

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

ISSN 2073-7416

BUILDING AND RECONSTRUCTION

№3 (113) 2024

май-июнь

Теория инженерных сооружений.
Строительные конструкции

The theory of
engineering

Безопасность зданий
и сооружений

Building and

Архитектура
и градостроительство

Architecture
and urban

Строительные материалы
и технологии

Building
materials



Главный редактор:

Колчунов В.И., акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)

Заместители главного редактора:

Гордон В.А., советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)

Коробко В.И., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Савин С.Ю., канд. техн. наук, доц. (Россия)

Финадеева Е.А., канд. техн. наук, доц. (Россия)

Редколлегия:

Акимов П.А., акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)

Бакаева Н.В., советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)

Бок Т., д-р техн. наук, проф. (Германия)

Булгаков А.Г., д-р техн. наук, проф. (Германия)

Данилевич Д.В., канд. техн. наук, доц. (Россия)

Ерофеев В.Т., акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)

Есаулов Г.В., акад. РААСН, д-р арх., проф. (Россия)

Карпенко Н.И., акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)

Колесникова Т.Н., д-р арх., проф. (Россия)

Колчунов В.И., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Коробко А.В., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Король Е.А., чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)

Кривошапко С.Н., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Кудряшов Н.Н., канд. арх., проф. (Россия)

Лефай З., д-р техн. наук, проф. (Франция)

Мелькумов В.Н., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Орлович Р.Б., д-р техн. наук, проф. (Польша)

Птичникова Г.А., д-р арх., проф. (Россия)

Реболюж Д., д-р техн. наук, проф. (Словения)

Римшин В.И., чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)

Тамразян А.Г., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Травуш В.И., акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)

Трещев А.А., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Тур В.В., д-р техн. наук, проф. (Белоруссия)

Турков А.В., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Федоров В.С., акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)

Федорова Н.В., советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)

Шах Р., д-р техн. наук, проф. (Германия)

Яковенко И.А., д-р техн. наук, проф. (Украина)

Исполнительный редактор:

Амелина М.А., (Россия)

Адрес редакции:

302030, Орловская обл., г. Орёл,

ул. Московская, д. 77.

Тел.: +79065704999

<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>

E-mail: str_and_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство: ПИ №ФС 77-67169
от 16 сентября 2016 г.

Подписной индекс **86294**

по объединённому каталогу «Пресса России»

на сайтах www.pressa-ru.ru и www.akc.ru

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2024

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Надольский В.В.** Несовершенства для расчета стальных конструкций методом конечных элементов. Часть 2..... 3
- Трекин Н.Н., Горбачевский В.П.** Распределение усилий в точках строповки железобетонных модулей..... 12

Безопасность зданий и сооружений

- Дьяков И.М., Дьяков М.И.** Силовое взаимодействие отдельно стоящих фундаментов с основанием при быстром догружении..... 21
- Колчунов В.И., Ильющенко Т.А., Федорова Н.В., Савин С.Ю., Тур В.В., Лизогуб А.А.** Живучесть конструктивных систем зданий и сооружений: аналитический обзор исследований..... 31
- Тамразян А.Г., Черник В.И.** Тепломассоперенос в железобетонных колоннах при огневом воздействии с учетом стадии охлаждения..... 72

Архитектура и градостроительство

- Воличенко О.В., Цурик Т.О.** Реновация объектов промышленной архитектуры на основе иммерсивного подхода..... 83
- Енин А. Е., Грошева Т. И.** Разработка моделей ландшафтно-рекреационных пространств в условиях реконструкции центральной исторической части города..... 98

Строительные материалы и технологии

- Абдрахимов В.З., Абдрахимов Д.В.** Исследование влияния золошлаковой смеси на сушильные свойства керамического образца с использованием метода регрессионного анализа..... 113
- Родин А.И., Ермаков А.А., Кяшкин В.М., Асташов А.М., Буянкин Д.А.** Пористая стеклокерамика из опоки, кальцинированной соды и корректирующих добавок..... 123

Editor-in-Chief

Kolchunov V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Editor-in-Chief Assistants:

Gordon V.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Korobko V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Savin S.Yu., candidate sc. tech., docent
(Russia)

Finadeeva E.A., candidate sc. tech., docent
(Russia)

