



(25)-0421-1

К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КАРКАСА ДЛЯ МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ, СТРОЯЩЕГОСЯ НА КРУТОМ СКЛОНЕ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ ЗАСТРОЙКИ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Александр Владимирович Синцов¹, Наталья Владимировна Данченко²

^{1,2}Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, институт строительства и архитектуры,

Республика Крым, Симферополь, Россия,

¹sintsov_a.v@mail.ru, ²natahsa_86nn1986@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена вопросам строительства на территориях с крутым рельефом. Разработке конструктивных решений зданий с конструкциями фундаментов, конструкция которых позволяет вести строительство зданий на наклонных участках без подрезки склона, сократить объем земляных работ с сохранением целостности природного рельефа местности посвящено значительное количество исследований. Рельеф южного Крыма в большей степени сложен гористой местностью, что естественно усложняет строительство на данных территориях ввиду существенных объемов земляных работ. В связи с этим актуальность вопросов, посвященных разработке конструктивных решений зданий с перекрестно-ленточными фундаментами пригодных для застройки сложных в инженерном отношении участков со строительством становится очевидной. В частности в прибрежной зоне г. Алушта в районе «Профессорский уголок» на конструктивное решение зданий высотой 3–5 этажей накладывает свой отпечаток крутой склон местности. Перепад высот на участке строительства здания лежит в пределах 2–3 метра при длине здания в 15–20 метров. В работе приведены данные исследований напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов каркаса и фундамента под зданием при сейсмическом воздействии. Для этого были разработаны три пространственные расчетные модели с использованием ПК «Лира САПР». В результате проведенных расчетов получены мозаики давления на грунт R_z под фундаментом компьютерных моделей, перемещений узлов элементов от различных загрузок и расчетных сочетаний нагрузок. Определены вертикальные перемещения элементов фундаментов от собственного веса конструкций здания, образующих несущий остов здания с разным материалом несущего конструктива здания. Целью численных исследований является снижение материалоемкости здания при строительстве без снижения его прочности и жесткости.

Ключевые слова: металлический каркас, плитный фундамент, перекрестно-ленточный фундамент, конечный элемент, метод конечного элемента, расчетная модель

Для цитирования: Синцов А. В., Данченко Н. В. К вопросу об эффективности металлического каркаса для многоэтажного здания, строящегося на крутом склоне в стесненных условиях застройки Крымского полуострова // *Металлические конструкции*. 2025. Том 31, № 2. С. 47–55. doi: 10.71536/mc.2025.v31n2.1. edn: oyvvhvk.



Original article

TO THE QUESTION OF THE EFFECTIVENESS OF THE METAL FRAME FOR A MULTI-STOREY BUILDING UNDER CONSTRUCTION ON A STEEP SLOPE IN CONFINED BUILDING CONDITIONS OF THE CRIMEAN PENINSULA**Alexander V. Sintsov¹, Natalia V. Danchenko²**^{1,2} *Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky, Institute of Construction and Architecture, Republic of Crimea, Simferopol, Russia,*¹ *sintsov_a.v@mail.ru,* ² *natahsa_86nn1986@mail.ru*

Abstract. The article is devoted to construction issues in territories with steep terrain. A significant amount of research is devoted to the development of structural solutions for buildings with foundation structures, the design of which allows the construction of buildings on inclined sections without cutting the slope, to reduce the volume of earthworks while maintaining the integrity of the natural terrain. The relief of the southern Crimea is more complicated by mountainous terrain, which naturally complicates the construction in these territories due to the significant volume of earthworks. In this regard, the relevance of the issues devoted to the development of structural solutions for buildings with cross-tape foundations suitable for the development of engineering complex areas with construction becomes obvious. In particular, in the coastal zone of Alushta in the «Professors Corner» area, a steep slope of the terrain imposes its imprint on the design of buildings with a height of 3–5 floors. The height difference on the building construction site lies within 2–3 meters with a building length of 15–20 meters. The paper presents data on studies of the stress-strain state (SSS) of the frame and foundation elements under the building under seismic impact. For this, three spatial calculation models were developed using the Lira CAD PC. As a result of the calculations carried out, tessellations of pressure on the soil R_z under the foundation of computer models, displacements of element nodes from various loads and calculated combinations of loads were obtained. Vertical movements of foundation elements from the dead weight of the building structures forming the load-bearing framework of the building with different materials of the load-bearing structure of the building are determined. The purpose of numerical research is to reduce the material consumption of the building during construction without reducing its strength and rigidity.

