

Н.Н. ТРЕКИН¹, В.П. ГОРБАЧЕВСКИЙ²^{1,2}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
Москва, Россия

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ТОЧКАХ СТРОПОВКИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОДУЛЕЙ

Аннотация. Объектом исследования являются железобетонные модули, применяемые для высокоскоростного строительства мало-, средне- и многоэтажных зданий и сооружений различного назначения. Предметом исследования являются усилия в точках строповки железобетонных модулей. Для анализа характера распределения усилий взята выборка с распределением усилий пятиста модулей, реализованных по запатентованной технологии Группы компаний «МонАрх». Анализ выборки осуществлялся методом Брандона. Аналитическое определение усилий в точках строповки выбранного модуля осуществлялось приближенным методом – по грузовым площадям. Характер фактического распределения усилий обусловлен полученной в результате регулировки стропольщиком длины строп, а также разницей отпускной и проектной прочности бетона несущих конструкций модулей. По результатам расчета получено, что наиболее нагруженными являются угловые точки строповки. Правильно подобранная и подогнанная длина строп позволяет более равномерно распределять усилия по конструкции и избежать перенапряжения отдельных конструктивных элементов модуля.

Ключевые слова: модульное строительство, объемные блоки, железобетонные модули, крупномодульное домостроение, крупногабаритные железобетонные модули.

N.N. TREKIN¹, V.P. GORBACHEVSKII²^{1,2} National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MSUCE), Moscow, Russia

INVESTIGATION OF FORCE DISTRIBUTION AT SLINGING NODES OF REINFORCES CONCRETE MODULES

Abstract. The object of the study is reinforced concrete modules used for high-speed construction of low-, medium- and multi-storey buildings and structures for various purposes. The subject of the study is the forces in the nodes of slinging of reinforced concrete modules. A sample with the distribution of forces of five hundred modules is taken to analyze the nature of force distribution, It's sample is realized according to the patented technology of Group of companies "MonArch". The sample was analyzed by the Brandon's method. Analytical determination of forces in slinging nodes of the selected module was carried out by approximate method – by cargo areas. The character of the actual distribution of forces is conditioned by the sling length obtained as a result of the slinger's adjustment, as well as by the difference between the tempering and design strength of concrete of the module load-bearing structures. According to the results of the calculation it was obtained that the most loaded are the corner nodes of slinging. Properly selected and adjusted length of slings allows to distribute forces more evenly over the structure and avoid overstressing of individual structural elements of the module.

Keywords: modular construction, volumetric blocks, reinforced concrete modules, large modular house building, large-size reinforced concrete modules.

Введение

Одними из наиболее важных нагрузок и воздействий, имеющих место в начале жизненного цикла железобетонного изделия, являются нагрузки, возникающие в стадии изготовления, а также в период монтажа.[1] Указанные виды нагрузок вызывают напряжённое состояние, нехарактерное на последующей стадии жизненного цикла изделия – эксплуатационной. Краткий обзор исследований в области объёмно-блочного домостроения представлен в [2-4]. Традиционно в строительстве строповка железобетонных изделий (стеновые панели, плиты перекрытия и т.д.) как в ходе их внутризаводской перестановки, так и в ходе монтажа в проектное положение на объекте застройки, осуществляется преимущественно за 4 и менее точки. Транспортирование и монтаж объёмных модулей становится более сложным и рискованным. Несмотря на свою значимость, проблема, связанная с подъёмом тяжёлых модулей, получила относительно мало внимания в исследованиях, посвящённых железобетонным объёмным блокам и модулям заводского изготовления [5-10]. Для активно развивающегося в России крупномодульного домостроения характерно применение средне- и крупногабаритных железобетонных модулей, масса которых может достигать порядка 80 тонн. Принципиальные конструктивные решения таких модулей частично описаны в работе [11]. При этом, возникает необходимость строповки за 4, 6 и 8 точек (рис. 1) в зависимости от весогабаритных характеристик модулей и предельно допустимой нагрузки на одну точку строповки.

