

УДК 624.154, 692.115

Грузин Андрей Васильевич

кандидат технических наук, доцент

E-mail: polyot-m@mail.ru

Омский государственный технический университет

Адрес организации: 644050, Россия, г. Омск, Пр. Мира, д. 11

Грузин Владимир Васильевич

доктор технических наук, профессор

E-mail: gruzinvv@mail.ru

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина

Адрес организации: 010000, Казахстан, г. Нур-Султан, просп. Женис, д. 62

Восстановление несущей способности фундаментов зданий и сооружений существующей постройки

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – усовершенствовать технологии восстановления несущей способности фундаментов зданий и сооружений существующей постройки с помощью дополнительных опор – выносных вдавливаемых свай – путем рационального использования строительных материалов для их изготовления.

Результаты. В ходе теоретических исследований установлена возможность снижения на величину до 13,3 % материалоемкости выносных вдавливаемых свай, используемых для восстановления несущей способности фундаментов зданий и сооружений существующей постройки, по сравнению с аналогичными сваями заводского изготовления с сохранением исходной несущей способности. Лабораторные исследования подтвердили корректность полученных теоретических данных.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в сокращении материальных затрат за счёт применения инновационной конструкции вдавливаемых свай в процессе восстановления несущей способности фундаментов зданий и инженерных сооружений существующей постройки при одновременном обеспечении их эксплуатационной надёжности.

Ключевые слова: восстановление фундамента, погружение вдавливанием, железобетонная свая, несущая способность, треугольное сечение, снижение материалоемкости.

Введение

Следствием ухудшения из-за перманентных внешних воздействий природного и техногенного характера деформационных свойств грунтов оснований зданий и инженерных сооружений, находящихся в эксплуатации, является возрастание риска развития нерасчётных осадок, что, в свою очередь, может привести к возникновению чрезвычайных ситуаций. Несмотря на многовековой опыт строительства и разрешения проблем, возникающих при этом, задача обеспечения необходимой несущей способности фундаментов и грунтовых оснований не теряет своей актуальности и продолжает привлекать внимание теоретиков и практиков строительной науки: учёных, исследователей, экспериментаторов, работающих в строительной отрасли [1-11].

С целью предотвращения аварийных ситуаций, возникающих по причине нерасчётных осадок зданий и сооружений существующей постройки, в настоящее время широко используются различные технологии восстановления несущей способности их фундаментов по грунту основания [12-13]. К особенностям проведения подобных восстановительных работ относят: стеснённые условия их производства, нежелательность вывода из эксплуатации аварийного объекта на время проведения восстановительных работ, минимизацию динамического воздействия как на реконструируемое здание или сооружение, так и на окружающую застройку и инфраструктуру. Таким условиям в полной мере отвечает технология восстановления несущей способности фундаментов зданий и сооружений существующей постройки с

помощью дополнительных опор – выносных свай. Анализ классификации свай, приведённых в главе 6 «Виды свай» свода правил СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85», показал, что для стеснённых условий существующей застройки могут быть использованы, в том числе, и вдавливаемые железобетонные сваи с предварительно напряжённой арматурой. Однако необходимость использования в производстве относительно дорогостоящих материалов при изготовлении вдавливаемых железобетонных свай снижает экономическую привлекательность данной технологии для заказчика. Очевидно, что сокращение материальных затрат при производстве работ позволит повысить конкурентоспособность технологии восстановления несущей способности фундаментов зданий и сооружений существующей постройки с помощью дополнительных опор – выносных вдавливаемых железобетонных свай.

Постановка задачи

Цель исследования – усовершенствовать технологии восстановления несущей способности фундаментов зданий и сооружений существующей постройки с помощью дополнительных опор – выносных вдавливаемых свай – путем рационального использования строительных материалов для их изготовления.