Keywords: metal frame, slab foundation, cross-strip foundation, finite element, finite element method, calculation model

For citation: Sintsov A. V., Danchenko N. V. To the question of the effectiveness of the metal frame for a multi-storey building under construction on a steep slope in confined building conditions of the Crimean peninsula. *Metal Constructions*. 2025;31(2): 47–55. (in Russ.). doi: 10.71536/mc.2025.v31n2.1. edn: oyvhvk.

Введение

Удобное месторасположение Крыма вызывало и вызывает интерес со стороны инвесторов по освоению южных частей Крымского полуострова. В начале 70-х прошлого столетия Советское государство приняло решение о комплексной застройке южного и юго-восточных частей Крыма [1]. Сегодня настоящий бум строительства в Крыму и особенно в южной и юго-западной час-

тей привел к сокращению свободных территорий для строительства. Отсутствие свободного выбора территорий под строительство подталкивает инвесторов, застройщиков использовать территории с крутым рельефом, которые ранее не рассматривались.

Рельеф южного Крыма в большей степени сложен гористой местностью, что естественно усложняет строительство на данных территориях

в виду существенных объемов земляных работ. Актуальность вопросов, посвященных освоению и застройке сложных в инженерном отношении участков с применением зданий с перекрестно-ленточными фундаментами становится очевидной.

Анализ последних исследований и публикаций

Разработке конструктивных решений зданий с фундаментами, конструкция которых позволяет вести строительство зданий на наклонных участках без подрезки склона, сократить объем земляных работ с сохранением целостности природного рельефа местности посвящено значительное количество исследований [2–4].

В работах [5–8] рассмотрены вопросы расчета устойчивости крутых склонов с учетом пространственной формы тела обрушения, учет при разработке фундаментов возможных просадок и карст на горных склонах и смягчение последствий их образования.

Цель работы

Застройка городских территорий южного берега Крыма имеет свои особенности, одна из которых – наличие на реконструируемой территории различных зданий и сооружений, принадлежащих гражданам и организациям. Данные здания и сооружения имеют различный статус собственности, на территории распо-

лагаются реликтовые насаждения, и при проведении работ по реконструкции в отдельных случаях участки будущего строительства получают неправильной формы. В частности в прибрежной зоне г. Алушта в районе «Профессорский уголок» на конструктивное решение зданий высотой 3–5 этажей накладывает свой отпечаток крутой склон местности. Перепад высот на участке строительства здания лежит в пределах 2–3 метра при длине здания в 15–20 метров. Данные особенности рельефа оказывают влияние на контуры будущего здания, варианты которого представлены на рис. 1. Особенности рельефа района строительства тесно связаны с его геологическим строением и историей развития тектонических движений. Участок изысканий расположен на склоне главной гряды Крымских гор. Рельеф участка – сложный, с крутым склоном. Участок изысканий в месте будущего строительства в большей части сложен аргиллитом с незначительным верхним слоем твердого, бурого суглинка. Для проведения дальнейших расчетов в качестве основания под фундаменты здания принят аргиллит, модуль деформации которого в естественном состоянии составляет 45 МПа, а удельное сцепление – 73 КПа [13].

Основной материал

При создании расчетных моделей для выявления степени влияния массы сооружения на напряженно-деформированное состояние (НДС)