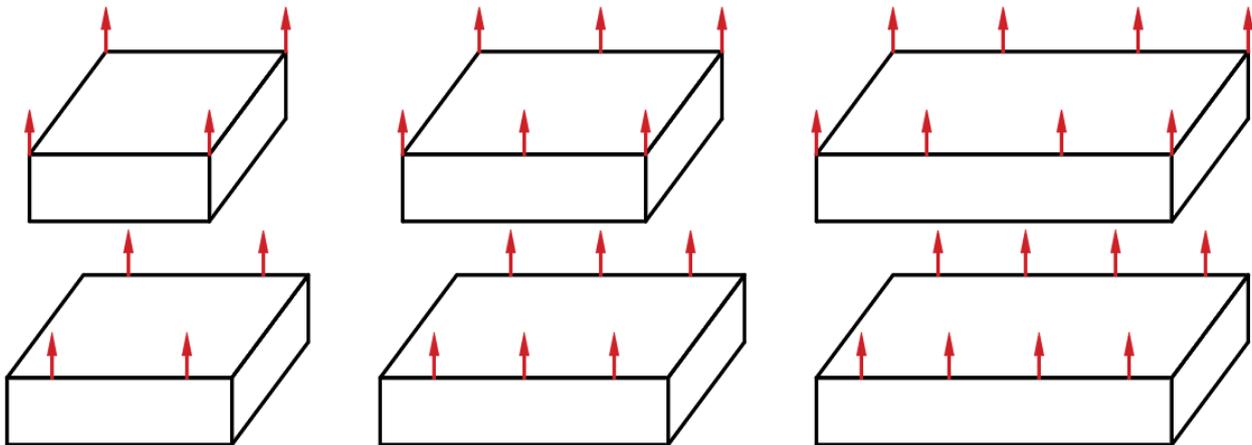


Рисунок 1 – Варианты строповки железобетонных модулей (модуль показан условно): слева – для мало- и среднегабаритных модулей, по центру и справа – для средне- и крупногабаритных модулей

ГК «МонАрх» реализует масштабный проект Технополиса модульного домостроения в Новой Москве. В настоящее время функционирует Экспериментальный завод, построенный для апробации новых технологий модульного домостроения ГК «МонАрх» по выпуску готовой продукции в виде модулей среднегабаритных (до 50 кв.м. по площади) и крупногабаритных (от 50 до 120 кв.м. по площади) размеров.

В заводских условиях модули поднимаются и транспортируются, переставляются портальным транспортером (рис. 2), в условиях стройплощадки модули поднимаются и монтируются стропами, либо траверсой (рис. 3,4) с грузозахватным устройством, разработанным специалистами Группы компаний «МонАрх» [12]. Варианты монтажа описаны в [13,14].

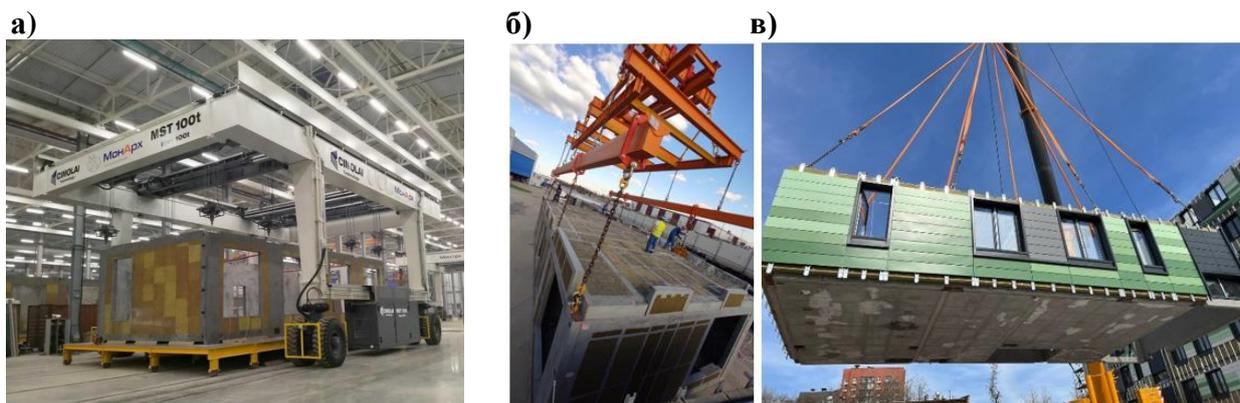


Рисунок 2 – Портальный транспортер (а); подъем модулей с помощью траверсы (б) и стропами (в)

