



**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 10, № 3, 2019
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.3.01
УДК 624.159

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСИЛЕНИЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ АРМИРОВАНИЕМ ЖЕСТКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

М.Л. Нуждин

ООО «Научно-проектное экспертно-консультационное предприятие «ОиФ», Новосибирск, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 09 апреля 2019
Принята: 25 июня 2019
Опубликована: 7 октября 2019

Ключевые слова:

свайные фундаменты, усиление фундаментов, армирование грунтового основания, высоконапорное инъецирование.

АННОТАЦИЯ

Нередко в строительной практике возникает необходимость усиления свайного основания зданий и сооружений. К традиционным методам можно отнести выполнение дополнительных – как правило, буронабивных – свай с последующим возведением ростверка, включающего их в работу. Часто усиление приходится выполнять в условиях плотной городской застройки, в стесненных помещениях подвала и пр., что приводит к существенным технологическим трудностям.

Одним из альтернативных способов усиления свайных фундаментов является метод высоконапорного группового инъецирования, заключающийся в нагнетании в грунт подвижного цементно-песчаного раствора под давлением, превышающим его структурную прочность. В результате, после его твердения, в основании формируются твердые инъекционные тела, армирующие грунтовое основание.

В статье представлены результаты экспериментов по оценке влияния схемы расположения жестких включений на деформативность грунтового основания модели свайного фундамента. Эксперименты проводились в малом грунтовом лотке, который заполнялся среднезернистым рыхлым песком. Свай моделировались металлическими стержнями, свайный ростверк – металлическим квадратным штампом. Модель свайного фундамента включала 9 свай, расположенных по квадратной сетке. В качестве инъекционных тел использовались зерна гравия различных размеров и формы. Исследования включали 10 серий экспериментов (каждый эксперимент повторялся не менее 3 раз): варьировался объем используемых включений, их размеры, шаг расположения в плане и по глубине.

Анализ результатов проведенных экспериментов позволил сформулировать подходы к назначению оптимальных схем расположения жестких включений при усилении грунтового основания свайных фундаментов высоконапорным инъецированием подвижных цементно-песчаных смесей.

© ПНИПУ

EXPERIMENTAL STUDIES OF PILE FOUNDATION GROUND BASE REINFORCED WITH HARD INCLUSIONS

M.L. Nuzhdin

LLC "Research and design expert consulting enterprise "O&F", Novosibirsk, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 09 April 2019
Accepted: 25 June 2019
Published: 7 October 2019

Keywords:

pile foundations, strengthening of foundations, reinforcement of soil foundation, high-pressure injections.

ABSTRACT

Often in construction practice there is a need to strengthen the pile foundation of buildings and structures. The traditional methods include the implementation of additional, as a rule, bored piles with the subsequent erection of a grillage incorporating them into operation. Often, this work has to be done in the conditions of dense urban development, in cramped rooms of the basement, etc., which leads to significant technological difficulties.

One of the alternative ways to strengthen pile foundations is the method of high-pressure group injection, which consists in injecting a movable cement-sand mortar into the soil under pressure that exceeds its structural strength. As a result, after its hardening, solid injection bodies are formed at the base, reinforcing the soil base.

The article describes the results of experiments to assess the impact of the layout of hard inclusions on the deformability of the soil foundation of the pile foundation model. The experiments were carried out in a small soil tray, which was filled with medium-grained loose sand. The piles were modeled with metal rods, the pile grillage with a metal square stamp. The pile foundation model included 9 piles arranged in a square grid. As injection bodies, gravel grains of various sizes and shapes were used. The studies included 10 series of experiments (each experiment was repeated at least 3 times): the volume of the inclusions used, their sizes, the positioning step in the plan and in depth varied. As a result of the analysis of the performed experiments, conclusions were formulated regarding the purpose of the optimal layout of hard inclusions when strengthening the soil foundation of pile foundations by high-pressure injection of mobile cement-sand mixtures.

© PNRPU

Введение

Нередко в строительной практике возникает необходимость усиления свайного основания зданий и сооружений. К традиционным методам можно отнести выполнение дополнительных – как правило, буронабивных – свай с последующим возведением ростверка, включающего их в работу. Часто усиление приходится выполнять в условиях плотной городской застройки, в подвалах, в помещениях, насыщенных оборудованием и пр., что может привести к существенным технологическим трудностям [1].