Теоретические исследования

В соответствии с разделом 7.2 «Расчетные методы определения несущей способности свай» свода правил СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85» несущую способность F_d вдавливаемой сваи, работающей на сжимающую нагрузку, следует определять, как сумму расчетных сопротивлений грунтов основания под нижним концом сваи и на ее боковой поверхности по формуле:

$$F_d = \gamma_c \cdot \left(\gamma_{cR} \cdot R \cdot A + u \cdot \sum_{i=1}^n (\gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i) \right), \quad (1)$$

где γ_c – коэффициент условий работы сваи; γ_{cR} – коэффициент условий работы грунта под нижним концом сваи; R – расчётное сопротивление грунта под нижним концом сваи; A – площадь опирания на грунт сваи; u – периметр поперечного сечения сваи; γ_{cf} – коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности сваи; f_i – расчётное сопротивление i -го слоя грунта на боковой поверхности ствола сваи; h_i – толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи.

Анализ формулы (1) позволяет выявить потенциальную возможность уменьшения объёма сваи, а значит и расхода материалов на её изготовление, при одновременном сохранении её несущей способности F_d . Идея сокращения материальных затрат на изготовление сваи при одновременном сохранении величины её несущей способности F_d заключается в изменении формы её поперечного сечения, таким образом, чтобы, при неизменности несущей способности F_d сваи и её длины, уменьшить величину площади A опирания сваи на грунт – площади поперечного сечения сваи. При этом одновременно предлагается увеличить периметр u её поперечного сечения. Примером предлагаемого инженерного решения может служить использование в качестве формы поперечного сечения сваи равностороннего треугольника, который характеризуется уменьшенным значением площади по сравнению с квадратом при равенстве их периметров [14-16]. Расчёты показывают, что применение треугольного поперечного сечения теоретически позволит уменьшить массу сваи на величину до 13,3 % без уменьшения её несущих свойств.

В ходе теоретических расчётов были получены данные об относительном уменьшении объёма свай с поперечным сечением в форме равностороннего треугольника по сравнению со сваями заводского изготовления существующих типоразмеров при условии сохранения равенства несущих способностей соответствующих типоразмеров (рис. 1). В соответствии с ГОСТ 19804-2012 «Сваи железобетонные заводского изготовления. Общие технические условия» для цельных свай типа С с напрягаемой арматурой, широко используемых в строительном производстве, предусмотрены следующие линейные размеры поперечного сечения: 200, 250, 300, 350 и 400 мм. В

качестве грунта основания в расчётах были использованы: песчаный грунт средней крупности, пылевато-глинистые грунты с показателем текучести $I_L=0,0$ и $I_L=0,6$.

Как видно из представленных на рис. 1 данных, на величину относительного уменьшения объёма сваи с поперечным сечением в форме равностороннего треугольника по сравнению с соответствующей сваем заводского изготовления оказывают влияние как геометрические параметры сваи (её длина и площадь поперечного сечения), так и грунтовые условия.