Editorial Board

Akimov P.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Bakaeva N.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Bock T., doc. sc. tech., prof. (Germany)

Bulgakov A.G., doc. sc. tech., prof. (Germany)

Danilevich D.V., candidate sc. tech., docent.
(Russia)

Erofeev V.T., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Esaulov G.V., doc. arc., prof. (Russia)

Karpenko N.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Kolesnikova T.N., doc. arc., prof. (Russia)

Kolchunov V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Korobko A.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Korol E.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Krivoshapko S.N., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Kudryashov N.N., candidate arc., prof.
(Russia)

Lafhaj Z., doc. sc. tech., prof. (France)

Melkumov V.N., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Orlovic R.B., doc. sc. tech., prof. (Poland)

Ptichnikova G.A., doc. arc., prof. (Russia)

Rebolj D., doc. sc. tech., prof. (Slovenia)

Rimshin V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Tamrazyan A.G., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Travush V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Treschev A.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Tur V.V., doc. sc. tech., prof. (Belorussia)

Turkov A.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Fedorov V.S., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Fedorova N.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Schach R., doc. sc. tech., prof. (Germany)

Iakovenko I.A., doc. sc. tech., prof. (Ukraine)

Managing Editor:

Amelina M.A., (Russia)

The edition address:

302030, Oryol region., Oryol,

Moskovskaya Street, 77

+79065704999

<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>

E-mail: str_and_rek@mail.ru

Journal is registered in Russian federal service for
monitoring communications, information
technology and mass communications

The certificate of registration:

ПИ №ФС 77-67169 from 16.09.2016 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii»

86294 on the websites www.pressa-ru and

www.akc.ru

© Orel State University, 2024

Contents

Theory of engineering structures. Building units

- Nadolski V.V.** Imperfections for the calculation of steel structures by the finite element method. Part 2..... 3
- Trekin N.N., Gorbachevskii V.P.** Investigation of force distribution at slinging nodes of reinforced concrete modules..... 12

Building and structure safety

- Diakov I.M., Diakov M.I.** Interaction of pillar foundations with the basement under dynamic loading..... 21
- Kolchunov V.I., Ilyushchenko T.A., Fedorova N.V., Suvin S.Y., Tur V.V., Lizahub A.A.** Structural robustness: an analytical review..... 31
- Tamrazyan A.G., Chernik V.I.** Heat and mass transfer in reinforced concrete columns under fire action with consideration of the cooling stage..... 72

Architecture and urban planning

- Volichenko O.V., Tsurik T.O.** Renovation of industrial architectural objects based on an immersive approach 83
- Enin A.E., Grosheva T.I.** Development of models of landscape and recreational spaces in the context of reconstruction of the central historical part of the city..... 98

Construction materials and technologies

- Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimov D.V.** Study of influence of ash-slag mixture on drying properties of ceramic sample using regression analysis method..... 113
- Rodin A.I., Ermakov A.A., Kyashkin V.M., Astashov A.M., Buyankin D.A.** Porous glass ceramics from opoka, soda ash and corrective additives..... 123

The journal Building and Reconstruction (Stroitel'stvo i rekonstruktsiya) have being included by Higher Attestation Commission in the List of peer-reviewed scientific journals, in which the main scientific results of dissertations for the degree of candidate and doctor of science should be published, for the group of scientific specialties 2.1. - Construction and architecture: 2.1.1. – Building constructions, buildings and structures (technical sciences); 2.1.2. – Soils and foundations, underground structures (technical sciences); 2.1.5. – Building products and construction materials (technical sciences); 2.1.7. – Construction technology and organization (technical sciences); 2.1.9. – Structural mechanics (technical sciences); 2.1.10. – Environmental safety in construction and urban economy (technical sciences); 2.1.11. – Theory and history of architecture, restoration and reconstruction of historical and architectural heritage (architecture); 2.1.12. – Architecture of buildings and structures. Creative concepts of architectural activity (architecture); 2.1.13. – Urban planning, planning of rural settlements (architecture). The journal is indexed in RSCI, RSCI on the Web of Science.

В.В. НАДОЛЬСКИЙ^{1,2}

¹УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

НЕСОВЕРШЕНСТВА ДЛЯ РАСЧЕТА СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ. ЧАСТЬ 2.

