УДК 624.154.5

А.П. Кремнев[1], И.Л. Бойко[2]

[1]Полоцкий государственный университет имени Ефросиньи Полоцкой, Новополоцк, Республика Беларусь

[2]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

УСИЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ ПУТЕМ ПЕРЕСАДКИ НА СВАИ НА ОБЪЕКТАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В статье рассмотрены основные направления развития методов усиления фундаментов в грунтовых условиях Республики Беларусь. Приведены практические примеры усиления фундаментов и грунтов оснований существующих зданий и сооружений. Выполнен анализ основных причин усиления фундаментов, перечислены методы их усиления, получившие наибольшее распространение на практике. Дано детальное описание метода усиления фундаментов путем их пересадки на винтовые сваи, выполняемые в защитной среде цементного раствора. Приводятся практические примеры усиления фундаментов с применением свай, выполняемых по данной технологии. Выполнен анализ конструктивных решений, обеспечивающих совместную работу элементов существующих фундаментов и свай усиления. Приводятся результатов экспериментальных исследований влияния способа армирования узла сопряжения фундамента с ростверком на его прочность и жесткость.

Ключевые слова: усиление, упрочнение, фундаменты, сваи, пересадка на сваи, винтовые сваи.

A.P. Kremniov[1], I.L. Boiko[2]

[1]Euphrosyne Polotskaya State University, Novopolotsk, Republic Belarus

[2]Belarusian National Technical University, Minsk, Republic Belarus

EXPERIENCE OF STRENGTHENING FOUNDATIONS BY TRANSFERING TO PILES AT OBJECTS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

The results of experimental studies of the influence of the method of reinforcing the joint between the foundation and the grillage on its strength and stiffness are presented. The article discusses the main directions of development of methods for strengthening foundations in soil conditions in the Republic of Belarus. Practical examples of strengthening foundations and foundation soils of existing buildings and structures are given. An analysis of the main reasons for strengthening foundations has been carried out, and the methods of strengthening them that have become most widespread in practice are listed. A detailed description of the method of strengthening foundations by transplanting them onto screw piles, carried out in a protective environment of cement mortar, is given. Practical examples of strengthening foundations using piles made using this technology are given. An analysis of design solutions was carried out to ensure the joint operation of elements of existing foundations and reinforcement piles. The results of experimental studies of the influence of the method of reinforcing the joint between the foundation and the grillage on its strength and rigidity are presented.

Keywords: strengthening foundations, soil strengthening, foundations, piles, transfer to piles, screw piles.

Введение

В Республике Беларусь усиление фундаментов или упрочнение грунтов оснований, как правило, выполняют либо в качестве противоаварийных мероприятий с целью предотвращения развития чрезмерных деформаций или при существенном увеличении нагрузки на фундамент в ходе реконструкции.

Усиление фундаментов существующих зданий и сооружений является одной из наиболее сложных геотехнических задач, связанной с необходимостью выполнения работ в стесненных условиях, невозможностью применения тяжелой строительной техники и специализированного оборудования, большим объемом ручного труда. При проведении работ в подвальных помещениях наличие развитой сети коммуникаций осложняет доступ к фундаментам здания. Кроме того, подвальные помещения зачастую подтапливаются техногенными и грунтовыми водами, что также существенно затрудняет производство работ.

Развитие методов усиления фундаментов в условиях Республики Беларусь

В условиях Республики Беларусь наибольший объем по усилению фундаментов отмечался в 90-х гг. прошлого столетия и в начале 2000-х гг. Среди специалистов в области строительства в то время бытовало мнение, что XXI в. – это «век реконструкции». Многочисленные исследования, темы диссертаций, научные статьи в основном были посвящены методам усиления несущих конструкций, методам упрочнения грунтов и усилению фундаментов. Тема реконструкции и усиления была популярна также вследствие большого объема работ по обследованию технического состояния существующих зданий и сооружений, выполняемых, как правило, научными работниками и преподавателями высших учебных заведений республики.

Работы по обследованию приносили не только существенную прибавку к скромному окладу преподавателя, доцента или профессора, но и позволяли укрепить материальную базу исследовательских лабораторий. За счет обследовательских работ также существенно укреплялось финансовое состояние вузов. Так объем хоздоговорных работ, выполняемый в то время Полоцким государственным университетом, достигал в эквиваленте почти 1 млн долларов в год.