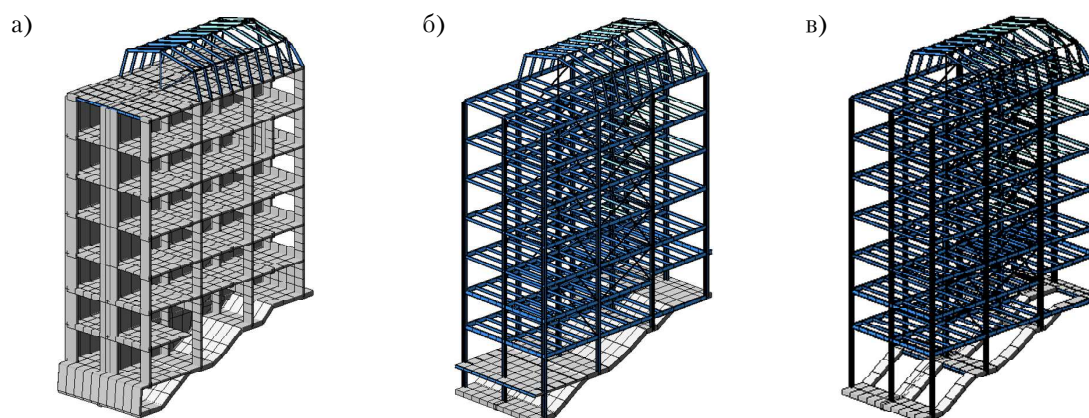


Рисунок 1 – Общий вид компьютерных моделей здания: а) здание из монолитного железобетона, опирающееся на плитный фундамент; б) здание с металлическим каркасом по рамно-связевой схеме, опирающееся на плитный фундамент; в) здание с металлическим каркасом по рамно-связевой схеме, опирающееся на ленточный фундамент.

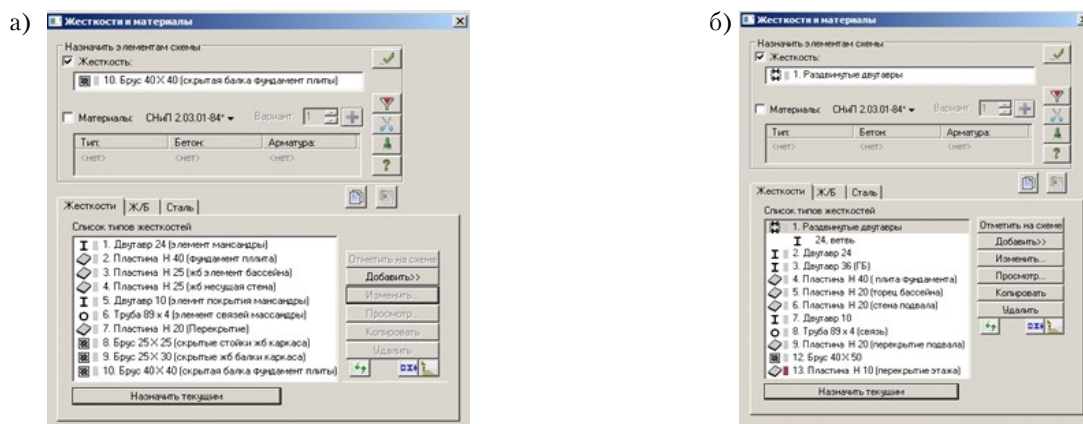


Рисунок 2 – Жесткости элементов здания: а) жесткости элементов здания из монолитного железобетона; б) жесткости элементов здания с металлическим каркасом по рамно-связевой схеме.

элементов каркаса и фундамента под зданием при сейсмическом воздействии были разработаны три пространственные расчетные модели с использованием ПК «Лира САПР» [12].

Первый вариант конструктивного решения здания – здание выполнено из монолитного железобетона. В первом варианте несущий остов опирается на плитный фундамент [10; 12–15].

Второй вариант конструктивного решения здания – здание с металлическим каркасом по рамно-связевой схеме со стенами из легких пенобетонных блоков. Во втором варианте колонны металлического каркаса опираются на плитный фундамент, как в первом варианте [9–15].

В третьем варианте колонны металлического каркаса опираются на ступенчатый ленточный фундамент, при этом колонны металлического каркаса опираются на перекрестно-ленточные железобетонные фундаменты [9–15].

В качестве основного элемента для создания расчетной модели первого варианта принят конечный элемент 44 – элемент для создания оболочки, балки-стенки и прочих пластинчатых конструкций, а для создания расчетной модели второго и третьего вариантов приняты для балок, колонн принят конечный элемент 10 с соответствующими жесткостными характеристиками [12].

