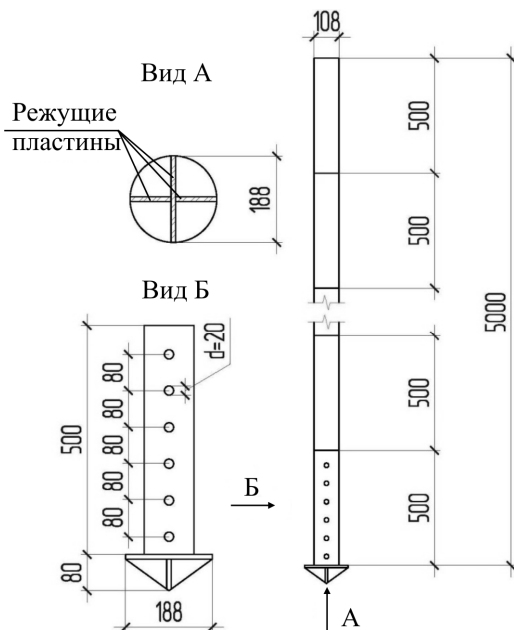


Рис. 6. Схема строения инъектора



Благодаря этому уширению образуется воздушный зазор между грунтом и инъектором, снижается сила трения между ними. Впоследствии воздушный зазор заполняется бетонной смесью. Общая длина инъектора составляет 5 м и состоит из 10 свариваемых частей длиной 0,5 м, которые наращиваются в процессе погружения. Стыковка частей каркаса инъектора между собой выполняется при помощи сварки. Самая нижняя часть инъектора выполнена перфорированной. Отверстия перфораций расположены с шагом 80 мм, а их диаметр равен 20 мм. Данные отверстия предназначены для подачи инъекционного раствора в скважину под давлением.

В связи с низким значением коэффициента фильтрации грунтов в г. Перми использование инъекционных свай имеет сложности. Однако их можно решить, применяя минеральное особо тонкодисперсное вяжущее Microdur («Микродур»). Остальные компоненты инъекционного раствора были подобраны в соответствии с нормативными документами и рекомендациями по применению ОТДВ Microdur [5, 6]. Расход материалов на 1 м<sup>3</sup> инъекционной смеси представлен в табл. 1.

Таблица 1

Расход материалов на 1 м<sup>3</sup> инъекционного раствора

Материал	Количество
Расход ОТДВ «Микродур», кг/м <sup>3</sup>	366
Расход воды, л/м <sup>3</sup>	261
Расход песка, кг/м <sup>3</sup>	1383
Расход пластификатора С-3, кг/м <sup>3</sup>	7,32
Водоцементное отношение В/Ц	0,71
Пропорции Ц: П: В	1: 3,8: 0,7

Подобранные материалы для устройства инъекционной сваи обеспечивают несущую способность сваи по материалу (не должна быть ниже несущей способности сваи по грунту).

Технологией предусмотрено выполнение работ комплексным механизированным звеном: экскаватором одноковшовым с обратной лопатой Hyundai R95W-3 (объем ковша  $V_{\text{ковш}} = 0,35 \text{ м}^3$ ), стреловым автомобильным краном КС-2561Д (грузоподъемность  $Q = 6,3 \text{ т}$ , максимальный вылет стрелы  $L_{\text{стр}} = 8 \text{ м}$ ), гидравлическим домкратом ЦС10Г500 (максимальное усилие  $N = 11,3 \text{ т}$ , максимальный ход штока  $H = 500 \text{ мм}$ ), растворным смесителем РМ-750 (полезная емкость  $V = 750 \text{ л}$ ) и растворонасосом СО-49 (рабочее давление  $P = 1,6 \text{ МПа}$ ).

Требуется провести технико-экономическое сравнение различных технологий усиления фундаментов жилого дома по адресу: г. Пермь, ул. Куйбышева, д. 103. В результате выполнения технико-экономического сравнения будет до-

казана или опровергнута экономическая эффективность применения инъекционных свай.

