

Математическое моделирование фундамента из козловых свай при сейсмическом воздействии

О.В. Коптева¹, Е.А. Муравьева¹, Г.Т. Серажетдинова^{1,2}

¹*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва*

²*ООО СЗ «ПСФ "КРОСТ», Москва*

Аннотация: Козловые сваи были разработаны для передачи увеличенной нагрузки на грунт основания при возведении мостов и путепроводов за счет большей, по сравнению с вертикальными сваями, площади соприкосновения свай с грунтом. Проектирование фундаментов из козловых свай является наиболее трудоемким. Ответственность совершения ошибки возрастает при проектировании данного фундамента сейсмических условиях. Данная статья рассматривается моделирование работы грузовых свай в условиях сейсмической нагрузки при возведении фундамента для мостовых опор. Полученные результаты является частью большого научного исследования о возможности применения козловых свай при высотном строительстве в условиях землетрясений от 6 до 10 баллов по шкале Рихтера.

Ключевые слова: козловые сваи, фундамент глубокого заложения, сейсмические воздействия, путепровод, моделирование, метод конечных элементов, грунтовый массив, напряжения, деформации, система «фундамент – грунтовый массив».

Для увеличения несущей способности фундамента глубокого заложения, свайного фундамента применяют так называемые козловые сваи [1]. К козловым сваям прибегают при устройстве сильно нагруженных опор мостов и путепроводов, причалов морских портов, заводских труб и т.д. [2]. Конструктивно козловые сваи отличаются от обычных свай тем, что они устанавливаются под углом к вертикали [3, 4]. Это увеличивает площадь соприкосновения с грунтовым массивом для увеличения несущей способности [5, 6]. Расчет таких конструкций весьма трудоемкий, и потому для решения данной задачи чаще всего прибегают к математическому моделированию методами конечных элементов при помощи различных геотехнических программ [7, 8]. При проектировании свайных фундаментов в сейсмических районах важно также учитывать динамические характеристики самих свай, которые играют значительную роль в работе системы «фундамент – грунтовый массив». Сваи должны быть

спроектированы таким образом, чтобы обеспечить достаточную жесткость и прочность, позволяя им эффективно воспринимать и распределять нагрузки, возникающие во время землетрясения [9, 10]. На рис. 1 представлена расчетная схема моделирования свай 20°.