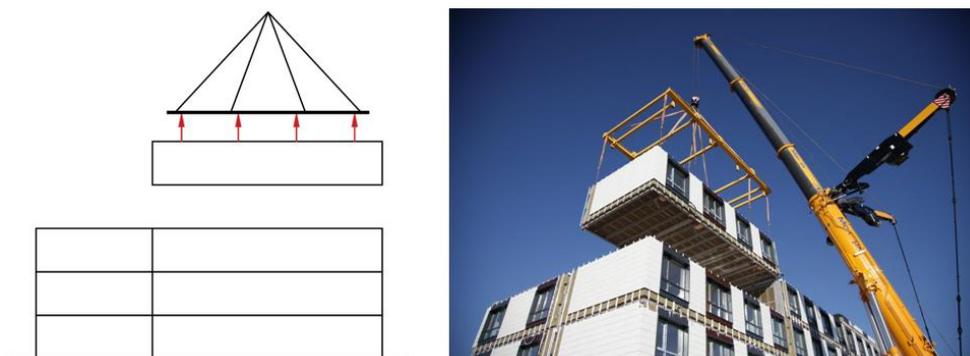


Рисунок 3 – Схема установки модуля в проектное положение (стрелками показаны точки строповки модуля)

В средне- и крупногабаритных модулях нагрузка на строповочные элементы может в разы превышать нагрузку, возникающую при строповке сборных железобетонных изделий, традиционно применяемых в строительстве. Поэтому одним из важных направлений исследований в области модульного домостроения является исследование и анализ напряжённого состояния модулей при изготовлении и монтаже, в частности исследование распределения усилий в точках строповки модулей.

Схема крупногабаритного модуля, а также расположение грузозахватного устройства в системе модуля представлено на рис. 3. Варианты применения грузозахватного устройства [12] представлены на рис. 4.

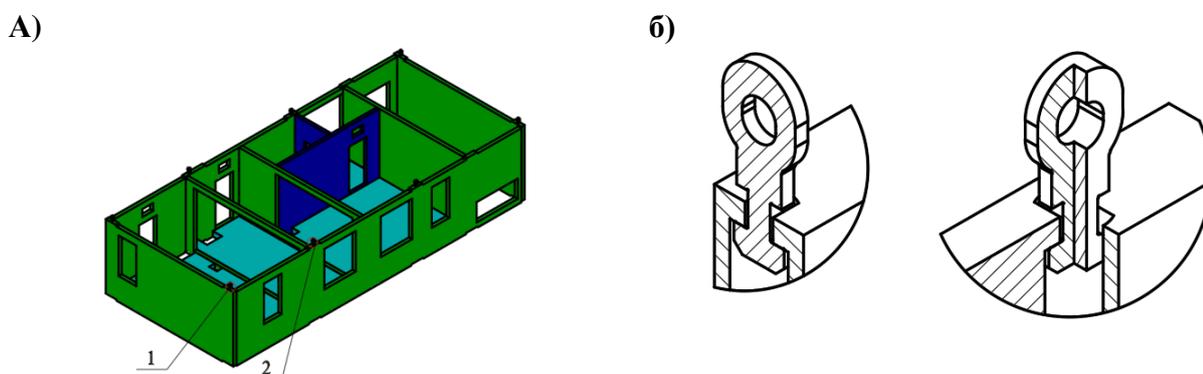


Рисунок 4 –Схема крупногабаритного модуля с грузозахватными устройствами: 1 – угловая точка строповки, 2 – «центральная» точка строповки(а); варианты применения грузозахватного устройства (б)

Модели и методы

Для анализа характера распределения усилий взята выборка с распределением усилий пятиста модулей, реализованных по запатентованной технологии ГК «МонАрх» [15]. Анализ выборки осуществлялся методом Брандона. Аналитическое определение усилий в точках строповки выбранного модуля осуществлялось приближенным методом – по грузовым площадям.