Одним из альтернативных способов усиления свайных фундаментов является метод высоконапорного группового инъецирования, заключающийся в нагнетании в грунт подвижного цементно-песчаного раствора под давлением, превышающим его структурную прочность. Одновременное нагнетание через несколько инъекторов способствует разрыву грунтовой среды в нужном направлении, таким образом, после твердения раствора в грунте формируются инъекционные тела определенной формы, армирующие основание. Технология не требует использования специального, в том числе крупногабаритного, оборудования, работы не оказывают динамического воздействия и могут выполняться в крайне стесненных условиях.

Однако для эффективного применения метода необходимо определить принципиальные подходы к назначению основных параметров усиления – схемы размещения инъекционных включений и требуемый объем инъецирования [2–8].

1. Проведение экспериментальных исследований

При проведении экспериментов по оценке влияния схемы расположения жестких включений на деформативность грунтового основания модели свайного фундамента использовался малый лабораторный грунтовый лоток с размерами 37×90 см в плане и глубиной 50 см. Он заполнялся среднезернистым рыхлым песком. Сваи моделировались металлическими стержнями диаметром $d = 0,8$ см и длиной $l = 23$ см, свайный ростверк – металлическим квадратным штампом с длиной сторон $b = 10$ см и толщиной $h = 1$ см, инъекционные тела – зернами гравия с эквивалентным диаметром $1-3$ см ($\sim 0,1b-0,3b$) (рис. 1). Модель свайного фундамента включала 9 свай, расположенных по сетке с шагом $4,6$ см – $5,75d$ (рис. 2). Для ограничения горизонтальных смещений стержни сопрягались со штампом через прослойку пластилина [2].

Нагрузка передавалась в виде сосредоточенной силы винтовым домкратом через пружинный динамометр. После каждого нагружения выдерживался период условной стабилизации деформаций. Измерение вертикальных осадок штампа осуществлялось по двум прогибомерам Максимова с ценой деления $0,01$ мм, установленным на его торцах.



Рис. 1. Зерна гравия и металлический стержень, моделирующие инъекционные тела и забивную сваю

Fig. 1. Grains of gravel and a metal rod modeling injection bodies and driven pile



Рис. 2. Разные схемы усиления свайного куста внедрением жестких включений

Fig. 2. Pile bush enhancement schemes by introducing hard inclusions

Армированное грунтовое основание моделировалось укладкой жестких включений – гравия. Песок засыпался в лоток послойно, после укладки каждого слоя в него внедрялись зерна гравия с небольшим усилием, создающим некоторое уплотнение, условно моделирующее изменение структуры окружающего грунта при инъецировании цементно-песчаного раствора. Использование отдельных зерен гравия, укладываемых вплотную друг к другу, моделировало возможное нарушение сплошности инъекционных тел в грунтовом массиве [5–10].

В подготовке к проведению экспериментов участвовал магистрант кафедры ИГОФ НГАСУ (Сибстрин) В.В. Шамарин.

Лабораторные исследования включали 10 экспериментов, каждый из которых повторялся не менее трех раз.

Усиление модели свайного фундамента жесткими включениями выполнялось по следующим схемам (рис. 3, 4):

1. Расположение под нижними концами стержней на глубине $\sim 2d$ сплошного жесткого тела (плоского камня неправильной формы с размерами $\sim 12 \times 10$ см, толщиной 1,5–2,0 см).

2. Расположение под нижними концами стержней на глубине $\sim 2d$ двух уровней зерен гравия с размерами ~ 2 см (0,2b) без разрывов в плане и по высоте.

3. Расположение двух уровней зерен гравия с размерами ~ 2 см (0,2b) без разрывов в плане и по высоте под подошвой штампа.

4. Расположение одного уровня зерен гравия с размерами ~ 3 см (0,3b) без разрывов в плане и по высоте под подошвой штампа.

5. Расположение двух уровней зерен гравия с размерами ~ 2 см (0,2b) без разрывов в плане и по высоте на глубине 0,5l от подошвы штампа.

6. Расположение двух уровней зерен гравия с размерами ~ 2 см (0,2b) без разрывов в плане и по высоте под штампом и на глубине 0,5l от его подошвы.

7. Расположение двух уровней зерен гравия с размерами ~ 2 см (0,2b) без разрывов в плане и по высоте под штампом, на глубине 0,5l от его подошвы и под нижними концами стержней на глубине $\sim 2d$.