С другой стороны, возможность заработать на обследовании привела к тому, что данной работой стали заниматься специалисты, не имеющие ни соответствующей квалификации, ни опыта работы. Обследование грунтов оснований и фундаментов зачастую выполняли сотрудники кафедр архитектуры, железобетонных конструкций, технологии строительного производства и пр.

В случае обнаружения осадочных трещин в конструкциях здания такие специалисты рекомендовали, как правило, метод инъекционного упрочнения цементным раствором вне зависимости от грунтовых условий, степени и характера обнаруженных повреждений. На практике такое необоснованное применение, в общем-то, хорошего метода, в лучшем случае было бесполезным, а в худшем приводило лишь к усугублению ситуации.

Следует отметить, что позже благодаря работам профессора М.И. Никитенко [1] инъекционная цементация грунтов стала применяться уже более обдуманно и именно в тех условиях, в которых показывала наибольшую эффективность. В качестве положительного опыта инъекционного упрочнения грунтов можно привести опыт усиления грунтов оснований здания театра Я. Купалы, обелиска Победы в Минске (Ю.А Соболевский [2, 3]), Витебского железнодорожного вокзала, здания прокуратуры Витебской области и др. В тоже время известно, что цементация – это процесс достаточно плохо управляемый и трудно контролируемый, особенно при сложном напластовании грунтов. Также определенную трудность представляет оценка эффективности такого метода усиления.

В случае необходимости существенного повышения несущей способности, гарантированной остановки процесса развития чрезмерных неравномерных деформаций и предотвращения аварийной ситуации, усиление путем пересадки на сваи, на наш взгляд, является безальтернативным вариантом.

В технической литературе можно встретить описание различных методов устройства свай при усилении фундаментов существующего здания, (П.А. Коновалов [4], В.А. Ильичев [5], Р.А. Мангушев [6], О.А. Шулятьев [7]). Большинство из них требуют наличия специализированного и дорогостоящего оборудования, трудоемких подготовительных работ, связанных с необходимостью устройства временного крепления несущих конструкций. Кроме того, при высоком уровне грунтовых вод выполнить сваи усиления в стесненных условиях зачастую не представляется возможным.

Усиление фундаментов путем пересадки на винтовые сваи, изготавливаемые в защитной среде цементного раствора

Среди наиболее перспективных методов устройства свай следует отметить метод пересадки фундаментов на винтовые сваи, устраиваемые в защитной среде цементного раствора (mortar protected screw piles, MPSP) [8]. Данный метод может применяться в условиях ограниченного пространства в различных грунтовых условиях, в том числе и в водонасыщенных песчаных грунтах, торфах, пылевато-глинистых грунтах текучей консистенции.

Схема устройства свай приведена на рис. 1. Сваи устраиваются с помощью малогабаритной буровой установки, размеры которой позволяют выполнять

работы даже в условиях подвальных помещений. Бурение производится при помощи полых шнеков диаметром 300 мм, объединенных в колонну. После достижения проектной отметки долото с крышкой откидывается и через полость шнеков скважина заполняется подвижным цементным раствором с одновременным извлечением этих шнеков из скважины по мере подъема буровой колонны. Цементный раствор в этом случае играет роль бурового раствора, удерживая стенки скважины от обрушения. На следующем этапе в скважину погружается винтовая свая, состоящая из отдельных секций, соединение которых производится при помощи муфты. При необходимости через полость винтовой сваи можно произвести опрессовку зоны под пятой сваи цементно-песчаным раствором более высокой марки.