Аннотация. Хорошо известно, что несовершенства всегда присутствуют в элементах конструкций. Несовершенства могут существенно влиять на поведение и несущую способность стальных конструкций, особенно в случае задач, связанных с устойчивостью. Поэтому несовершенства должны учитываться в модели несущей способности и их правильное приложение (задание формы и значения) является ключевым моментом в процессе численного анализа. В последние десятилетия в отечественном научном пространстве уделяется мало внимания актуализации моделей несовершенств для применения в численных моделях, в том числе с учётом современных более точных технологий изготовления и монтажа стальных конструкций. Целью данного исследования является аналитический обзор и анализ научных исследований и технической литературы с последующим синтезом и выработкой рекомендаций по несовершенствам применительно к расчёту стальных конструкций посредством технологии компьютерного моделирования, в том числе методом конечных элементов. Результаты исследования содержат указания по способам задания форм и значений несовершенств для разных групп несовершенств. Статья состоит из двух частей. Первая часть посвящена вопросам изучения геометрических несовершенств, остаточных напряжений и правилам комбинации несовершенств, вторая часть статьи – эквивалентным несовершенствам.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, несовершенства, дефекты, остаточные напряжения, метод конечных элементов, искривления балки.

V.V. NADOLSKI¹

¹Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus

¹Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

IMPERFECTIONS FOR THE CALCULATION OF STEEL STRUCTURES BY THE FINITE ELEMENT METHOD. PART 2.

Abstract. It is well known that imperfections are always present in structural elements. Imperfections can significantly affect the behavior and bearing capacity of steel structures, especially in the case of stability-related tasks. Therefore, inconsistencies must be taken into account in the load-bearing capacity model and their correct application (setting the shape and value) is a key point in the numerical analysis process. In recent decades, much attention has been paid in the domestic scientific space to updating imperfection models for use in numerical models, including taking into account modern more accurate manufacturing and installation technologies for steel structures. The purpose of this study is an analytical review and analysis of scientific research and technical literature, followed by synthesis and elaboration of recommendations on imperfections in relation to the calculation of steel structures using computer modeling technology, including the finite element method. The results of the study contain instructions on how to set the shapes and values of imperfections for different groups of imperfections. The article consists of two parts. The first part is devoted to the study of geometric imperfections, residual stresses and rules for the combination of imperfections, the second part of the article is devoted to equivalent imperfections.