8. Расположение зерен гравия с размерами ~ 3 см (0,3b) по внешнему контуру стержней по всей глубине вдоль двух противоположных сторон штампа.

9. Расположение зерен гравия с размерами ~ 3 см (0,3b) по внешнему контуру стержней по всей глубине вдоль всего периметра штампа.

10. Расположение зерен гравия с размерами ~ 3 см (0,3b) по внешнему контуру стержней по всей глубине вдоль всего периметра штампа с заполнением внутреннего пространства между стержнями зернами гравия с размерами ~ 2 см (0,2b).

2. Результаты экспериментальных исследований

Результаты лабораторных экспериментов представлены в виде осредненных графиков зависимости осадок модели свайного фундамента от нагрузки (рис. 5–9).

Анализируя результаты проведенных экспериментов, можно сделать следующие выводы:

1. Любые схемы усиления модели свайного фундамента внедрением жестких включений положительно влияют на величину осадок. Максимальный эффект достигается при расположении под нижними концами стержней сплошного жесткого тела – наблюдается полное затухание деформаций (см. рис. 5).

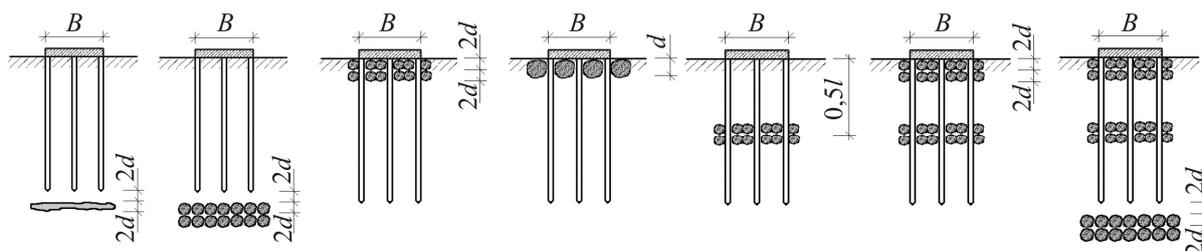


Рис. 3. Схемы усиления модели свайного куста жесткими включениями № 1–7
 Fig. 3. Schemes of strengthening model pile bush by hard inclusions № 1–7

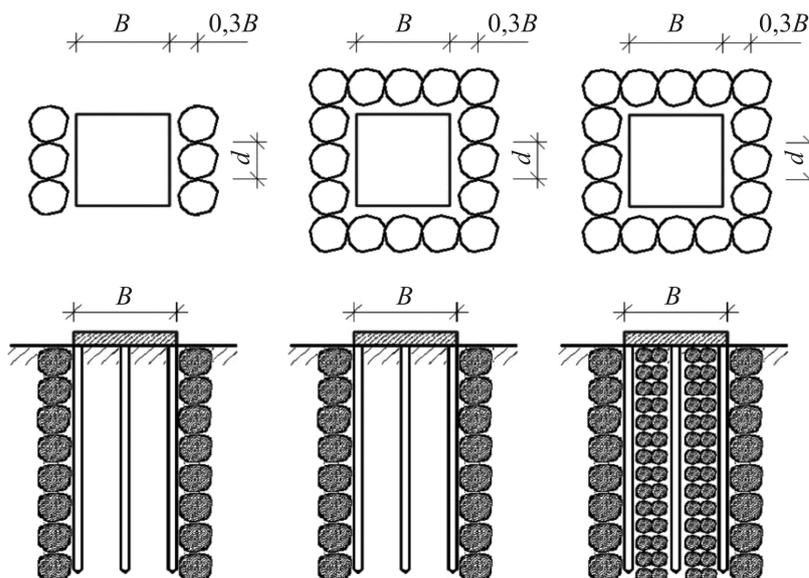


Рис. 4. Схемы усиления модели свайного куста жесткими включениями № 8–10
 Fig. 4. Schemes of strengthening model pile bush by hard inclusions № 8–10