Одним из объектов исследования выбран крупногабаритный модуль реального объекта строительства в г. Москве. С целью проведения дальнейшего сравнительного анализа усилий создана расчетная модель в виде пространственной объемной конструкции – модуля (рис.5). Исходными данными для численного расчета усилий послужили геометрические параметры элементов модуля, а также физико-механические характеристики материалов модуля (бетона, арматуры и стали).

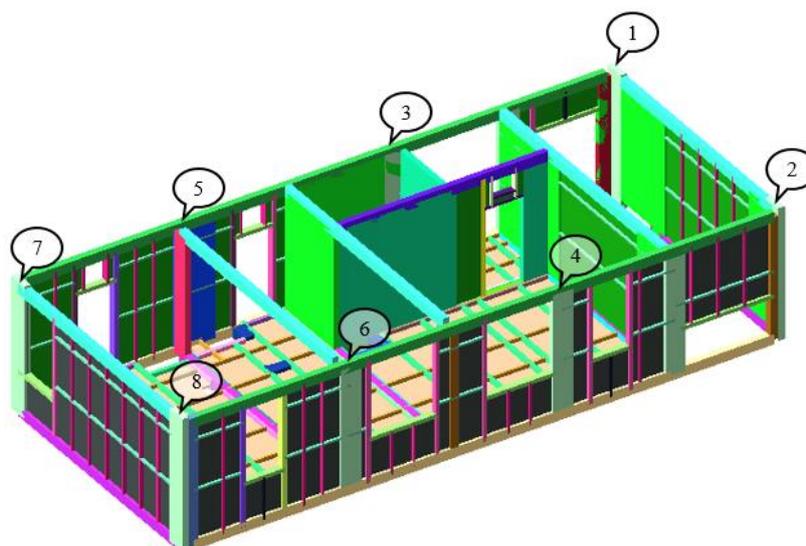


Рисунок 5 – Пространственная модель крупногабаритного модуля:
1...8 – номера точек строповки

Результаты исследования и их анализ

Результаты обработки статистических данных о распределении усилий в точках подъема модулей и основных параметров и весовых характеристиках модулей представлены в табл. 1. Фактическая масса модуля зависит от удельного веса изделий модуля, на который влияет конструктивное решение изделий и фактический процент армирования.

Таблица 1 – Распределение усилий в точках подъема и основные параметры и весовые характеристики модулей

Наименование параметра/характеристики	среднегабаритный модуль	крупногабаритный модуль
мин... макс. Габариты, м:		
длина	6595...15500	7840...15800
ширина	2260...6630	3290...6900
высота	550...3850	550...3850
мин...макс. Площадь по ГНС (габаритам наружных стен), м ² , при кол-ве точек строповки 6 (8)	26 (28)...49 (47)	51 (51)...101 (103)
мин...макс. Усилия в угловых точках строповки, т, при кол-ве точек строповки 6 (8)	0,7 (1,3)...10,8 (9,1)	0,9 (0,9)...11,8 (11,7)

Наименование параметра/характеристики	среднегабаритный модуль	крупногабаритный модуль
мин...макс. усилия в центральных точках строповки, т при кол-ве точек строповки 6 (8)	2 (0,5)...12,3 (6,2)	0,9 (1,7)...11,7 (11,8)
мин...макс. масса модуля, т (типы модулей: кровельный, типового этажа, подвальный)	10,5...52,7	24,9...77,8

Распределение усилий в угловых и центральных точка строповки при 6-ти точках строповки представлено на рис. 6 и 7, при 8-ми точках – на рис. 8 и 9 соответственно. Частота нормального распределения масштабирована в 1000 раз. Совокупность является достаточно однородной.