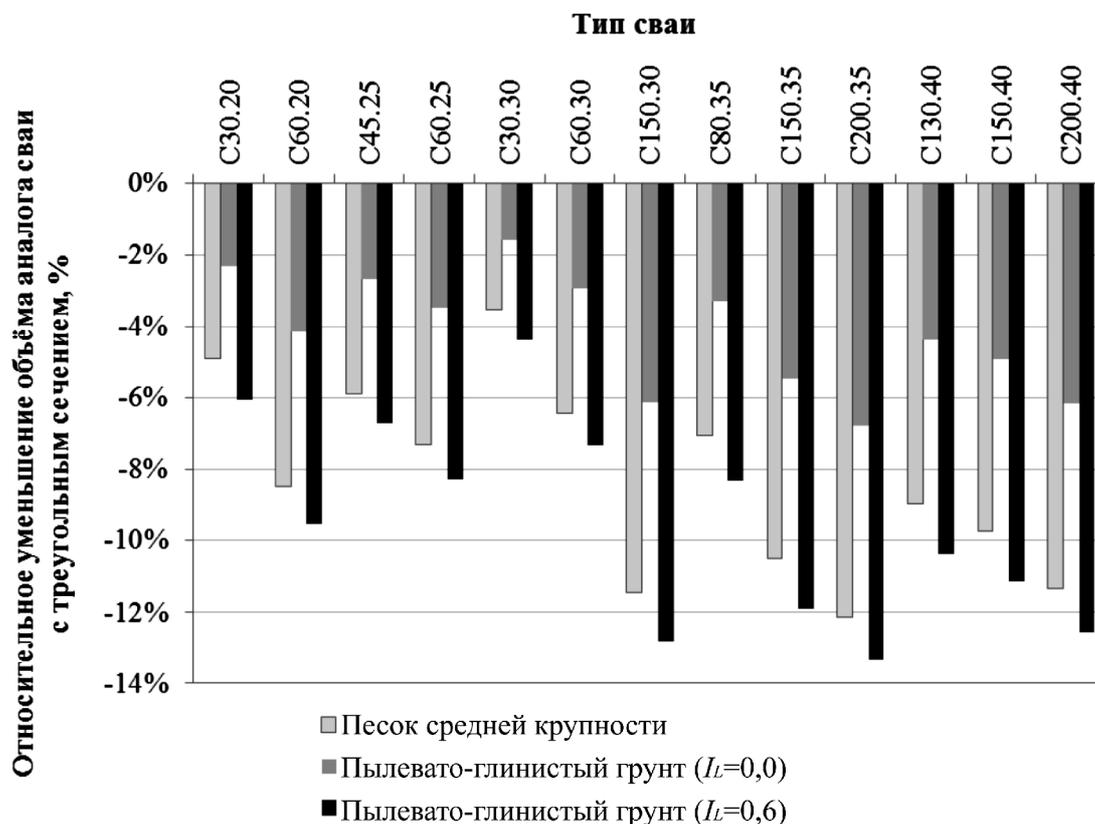


Рис. 1. Влияние грунтовых условий, площади поперечного сечения и длины сваи на относительное уменьшение объёма сваи с треугольным сечением по сравнению с соответствующими сваями заводского изготовления (иллюстрация авторов)

При условии сохранения равенства несущих способностей F_d сваи заводского изготовления с квадратным поперечным сечением и аналогичной сваи с треугольным сечением такое уменьшение объёма достигает 13,3 %.

Технология восстановления несущей способности фундаментов зданий и сооружений существующей постройки

На рис. 2 представлена технологическая последовательность восстановления несущей способности фундаментов зданий и сооружений существующей постройки с помощью дополнительных опор – выносных вдавливаемых свай.

Позиция 1.

На расстоянии L , определяемом в соответствии с выражением (2) [12, 13], от фундамента 1 устанавливают сваю 3 с навесным вдавливающим оборудованием 2, установленном на базовой машине-носителе (на рисунке не показано). Затем осуществляют завинчивание анкера 4 в грунт. В случае наличия плотных грунтов предварительно производят бурение лидирующей скважины.

$$L = \frac{D}{2 \cdot \sqrt{1 - \frac{\rho}{\rho_{\max} \cdot K_{\text{упл}}}}}, \tag{2}$$

где D – наружный диаметр поперечного сечения свай; ρ, ρ_{max} – соответственно, плотность грунта основания фундамента до уплотнения и его максимальное значение; $K_{упл}$ – коэффициент уплотнения грунта в околосвайном пространстве ($> 0,95$).