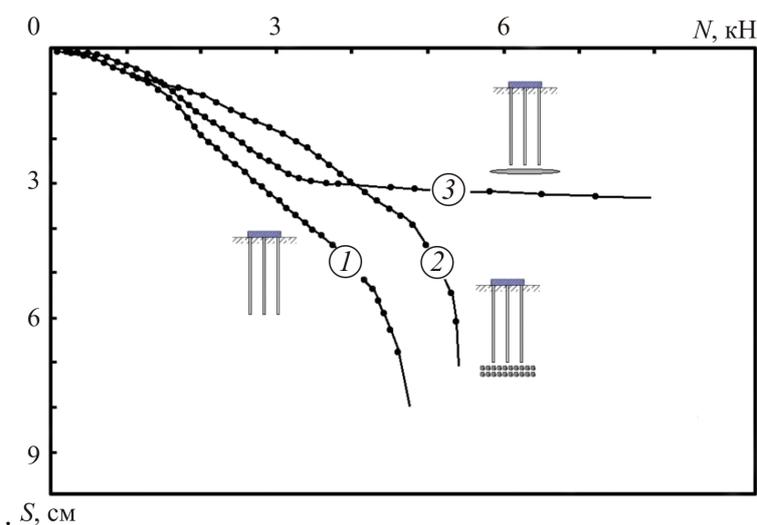


Рис. 5. Графики осадок модели свайного фундамента: 1 – без усиления;
 2, 3 – при расположении под нижними концами стержней сплошного
 жесткого тела и двух уровней зерен гравия

Fig. 5. Pile foundation model deformation graphics: 1 – without strengthening;
 2, 3 – at the location under the ends of the rods of a solid body and 2 levels
 of gravel grains

Наименее эффективна схема усиления с расположением жестких включений относительно небольших размеров ($0,2b$) непосредственно под подошвой штампа – снижение осадок составляет около 10–15 %. Однако использование зерен более крупной фракции ($0,3b$) снижает деформации на 25–50 % и более (см. рис. 6).

2. При всех схемах армирования грунтового основания модели свайного фундамента график зависимости осадки от нагрузки имеет близкий к линейному вид, резкой потери несущей способности (срыва) не наблюдается, предельная нагрузка отсутствует (см. рис. 5–9).

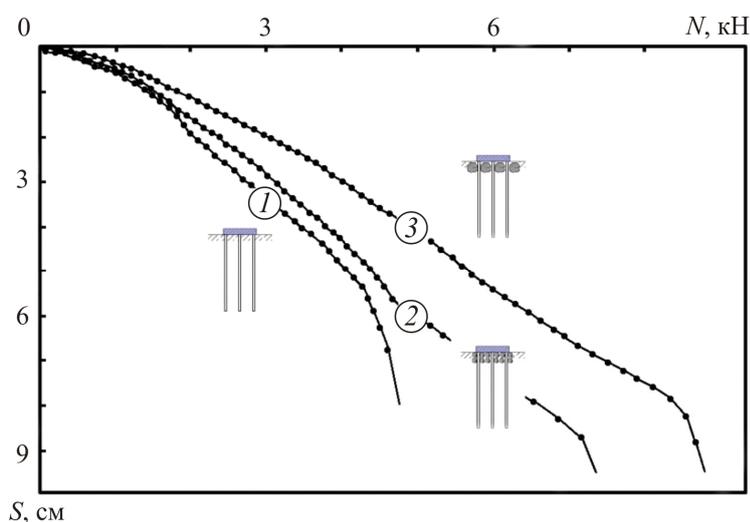


Рис. 6. Графики осадок модели свайного фундамента: 1 – без усиления; 2, 3 – при расположении под подошвой штампа двух уровней зерен гравия мелкой ($0,2b$) и крупной ($0,3b$) фракции

Fig. 6. Pile foundation model deformation graphics: 1 – without strengthening; 2, 3 – at location under the stamp of 2 levels of grains of small gravel ($0,2b$) and large ($0,3b$) fraction

3. Наибольшее влияние на результат оказывает схема усиления, формирующая характер взаимодействия модели свайного фундамента с грунтовым массивом.

К наибольшему эффекту приводит армирование элементами гравия по внешнему контуру стержней по всей глубине вдоль двух противоположных сторон штампа. Примерно такие же значения деформаций наблюдаются при расположении гравия под штампом, на глубине $0,5l$ от его подошвы и под нижними концами стержней на глубине $\sim 2d$. В этих случаях значение нагрузки на основание увеличивается на 75–100 %, а величина осадок снижается в 3 и более раз (см. рис. 7).

4. В ряде случаев изменение схемы усиления с внедрением дополнительных включений (с существенным суммарным объемом) не оказывает заметного положительного влияния на величину осадок.