Нагрузки смоделированы приближенными к реальности. Расчеты моделей проводились на перечень нагрузок для гражданского здания с учетом сейсмичности района строительства и на РСН (расчетные сочетания нагрузок) представленные на рис. 3.

В результате проведенных расчетов получены мозаики давления на грунт R_z под фундаментом компьютерных моделей, перемещений узлов элементов от различных загрузок и расчетных сочетаний нагрузок (рис. 4).

Критериями для сравнения результатов расчетов компьютерных моделей являлись минимальные значения давления несущего остова здания на грунт и значения перемещений верхних узлов моделей от различных загрузок.

Выше приведен рисунок с изополями вертикальных перемещений элементов фундаментов от собственного веса конструкций здания, образующих несущий остов здания.

Из приведенных на мозаиках значений вертикальных перемещений видно, что изменение материала конструктива здания с железобетона на металл позволяет снизить данные перемещения практически в два раза.

Для снижения расхода материалов на конструкции фундаментов, учитывая полученный выше результат, была разработана модель с ленточным фундаментом под здание в виде поперечных лент под несущие колонны поперечных металлических рам. Данные поперечные фундаментные ленты перевязаны между собой продольными фундаментными лентами с учетом уклона рельефа, на котором здание располагается.

Для определения эффективности принятых конструктивных решений несущего остова здания были получены мозаики давления на грунт R_z под фундаментом компьютерных моделей, значения которых приведены на рис. 5, 6, 7.

Расчетные сочетания нагрузок							
СП 20.13330.2016				<input checked="" type="checkbox"/> Не учитывать сейсмику для II-го ПС		<input checked="" type="checkbox"/> Не учитывать особое загруз для II-го ПС	
	N загруз.	Наименование	Вид	1	2	3	7
1	1	Собственный вес	Постоянное(П)	1.0	1.0	.9	.9
2	2	Вес перекрытия покрыт	Постоянное(П)	1.0	1.0	.9	.9
3	3	снег	Кратк. доминиру	.9	.9	.9	.9
4	4	технология	Длительное(Д)	.95	.95	.8	.8
5	5	Ветер поперек (X)	Мгновенное(М)	.9	.0	.0	.0
6	6	Ветер вдоль (У)	Мгновенное(М)	.0	.9	.0	.0
7	+7	Сейсмика по X	Сейсмика(С)	.0	.0	1.0	.0
10	+8	Сейсмика по Y	Сейсмика(С)	.0	.0	.0	1.0
15	9	давление грунта	Постоянное(П)	1.0	1.0	.9	.9
16	10	вода бассейна	Длительное(Д)	.95	.95	.8	.8
17	11	сейсмика Z	Сейсмика(С)	.0	.0	.0	.0

Рисунок 3 – Таблица расчетных сочетаний усилий нагрузок при расчете моделей.

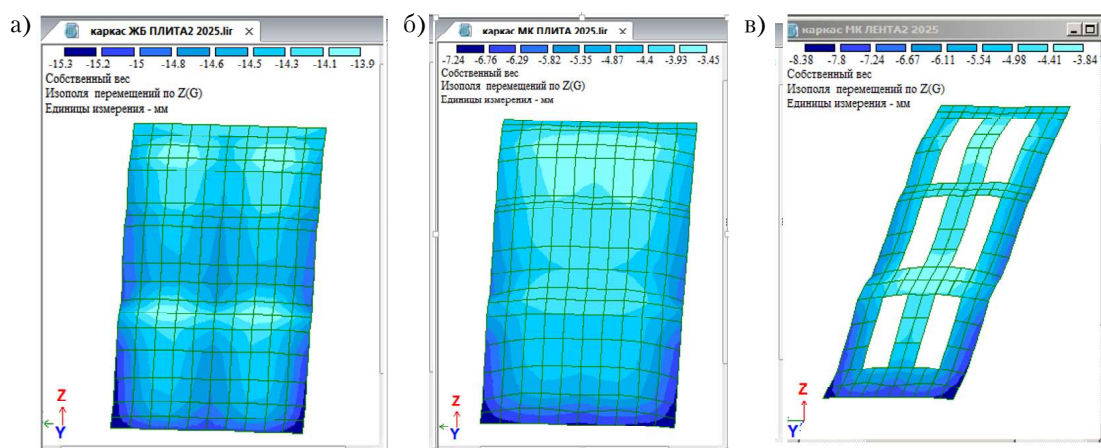


Рисунок 4 – Мозаики перемещений элементов фундаментов различных моделей здания.