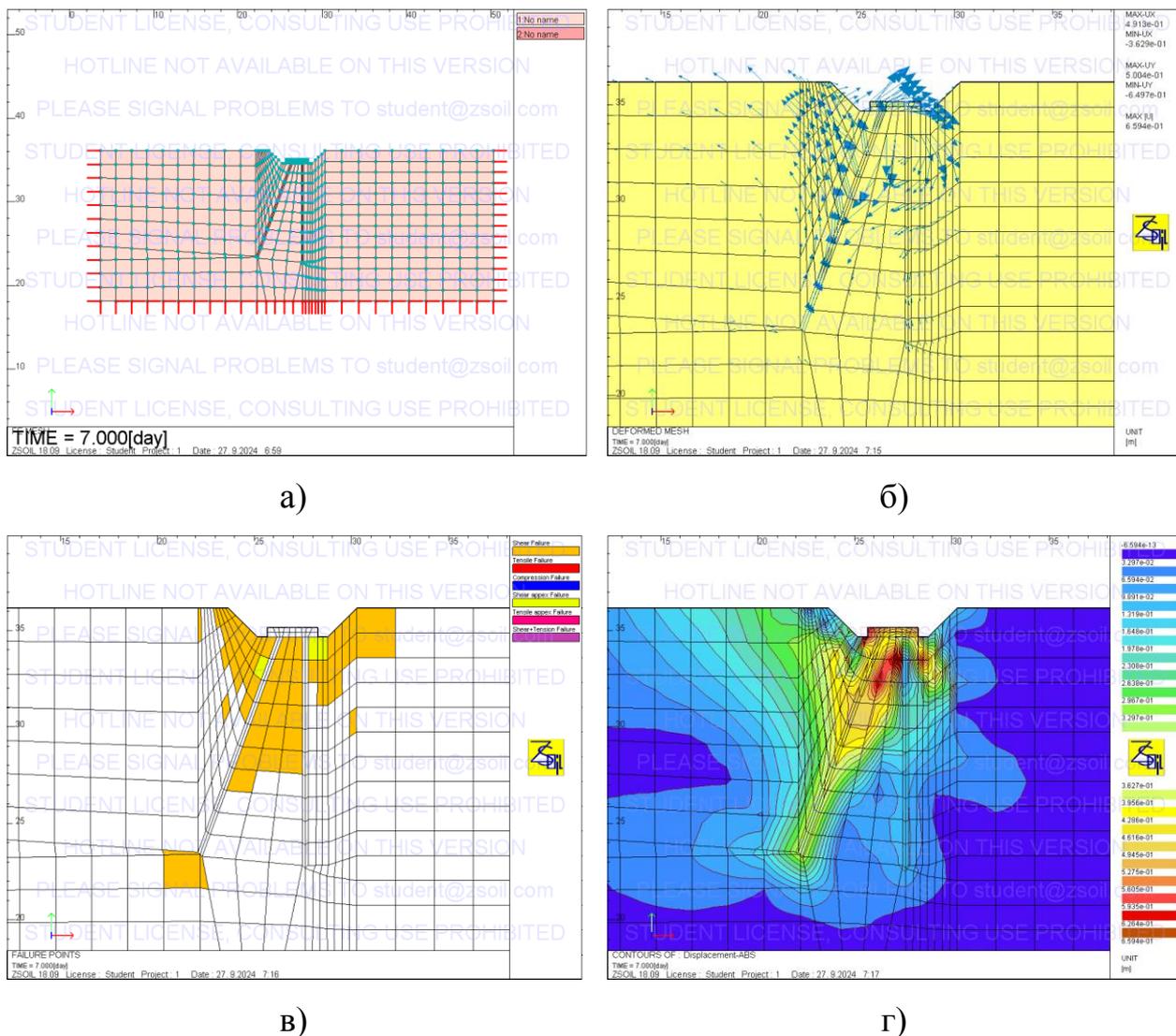


Рис. 1. – Расчет козловых свай 20°: а) расчетная схема, б) деформация конструкций фундамента, в) зоны пластических течений, г) перемещения в массиве

Расчетные схемы проектирования козловых свай в сейсмических условиях составлены для землетрясений от 6 до 10 баллов по шкале Рихтера. Данные расчетные схемы составлены в соответствии с рекомендациями по

проектированию данного типа фундаментов. Угол наклона по вертикали составляет, как правило, 7– 20 градусов. На рис. 2 представлена расчетная схема моделирования свай 7°.