Keywords: computer modeling, imperfections, defects, residual stresses, finite element method, beam curvature.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Graciano C., Ayestarán A. Steel plate girder webs under combined patch loading, bending and shear // *Journal of Constructional Steel Research*. 2013. Vol. 80. P. 202–212. DOI: 10.1016/j.jcsr.2012.09.018.
2. Kövesdi B., Alcaine J., Dunai L., Braun B. Interaction behaviour of steel I-girders Part I: Longitudinally unstiffened girders // *Journal of Constructional Steel Research*. 2014. Vol. 103. P. 327–343. DOI: 10.1016/j.jcsr.2014.06.018.
3. Kövesdi B., Alcaine J., Dunai L., Braun B. Interaction behaviour of steel I-girders; part II: Longitudinally stiffened girders // *Journal of Constructional Steel Research*. 2014. Vol. 103. P. 344–353. DOI: 10.1016/j.jcsr.2014.06.017.
4. Nadolski V., Marková J., Podymako V., Sykora M. Pilot numerical analysis of resistance of steel beams under combined shear and patch loading // *Proceedings of conference Modelling in Mechanics 2022, Ostrava, 26-27 May 2022*. Ostrava: VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Fakulta stavební, 2021, p. 21–29.
5. Kovacevic S., Markovic N., Sumarac D., Salatic R. Influence of patch load length on plate girders. Part II: Numerical research // *Journal of Constructional Steel Research*. 2019. Vol. 158. P. 213–229. DOI: 10.1016/j.jcsr.2019.03.025.
6. Sinur F., Beg D. Moment–shear interaction of stiffened plate girders—Tests and numerical model verification // *Journal of Constructional Steel Research*. 2013. Vol. 85. P. 116–129. DOI: 10.1016/j.jcsr.2013.03.007.
7. Надольский В.В. Параметры численных моделей несущей способности для стальных элементов // *Строительство и реконструкция*. 2023. № 1(1). С. 43–56. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-105-1-43-56.
8. Надольский В. В., Вихляев А.И. Оценка несущей способности балок с гофрированной стенкой методом конечных элементов при действии локальной нагрузки // *Вестник МГСУ*. 2022. Т. 17. Вып. 6. С. 693–706. DOI: 10.22227/1997-0935.202.
9. Надольский В. В., Подымако В.И. Оценка несущей способности стальной балки методом конечных элементов при совместном действии локальных и сдвиговых усилий // *Строительство и реконструкция*. 2022. №2 (100). С.26–43.
10. Fieber A., Gardner L., Macorini L. Design of structural steel members by advanced inelastic analysis with strain limits // *Engineering Structures*. 2019. Vol. 199. Paper 109624. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109624.
11. Gardner L., Yun X., Fieber A., Macorini L. Steel design by advanced analysis: material modelling and strain limits // *Engineering*. 2019. Vol. 5. P. 243–249. DOI: 10.1016/j.eng.2018.11.026.
12. Chacon R., Serrat M., Real E. The influence of structural imperfections on the resistance of plate girders to patch loading // *Thin-Walled Struct.* 2012. Vol. 53. P. 15–25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2011.12.003>.
13. Lindner J., Kuhlmann U., Just A. Verification of flexural buckling according to EN 1993-1-1 using bow imperfections // *Steel Construction*. 2016. Vol. 9. P. 349–362. DOI:10.1002/stco.201600004.
14. Lindner J., Kuhlmann U., Jörg F. Initial bow imperfections e_0 for the verification of flexural buckling according to Eurocode 3 Part 1-1 – additional considerations // *Steel Construction*. 2018. Vol. 11. P. 30–41. DOI: 10.1002/stco.20170.
15. Walport F., Gardner L., Nethercot D.A. Equivalent bow imperfections for use in design by second order inelastic analysis // *Structures*. 2020. Vol. 26. P. 670–685. DOI: 10.1016/j.istruc.2020.03.065.
16. Quan Ch., Walport F., Gardner L. Equivalent imperfections for the out-of-plane stability design of steel beams by second-order inelastic analysis // *Engineering Structures*. – 2021. Vol. 251. Paper 113481. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.113481.
17. Надольский В.В. Статистические характеристики погрешности численных моделей несущей способности для стальных элементов // *Строительство и реконструкция*. 2023. №3 (107). С.17–34. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-107-3-17-34.
18. Radwan M., Kövesdi B. Local plate buckling type imperfections for NSS and HSS welded box-section columns // *Structures*. 2021. Vol. 34. P. 2628–2643. DOI: 10.1016/j.istruc.2021.09.011.
19. Haffar Z.M., Kövesdi B., Ádány S. On the buckling of longitudinally stiffened plates, part 2: Eurocode-based design for plate-like behaviour of plates with closed-section stiffeners // *Thin-Walled Structures*. 2019. Vol. 145. Paper 106395. DOI: 10.1016/j.tws.2019.106395.
20. Kala Z. Geometrically non-linear finite element reliability analysis of steel plane frames with initial imperfections // *Journal of Civil Engineering and Management*. 2012. Vol. 18. P. 81–90. DOI: 10.3846/13923730.2012.655306.
21. Yang H., Liu S., Fang Z., Zhao J. Investigation of intermediate-height horizontal brace forces under horizontal and vertical loads including random initial imperfections // *Buildings*. 2023. Vol. 13. Paper 180. DOI: 10.3390.

22. Zhang H., Shayan S., Rasmussen K.J.R., Ellingwood B.R. System-based design of planar steel frames, I: Reliability framework // *Journal of Constructional Steel Research*. 2016. Vol. 123. P. 135-143. DOI: 10.1016/j.jcsr.2016.05.004.