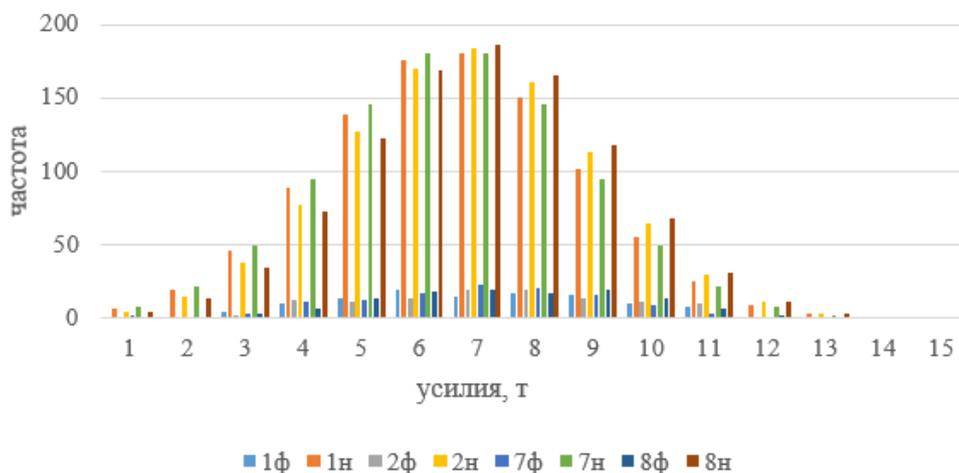


Рисунок 6 – Распределение усилий в угловых точках строповки при 6-ти точках: индекс ф – фактическое распределение, индекс н – нормальное распределение; 1...8 – номера угловых точек строповки

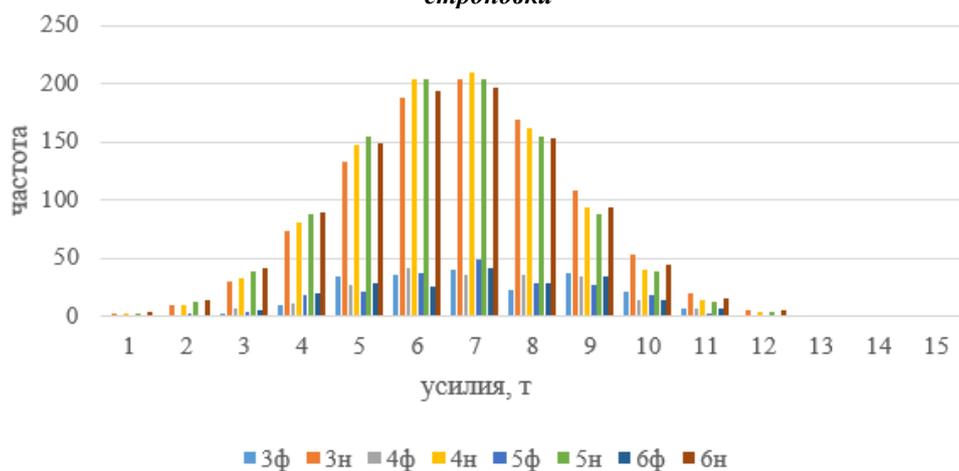


Рисунок 7 – Распределение усилий в центральных точках строповки при 6-ти точках: индекс ф – фактическое распределение, индекс н – нормальное распределение; 3...6 – номера центральных точек строповки

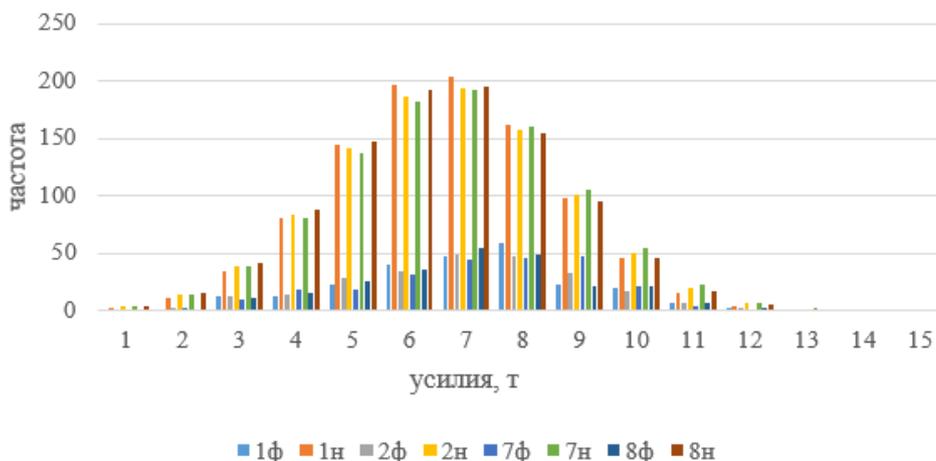


Рисунок 8 – Распределение усилий в угловых точках строповки при 8-ми точках: индекс ф – фактическое распределение, индекс н – нормальное распределение; 1...8 – номера угловых точек строповки

