

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ТОЧКАХ СТРОПОВКИ И ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС КРУПНОГАБАРИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО МОДУЛЯ

DETERMINING OF FORCES AT THE SLINGING NODES AND THE LOCATION OF THE CENTER OF MASS OF THE LARGE-SIZE REINFORCED CONCRETE MODULE

Исследуется характер распределения растягивающих усилий, действующих на железобетонные крупногабаритные модули при транспортировании в заводских условиях, а также при монтаже в условиях строительной площадки; проводится определение соответствующего положения центра масс модуля. Для исследования влияния объемно-планировочных и конструктивных решений железобетонных крупногабаритных модулей на распределение усилий в точках строповки необходимо дальнейшее статистическое накопление данных о величинах действующих усилий. Определение наиболее невыгодного сочетания усилий позволит уточнить краевые условия при проектировании, а также оптимизировать конструкцию подъемных элементов и снизить их материалоемкость. Для железобетонного крупногабаритного модуля определены усилия в точках строповки модуля следующим образом: расчетным путем, с помощью весоизмерительной системы портального транспортера и динамометрами при подъеме модуля гусеничным краном. Определено положение центра масс модуля, соответствующее полученным усилиям. Получены отклонения центра масс модуля от геометрического центра модуля в продольном и поперечном направлениях модуля.

Ключевые слова: модульное строительство, крупногабаритные модули, строповка железобетонных модулей, монтаж модулей.

The current research is focused on the study of the distribution of tensile forces acting on reinforced concrete large-size modules during transportation in factory conditions as well as during installation on the construction site. The determination of the appropriate position of the center of the module mass is carried out. It is necessary to further accumulate statistical data on the magnitudes of the forces acting on the reinforced concrete large-size modules in order to study the influence of volume-planning and structural solutions of reinforced concrete modules on the distribution of forces at the slinging nodes. Determination of the most disadvantageous combination of forces will allow specifying the boundary conditions in the design as well as optimizing the design of lifting elements and reducing their material intensity. The forces at the module slinging points are determined for a reinforced concrete large-size module as follows: by calculation, with the help of the weight measuring system of the portal conveyor and dynamometers during lifting of the module by the crawler crane. The position of the module mass center corresponding to the obtained forces is determined. Deviations of the module mass center from the geometric center of the module in the longitudinal and transverse directions of the module are obtained.

Keywords: modular construction, large-size modules, slinging of reinforced concrete modules, installation of modules.

Введение

Современное развитие модульного строительства в России рассмотрено в работах [1–5]. Важной составляющей при проектировании зданий и сооружений в модульном ис-

полнении является исследование их работы в целом, а также работы их конструктивных элементов и узлов на всех этапах жизненного цикла, включая изготовление, транспортирование, монтаж и эксплуатацию.

Исследованию напряженно-деформированного состояния классических объемных блоков и модулей, в том числе железобетонных объемных блоков типа «стакан» и «колпак», посвящено значительное количество научных работ [6–16].

На протяжении последних лет группа компаний «МонАрх» реализует новый, не имеющий аналогов в мире, масштабный проект «Технополис модульного домостроения» (завод по производству крупногабаритных модулей). Проект уникален тем, что с учетом современного уровня техники обеспечивается возможность возведения зданий и сооружений разной этажности, в том числе многоэтажных (высотой порядка 30 этажей), из железобетонных крупногабаритных модулей высокой степени заводской готовности. Крупногабаритные модули в первую очередь отличаются от классических модулей своими габаритами и массой. Площадь одного модуля может составлять до 100 м² и более, а масса — достигать порядка 80 т. Исследованиям крупногабаритных железобетонных модулей посвящены работы [17–19]. Несмотря на значимость, исследованиям напряженного состояния модулей при их транспортировании и монтаже в современной научной литературе уделено меньше внимания по сравнению с исследованиями их работы в стадии эксплуатации.

В работе [20] для исследования и учета распределения временных нагрузок на модуль авторами выполнялся расчет по грузовым площадям с разделением модуля в плане на 20 сегментов одинакового размера (рис. 1).

Стеновые панели, образующие периметр модуля, вносят значительный вклад в распределение нагрузок на модуль.