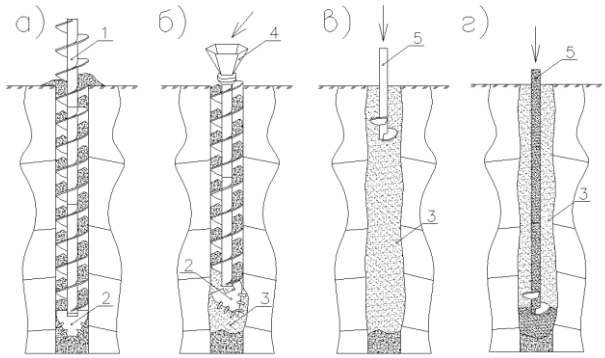
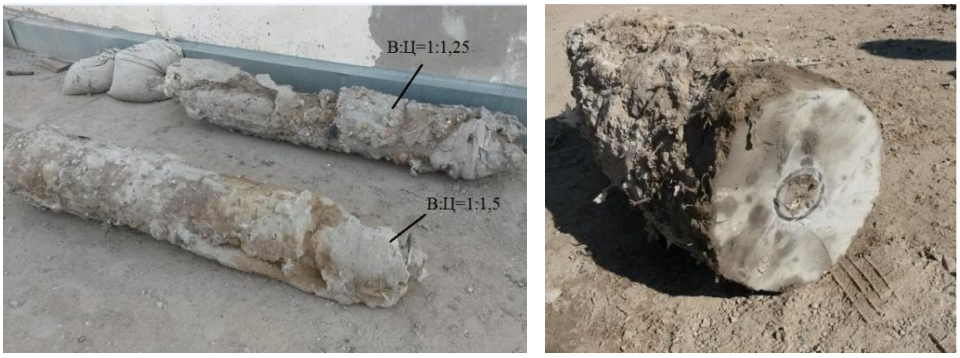


Рис. 1. Схема устройства винтовых свай в защитной среде цементного раствора:
а – бурение полым шнеком; *б* – заполнение скважины цементным раствором;
в – погружение винтовой сваи; *г* – опрессовка пяты сваи
цементно-песчаным раствором

Fig. 1. Scheme of installation of mortar protected screw piles: *a* – drilling with a hollow auger; *b* – filling the well with cement mortar; *c* – immersion of a screw pile; *d* – pressure testing of the pile heel with cement-sand mortar

Предлагаемый способ устройства таких свай является фактически комбинацией двух видов свай: винтовых и буроинъекционных. Простота устройства присущая винтовым сваям сочетается с надежностью и долговечностью свай, выполняемых с применением цементных вяжущих. Винтовые сваи могут быть включены в работу практически сразу после их устройства и в тоже время нет необходимости обрабатывать металлические поверхности дорогостоящими защитными составами. Цементный раствор, окружающий сваю, будет играть роль защитной рубашки лучше, чем любые окрасочные материалы, которые к тому же могут быть повреждены при погружении винтовых свай.

Такой способ устройства свай подробно описан в работе автора [9]. Общий вид опытной сваи после ее извлечения показан на рис. 2.



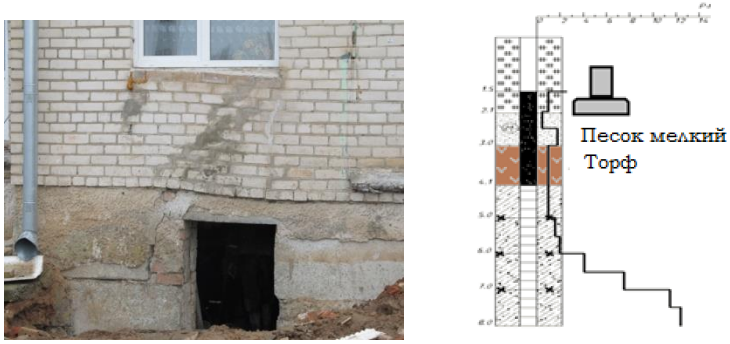
а *б*

Рис. 2. Общий вид опытных свай после их извлечения: *а* – две сваи с разным водоцементным соотношением; *б* – поперечный разрез сваи

Fig. 2. General view of the experimental piles after their removal: *a* – two piles with different water-cement ratios; *b* – cross section of the pile

При помощи данного метода было выполнено усиление фундаментов на нескольких объектах Республики Беларусь. В качестве примера рассмотрим усиление фундамента жилого дома в Витебской области.

В процессе эксплуатации несущие конструкции здания получили существенные повреждения в виде трещин осадочного происхождения. Развитие неравномерных деформаций было обусловлено наличием в основании прослойки торфа мощностью до 1 м, рис. 3, *б*. Уровень грунтовых вод фактически соответствовал уровню пола подвала, а в период обильных осадков поднимался и выше. Здание фактически находилось в аварийном состоянии, и решался вопрос об отселении жильцов дома.