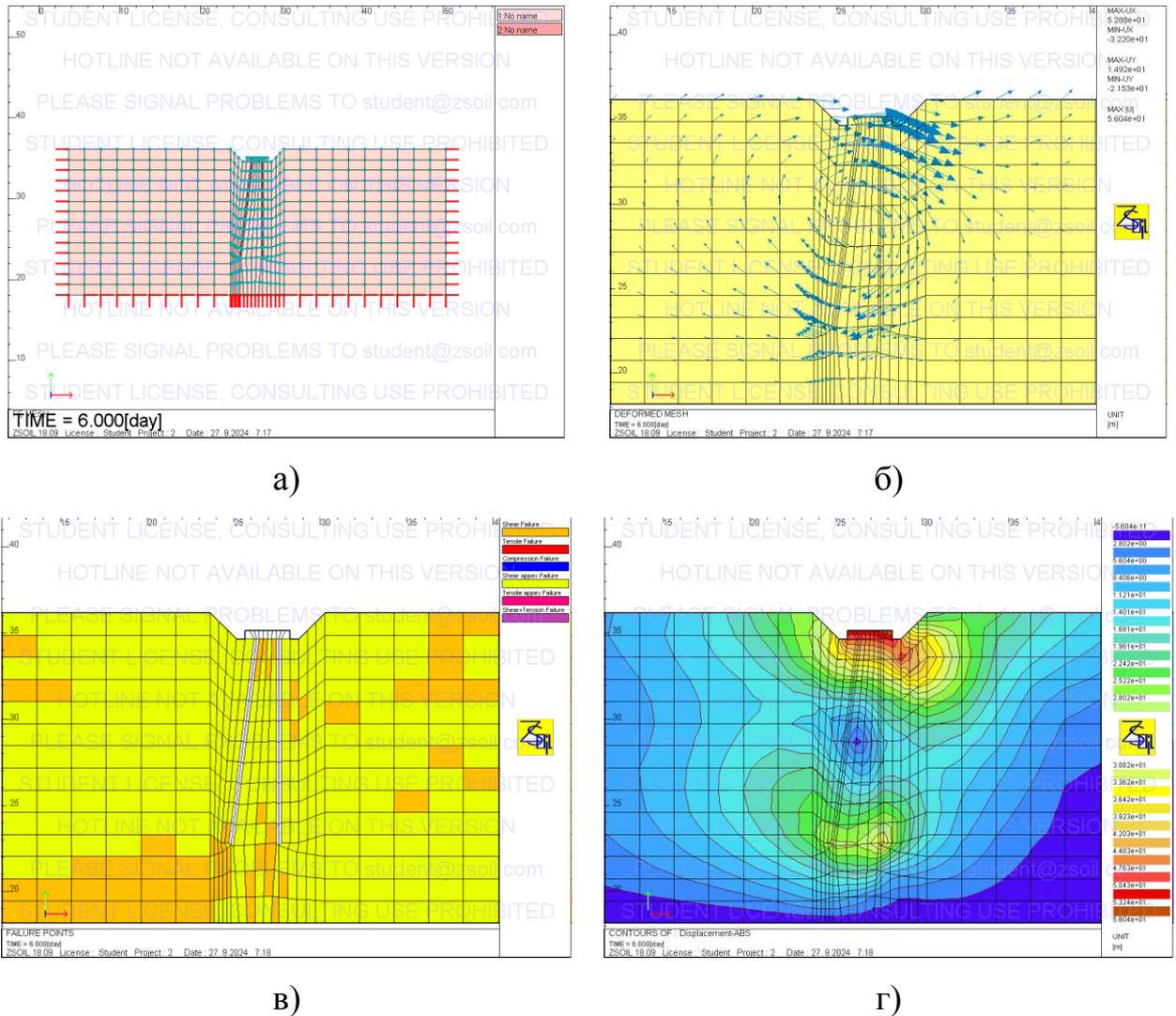


Рис. 2. – Расчет козловых свай 7°: а) расчетная схема, б) деформация конструкций фундамента, в) зоны пластических течений, г) перемещения в массиве

Далее расчет было решено сделать для усредненного значения угла наклона в 13° (рис. 3). В результате проведенного моделирования можно сделать вывод о том, что при угле наклона 7° сваи фундамента при сейсмических нагрузках не работают как козловые.