Настоящая работа направлена на исследование характера распределения растягивающих усилий, действующих на железобетонные крупногабаритные модули при транспортировании в заводских условиях, а также при монтаже в условиях строительной площадки, и определение соответствующего положения центра масс модуля.

Методы

Исследования проводились на базе пространственного железобетонного крупногабаритного модуля реального объекта строительства. Общий вид модуля представлен на рис. 2.

До транспортировки на объект строительства порталным транспортером выполнялся подъем рассматриваемого модуля, а также аналогичных по конструкции модулей, и фиксировались показания усилий в точках строповки модулей, определяемые весоизмерительной системой транспортера.

По прибытии на строительную площадку выполнялась строповка модуля за те же

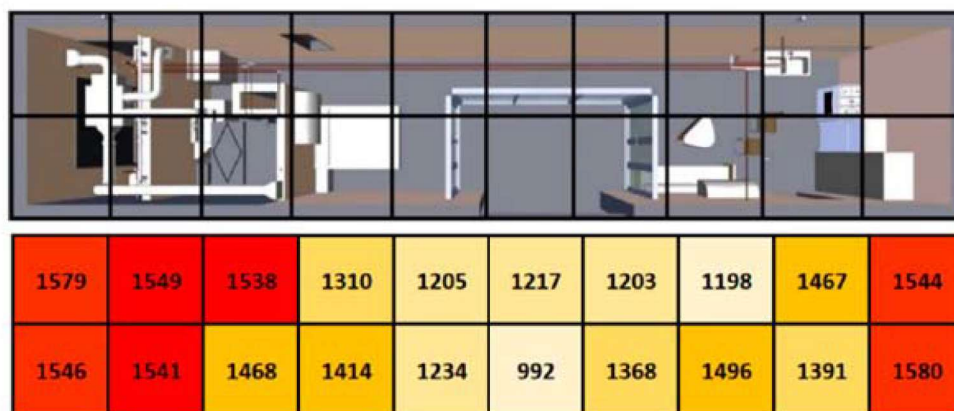


Рис. 1. Распределение веса модуля по сегментам (в фунтах)

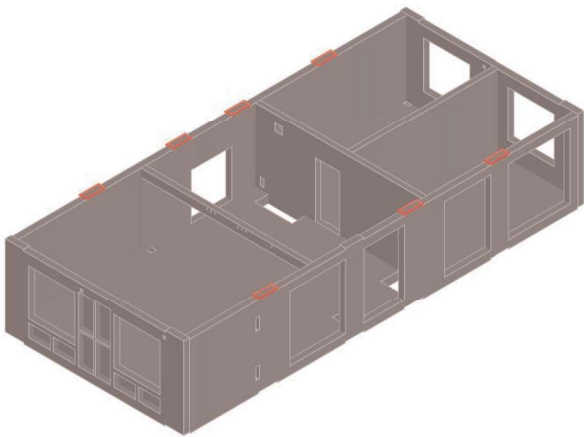


Рис. 2. Общий вид крупногабаритного модуля (красным выделены точки строповки)

точки, что и порталным транспортером. При этом подъем модуля осуществлялся гусеничным краном, на стропях которого устанавливались динамометры для измерения действующих усилий.

После получения величин усилий выполнялось аналитическое вычисление центра масс модуля.

Для определения теоретического положения центра масс при подъеме рассматриваемого железобетонного модуля выполнено разбиение конструкции рассматриваемого модуля в зависимости от грузовой площади, приходящейся на точки строповки (рис. 3).

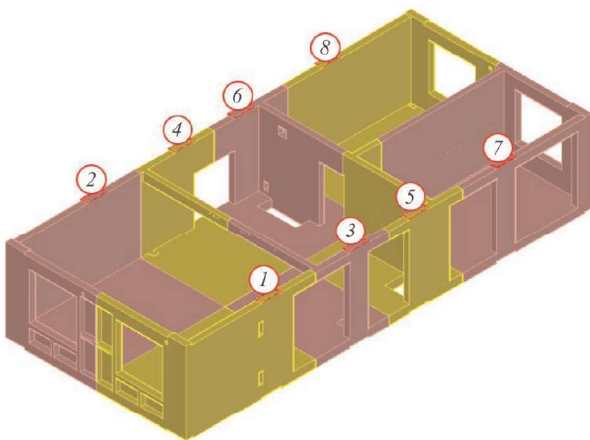


Рис. 3. Разбиение конструкции модуля по грузовой площади (1...8 — номера точек строповки)

На рисунке видно, что наибольшая грузовая площадь приходится на крайние точки строповки модуля.