а *б*

Рис. 3. Жилой дом в Витебской области: *а* – общий вид поврежденной части стены жилого дома; *б* – литологическое строение грунтов оснований

Fig. 3. Residential building in the Vitebsk region: *a* – general view of the damaged part of the wall; *b* –structure of foundation soils

В данных условиях рассматривался единственно возможный вариант усиления путем пересадки на сваи. При этом сваи необходимо было выполнить диаметром не менее 300 мм в стесненных условиях подвала высотой 2 м, и при высоком уровне грунтовых вод.

Предложенная авторами схема усиления включала устройство винтовых свай, выполняемых в защитной среде цементного раствора. Сваи устраивались с двух сторон несущих стен с дальнейшим объединением их монолитным ростверком через отверстия в фундаментных блоках. Схема усиления приведена на рис. 4. Общий вид малогабаритной буровой установки и свай усиления приведены на рис. 5.

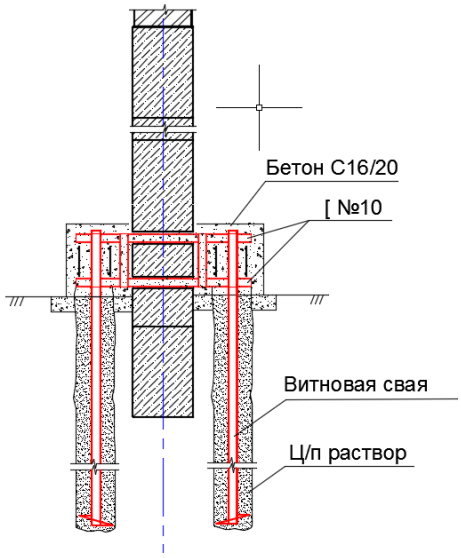


Рис. 4. Схема усиления фундаментов с пересадкой на винтовые сваи, устраиваемые в защитной среде цементного раствора (MPSP)
Fig. 4. Scheme of strengthening foundations supported mortar protected screw piles (MPSP)



а *б*

Рис. 5. Усиление фундаментов жилого дома: *а* – общий вид малогабаритной буровой установки; *б* – винтовые свай в защитной среде цементного раствора
Fig. 5. Strengthening the foundations of a residential building: *a* – general view of a small-sized drilling rig; *b* – screw piles in a protective environment of cement mortar

Аналогичным образом были усилены фундаменты детского сада г. Полоцка, фундаменты колонн дома культуры в г. Браслове, фундаменты надземного перехода больницы в г. Витебске и др.

Исследование влияния способа армирования узла сопряжения фундамента и ростверка на его прочность и жесткость

При усилении фундаментов путем пересадки на сваи необходимо обеспечить надежное сопряжение сваи и существующего фундамента. Среди основных требований к узлу сопряжения свай с фундаментом следует отметить следующие:

– узел должен обеспечивать передачу на сваи практически всей нагрузки от вышележащих конструкций;

– узел должен быть максимально жестким;

– в процессе устройства узла сопряжения необходимо избегать существенного ослабления существующих фундаментов.

Указанным требованиям в полной мере отвечает узел сопряжения в виде монолитного ростверка с жестким армированием с применением прокатных профилей в виде швеллера или двутавра. Жесткие армирующие элементы пропускаются через отверстия в существующем фундаменте, устраиваемые с помощью алмазных коронок диаметром 160–200 мм. Отверстия тщательно заполняются мелкозернистым бетоном и производится бетонирование общего ростверка (рис. 6).



а *б*

Рис. 6. Устройство узла сопряжения свай и существующего фундамента:
а – сверление отверстий алмазными коронками; *б* – армирование ростверка усиления (медиа ресурс)

Fig. 6. Construction of a junction between the piles and the existing foundation:
a – drilling holes with diamond core bits; *b* – reinforcement grillage (media resource)

Для оценки прочности и жесткости узла сопряжения с жестким армированием нами были выполнены экспериментальные исследования

образцов фундамента и ростверка, с различным армированием поперечной несущей балки (Ю.В. Трубач, А.П. Кремнев [10]):

- в виде арматурного каркаса (4 стержня *d*16 А240), рис. 7, *а*;
- в виде прокатного швеллера № 6.5, рис. 7, *б*;
- в виде спаренных швеллеров № 6.5, рис. 7, *в*.