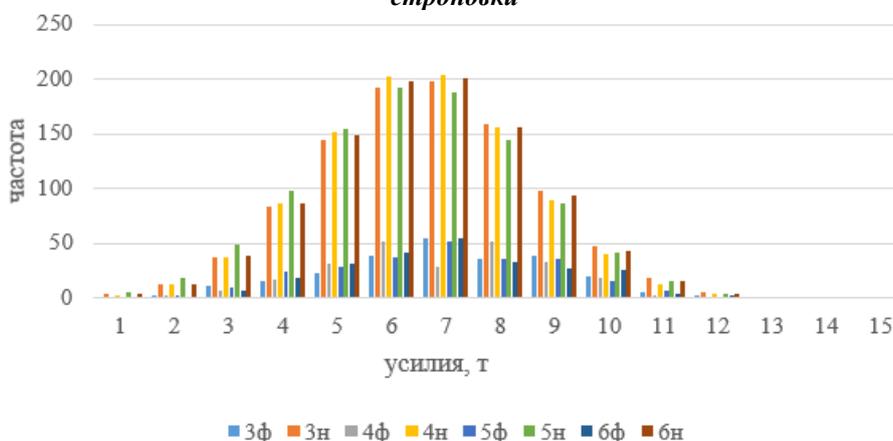


Рисунок 9 – Распределение усилий в центральных точках строповки при 8-ми точках: индекс ф – фактическое распределение, индекс н – нормальное распределение; 3...6 – номера центральных точек строповки

Максимальная нагрузка на подъемный узел по результатам расчета по грузовым площадям и по пространственной модели составила 13,6 и 14,3 т соответственно (см. табл. 2, номера точек строповки указаны на рис. 7).

Таблица 2 – Результаты расчетного анализа и фактических замеров усилий в точках строповки и массы модулей

№ п/п		Усилия, т, в точке строповки №								А, т	Б, т	А+Б, т
		1	2	3	4	5	6	7	8			
1	Результаты расчета по грузовым площадям	13,6	12,8	6,1	6,3	8,4	8,1	11,7	12,5	50,5	28,9	79,4
2	Результаты расчета по пространственной модели при вертикальной строповке	9,0	8,6	10,3	10,4	14,3	10,6	9,1	9,1	35,8	45,6	81,4
3	Результаты замеров порталного транспортера в заводских условиях	10,4	7,5	8,1	8,0	9,9	9,6	10,4	8,2	36,5	35,6	72,1

Примечания. А – сумма усилий, приходящихся на угловые точки строповки, Б – сумма усилий, приходящихся на центральные точки строповки

Выводы

1. Характер фактического распределения усилий обусловлен полученной в результате регулировки стропальщиком длины строп, а также разницей отпускной и проектной прочности бетона несущих конструкций модулей.

2. Результаты расчета показали, что наиболее нагруженными являются угловые точки строповки.