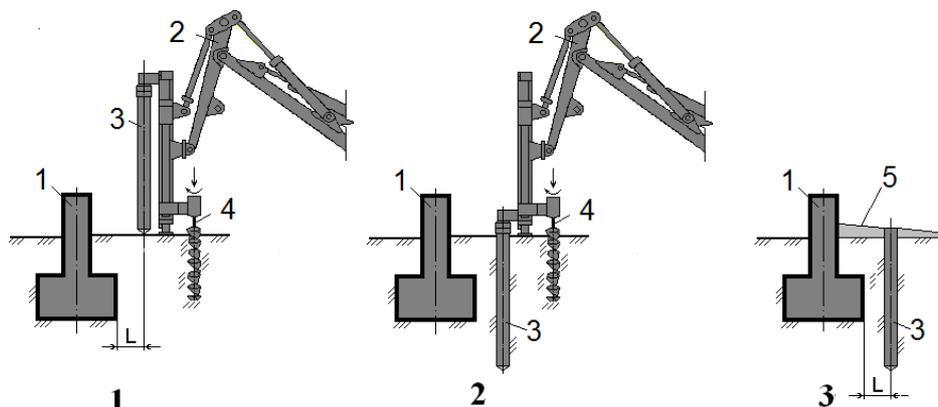


Рис. 2. Технологическая последовательность операций восстановления несущей способности фундаментов зданий и сооружений существующей постройки с помощью дополнительных опор – выносных вдавливаемых свай (иллюстрация авторов)

Позиция 2.

Производят навесным вдавливающим оборудованием 2 погружение свай 3 в грунтовый массив. Затем снимают оголовок со свай и вывинчивают анкер из грунта. Далее базовая машина-носитель с навесным вдавливающим оборудованием перемещается на новую отметку вдавливания свай.

Позиция 3.

После вдавливания свай вдоль всего фундамента (схема размещения свай вдоль фундамента представлена на рис. 3) для предотвращения от разрушения сформированной уплотненной зоны под действием атмосферных осадков устраивают отмокот, который примыкает к фундаменту.

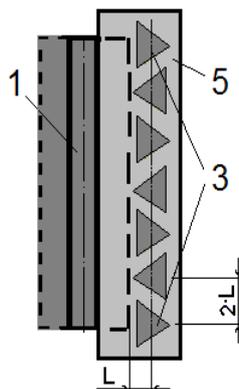


Рис. 3. Результаты выполнения операций (вид сверху) (иллюстрация авторов)

После завершения всех перечисленных операций получают готовое упрочненное основание фундамента здания.

Обсуждение результатов

В ходе теоретического этапа исследований было установлено предельное значение величины относительного уменьшения объема свай с поперечным сечением в форме равностороннего треугольника по сравнению с соответствующей свайей заводского изготовления квадратного сечения – эта величина составила 13,3 %. Однако на практике несущая способность F_d вдавливаемой свай, работающей на сжимающую нагрузку,

определяется как сумма расчетных сопротивлений грунтов основания под нижним концом сваи и на ее боковой поверхности.

Дополнительные расчёты позволили уточнить величину относительного уменьшения объёма сваи с поперечным сечением в форме равностороннего треугольника в зависимости от геометрических характеристик сваи и грунтовых условий. Было установлено, что для свай с поперечным сечением в форме равностороннего треугольника (в сравнении со сваями заводского изготовления с поперечным сечением $0,20 \times 0,20$ м) при равенстве их несущих способностей F_d относительное уменьшение объёма сваи с увеличением её длины с 3 м до 6 м для пылевато-глинистых грунтов с показателем текучести $I_L=0,0$ возросло с 2,3 % до 4,1 % (в 1,8 раза), а для пылевато-глинистых грунтов с $I_L=0,6$ – с 6,0 % до 9,5 % или в 1,6 раза. Для свай с поперечным сечением в форме равностороннего треугольника (в сравнении со сваями заводского изготовления с поперечным сечением $0,25 \times 0,25$ м) при равенстве их несущих способностей F_d относительное уменьшение объёма сваи с увеличением её длины с 4,5 м до 6 м для пылевато-глинистых грунтов с показателем текучести $I_L=0,0$ возросло с 2,7 % до 3,5 % (в 1,3 раза), а для пылевато-глинистых грунтов с $I_L=0,6$ – с 6,7 % до 8,3 % или в 1,2 раза. Для свай с поперечным сечением в форме равностороннего треугольника (в сравнении со сваями заводского изготовления с поперечным сечением $0,30 \times 0,30$ м) при равенстве их несущих способностей F_d относительное уменьшение объёма сваи с увеличением её длины с 3 м до 15 м для пылевато-глинистых грунтов с показателем текучести $I_L=0,0$ возросло с 1,6 % до 6,1 % (в 3,8 раза), а для пылевато-глинистых грунтов с $I_L=0,6$ – с 4,4 % до 12,8 % или в 2,9 раза. Для свай с поперечным сечением в форме равностороннего треугольника (в сравнении со сваями заводского изготовления с поперечным сечением $0,35 \times 0,35$ м) при равенстве их несущих способностей F_d относительное уменьшение объёма сваи с увеличением её длины с 8 м до 20 м для пылевато-глинистых грунтов с показателем текучести $I_L=0,0$ возросло с 3,3 % до 6,8 % (в 2,1 раза), а для пылевато-глинистых грунтов с $I_L=0,6$ – с 8,3 % до 13,3 % или в 1,6 раза. Для свай с поперечным сечением в форме равностороннего треугольника (в сравнении со сваями заводского изготовления с поперечным сечением $0,40 \times 0,40$ м) при равенстве их несущих способностей F_d относительное уменьшение объёма сваи с увеличением её длины с 13 м до 20 м для пылевато-глинистых грунтов с показателем текучести $I_L=0,0$ возросло с 4,4 % до 6,1 % (в 1,4 раза), а для пылевато-глинистых грунтов с $I_L=0,6$ – с 10,4 % до 12,6 % или в 1,2 раза.