Следующим шагом к определению теоретического положения центра масс рассматриваемого модуля было определение усилий в точках строповки модуля. Расчетные значения усилий в точках строповки модуля находились по полученным грузовым площадям. После определения значений усилий также выполнялось аналитическое вычисление центра масс модуля.

Результаты

Результаты определения усилий в точках строповки рассматриваемого модуля представлены на рис. 4.

Величина усилий в точках строповки рассматриваемого модуля не превышает 12,5 т. Характер распределения усилий в точках строповки рассматриваемого модуля по результатам определения тремя указанными выше способами имеет достаточную сходимость для крайних точек. Уровень усилий в точках строповки обусловлен объемно-планировочными и конструктивными решениями модуля, а также конструкцией, положением и напряженно-деформированным состоянием применяемых монтажных механизмов и съемных грузозахватных приспособлений и иными вероятностными факторами. Проектные запасы прочности монтажных механизмов и съемных грузозахватных приспособлений превышают запасы прочности крупногабаритных модулей и их элементов. При их эксплуатации в проектном режиме величины деформаций должны быть значительно меньше, чем у модулей. Наибольшее влияние на уровень усилий в центральных точках строповки оказывает расположение внутренних стеновых панелей в составе модуля, а также расположение точек строповки модуля. Соответствующее полученным усилиям положение центра масс для рассматриваемого модуля представлено на рис. 5.

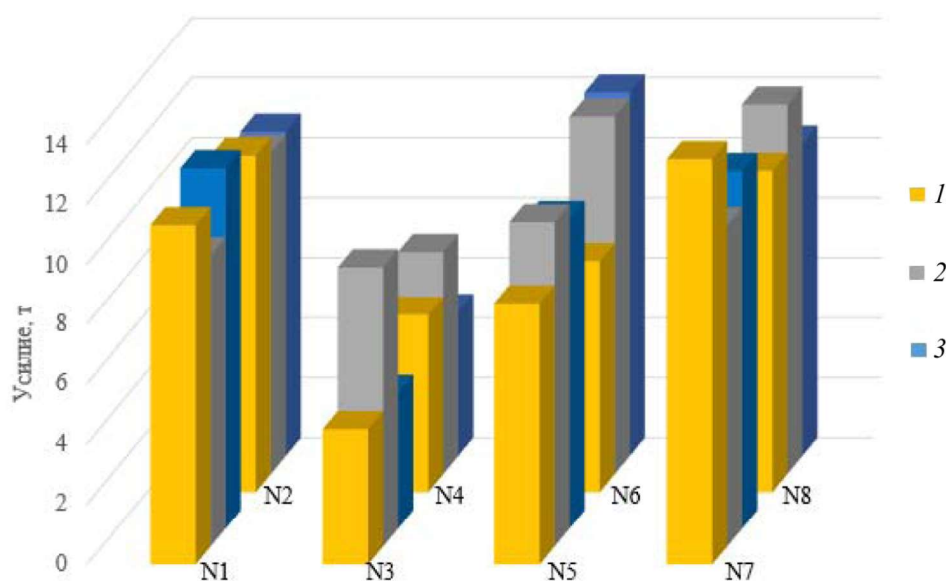


Рис. 4. Распределение растягивающих усилий в точках строповки крупногабаритного модуля: N1...N6 — номера точек строповки; 1 — расчетные значения усилий; 2 — значения усилий по показаниям заводского портального транспортера; 3 — значения усилий по результатам измерений на объекте

Полученные отклонения положения центра масс модуля от геометрического центра модуля не превышают 30 см в продольном направлении и 15 см — в поперечном.

Обсуждение

Для схемы строповки, отличной от рассмотренной, будет иметь место иное распределение масс, отнесенных к соответствующим точкам строповки. Для исследования влияния объемно-планировочных и конструктивных

решений железобетонных крупногабаритных модулей на распределение усилий в точках строповки при различных схемах строповки необходимо дальнейшее статистическое накопление данных о величинах действующих усилий. Определение наиболее невыгодного сочетания усилий позволит уточнить крайние условия при проектировании, а также оптимизировать конструкцию подъемных элементов и снизить их материалоемкость.