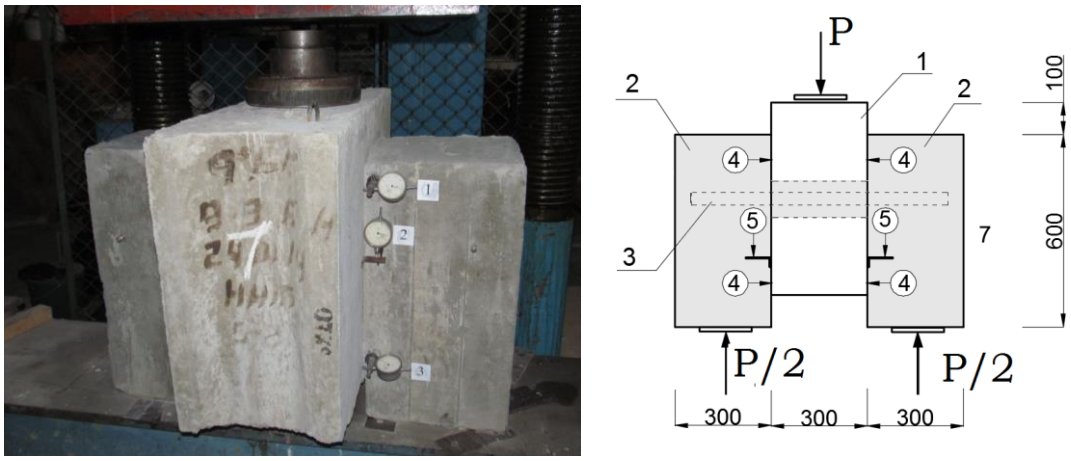


а *б* *в*

Рис. 7. Армирование поперечной шпонки опытных образцов фундамента:
а – арматурным каркасом; *б* – прокатным швеллером;
в – спаренными прокатными швеллерами

Fig. 7. Reinforcement of the foundation transverse beam: *a* – reinforcement cage;
b – rolled channel; *c* – paired rolled channels

После установки армирующих элементов с двух сторон блока устраивались два бетонных столбика из монолитного бетона класса С30/37. Общий вид испытываемых образцов и схема испытательной установки приведены на рис. 8.



а *б*

Рис. 8. Испытание модели фундамента по схеме чистого сдвига:
а – общий вид испытательной установки с датчиками перемещений; *б* – схема испытательной установки: *1* – фундаментный блок; *2* – монолитный ростверк;
3 – армирующие элементы; *4* – датчик горизонтальных перемещений;
5 – датчики вертикальных перемещений

Fig. 8. Testing a foundation model using a pure shear scheme: *a* – general view of the test setup with displacement sensors; *b* – test setup scheme: *1* – foundation block;
2 – monolithic grillage; *3* – reinforcing elements; *4* – horizontal displacement sensor;
5 – vertical displacement sensors

Испытания проводились в Полоцком государственном университете на 1000 тс прессе. Нагрузка прикладывалась ступенями и доводилась до разрушения образцов. Наибольшее значение разрушающей нагрузки 103 тс получено при испытании модели фундамента, армированного спаренным швеллером. Наименьшее 68 тс – армированного одиночным швеллером. Разрушение образца, армированного каркасом, произошло при нагрузке 83 тс.

При этом следует отметить, что разрушение всех трех образцов происходило не по контактной зоне (в зоне среза), а в результате «раздавливания» бетона фундаментного блока под нагрузочной плитой (рис. 9, *а*) или по бетону столбиков (рис. 9, *б*).

Трещины в образце № 2 с одиночным швеллером начали развиваться снизу-вверх в контактной зоне, постепенно поднимаясь выше, захватывая тело бетона модели ростверка. При этом был зафиксирован интенсивный рост горизонтальных деформаций в нижней контактной зоне.