Так же было установлено, что экономия материалов для изготовления свай с поперечным сечением в форме равностороннего треугольника в сравнении со сваями заводского изготовления (с квадратным поперечным сечением) возрастает при уменьшении площади поперечного сечения сваи, при увеличении длины сваи и в случае ухудшения несущих свойств грунта. Так, например, использование свай с треугольным поперечным сечением в форме равностороннего треугольника с несущей способностью, равной аналогичной характеристике свай заводского изготовления длиной 15 м и с сечением $0,4 \times 0,4$ м, $0,35 \times 0,35$ м и $0,3 \times 0,3$ м, для пылевато-глинистого грунта с $I_L=0,0$ приведёт к уменьшению объёма сваи соответственно на 4,9 %, 5,5 % и 6,1 %. В свою очередь, использование свай с треугольным поперечным сечением в форме равностороннего треугольника с несущей способностью, равной аналогичной характеристике свай заводского изготовления с сечением $0,3 \times 0,3$ м и длиной 3 м, 6 м и 15 м для пылевато-глинистого грунта с $I_L=0,0$ приведёт к уменьшению объёма сваи соответственно на 1,6 %, 2,9 % и 6,1 %. Использование свай с треугольным поперечным сечением в форме равностороннего треугольника с несущей способностью, равной аналогичной характеристике свай заводского изготовления с сечением $0,2 \times 0,2$ м и длиной 6 м для пылевато-глинистых грунтов с $I_L=0,0$ и $I_L=0,6$ приведёт к уменьшению объёма сваи соответственно на 4,1 % и 9,5 %.

Предложенная технологическая последовательность восстановления несущей способности фундаментов зданий и сооружений существующей постройки с помощью дополнительных опор – выносных вдавливаемых свай с треугольным поперечным сечением, таким образом, будет наиболее эффективной на слабых грунтах при

использовании свай максимальной длины. При этом при равной длине предпочтение следует отдавать сваям с меньшей площадью поперечного сечения.

Заключение

В ходе выполненных теоретических исследований была решена задача сокращения материальных затрат при восстановлении несущей способности фундаментов зданий и сооружений существующей постройки с помощью дополнительных опор – выносных свай, погружаемых вдавливанием. Предлагается использовать в качестве формы поперечного сечения вдавливаемых железобетонных свай равносторонний треугольник, геометрические размеры которого подбираются таким образом, чтобы сохранить несущую способность такой сваи равной аналогичному параметру сваи заводского изготовления с квадратным поперечным сечением по ГОСТ 19804-2012. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в возможности сокращения по сравнению с существующими сваями заводского изготовления их материалоемкости на величину до 13,3 % в зависимости от геометрических размеров самой сваи и грунтовых условий.