Так, разница между значениями осадок модели свайного фундамента, усиленного одним слоем (2 уровня включений под нижними концами стержней), двумя слоями (2 уровня включений под подошвой штампа и на глубине $0,5l$ от подошвы) и тремя слоями (2 уровня включений под нижними концами стержней, под подошвой штампа и на глубине $0,5l$ от подошвы), не превышает 10–20 % (см. рис. 8). При этом суммарный объем включений увеличивается в 2 и 3 раза соответственно, а значения деформаций при армировании по схеме с двумя и с тремя слоями отличаются между собой не более чем на 5–10 %, при возрастании объема включений в 1,5 раза.

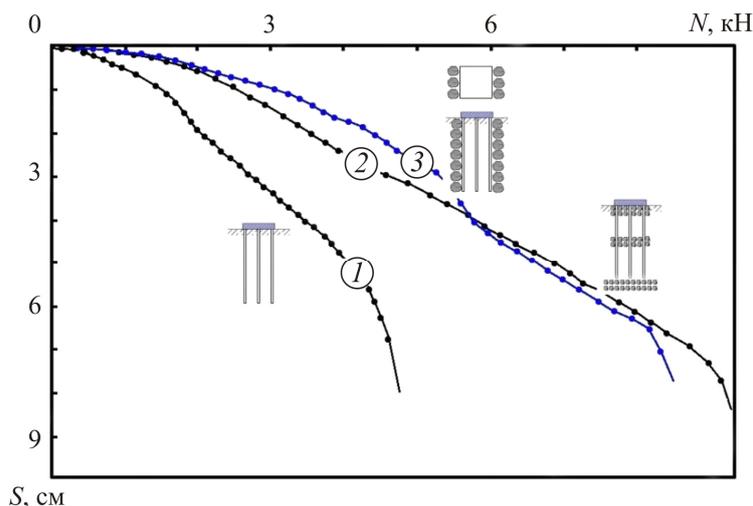


Рис. 7. Графики осадок модели свайного фундамента: 1 – без усиления; 2 – при расположении гравия по внешнему контуру стержней по всей глубине по двум противоположным сторонам; 3 – при расположении гравия под нижними концами стержней, на глубине $0,5l$ и под подошвой штампа
Fig. 7. Pile foundation model deformation graphics: 1 – without strengthening; 2 – at gravel location along the external contour of the rods along the entire depth along two opposite sides; 3 – at gravel locations under the ends of the rods, at a depth of $0,5l$ and under the stamp

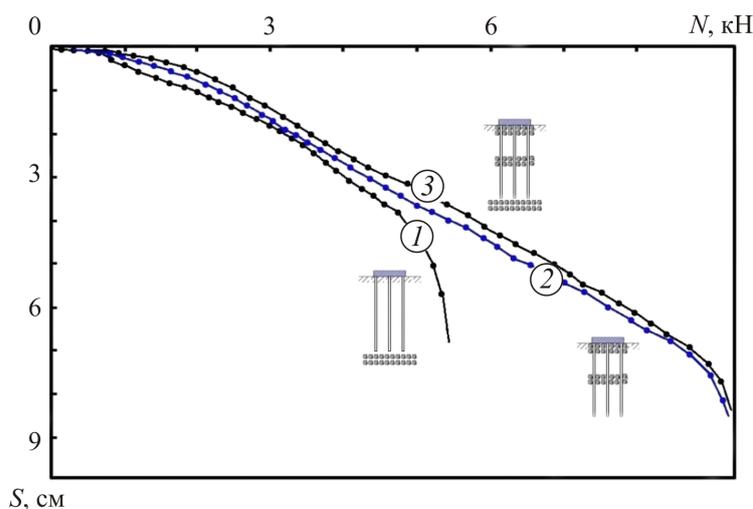


Рис. 8. Графики осадок модели свайного фундамента: 1 – при расположении гравия под нижними концами стержней; 2 – при расположении гравия и на глубине $0,5l$ от подошвы; 3 – при расположении гравия под нижними концами стержней, под подошвой штампа и на глубине $0,5l$ от подошвы
Fig. 8. Pile foundation model deformation graphics: 1 – gravel locations under the ends of the rods; 2 – at gravel locations at a depth of $0,5l$ and under the stamp; 3 – at gravel locations under the ends of the rods, at a depth of $0,5l$ and under the stamp

В свою очередь, деформации грунтового основания модели свайного фундамента, армированного по внешнему контуру стержней по всей глубине, очень близки к значениям, полученным при армировании по внешнему контуру стержней по всей глубине с дополнительным заполнением пространства внутри стержней гравием мелкой фракции (см. рис. 9).