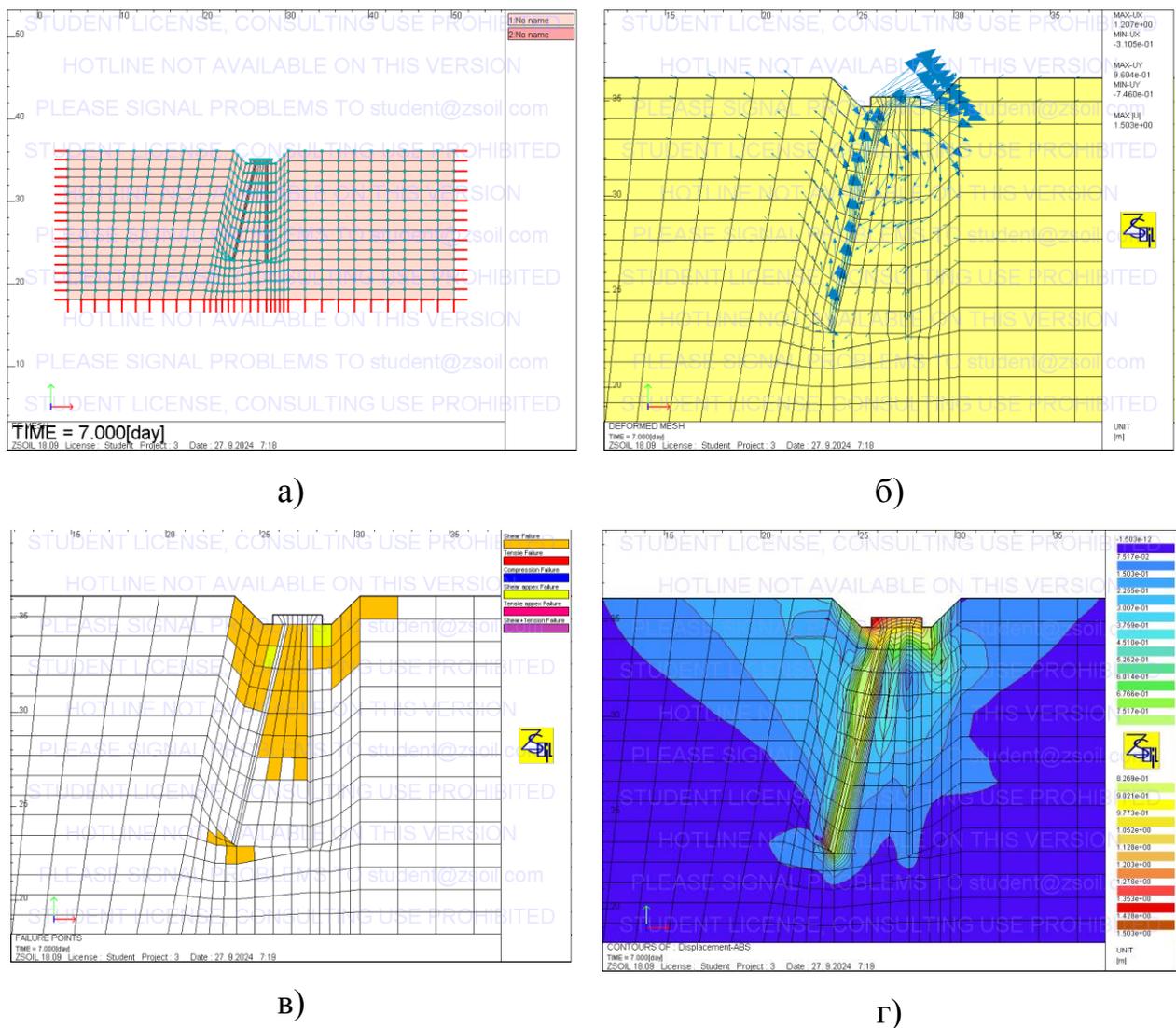


Рис. 3. – Расчет козловых свай 13°: а) расчетная схема, б) деформация конструкций фундамента, в) зоны пластических течений, г) перемещения в массиве

К тому же грунтовый массив испытывает большие пластические течения – разуплотнения в массиве с максимальными перемещениями в массиве 560 см, что нет при 13° и 20°. Под действием сейсмических нагрузок до 10 баллов по шкале Рихтера при таких наклонах работают сваи как козловые. Максимальные перемещения в массиве составляют 150 и 65,9 сантиметров соответственно. При этом зона пластических течений находится только в верхней зоне свай, сразу под ростверком.

Как видно, при большем угле наклона сваи деформации стали меньше. Поэтому было принято решение увеличить угол наклона козловой сваи до 35° . Результаты проведенного моделирования представлены на рис. 4.