3. Правильно подобранная и подогнанная длина строп позволяет более равномерно распределить усилия по конструкции и избежать перенапряжения отдельных конструктивных элементов модуля. Модули, поднимаемые за шесть и восемь точек с помощью балансирующей траверсы или стропов, следует рассчитывать в предположении неодинакового наклона стропов и неравенства вследствие этого вертикальных составляющих усилий, приложенных к монтажным узлам. Для подтверждения данной гипотезы ведется подготовка к экспериментальным исследованиям распределения усилий, возникающих в точках строповки модуля при монтаже в условиях строительной площадки. При этом, предполагается учет ветрового воздействия, возникающего при монтаже модулей многоэтажного здания, а также подгонка длины строп в зависимости от проектного смещения центра масс модуля. Будучи, полученные результаты послужат базисом для разработки методики расчета подъемных узлов железобетонных модулей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E. Fuchs. Design of inserts for lifting and handling of precast concrete elements – state of the art // *Otto-Graf-Journal*. 2019. Vol. 18. Pp. 89-100. URL: https://www.mpa.uni-stuttgart.de/institute/publikationen/otto-graf-journal/new_downloadgallery/08_Fuchs.pdf (date of application: 02.04.2024).
2. Ряжских 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.
3. 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. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prochnost-i-treschinostoykost-obemnogo-bloka-tipa-kolpak-bez-paneli-pola> (дата обращения: 02.04.2024).
4. 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> (date of application: 02.04.2024).
5. Khodabandelu A., Park J.W., 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*. 2022.Pp.563-570.
6. Khodabandelu A., Choi J.O., Park J., Sanei M. Developing a Simulation Model for Lifting a Modular House // in *Construction Research Congress 2020: Computer Applications*, 2020, pp. 145–152. URL: doi.org/10.1061/9780784482865.016 (date of application: 02.04.2024).
7. 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.
8. Хлопов 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.
9. Тамов М.М. Контрольные испытания нагружением объемных блоков новой серии // *Научные труды Кубанского государственного технологического университета*. 2016. № 6. С. 83-93. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1007>
10. Tachkov M., Scherbatyuk P., Kirik E., Gravit M., Kotlyarskaya I. Design solutions for residential multi-storey steel modular building // *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2022. Vol. 101. Article No 10102. doi: 10.4123/CUBS.101.2. (rus)
11. Лапидус А.А., Амбарцумян С.А., Долгов О.С., Колпаков А.М., Мещеряков А.С., Горбачевский В.П. Исследование влияния технологических и функциональных особенностей мобильных конвейерных роботизированных технологических линий на конструкцию железобетонных стен и перекрытия мобильных

крупногабаритных модулей // Строительное производство. 2022. №3. С. 2-10. URL: https://doi.org/10.54950/26585340_2022_3_2.

12. Амбарцумян С.А., Мещеряков С.А., Агарцев Е.В., Горбачевский В.П. Грузозахватное устройство/ Патент на изобретение № 2751379 от 13.07.2021. – М.: Роспатент, 2021.

13. Пахомова Л.А., Горбачевский В.П. О подготовке и эксплуатации траверса для перемещения крупногабаритных объемных блоков // Строительное производство. 2021. №1. С. 39-47.

14. Амбарцумян С.А., Мартиросян А.С. Способ защиты секций здания при выполнении монтажа здания из готовых крупногабаритных объемных модулей (варианты)/ Патент на изобретение № 2803606 от 18.09.2023. – М.: Роспатент, 2023.

15. Амбарцумян С.А., Мещеряков А.С. Способ изготовления крупногабаритного готового объемного модуля и способ строительства здания из крупногабаритных готовых объемных модулей/ Патент на изобретение № 2712845 от 31.01.2020. – М.: Роспатент, 2020.

REFERENCES

1. E. Fuchs. Design of inserts for lifting and handling of precast concrete elements – state of the art. *Otto-Graf-Journal*. 2019. Vol. 18. Pp. 89-100. URL: https://www.mpa.uni-stuttgart.de/institute/publikationen/otto-graf-journal/new_downloadgallery/08_Fuchs.pdf (date of application: 02.04.2024).

2. Riazhsikh B.E. Static load testing of a volumetric precast reinforced concrete module of a 17-storey residential modular building. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2023. No. 10. Pp. 20–34. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-10-20-34. (rus)

3. Tamov M.A., Tamov M.M., Usanov S.V., Tabagua G.R. Prochnost' I treshchinostoykost' ob'yemnogo bloka tipa "Kolpak" bez paneli pola [Strength and crack resistance of a volumetric block of the "Cap" type without a floor panel] *Nauchnyy zhurnal "Inzhenernyy vestnik Dona"* [Electronic scientific journal Engineering Journal of Don] 2015. No. 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prochnost-i-treshchinostoykost-obemnogo-bloka-tipa-kolpak-bez-paneli-pola> (date of application: 02.04.2024). (rus)

4. 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> (date of application: 02.04.2024).

5. Khodabandelu A., Park J.W., 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. 2022. Pp. 563-570. URL: https://www.researchgate.net/publication/363614739_Analysis_of_a_Long_Volumetric_Module_Lift_Using_Single_and_Multiple_Cranes (date of application: 02.04.2024).