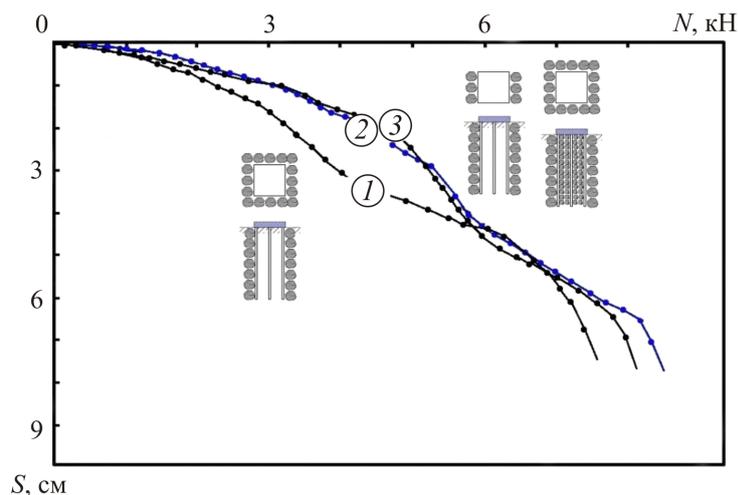


Рис. 9. Графики осадок модели свайного фундамента: 1 – при расположении гравия крупной (0,3b) фракции по внешнему контуру стержней по всей глубине по всему периметру; 2 – при расположении гравия крупной (0,3b) фракции по внешнему контуру стержней по всей глубине по двум противоположным сторонам; 3 – при расположении гравия по внешнему контуру стержней по всей глубине по всему периметру с заполнением внутреннего пространства гравием мелкой фракции (0,2b)

Fig. 9. Pile foundation model deformation graphics: 1 – when large gravel (0.3b) fraction is located along the outer contour of the rods along the entire depth along the entire perimeter; 2 – when large gravel (0.3b) is located along the outer contour of the rods along the entire depth on two opposite sides; 3 – when large gravel (0.3b) fraction is located along the outer contour of the rods along the entire depth along the entire perimeter, filling the internal space with gravel of the small fraction (0,2b)

Армирование модели свайного фундамента по внешнему контуру стержней по всей глубине с двух противоположных сторон штампа эффективнее армирования по контуру вдоль всего его периметра (см. рис. 9).

Заключение

Усиление грунтового основания свайных фундаментов армированием жесткими включениями весьма эффективно и позволяет существенно увеличить значение воспринимаемой нагрузки. При этом график зависимости осадки от нагрузки имеет близкий к линейному вид, резкой потери несущей способности (срыва) не наблюдается, а предельная нагрузка отсутствует.

Наибольшее влияние на результат оказывает схема расположения армоэлементов, формирующая условия взаимодействия свай с элементами усиления и окружающим массивом – максимальный эффект наблюдается при контурном армировании фундамента вдоль наружных граней свай и при устройстве армирующих слоев, объединяющих сваи в середине их длины и под нижними концами свай [11–16].

В ряде случаев увеличение объема армирующих элементов с изменением схемы усиления не оказывает заметного положительного влияния на величину осадок и нецелесообразно.

Библиографический список

1. Нуждин М.Л. Применение метода высоконапорного инъецирования при усилении основания аварийного здания // Труды Каспийской междунар. конф. по геоэкологии и геотехнике – Баку, 2003. – С. 183–187.

2. Нуждин М.Л., Нуждин Л.В. Исследования эффективных параметров контурного армирования твердыми включениями неправильной формы // Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Новочеркасск, 2015. – С. 325–331.

3. Nuzhdin M.L., Nuzhdin L.V. Research of perimeter reinforcement of the foundation soil by cement-sand mortar injection // Geotechnique, Construction Materials & Environment: Proc. of 4th international conf. GEOMATE. – 2014. – Vol. 4 (1). – Tsu city, Mie, Japan, 2014. – P. 267–272.