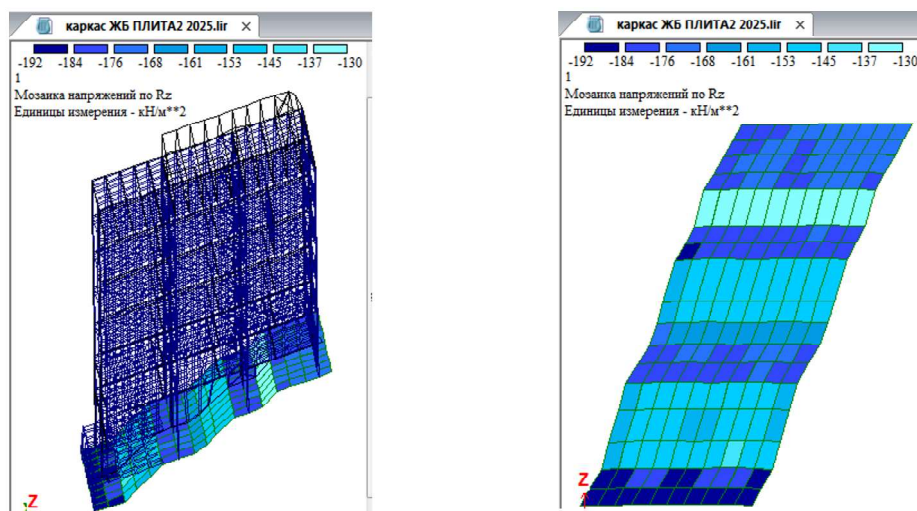


Рисунок 5 – Мозаика давления на грунт от собственного веса модели здания № 1 с несущими железобетонными стенами и диафрагмами.

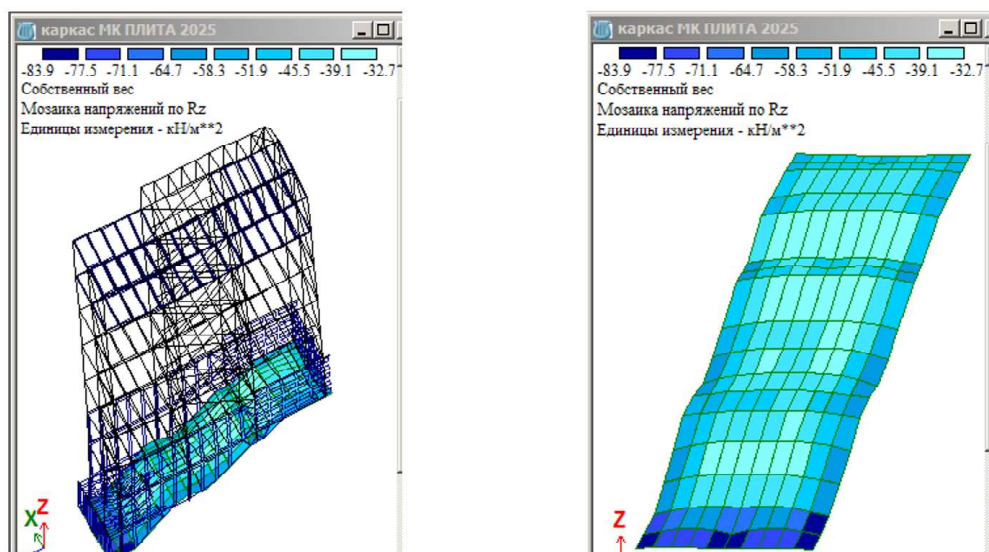


Рисунок 6 – Мозаика давления на грунт от собственного веса модели здания № 2 с несущим металлическим каркасом с плитным фундаментом.