**Технико-экономическое сравнение вариантов.** Исследуемую технологию усиления инъекционными сваями сравним с достаточно распространенной и популярной технологией – уширением подошвы фундамента.

Вариант № 1 – усиление фундамента примыкающими инъекционными сваями. В качестве усиления принимаем на каждый метр длины фундамента по две примыкающие инъекционные сваи со следующими характеристиками: длина сваи  $L_{св} = 5$  м, диаметр  $d_{св} = 0,2$  м. Общее количество инъекционных свай – 918 штук. Несущая способность сваи равна 326,48 кН.

Вариант № 2 – уширение подошвы фундамента. По расчетам было установлено, что для обеспечения требуемой несущей способности существующую подошву фундамента необходимо увеличить на 0,3 м, т.е. на 0,15 м с каждой стороны. Увеличение подошвы фундамента произведем способом устройства железобетонной обоймы.

При оценке способов усиления было произведено их технико-экономическое сравнение, которое учитывает расход материалов, объемы работ, стоимость работ и трудовые затраты на их выполнение. Лучший способ усиления фундамента для объекта определялся на основе сравнения следующих показателей: продолжительности работ, общей трудоемкости и сметной стоимости работ.

Таблица 2

Расход материалов на 1 м<sup>3</sup> инъекционного раствора

Показатели	Единицы измерения	Значение по вариантам	
		Вариант 1 – инъекционные сваи	Вариант 2 – уширение подошвы фундамента
Продолжительность	дн.	91	120
Общая трудоемкость	чел./ч	6548,49	13526,48
Сметная стоимость	тыс. руб.	10501,260	11015,46

Учет всех показателей позволяет осуществить технико-экономическое сравнение вариантов. Анализируя данные табл. 2, можно сделать вывод о том, что исследуемая технология усиления фундамента инъекционными сваями имеет более хорошие показатели по сравнению со вторым вариантом. Общая трудоемкость, продолжительность и стоимость работ в данной технологии ниже за счет высокой технологичности, пониженной материалоемкости, снижения трудоемкости изготовления сваи и сроков ее устройства. Следовательно, несмотря на более высокую стоимость исходных материалов, технология усиления фундаментов инъекционными сваями является экономически эффективной.

### Список литературы

1. Опыт усиления фундаментов реконструируемых зданий инъекционными сваями / А.И. Полищук, А.А. Петухов, Р.В. Шалгинов, А.А. Тарасов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 3. – С. 129–142.

2. Полищук А.И., Петухов А.А. Усиление фундаментов реконструируемых зданий в г. Томске с использованием инъекционных свай // Научно-практические и теоретические проблемы геотехники: межвуз. темат. сб. тр. / С.-Петербург. гос. архит.-строит. ун-т. – СПб., 2007. – С. 162–171.

3. Полищук А.И., Петухов А.А., Тарасов А.А. Реконструкция подвальной части административно-торгового здания // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 2. – С. 130–161.

4. Инъекционная свая для слабых грунтов: пат. 154896 Рос. Федерация, МПК Е 02 D 5/34 / Полищук А.И., Петухов А.А., Назин Д.С.; заявитель и патентообладатель государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет» (ГОУВПО «ТГАСУ»). – № 2015101609/03; заявл. 20.01.2015; опубл. 10.09.2015. Бюл. № 25. – 7 с.

5. Рекомендации по инъекционному закреплению грунтов с применением особо тонкодисперсного минерального вяжущего «Микродур» / НИИОСП им. Н.М. Герсевича для ООО «Веста Инж». – М., 2011. – 33 с.

6. СТО НОСТРОЙ 2.3.18–2011. Укрепление грунтов инъекционными методами в строительстве. – М., 2012. – 73 с.

Получено 05.06.2017

**Шенкман Роман Игоревич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника», строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: spstf@pstu.ru.

**Софьин Родион Игоревич** – магистрант, строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: spstf@pstu.ru.