4. Nuzhdin M.L., Nuzhdin L.V. Application high-pressure directional injection method for strengthen soil base // Geo-Engineering for Construction and Conservation of Cultural Heritage and Historical Sites. Challenges and Solutions: Proc. of the IVth CAGS. – Самарканд, 2012. – P. 201–205.

5. Гришин Д.В., Криворотов А.П. Осадка штампа на неоднородном грунтовом основании // Геотехнические проблемы нового строительства и реконструкции: сб. трудов всерос. науч.-техн. семинара. – Новосибирск, 2011. – С. 198–203.

6. Планирование эксперимента по исследованию напряженно-деформированного состояния песчаного грунтового основания с помощью штамповых испытаний / Д.А. Татьянников, К.П. Давлятшин, Я.А. Федоровых, А.Б. Пономарев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2011. – № 1. – С. 105–109.

7. Савков П.А., Лубягин А.В., Криворотов А.П. Влияние формы инородных включений на сжимаемость упругопластической среды // Геотехнические проблемы нового строительства и реконструкции: сб. тр. всерос. науч.-техн. семинара. – Новосибирск, 2011. – С. 86–89.

8. Абелев М.Ю., Аверин И.В., Кораблева У.А. Экспериментальные исследования эффективности метода цементации грунтов «геокомпозит» в основании зданий на насыпных песках // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2015. – № 2. – С. 13–15.

9. Ибрагимов М.Н. Вопросы проектирования и производства уплотнения грунтов инъекцией растворов по гидроразрывной технологии // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2015. – № 2. – С. 22–27.

10. Лубягин А.В., Федоров В.К. Модификация грунтовых оснований методом компенсационного нагнетания // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2015. – № 2. – С. 28–31.

11. Пронозин Я.А., Кайгородов М.Д. Регулирование геометрического положения зданий, в условиях сильносжимаемых грунтовых оснований // Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Новочеркасск, 2018. – С. 462–466.

12. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения: издание второе, дополненное и переработанное / под общ. ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 1040 с.

13. Mangushev R. Basic structural and technological method in construction of underground spaces on soft soil // Disaster Migration in Special Geoenvironmental Conditions: Proc. of VIth International Geotech. Symp. on Disaster Migration in Special Geoenvironmental Conditions. – Chennai, India, 2015. – P. 60–70.

14. Harikumar M., Sankar N., Chandrakaran S. Behavior of sand reinforced with plastic 3d reinforcement // Disaster Migration in Special Geoenvironmental Conditions: Proc. of VIth International Geotech. Symp. on Disaster Migration in Special Geoenvironmental Conditions. – Chennai, India, 2015. – P. 291–297.

15. Xiao H.W., Lee F.H., Goh S.H. Fibre distribution effect on behavior of fibre-reinforced cement-treated clay // The 15th Asian Reg. Conf. on Soil Mech. and Geotech. Eng. – JGS Special Publ., 2015. – P. 214.

16. Chennarapu Hariprasad, Balunaini Umashankar. Load settlement response of circular footing resting on reinforced layered system The 15th Asian Reg. Conf. on Soil Mech. and Geotech. Eng. – JGS Special Publ., 2015. – P. 223.

References

1. Nuzhdin M.L. Primenenie metoda vysokonapornogo inetsirovaniia pri usilenii osnovaniia avariinogo zdaniia [Application of the method of high-pressure injection in strengthening the base of an emergency building]. *Trudy Kaspiiskoi mezhdunar. konf. po geokologii i geotekhnike*. Baku, 2003, pp. 183-187.

2. Nuzhdin M.L., Nuzhdin L.V. Issledovaniia effektivnykh parametrov konturnogo armirovaniia tverdymi vklucheniiami nepravil'noi formy [Studies of effective parameters of contour reinforcement with solid inclusions of irregular shape]. *Mekhanika gruntov v geotekhnike i fundamentostroenii: Mat. mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf.* Novocheerkassk, 2015, pp. 325-331.

3. Nuzhdin M.L., Nuzhdin L.V. Research of perimeter reinforcement of the foundation soil by cement-sand mortar injection. *Geotechnique, Construction Materials & Environment: Proc. of 4th international conf. GEOMATE 2014*. Tsu city, Mie, Japan, 2014, vol. 4 (1), pp. 267-272.

4. Nuzhdin M.L., Nuzhdin L.V. Application high-pressure directional injection method for strengthen soil base. *Geo-Engineering for Construction and Conservation of Cultural Heritage and Historical Sites. Challenges and Solutions: Proc. of the IVth CAGS*. Samarkand, 2012, pp. 201-205.