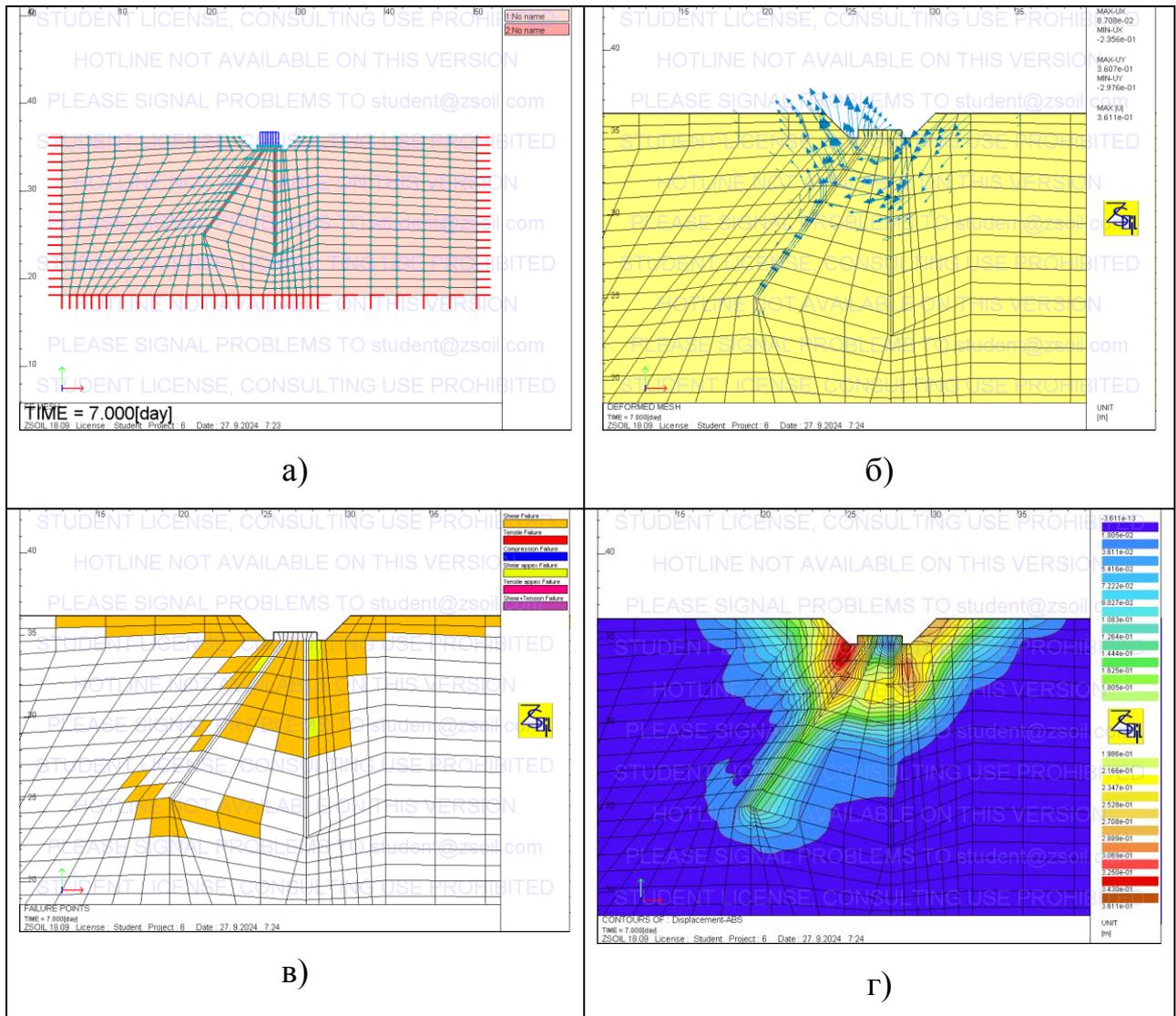


Рис. 4. – Расчет козловых свай 35° : а) расчетная схема, б) деформация конструкций фундамента, в) зоны пластических течений, г) перемещения в массиве

Полученные результаты свидетельствуют о наличии больших зон пластического течения под концами свай и в верхней зоне. Максимальные перемещения в массиве составят 36,1 см, что меньше почти в два раза по сравнению с углом наклона в 20° .