REFERENCES

1. Graciano C., Ayestarán A. Steel plate girder webs under combined patch loading, bending and shear. *Journal of Constructional Steel Research*. 2013. Vol. 80. P. 202–212. DOI: 10.1016/j.jcsr.2012.09.018.
2. Kövesdi B., Alcaine J., Dunai L., Braun B. Interaction behaviour of steel I-girders Part I: Longitudinally unstiffened girders. *Journal of Constructional Steel Research*. 2014. Vol. 103. P. 327–343. DOI: 10.1016/j.jcsr.2014.06.018.
3. Kövesdi B., Alcaine J., Dunai L., Braun B. Interaction behaviour of steel I-girders; part II: Longitudinally stiffened girders. *Journal of Constructional Steel Research*. 2014. Vol. 103. P. 344–353. DOI: 10.1016/j.jcsr.2014.06.017.
4. Nadolski V., Marková J., Podymako V., Sykora M. Pilot numerical analysis of resistance of steel beams under combined shear and patch loading. *Proceedings of conference Modelling in Mechanics 2022*, Ostrava, 26-27 May 2022. Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Fakulta stavební. 2021, p. 21-29.
5. Kovacevic S., Markovic N., Sumarac D., Salatic R. Influence of patch load length on plate girders. Part II: Numerical research. *Journal of Constructional Steel Research*. 2019. Vol. 158. P. 213–229. DOI: 10.1016/j.jcsr.2019.03.025.
6. Sinur F., Beg D. Moment–shear interaction of stiffened plate girders—Tests and numerical model verification. *Journal of Constructional Steel Research*. 2013. Vol. 85. P. 116–129. DOI: 10.1016/j.jcsr.2013.03.007.
7. Nadol'skij V.V. Parametry chislennykh modelej nesushchej sposobnosti dlya stal'nykh elementov [Parameters of numerical models of bearing capacity for steel elements] *Stroitel'stvo I rekonstrukciya*. 2023. № 1(1). S. 43-56. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-105-1-43-56. (rus)
8. Nadol'skij V.V., Vihlyayev A.I. Ocenka nesushchej sposobnosti balok s gof-rirovannoj stenкой metodom konechnykh elementov pri dejstvii lokal'noj nagruzki [Assessment of the bearing capacity of beams with a corrugated wall by the finite element method under local load] *Vestnik MGSU*. 2022. T. 17. Vyp. 6. S. 693–706. DOI: 10.22227/1997-0935.202. (rus)
9. Nadol'skij V.V., Podymako V.I. Ocenka nesushchej sposobnosti stal'noj balki metodom konechnykh elementov pri sovmestnom dejstvii lokal'nykh I sdvigovykh usilij [Assessment of the bearing capacity of a steel beam by the finite element method under the combined action of local and shear forces] *Stroitel'stvo I rekonstrukciya*. 2022. №2 (100). S.26-43. (rus)
10. Fieber A., Gardner L., Macorini L. Design of structural steel members by advanced inelastic analysis with strain limits. *Engineering Structures*. 2019. Vol. 199. Paper 109624. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109624.
11. Gardner L., Yun X., Fieber A., Macorini L. Steel design by advanced analysis: material modelling and strain limits. *Engineering*. 2019. Vol. 5. P. 243–249. DOI: 10.1016/j.eng.2018.11.026.
12. Chacon R., Serrat M., Real E. The influence of structural imperfections on the resistance of plate girders to patch loading. *Thin-Walled Struct.* 2012. Vol. 53. P. 15–25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2011.12.003>.
13. Lindner J., Kuhlmann U., Just A. Verification of flexural buckling according to EN 1993-1-1 using bow imperfections. *Steel Construction*. 2016. Vol. 9. P. 349-362. DOI:10.1002/stco.201600004.
14. Lindner J., Kuhlmann U., Jörg F. Initial bow imperfections e_0 for the verification of flexural buckling according to Eurocode 3 Part 1-1 – additional considerations. *Steel Construction*. 2018. Vol. 11. P. 30-41. DOI: 10.1002/stco.20170.
15. Walport F., Gardner L., Nethercot D.A. Equivalent bow imperfections for use in design by second order inelastic analysis. *Structures*. 2020. Vol. 26. P. 670–685. DOI: 10.1016/j.istruc.2020.03.065.
16. Quan Ch., Walport F., Gardner L. Equivalent imperfections for the out-of-plane stability design of steel beams by second-order inelastic analysis. *Engineering Structures*. – 2021. Vol. 251. Paper 113481. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.113481.
17. Nadol'skij V.V. Statisticheskie harakteristiki pogreshnosti chislennykh modelej nesushchej sposobnosti dlya stal'nykh elementov [Statistical characteristics of the error of numerical models of bearing capacity for steel elements] *Stroitel'stvo I rekonstrukciya*. 2023. №3 (107). C.17-34. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-107-3-17-34. (rus).
18. Radwan M., Kövesdi B. Local plate buckling type imperfections for NSS and HSS welded box-section columns. *Structures*. 2021. Vol. 34. P. 2628-2643. DOI: 10.1016/j.istruc.2021.09.011.
19. Haffar Z.M., Kövesdi B., Ádány S. On the buckling of longitudinally stiffened plates, part 2: Eurocode-based design for plate-like behaviour of plates with closed-section stiffeners. *Thin-Walled Structures*. 2019. Vol. 145. Paper 106395. DOI: 10.1016/j.tws.2019.106395.