5. Grishin D.V., Krivorotov A.P. Osadka shtampa na neodnorodnom gruntovom osnovanii // Geotekhnicheskie problemy novogo stroitel'stva i rekonstruktsii [Stamp sludge on non-uniform soil base]. *Sbornik trudov vserossiiskogo nauchn.-tekhn. seminara*. Novosibirsk, 2011, pp. 198-203.

6. Tat'iannikov D.A., Davliatshin K.P., Fedorovykh Ia.A., Ponomarev A.B. Planirovanie eksperimenta po issledovaniiu napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia peschanogo gruntovogo osnovaniia s pomoshch'iu shtampovykh ispytaniy [Experiment planning for investigation of the stress-strain state of a sandy subgrade with stamp testing]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2011, no. 1, pp. 105–109.

7. Savkov P.A., Lubiagin A.V., Krivorotov A.P. Vliianie formy inorodnykh vklucheniy na szhimaemost' uprogoplasticheskoi sredy [Influence of the form of foreign inclusions on the compressibility of the elastic-plastic medium]. *Geotekhnicheskie problemy novogo stroitel'stva i rekonstruktsii: Sb. trudov vserossiiskogo nauchn.-tekhn. seminara*. Novosibirsk, 2011, pp. 86-89.

8. Abelev M.Iu., Averin I.V., Korableva U.A. Eksperimental'nye issledovaniia effektivnosti metoda tsementatsii gruntov «geokompozit» v osnovanii zdaniy na nasypnykh peskakh [Experimental studies of the effectiveness of the method of soil cementation "geocomposite" at the base of buildings on bulk sand]. *Osnovaniia, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2015, no. 2, pp. 13-15.

9. Ibragimov M.N. Voprosy proektirovaniia i proizvodstva uplotneniia gruntov in"ektsiei rastvorov po gidrorazryvnoi tekhnologii [Issues of design and production of soil compaction by injection of solutions for hydraulic fracturing technology]. *Osnovaniia, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2015, no. 2, pp. 22-27.

10. Lubiagin A.V., Fedorov V.K. Modifikatsiia gruntovykh osnovanii metodom kompensatsionnogo nagnetaniia [Modification of soil bases by the method of compensation injection]. *Osnovaniia, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2015, no. 2, pp. 28-31.

11. Pronozin Ia.A., Kaigorodov M.D. Regulirovanie geometricheskogo polozheniia zdanii, v usloviakh sil'noszhimaemykh gruntovykh osnovanii [Regulation of the geometric location of buildings, in terms of salesgeneric ground bases]. *Mekhanika gruntov v geotekhnike i fundamantostroenii: Mat. mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf.* Novocherkassk, 2018, pp. 462-466.
12. Spravochnik geotekhnika. Osnovaniia, fundamenti i podzemnye sooruzheniia: izdanie vtoroe, dopolnennoe i pererabotannoe [Handbook of geotechnical engineering. Foundations and underground structures]. Eds. V.A. Il'ichev, R.A. Mangushev. Moscow, 2016, 1040 p.
13. Mangushev R. Basic structural and technological method in construction of underground spaces on soft soil. *Disaster Migration in Special Geoenvironmental Conditions: Proc. of VIth International Geotech. Symp. on Disaster Migration in Special Geoenvironmental Conditions*, Chennai, India, 2015, pp. 60-70.
14. Harikumar M., Sankar N., Chandrakaran S. Behavior of sand reinforced with plastic 3d reinforcement. *Disaster Migration in Special Geoenvironmental Conditions: Proc. of VIth International Geotech. Symp. on Disaster Migration in Special Geoenvironmental Conditions*, Chennai, India, 2015, pp. 291-297.
15. Xiao H.W., Lee F.H., Goh S.H. Fibre distribution effect on behavior of fibre-reinforced cement-treated clay. *The 15th Asian Reg. Conf. on Soil Mech. and Geotech. Eng.* JGS Special Publ., 2015, pp. 214.
16. Chennarapu Hariprasad, Balunaini Umashankar. Load settlement response of circular footing resting on reinforced layered system. *The 15th Asian Reg. Conf. on Soil Mech. and Geotech. Eng.* JGS Special Publ., 2015, pp. 223.