6. Khodabandelu A., Choi J.O., Park J., Sanei M. Developing a Simulation Model for Lifting a Modular House. in *Construction Research Congress 2020: Computer Applications, 2020*, pp. 145–152. URL: doi.org/10.1061/9780784482865.016 (date of application: 02.04.2024).

7. 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. (rus)

8. Kholopov I.S., Shirokov V.S., Solov'ev A.V., Makarov Yu. D. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya bystrovozvodimogo modul'nogo zdaniya [The strain-stress state analysis of a prefab building] *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2015. No. 6. Pp. 15-19. (rus)

9. Tamov M.M. Kontrol'nyye ispytaniya nagruzheniyem ob'yemnykh blokov novoy serii [Loading tests of new type room units] *Nauchnyye Trudy Kubanskogo godudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2016. Pp. 83-93. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1007> (rus)

10. Tachkov M., Scherbatyuk P., Kirik E., Gravit M., Kotlyarskaya I. Design solutions for residential multi-storey steel modular building. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2022. Vol. 101. Article No 10102. doi: 10.4123/CUBS.101.2. (rus)

11. Lapidus A.A., Ambartsumyan S.A., Dolgov O.L., Kolpakov A.M., Mescheryakov A.S., Gorbachevskii V.P. Issledovaniye vliyaniya tekhnologicheskikh I funktsional'nykh osobennostey mobil'nykh konveyernykh robotizirovannykh tekhnologicheskikh liniy na konstruktsiyu zhelezobetonnykh sten I perekrytiy mobil'nykh krupnogabaritnykh moduley [Investigation of the Influence of Technological and Functional Features of Mobile Conveyor Robotic Production Lines on the Design of Reinforced Concrete Walls and Floors of Mobile Large-Sized Modules] *Nauchno-tekhnicheskij zhurnal Stroitel'noye proizvodstvo* [Scientific and technical journal Construction production]. 2022. No. 3. Pp. 2-10. doi: 10.54950/26585340_2022_3_2 (rus)

12. Patent RF 2751379. Gruzozakhvatnoye ustroystvo [Load-gripping apparatus]. Ambartsumian S.A., Meshcheriakov A.S., Agartsev E.V., Gorbachevskii V.P. Published 13.07.2021. (rus)

13. Pakhomova L.A., Gorbachevskii V.P. O podgotovke k ekspluatatsii travers dlya peremeshcheniya krupnogabaritnykh ob'yemnykh blokov [About Crosspieces Preparation and Operation for Moving Large-Scale Roomy Blocks] *Nauchno-tekhnicheskii zhurnal Stroitel'noye proizvodstvo* [Scientific and technical journal Construction production]. 2021. No. 1. Pp. 39-47. (rus)

14. Patent RF 2803606. Sposob zashchity sektsiy zdaniya pri vypolnenii montazha zdaniya iz gotovykh krupnogabaritnykh ob'yemnykh moduley (varianty) [Method for protection of building sections during erection of a building from ready-made large-sized modules (variants)]. Ambartsumian S.A., Martirosian A.S. Published 18.09.2023. (rus)

15. Patent RF 2712845. Sposob izgotovleniya krupnogabaritnogo gotovogo ob'yemnogo modulya i sposob stroitel'stva zdaniya iz krupnogabaritnykh gotovykh ob'yemnykh moduley [Method of manufacturing large-sized finished three-dimensional module and method of building construction from large-size finished 3d modules]. Ambartsumian S.A., Meshcheriakov A.S. Published 31.01.2020. (rus)

Информация об авторах

Трекин Николай Николаевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»:

г. Москва, Россия,

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций

E-mail: nik-trekin@yandex.ru

Горбачевский Валентин Петрович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г.

Москва, Россия,

аспирант кафедры Железобетонных и каменных конструкций,

E-mail: vgline@mail.ru

Information about authors

Trekin Nikolay N.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

Doctor of Tech. Sc., Professor, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures.

E-mail: nik-trekin@yandex.ru

Gorbachevskii Valentin P.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

Post graduate student of the department of Reinforced Concrete and Masonry Structures.

E-mail: vgline@mail.ru