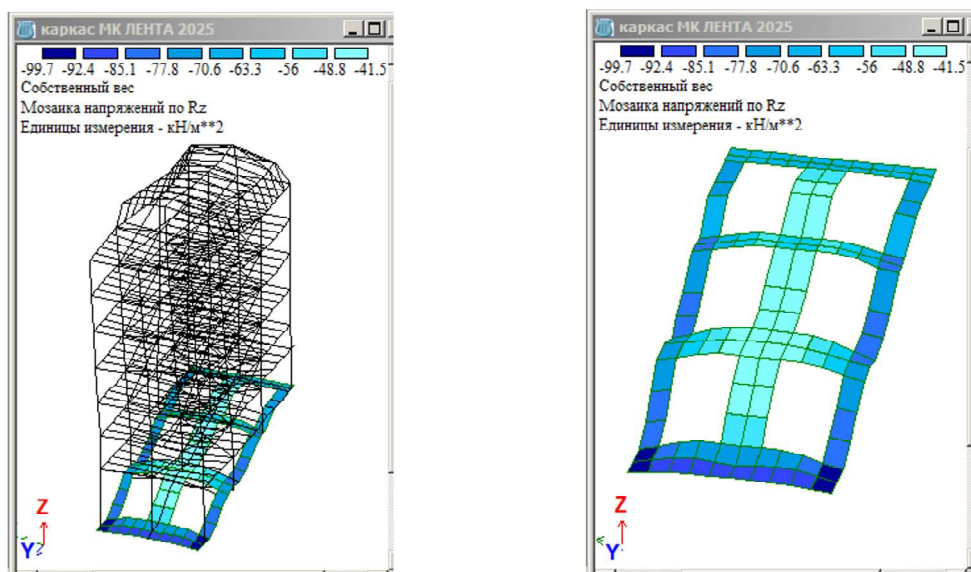


Рисунок 7 – Мозаика давления на грунт от собственного веса модели здания № 3 с несущим металлическим каркасом с перекрестным ленточным фундаментом.

Из анализа полученных результатов видно, что применение несущего металлического каркаса для приведенных выше геологических условий и рельефа участка строительства позволяет:

- применить для фундамента – фундамент в виде перекрестных железобетонных лент с шириной опорной части 1,8 м;
- давление на грунт от собственного веса несущего остова здания с несущим металлическим каркасом в 1,9 раза ниже давления от собственного веса несущего остова здания из монолитного железобетона.
- экономия затрат на устройство фундамента для здания с несущим металлическим каркасом по сравнению с устройством фундамента для

здания из монолитного железобетона составит до 35...40 %.

Выводы

При создании конструктива здания, расположенного на крутом склоне, возможно использование ленточных перекрестных фундаментов с

применением для снижения нагрузки на основание смешанный конструктив по высоте здания – ниже отметки земли – железобетонный конструктив, выше отметки – металлический каркас с легким стеновым заполнением.

По результатам проведенных исследований было запроектировано и возведено здание в районе «Профессорский уголок» г. Алушта.

Список источников

1. О мерах по упорядочению застройки территорий курортов и зон отдыха и строительства санаторно-курортных учреждений и учреждений отдыха (с изменениями и дополнениями): Постановление Совета Министров СССР от 28.08.1970 N 723 [Электронный ресурс] // Гарант: [сайт]. 1970. URL: <https://base.garant.ru/6556136/> (дата обращения: 05.04.2025).
2. Барыкин А. Б., Барыкин Б. Ю., Зеленин Е. В. Разработка методики расчета перекрестно-балочного фундамента на наклонном основании, осложненного карстово-провальными процессами // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19, N 9. С. 1494-1504. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=72451703> (дата обращения: 15.04.2025). ISSN 1997-0935. DOI 10.22227/1997-0935.2024.9.1494-1504. EDN WZAJWJ.
3. Барыкин А. Б. Экспериментально-теоретические основы взаимодействия перекрестно-балочных фундаментов с наклонным основанием: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02. Волгоград, 2018. 184 с.
4. Барыкин Б. Ю. Взаимодействие перекрестно-ленточного фундамента на склоне с песчаным основанием: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02. Днепропетровск, 1990. 20 с.
5. Барыкин А. Б., Барыкин Б. Ю. Методика расчета устойчивости крутых склонов с учетом пространственной формы тела обрушения // Строительство и техногенная безопасность. 2022. N S1. С. 74-80. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50149639> (дата обращения: 05.04.2025). ISSN 2413-1873. EDN LKQYAI.
6. Salvati R., Tharp T. M., Capelli G. Conceptual Model for Geotechnical Evaluation of Sinkhole Risk in the Latium Region // Geotechnical and Environmental Applications of Karst Geology and Hydrology / B. F. Beck, J. G. Herring (eds). Lisse: Swets & Zeitlinger, 2001. P. 163-167.
7. Zhou W., Beck B. F. Management and Mitigation of Sinkholes on Karst Lands: an Overview of Practical Applications // Environmental Geology. 2008. Vol. 55(4). P. 837-851. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=52669923> (дата обращения: 05.04.2025). ISSN 0943-0105. DOI 10.1007/s00254-007-1035-9. EDN FNOULU.