Дальнейшее увеличение угла наклона до 45° привело к полному разрушению фундамента от действия сейсмических нагрузок. Следовательно, можно сделать окончательный вывод, что при сейсмических нагрузках наиболее предпочтительным является фундамент из козловых свай при угле наклона от 20 до 30 градусов. Угол в 35° следует признать не совсем удовлетворительным в связи с имеющимися зонами разуплотнения грунта под концами свай.

Литература

1. Крахмальный Т.А. Исследование влияния увеличения периметра ленточного фундамента на несущую способность основания // Инженерный вестник Дона. 2009. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2009/128.
2. Тянь В.Ю., Журавлев А.В. Астраханский мост в Волгограде: символ и проблемы // Инженерный вестник Дона. 2018. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5320/.
3. Бай В.Ф., Еренчинов С.А. Численный Анализ деформации основания рамно-козловых фундаментов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2014. № 2. С. 219-228
4. Chaikla K., Thongmune, S., Jitsangiam, P., Chakkaeo K. Behaviors of Inclined Single Piles and Pile Groups Subjected to Vertical and Horizontal Loads Based on Physical Model Tests in Sand. // KSCE Civil Engineering. 2023. Vol. 27. pp. 2813–2821. URL: doi.org/10.1007/s12205-023-1394-0.
5. Zhussupbekov A., Sarsembayeva A., Bazarov B., Omarov A. Design of Conical Foundations with Increased Bearing Capacity in Areas of Undermined Soils // Applied Sciences. 2024. № 14(5). URL: doi.org/10.3390/app14051816.

6. Kolay P.K., Kumar S., Tiwari D. Improvement of Bearing Capacity of Shallow Foundation on Geogrid Reinforced Silty Clay and Sand // Construction Engineering. 2013. №6. URL: doi.org/10.1155/2013/293809.

7. Богданов Е.Н. К определению несущей способности свай // Грунтоведение. 2015. № 2. С. 41-48.

8. Королев К.В. Оптимальное проектирование свайных фундаментов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2010. № 23. С. 40-45.

9. Мариничев М.Б. Опыт реализации нестандартных методов проектирования и строительства фундаментов высотных зданий в сейсмических районах // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 125. С. 623-657. URL: doi.org/10.21515/1990-4665-125-043.

10. Панасенко Н.Н., Синельщиков А.В. Метод конечных элементов в теории сейсмостойкости грузоподъемных кранов. Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2020. 376 с.

References

1. Krakhmalny, T.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2009. № 2. URL: ivdon.ru/en/magazine/archive/n2y2009/128.

2. Tyan, V.Yu., Zhuravlev, A.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. № 4. URL: ivdon.ru/en/magazine/archive/n4y2018/5320/.

3. Bai, V.F., Erenchinov, S.A. Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. 2014. № 2. Pp. 219-228.

4. Chaikla K., Thongmune, S., Jitsangiam, P., Chakkaeo K. KSCE Civil Engineering. 2023. Vol. 27. Pp. 2813–2821. URL: doi.org/10.1007/s12205-023-1394-0.



5. Zhussupbekov A., Sarsembayeva A., Bazarov B., Omarov A. Applied Sciences. 2024. № 14(5). URL: doi.org/10.3390/app14051816.
6. Kolay P.K., Kumar S., Tiwari D. Construction Engineering. 2013. №6. URL: doi.org/10.1155/2013/293809.
7. Bogdanov E.N. Gruntovedenie. 2015. № 2. Pp. 41-48.
8. Korolev K.V. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija. 2010. № 23. pp. 40-45.
9. Marinichev M.B. Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 125. pp. 623-657. URL: doi.org/10.21515/1990-4665-125-043.
10. Panasenko N.N., Sinel'shhikov A.V. Metod konechnyh jelementov v teorii sejsmostojkosti gruzopod'jomnyh kranov [Finite element method in the theory of seismic stability of hoisting cranes]. Astrahan: Astrahanskij gosudarstvennyj tehnikeskij universitet, 2020. 376 p.

Дата поступления: 15.09.2024

Дата публикации: 26.10.2024