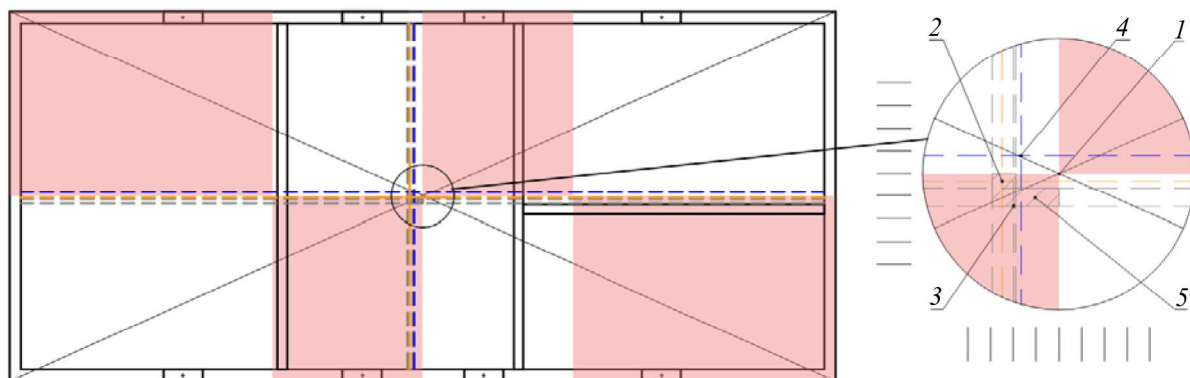


Рис. 5. Положение центра масс модуля: 1 — геометрический центр модуля; 2 — расчетный центр масс модуля; 3 — центр масс, полученный на основе показаний портального транспортера; 4 — центр масс, полученный на основе усилий, измеренных на объекте; 5 — зона расположения центра масс модулей аналогичной конструкции, полученная на основе показаний портального транспортера (шаг вертикальных и горизонтальных делений 100 мм)

Выводы

Для железобетонного крупногабаритного модуля определены усилия в точках строповки модуля следующим образом: расчетным путем, с помощью весоизмерительной системы порталного транспортера и динамометрами при подъеме модуля гусеничным краном. Полученные величины усилий не превысили 12,5 т. Наибольшее влияние на уровень усилий в центральных точках строповки оказало расположение внутренних стеновых панелей в составе модуля, а также расположение точек строповки модуля. Определено положение центра масс модуля, соответствующее полученным усилиям. Полученные отклонения центра масс модуля от геометрического центра модуля составили до 30 см в продольном направлении модуля и до 15 см — в поперечном.