References

1. Garant (1970), "On measures to regulate the development of resort areas and recreation areas and the construction of health resort institutions and recreation facilities" (with amendments and additions): Resolution of the Council of Ministers of the USSR of 28.08.1970 N 723, available at: <https://base.garant.ru/6556136/> (Accessed 05 April 2025).
2. Barykin, A.B., Barykin, B.Yu. and Zelenin, E.V. (2024), "Development of a Method for Calculation of a Cross-Beam Foundation on a Slope Base Complicated by Karst-Fall Processes", *Vestnik MGSU*, vol. 19, no. 9, pp. 1494-1504, available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=72451703> (Accessed 15 April 2025). ISSN 1997-0935. DOI 10.22227/1997-0935.2024.9.1494-1504. EDN WZAJWJ.
3. Barykin, A.B. (2018), "Experimental and theoretical foundations of interaction of cross-beam foundations with an inclined base", Ph.D. Thesis, Foundations and bases, underground structures, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia.
4. Barykin, B.Yu. (1990), "Interaction of a cross-strip foundation on a slope with a sand base", Abstract of Ph.D. dissertation, Foundations and bases, underground structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnepropetrovsk, Russia.
5. Barykin, A.B. and Barykin, B.Yu. (2022), "Method of Calculation of Stability of Steep Slopes Taking Into Account the Spatial Shape of the Collapsing Body", *Construction and Technogenic Safety*, no S1, pp. 74-80, available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50149639> (Accessed 05 April 2025). ISSN 2413-1873. EDN LKQYAI.
6. Salvati, R., Tharp, T.M. and Capelli, G. (2001), "Conceptual Model for Geotechnical Evaluation of Sinkhole Risk in the Latium Region", B.F. Beck, J.G. Herring (ed.), *Geotechnical and Environmental Applications of Karst Geology and Hydrology*, Swets & Zeitlinger, Lisse, NL, pp. 163-167.
7. Zhou, W. and Beck, B.F. (2008), "Management and Mitigation of Sinkholes on Karst Lands: an Overview of Practical Applications", *Environmental Geology*, vol. 55, no. 4, pp. 837-851, available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=52669923> (Accessed