Список библиографических ссылок

1. Грузин В. В., Грузин А. В., Русанова А. Д. Прогрессивные конструкции висячих свай для работы в сложных грунтовых условиях // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2019. № 5 (89). С. 34–39.
2. Грузин А. В., Грузин В. В. Приём локального уплотнения грунта стенок скважины висячей набивной сваи : сб. мат. II Междунар. науч.-техн. конф. (Россия, Омск, 27-28 февр. 2018 г.) – Проблемы машиноведения / ОмГТУ. Омск, 2018. С. 50–55.
3. Gruzin A. V., Tokarev V. V., Shalai V. V., Logunova Yu. V. The Artificial Additives Effect to Soil Deformation Characteristics of Oil and Oil Products Storage Tanks Foundation // Procedia Engineering. 2015. № 113. P. 158–168.
4. Watanabe K., Kusakabe O. The effect of loading rate on bearing capacity of pile foundations : Proceedings of Eighth International Conference on Urban Earthquake Engineering / Japan, 2011. P. 501–508.
5. Nagai H., Tsuchiya T., Shimada M. Influence of installation method on performance of screwed pile and evaluation of pulling resistance // Soils and Foundations. 2018. № 58. vol. 2. P. 355–369.
6. Di Laora R., de Sanctis L., Aversa S. Bearing capacity of pile groups under vertical eccentric load // Acta Geotechnica. 2019. № 14. P. 193–205.
7. Roh Y., Kim I., Kim G., Lee J. Comparative Analysis of Axial Load Capacity for Piled-Raft Foundation with Changes in Groundwater Level // KSCE Journal of Civil Engineering. 2019. № 23. P. 4250–4258.
8. Liu C. Y., Ku C. Y., Xiao J. E., Huang C. C., Hsu S. M. Numerical Modeling of Unsaturated Layered Soil for Rainfall-Induced Shallow Landslides // Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. 2017. № 25 (04). P. 329–341.
9. Liu W., Hutchinson T. C. Numerical Investigation of Stone Columns as a Method for Improving the Performance of Rocking Foundation Systems // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2018. № 106. P. 60–69.
10. Samanta M., Mohanty P. Experimental and Numerical Studies on Response of the Stone Column in Layered Soil // International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering. 2015. № 1 (3). P. 1–14.
11. Samanta M., Bhowmik R. 3D Numerical Analysis of Piled Raft Foundation in Stone Column Improved Soft Soil // International Journal of Geotechnical Engineering. 2017. № 13 (5). P. 474–483.
12. Абраменков Д. Э., Грузин А. В., Грузин В. В., Нуждин Л. В. Технология и механизация подготовки оснований и устройства свайных. Караганда : Болашак-Баспа, 2002. 264 с.

13. Абраменков Д. Э., Грузин А. В., Грузин В. В. Средства механизации и технология строительного производства. Saarbrücken : Palmarium academic publishing, 2012. 327 с.
14. Грузин А. В., Грузин В. В. Анализ удельной несущей способности свай с различной формой поперечного сечения. // Актуальные проблемы современности: Международный научный журнал. 2009. № 12 (46). С. 27–30.
15. Грузин А. В., Грузин В. В. Влияние геометрии фундаментов объектов трубопроводного транспорта углеводородов на пространственное распределение сжимающих напряжений в их грунтовых основаниях // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2017. № 12. С. 18–25.
16. Gruzin A. V., Gruzin V. V. Method of the cast-in-place friction pile well walls local soil compaction // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1050.

Gruzin Andrey Vasilyevich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: polyot-m@mail.ru

Omsk State Technical University

The organization address: 644050, Russia, Omsk, Mir ave., 11

Gruzin Vladimir Vasilyevich

doctor of technical sciences, professor

E-mail: guzinvv@mail.ru

Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin

The organization address: 010000, Kazakhstan, Nur-Sultan, Zhenis ave., 62

**Restoration of the bearing capacity of foundations
of buildings and structures of existing construction**

Abstract

Problem statement. The purpose of the research is to improve the technology of restoring the load-bearing capacity of foundations of buildings and structures of existing construction with the help of additional supports-remote pressed piles – by rational use of building materials for their manufacture.