Библиографический список

1. Алексеева Н. А., Толкачев Ю. А. Анализ ограничений, препятствующих развитию многоэтажного модульного строительства // Социально-экономическое управление: теория и практика. 2021. № 4 (47). С. 12–18. DOI 10.22213/2618-9763.2021.4.12.18.
2. Коровкина А. И., Голядкина А. Д. Модульное строительство: техническое соответствие стандартам, перспектива использования, достоинства и недостатки использования // Строительство и недвижимость. 2022. № 1 (10). С. 13–19.
3. Келасьев Н. Г., Трекин Н. Н., Кодыш Э. Н., Терехов И. А., Гасиев А. А., Шмаков С. Д. Развитие модульного строительства в Российской Федерации // Промышленное и гражданское строительство. 2024. № 6. С. 8–14.
4. Дементьев Н. М., Волкодав В. А., Волкодав И. А., Титова И. Д. Перспективы развития и нормирования модульного строительства в России с учетом зарубежного опыта // Инженерный вестник Дона. 2024. № 4. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8321>
5. Дубынин Н. В. Быстровозводимые здания: перспективы массового строительства, индустриальная база, опыт нормирования // Международный строительный конгресс «Наука. Инновации. Цели. Строительство»: сб. тезисов докл. Москва, 11–13 апреля 2023 г. М.: НИЦ «Строительство», 2023. С. 132–133.
6. Лабудин Б. В., Воронков С. А. Быстровозводимое жилье из объемных модулей (блоков) максимальной заводской готовности. Материалы Международного жилищного конгресса. URL: <https://realcongress.ru/upload/iblock/bd5/Labudin.pdf> (дата обращения: 12.10.2024).
7. Рязских Б. Е. Испытания статической нагрузкой объемного железобетонного блока 17-этажного объемно-блочного здания (ОБД) // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2023. № 10. С. 20–34. DOI 10.34031/2071-7318-2023-8-10-20-34.
8. Тамов М. А., Тамов М. М., Усанов С. В., Табагуа Г. Р. Прочность и трещиностойкость объемного блока типа «колпак» без панели пола // Инженерный вестник Дона. 2015. № 3 (37). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prochnost-i-treschinostoykost-obemnogo-bloka-tipa-kolpak-bez-paneli-pola> (дата обращения: 02.04.2024).
9. Тонких Г. П., Макарьин А. И., Сосунев И. В., Посохов Н. Н., Бузин Р. А. Результаты испытаний опытного образца полносборного защитного сооружения гражданской обороны блок-модульного типа полной заводской готовности на действие воздушной ударной волны // Технологии гражданской безопасности. 2017. Т. 14, № 2 (52). С. 86–91.
10. Холопов И. С., Широков В. С., Соловьев А. В., Макаров Ю. Д. Анализ напряженно-деформированного состояния быстровозводимого модульного здания // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 6. С. 15–19.
11. Шаблинский Г. Э., Румянцев А. А., Зубков Д. А. Экспериментальные натурные исследования сейсмостойкости 16-этажного объемно-блочного здания и идентификация его расчетной схемы // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2010. № 1. С. 32–34.
12. Широков В. С., Алпатов В. Ю., Гордеев Е. А. Исследование жесткости узлов соединений ригеля и стойки модульных быстровозводимых зданий // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып. 1. С. 20–29. DOI 10.22227/1997-0935.2021.1.20-29.
13. Широков В. С. Коэффициент динамичности модульных зданий при сейсмическом воздействии // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2022. № 4. С. 23–33. DOI 10.37153/2618-9283-2022-4-23-33.
14. Altigenov U., Bespaev A., Ryvkina N., Teshev I. Assessment of mechanical properties of elements modular block // Technobius. 2024. № 4 (1). 0051. URL: <https://doi.org/10.54355/tbus/4.1.2024.0051>
15. Gunawardena T., Ngo T. D., Mendis P. Behavior of Multi-Storey Prefabricated Modular Buildings under seismic loads // Earthquakes and Structures. 2016. Vol. 11. No. 6. Pp. 1061–1076. URL: <https://dx.doi.org/10.12989/eas.2016.11.6.1061> (дата обращения: 12.10.2024).

16. Khodabandelu A., Park J., Choi J. O., Sanei M. Analysis of a Long Volumetric Module Lift Using Single and Multiple Cranes // The 9th International Conference on Construction Engineering and Project Management. Las Vegas, USA, June 2022. Pp. 563–570. URL: https://www.researchgate.net/publication/363614739_Analysis_of_a_Long_Volumetric_Module_Lift_Using_Single_and_Multiple_Cranes (дата обращения: 12.10.2024).

17. Амбарцумян С. А., Манукян А. В., Мкртычев О. В., Андреев М. И. Верификация расчетных методик на основе экспериментальных исследований фрагментов железобетонных блоков // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 6. С. 73–77. DOI 10.33622/0869-7019.2023.06.73-77.

18. Амбарцумян С. А., Манукян А. В., Мкртычев О. В., Андреев М. И., Грановский А. В. Натурные и численные эксперименты узлов крупногабаритных железобетонных модулей // Промышленное и гражданское строительство. 2024. № 7. С. 41–47.

19. Трекин Н. Н., Горбачевский В. П. Распределение усилий в точках строповки железобетонных модулей // Строительство и реконструкция. 2024. № 3. С. 12–20.

20. Khodabandelu A., Choi J. O., Park J., Sanei M. Developing a Simulation Model for Lifting a Modular House // Construction Research Congress 2020: Computer Applications. Pp. 145–152. URL: <http://doi.org/10.1061/9780784482865.016> (дата обращения: 12.10.2024).