Можно сделать вывод о том, что при таком способе объединения старого фундамента и нового прочность зоны контакта в большей степени зависит от класса бетона составляющих этот узел элементов. С точки зрения несущей способности и прочности, армирование бетонной шпонки может выполняться как жесткими элементами, так и обычным арматурным каркасом.



а *б*

Рис. 9. Характер разрушения испытанных образцов:
а – разрушение бетона фундаментного блока в зоне приложения нагрузки;
б – разрушение бетона набетонки

Fig. 9. Nature of destruction of the tested samples: *a* – destruction of the concrete of the foundation block in the zone of application of the load; *b* – destruction of concrete grillage model

Анализ вертикальных деформаций в зоне контакта показал, что армирование узла сопряжения спаренными швеллерами увеличивает жесткость соединения почти в два раза (рис. 10). При этом вертикальные деформации образцов, армированных как одиночным швеллером, так и арматурным каркасом, были практически одинаковы. Таким образом, если при усилении

необходимо обеспечить максимальную жесткость узла, то предпочтительнее применять жесткие армирующие элементы в виде двутавров.

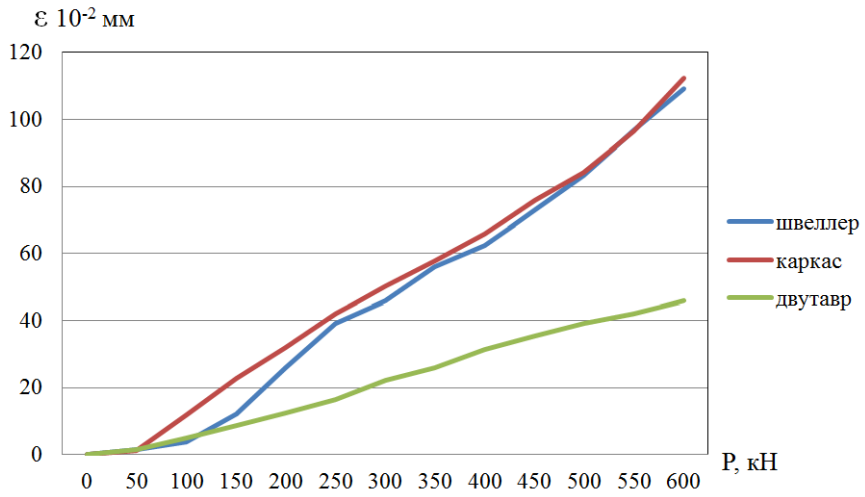


Рис. 10. Графики зависимости вертикального смещения бетонного блока относительно ростверка от нагрузки при различной схеме армирования
Fig. 10. Dependence of the vertical displacement of the concrete block and grillage on the load for different reinforcement schemes

Заключение

Большой практический опыт усиления фундаментов существующих зданий в условиях Республики Беларусь показал, что пересадка на сваи является одним из наиболее эффективных методов существенного повышения несущей способности фундаментов, гарантированного устранения развития аварийной ситуации. В ограниченном пространстве подвалов, при высоком уровне грунтовых вод хорошо зарекомендовали себя винтовые сваи, устраиваемые в защитной среде цементного раствора (MPSP). Применение данной технологии позволило восстановить техническое состояние ряда зданий и сооружений, предотвратить наступление аварийного состояния.

Совместная работа свай усиления и существующего фундамента на практике обеспечивалась путем устройства бетонной шпонки через просверленные алмазными коронками отверстия. Армирование узла сопряжение выполнялось с помощью прокатных профилей в виде швеллеров или двутавров. Лабораторные исследования на крупноразмерных моделях фундамента показали, что с точки зрения жесткости применение армирования в виде двутавра позволяет получить минимальные деформации в зоне сопряжения. На несущую способность узла сопряжения в большей степени оказывают влияние прочностные параметры бетона существующего фундамента и ростверка усиления.

Финансирование. *Исследование не имело спонсорской поддержки.*

Конфликт интересов. *Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

Вклад авторов. *Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.*

Библиографический список

1. Никитенко М.И. Буроинъекционные анкеры и сваи при строительстве и реконструкции зданий и сооружений: монография. – Минск: БНТУ, 2007. – 580 с.