Results. During theoretical researches, the possibility of reducing by up to 13.3 % of the material of the pushed external piles used to restore the bearing capacity of foundations of buildings and structures existing buildings, compared to similar fabricated piles at their original carrying capacity. Laboratory studies have confirmed the correctness of the theoretical data obtained.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry is to reduce material costs by using innovative design of pressed piles in the process of restoring the load-bearing capacity of foundations of buildings and engineering structures of existing construction while ensuring their operational reliability.

Keywords: foundation restoration, indentation, reinforced concrete pile, load-bearing capacity, triangular cross-section, reduction of material consumption.

References

1. Gruzin V. V., Gruzin A. V., Rusanova A. D. Advanced design of friction piles for operation in complicated soil conditions // Delovoy zhurnal Neftegaz.RU. 2019. № 5 (89). P. 34–39.
2. Gruzin A. V., Gruzin V. V. Method of the cast-in-place friction pile well walls local soil compaction : materials of the II intern. science.-tech. conf. (Russia, Omsk, February 27-28. 2018). – Mechanical science and technology update / OmGTU. Omsk, 2018. P. 50–55.
3. Gruzin A. V., Tokarev V. V., Shalai V. V., Logunova Yu. V. The Artificial Additives Effect to Soil Deformation Characteristics of Oil and Oil Products Storage Tanks Foundation // Procedia Engineering. 2015. № 113. P. 158–168.

4. Watanabe K., Kusakabe O. The effect of loading rate on bearing capacity of pile foundations : Proceedings of Eighth International Conference on Urban Earthquake Engineering / Japan, 2011. P. 501–508.
5. Nagai H., Tsuchiya T., Shimada M. Influence of installation method on performance of screwed pile and evaluation of pulling resistance // Soils and Foundations. 2018. № 58, vol. 2. P. 355–369.
6. Di Laora R., de Sanctis L., Aversa S. Bearing capacity of pile groups under vertical eccentric load // Acta Geotechnica. 2019. № 14. P. 193–205.
7. Roh Y., Kim I., Kim G., Lee J. Comparative Analysis of Axial Load Capacity for Piled-Raft Foundation with Changes in Groundwater Level // KSCE Journal of Civil Engineering. 2019. № 23. P. 4250–4258.
8. Liu C. Y., Ku C. Y., Xiao J. E., Huang C. C., Hsu S. M. Numerical Modeling of Unsaturated Layered Soil for Rainfall-Induced Shallow Landslides // Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. 2017. № 25 (04). P. 329–341.
9. Liu W., Hutchinson T. C. Numerical Investigation of Stone Columns as a Method for Improving the Performance of Rocking Foundation Systems // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2018. № 106. P. 60–69.
10. Samanta M., Mohanty P. Experimental and Numerical Studies on Response of the Stone Column in Layered Soil // International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering. 2015. № 1 (3). P. 1–14.
11. Samanta M., Bhowmik R. 3D Numerical Analysis of Piled Raft Foundation in Stone Column Improved Soft Soil // International Journal of Geotechnical Engineering. 2017. № 13 (5). P. 474–483.
12. Abramenkov D. E., Gruzin A. V., Gruzin V. V., Nuzhdin L. V. Technology and mechanization of preparation of bases and devices of pile. Karaganda : Bolashak-Baspa, 2002. 264 p.
13. Abramenkov D. E., Gruzin A. V., Gruzin V. V. Means of mechanization and technologies of construction production. Saarbrücken: Palmarium academic publishing, 2012. 327 p.
14. Gruzin A. V., Gruzin V. V. Analysis of the specific load-bearing capacity of piles with different cross-section shapes. // Aktualniye problemy sovremennosti : Mezhdunarodniy nauchniy zhurnal. 2009. № 12 (46). P. 27–30.
15. Gruzin A. V., Gruzin V. V. Influence of the geometry of foundations of objects of pipeline transport of hydrocarbons on the spatial distribution of compressive stresses in their ground bases // Delovoy zhurnal Neftegaz.RU. 2017. № 12. P. 18–25.
16. Gruzin A. V., Gruzin V. V. Method of the cast-in-place friction pile well walls local soil compaction // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1050.