8. Waltham T., Bell F., Culshaw M. Sinkholes and subsidence. Karst and Cavernous Rocks in Engineering and Construction / 1st ed. Berlin: Springer Praxis, 2005. 384 p.
9. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. М.: Минстрой России, 2017. 151 с.
10. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М.: Минстрой России, 2018. 137 с.
11. Металлические конструкции. Т. 2. Стальные сооружения, конструкции из алюминиевых сплавов / под ред. В. В. Кузнецова. М.: Изд-во АСВ, 1999. 528 с.
12. Программный комплекс ЛИРА-САПР®. Руководство пользователя. Обучающие примеры: электронное издание / составители: М. А. Ромашкина, В. П. Титок; под ред. акад. РААСН А. С. Городецкого [б. м.: б. изд.], 2018. 254 с.
13. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под ред. Е. А. Сорочана, Ю. Г. Трофименкова. М.: Стройиздат, 1985. 480 с.
14. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. М.: Стандартинформ, 2018. 114 с.
15. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. М.: Стандартинформ, 2018. 95 с.
- 05 April 2025). ISSN 0943-0105. DOI 10.1007/s00254-007-1035-9. EDN FNOULU.
8. Waltham, T., Bell, F., Culshaw, M. (2005), Sinkholes and subsidence. Karst and Cavernous Rocks in Engineering and Construction, 1st ed., Springer Praxis, Berlin, DE.
9. Ministry of Construction of Russia (2017), *SP 16.13330.2017: Stal'nye konstrukcii. Aktualizirovannaya redakciya SNiP II-23-81**, [SP 16.13330.2017: Steel structures. Updated version of SNiP II-23-81*], Ministry of Construction of Russia, Moscow, Russia.
10. Department of Urban Development and Architecture of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (2018), *SP 63.13330.2018: Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozheniy*, [SP 63.13330.2018: Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions], Ministry of Construction of Russia, Moscow, Russia.
11. Kuznetsov, V.V. (1999), Metal structures. Vol. 2. Steel structures, aluminum alloy structures (1999), *Metallicheskie konstrukcii. T. 2. Stal'nye sooruzheniya, konstrukcii iz alyuminiyevykh splavov* [Metal structures. Vol. 2. Steel structures, structures made of aluminum alloys]: Publishing house ASV, Moscow, Russia.
12. Romashkina, M.A. and Titok, V.P. (2018), LIRA-SAPR® SOFTWARE PACKAGE. User's Guide. Educational Examples, in Gorodetsky, A.S. (ed.), electronic edition, no place, no publishing house, Ru.
13. Sorochan, E.A. and Trofimenkov, Yu.G. (1985), *Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya* [Foundations, bases and underground structures]: manual, Stroyizdat, Moscow, Russia.
14. Department of Urban Development and Architecture of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (2018), *SP 14.13330.2018. Stroitel'stvo v seismicheskikh rajonah. Aktualizirovannaya redakciya SNiP II-7-81** [SP 14.13330.2018: Construction in seismic areas. Updated version of SNiP II-7-81*], Standartinform, Moscow, Russia.
15. Ministry of Construction of Russia (2018), *SP 20.13330.2016. Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 2.01.07-85** [SP 20.13330.2016: Loads and impacts. Updated version of SNiP 2.01.07-85*], Standartinform, Moscow, Russia.

Информация об авторах

Синцов Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций института строительства и архитектуры Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского, Республика Крым, Симферополь, Россия. Научные интересы: металлические конструкции высотных сооружений связи и нетрадиционных источников энергии (башни и мачты), металлические каркасы многоэтажных зданий при сейсмостойком строительстве, опорные конструкции морских стальных стационарных платформ.

Данченко Наталья Владимировна – специалист кафедры геотехники и конструктивных элементов зданий института строительства и архитектуры Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского, Республика Крым, Симферополь, Россия. Научные интересы: металлические каркасы многоэтажных зданий при сейсмостойком строительстве, опорные конструкции морских стальных стационарных платформ.

Information about the authors

Sintsov Alexander V. – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of the Department of Building Structures, Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky, Republic of Crimea, Simferopol, Russia. Scientific interests: metal construction of high-rise structures of communication and non-traditional sources of energy (towers and poles), metal frames multi-storey buildings in earthquake-resistant construction, steel support structures offshore fixed platforms.

Danchenko Natalia V. – Specialist of the Department of Geotechnics and Structural Elements Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky, Republic of Crimea, Simferopol, Russia. Scientific interests: metal frames multi-storey buildings in earthquake-resistant construction, steel support structures offshore fixed platforms.

Вклад авторов:

Синцов А. В. – разработка компьютерных моделей; анализ результатов исследований; участие в написании исходного текста; итоговые выводы.

Данченко Н. В. – обработка результатов исследований; участие в написании исходного текста; участие в подготовке итоговых выводов.

Contribution of the authors:

Sintsov A. V. – development of computer models; analysis of research results; participation in writing the source text; final findings.

Danchenko N. V. – processing of research results; participation in writing the source text; participation in the preparation of final conclusions.

Статья поступила в редакцию 17.04.2025; одобрена после рецензирования 16.05.2025; принята к публикации 23.05.2025.

The article was submitted 17.04.2025; approved after reviewing 16.05.2025; accepted for publication 23.05.2025.