2. Соболевский Ю.А. Усиление крупнопанельного здания путем буроинъекционного закрепления основания забивных свай // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1992. – № 4. – С. 12–13.

3. Усиление основания и несущих конструкций здания здание театра имени Я. Купалы в Минске / Ю.Соболевский [и др.] // Прибалтийская геотехника VI: тез. шестой Прибалтийско-Белорусской конф. по геотехнике. – Таллинн, 1986. – С. 128–131.

4. Коновалов П.А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. – 4-е изд. перераб. и доп. –М.: Стройиздат, 2000

5. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общ. ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: АСВ, 2023. – 1084 с.

6. Основания и фундаменты / Р.А. Мангушев [и др.]. – М.: АСВ; СПб.: СПбГАСУ, 2011. – 392 с.

7. Шулятьев О.А., Мозгачева О.А., Поспехов В.С. Освоение подземного пространства городов. – М.: АСВ, 2017. – 510 с.

8. Патент РБ № 9349 Винтовая свая / Кремнев А.П., Андрикович В.В. Заявл. 26.12.2012. Опубл. 15.04.2013.

9. Кремнев А.П. Усиление фундаментов существующих зданий при помощи металлических свай, устраиваемых в защитной среде цементного раствора // Геотехника Беларуси: Наука и практика. – Минск, 2013. – С. 166–170.

10. Трубач Ю.В., Кремнев А.П. Эффективность использования жесткого армирования при усилении ленточных фундаментов // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров: сб. науч. ст. XIX Междунар. науч.-метод. семинара, Брест, 23–25 октября 2014 г.: в 3-х ч. – Брест, 2014. – Ч. 2. – С. 269–275.

References

1. *Nikitenko M.I.* Bored injection anchors and piles in the construction and reconstruction of buildings and structures: monograph. Minsk, BNTU, 2007, 580 p.

2. *Sobolevsky Yu.A.* Strengthening a large-panel building by drilling injection fastening of the base of driven piles. *Bases, foundations and soil mechanics*, 1992, no. 4, pp. 12–13.

3. *Sobolevsky Yu.A. [et al.]*. Strengthening the foundation and load-bearing structures of the building of the Ya. Kupala Theater in Minsk. *Baltic Geotechnics VI: abstract. sixth Baltic-Belarusian conf. in Geotechnics*. Tallinn, 1986, pp. 128–131.

4. *Konovalov P.A.* Foundations and foundations of reconstructed buildings. 4th ed. Moscow, Stroyizdat, 2000.

5. Directory geotechnics. Bases, foundations and underground structures. 3rd ed. Eds. V.A. Ilichev, R.A. Mangushev. Moscow, ASV, 2023, 1084 p.

6. *Mangushev R.A. [et al.]*. Bases and foundations. Moscow, ASV, Saint Petersburg, SPbGASU, 2011, 392 p.

7. *Shulyatiev O.A., Mozgacheva O.A., Pospehov V.S.* Development of the underground space of cities. Moscow, ASV, 2017, 510 p.

8. *Kremniou A.P., Andrikovich V.V.* Screw pile. Patent of the Republic of Belarus no. 9349 (2013).

9. *Kremniou A.P.* Strengthening the foundations of existing buildings with the help of metal piles arranged in a protective environment of cement mortar. *Geotechnics of Belarus: Science and Practice*. Minsk, BNTU, 23-25.10.2013, pp. 166-170.

10. *Trubach Yu.V., Kremniou A.P.* Efficiency of using rigid reinforcement when strengthening strip foundations. *Promising directions for innovative development of construction and training of engineering personnel: collection of scientific articles of the XIX International Scientific and Methodological Seminar*, Brest, October 23–25, 2014: in 3 parts. Ministry of Education of the Republic of Belarus, Brest State Technical University. Brest, BrSTU, 2014, part 2, pp. 269–275.

Об авторах

Кремнев Александр Павлович – канд. техн. наук, доцент, e-mail: kremnev_si@mail.ru

Бойко Игорь Леонидович – канд. техн. наук, доцент, e-mail: 6667760@mail.ru

About the authors

Aleksandr P. Kremniov – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: kremnev_si@mail.ru

Igor L. Boiko – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: 6667760@mail.ru