References

1. Alekseeva N. A., Tolkachev Yu. A. *Analiz ograniicheniy, prepyatstvuyushchikh razvitiyu mnogoetazhnogo modul'nogo stroitel'stva* [Analysis of the limitations preventing the development of multi-storey modular construction]. *Sotsial'no-ekonomicheskoe upravlenie: teoriya i praktika – Socio-Economic Management: Theory and Practice*, 2021, no. 4 (47), pp. 12–18. DOI 10.22213/2618-9763.2021.4.12.18.

2. Korovkina A. I., Golyadkina A. D. *Modul'noe stroitel'stvo: tekhnicheskoe sootvetstvie standartam, perspektiva ispol'zovaniya, dostoinstva i nedostatki ispol'zovaniya* [Modular construction: technical compliance with standards, perspective of use, advantages and disadvantages of use]. *Stroitel'stvo i nedvizhimost' – Construction and Real Estate*, 2022, no. 1 (10), pp. 13–19.

3. Kela'sev N. G., Trekin N. N., Kodysh E. N., Terekhov I. A., Gasiev A. A., Shmakov S. D. *Razvitie modul'nogo stroitel'stva v Rossiyskoy Federatsii* [Development of modular construction in the Russian Federation]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and Civil Construction*, 2024, no. 6, pp. 8–14.

4. Dement'ev N. M., Volkodav V. A., Volkodav I. A., Titova I. D. *Perspektivy razvitiya i normirovaniya modul'nogo stroitel'stva v Rossii s uchetom zarubezhnogo opyta* [Prospects of development and standardization of modular construction in Russia taking into account foreign experience]. *Inzhenerniy vestnik Dona – Engineering Bulletin of the Don*, 2024, no. 4. Available at: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8321>

5. Dubynin N. V. *Bystrovozvodimye zdaniya: perspektivy massovogo stroitel'stva, industrial'naya baza, opyt normirovaniya* [Fast-erected buildings: prospects of mass construction, industrial base, experience of standardization]. *Trudy Mezhdunarodn. stroitel'nogo kongressa «Nauka. Innovatsii. Tseli. Stroitel'stvo» Moskva*, 11–13 aprelya 2023 [Proceedings of the International construction congress “Science. Innovations. Goals. Construction” Moscow, April 11–13, 2023]. Moscow, NITs Stroitel'stvo Publ., 2023, pp. 132–133.

6. Labudin B. V., Voronkov S. A. *Bystrovozvodimoe zhile iz ob'emnykh moduley (blokov) maksimal'noy zavodskoy gotovnosti* [Rapidly erected housing from volumetric modules (blocks) of maximum factory readiness]. *Trudy Mezhdunarodnogo zhilishchnogo kongressa* [Proceedings of the International housing congress]. Available at: <https://realcongress.ru/upload/iblock/bd5/Labudin.pdf> (accessed: 12.10.2024).

7. Ryazhskikh B. E. *Ispytaniya staticheskoy nagruzkoy ob'emnogo zhelezobetonного блока 17-etazhnogo ob'emno-blochnogo zdaniya (OBD)* [Static load testing of a volumetric reinforced concrete block of a 17-storey volumetric-block building (OBD)]. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova – Bulletin of V. G. Shukhov BSTU*, 2023, no. 10, pp. 20–34. DOI 10.34031/2071-7318-2023-8-10-20-34.

8. Tamov M. A., Tamov M. M., Usanov S. V., Tabagua G. R. *Prochnost' i treshchinostoykost' ob'emnogo bloka tipa «kolpak» bez paneli pola* [Strength and crack resistance of a volume block of the “cap” type without a floor panel]. *Inzhenerniy vestnik Dona – Engineering Bulletin of the Don*, 2015, no. 3 (37). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/prochnost-i-treshchinostoykost-obemnogo-bloka-tipa-kolpak-bez-paneli-pola> (accessed: 02.04.2024).

9. Tonkikh G. P., Makar'in A. I., Sosunov I. V., Posokhov N. N., Buzin R. A. *Rezultaty ispytaniy opytnogo obraztsa polnosbornogo zashchitnogo sooruzheniya grazhdanskoy oborony blok-modul'nogo tipa polnoy zavodskoy gotovnosti na deystvie vozduшной udarnoy volny* [Test results of the prototype of a fully assembled protective structure of civil defense block-modular type of full factory readiness on the action of an air shock wave]. *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti – Civil Security Technologies*, 2017, vol. 14, no. 2 (52), pp. 86–91.

10. Kholopov I. S., Shirokov V. S., Solov'ev A. V., Makarov Yu. D. *Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya bystrozovodimogo modul'nogo zdaniya* [Stress-strain state analysis of a rapidly erected modular building]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and Civil Engineering*, 2015, no. 6, pp. 15–19.
11. Shablinskiy G. E., Rumyantsev A. A., Zubkov D. A. *Eksperimental'nye naturnye issledovaniya seysmostoykosti 16-etazhnogo ob'emno-blochnogo zdaniya i identifikatsiya ego raschetnoy skhemy* [Experimental full-scale studies of earthquake resistance of a 16-storey volume-block building and identification of its design scheme]. *Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy – Seismic Resistant Construction. Safety of Structures*, 2010, no. 1, pp. 32–34.
12. Shirokov V. S., Alpatov V. Yu., Gordeev E. A. *Issledovanie zhestkosti uzlov soedineniy rigelya i stoyki modul'nykh bystrozovodimyykh zdaniy* [Investigation of rigidity of joint nodes of a transom and a rack of modular fast-erected buildings]. *Vestnik MGSU – Bulletin of MSCU*, 2021, vol. 16, iss. 1, pp. 20–29. DOI 10.22227/1997-0935.2021.1.20-29.
13. Shirokov V. S. *Koeffitsient dinamichnosti modul'nykh zdaniy pri seysmicheskoy vozddeystvii* [Dynamic coefficient of modular buildings under seismic action]. *Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy – Seismic Resistant Construction. Safety of Structures*, 2022, no. 4, pp. 23–33. DOI 10.37153/2618-9283-2022-4-23-33.
14. Altigenov U., Bespaev A., Ryvkina N., Teshev I. Assessment of mechanical properties of elements modular block. *Technobius.*, 2024, no. 4 (1), 0051. Available at: <https://doi.org/10.54355/tbus/4.1.2024.0051>
15. Gunawardena T., Ngo T. D., Mendis P. Behavior of Multi-Storey Prefabricated Modular Buildings under seismic loads. *Earthquakes and Structures*, 2016, vol. 11, no. 6, pp. 1061–1076. Available at: <https://dx.doi.org/10.12989/eas.2016.11.6.1061> (accessed: 12.10.2024).
16. Khodabandelu A., Park J., Choi J. O., Sanei M. Analysis of a Long Volumetric Module Lift Using Single and Multiple Cranes. *Proceedings of the 9th International Conference on Construction Engineering and Project Management*. Las Vegas, USA, June 2022, pp. 563–570. Available at: https://www.researchgate.net/publication/363614739_Analysis_of_a_Long_Volumetric_Module_Lift_Using_Single_and_Multiple_Cranes (accessed: 12.10.2024).
17. Ambartsumyan S. A., Manukyan A. V., Mkrtychev O. V., Andreev M. I. *Verifikatsiya raschetnykh metodik na osnove eksperimental'nykh issledovaniy fragmentov zhelezobetonnykh blokov* [Verification of calculation methods based on experimental studies of fragments of reinforced concrete blocks]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and Civil Engineering*, 2023, no. 6, pp. 73–77. DOI 10.33622/0869-7019.2023.06.73-77.
18. Ambartsumyan S. A., Manukyan A. V., Mkrtychev O. V., Andreev M. I., Granovskiy A. V. *Naturnye i chislennyye eksperimenty uzlov krupnogabaritnykh zhelezobetonnykh moduley* [Natural and numerical experiments of nodes of large-size reinforced concrete modules]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and Civil Engineering*, 2024, no. 7, pp. 41–47.
19. Trekin N. N., Gorbachevskiy V. P. *Raspredelenie usiliy v tochkakh stropovki zhelezobetonnykh moduley* [Distribution of forces in slinging points of reinforced concrete modules]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya – Construction and Reconstruction*, 2024, no. 3, pp. 12–20.
20. Khodabandelu A., Choi J. O., Park J., Sanei M. Developing a Simulation Model for Lifting a Modular House. *Construction Research Congress 2020: Computer Applications*, pp. 145–152. Available at: <https://doi.org/10.1061/9780784482865.016> (accessed: 12.10.2024).