20. Kala Z. Geometrically non-linear finite element reliability analysis of steel plane frames with initial imperfections . Journal of Civil Engineering and Management. 2012. Vol. 18. P. 81–90. DOI: 10.3846/13923730.2012.655306.
21. Yang H., Liu S., Fang Z., Zhao J. Investigation of intermediate-height horizontal brace forces under horizontal and vertical loads including random initial imperfections . Buildings. 2023. Vol. 13. Paper 180. DOI: 10.3390.
22. Zhang H., Shayan S., Rasmussen K.J.R., Ellingwood B.R. System-based design of planar steel frames, I: Reliability framework . Journal of Constructional Steel Re-search. 2016. Vol. 123. P. 135-143. DOI: 10.1016/j.jcsr.2016.05.004.

Информация об авторе:

Надольский Виталий Валерьевич

УО «Брестский государственный технический университет» (БрГТУ), г. Брест, Республика Беларусь, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологии строительного производства».

И доцент кафедры «Строительных конструкций», Белорусский национальный технический университет (БНТУ), г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: nadolskivv@mail.ru

Information about author:

Nadolski Vitali V.

Brest State Technical University, Brest, Belarus,

candidate of technical science (PhD), docent, associated professor of the department of Building constructions, and Associate Professor of the Department of Building Structures, Belarusian National Technical University (BNTU), Minsk, Republic of Belarus

E-mail: nadolskivv@mail.ru

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.

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. 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.
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-treshchinostoykost-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. Лapidус 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 траверс 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-treschinostoykost-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., Mkrtichev 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 bystrozovodimogo 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 gosudarstvennogo 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 konstruksiyu 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-tekhnicheskyy 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-tekhnicheskyy 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

И.М. ДЬЯКОВ¹, М.И. ДЬЯКОВ¹

¹ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь, Россия

СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОТДЕЛЬНО СТОЯЩИХ ФУНДАМЕНТОВ С ОСНОВАНИЕМ ПРИ БЫСТРОМ ДОГРУЖЕНИИ

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований силового взаимодействия моделей отдельно стоящих фундаментов с песчаным основанием при быстрых догрузках. Исследования выполнены на железобетонных моделях фундаментов и металлическом штампе в песчаном лотке. Анализ затронул такие факторы работы системы «фундамент-грунт» при наличии быстрого догружения как изменение несущей способности фундамента на изгиб, осадка основания, трансформация эпюры нормальных контактных напряжений. Выявлены причины снижения несущей способности фундаментов на изгиб при быстром догружении, основной из которых является изменение формы эпюры нормальных контактных напряжений. Определены факторы, влияющие на концентрации нормальных контактных напряжений у краевых зон подошвы фундамента, среди которых: разная скорость протекания составляющих процесса перераспределения напряжений в основании, развитие дилатансии и др.

Ключевые слова: силовое взаимодействие фундаментов с основанием, осадка фундаментов, нормальные контактные напряжения, деформации, отдельно стоящий фундамент, прогрессирующее обрушение.

I.M. DIAKOV¹, M.I. DIAKOV¹

¹Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, Simferopol, Russia

INTERACTION OF PILLAR FOUNDATIONS WITH THE BASEMENT UNDER DYNAMIC LOADING

Abstract. The results of experimental studies of the force interaction of models of free-standing foundations with a sandy base under rapid additional loading are presented. The studies were carried out on reinforced concrete foundation models and a metal stamp in a sand tray. The analysis touched upon such factors of the operation of the “foundation-soil” system in the presence of rapid additional loading as a change in the bearing capacity of the foundation for bending, foundation settlement, transformation of the diagram of normal contact stresses. The reasons for the decrease in the bearing capacity of foundations for bending during rapid additional loading have been identified, the main one of which is a change in the shape of the diagram of normal contact stresses. Factors influencing the concentration of normal contact stresses near the edge zones of the foundation base have been identified, including: different rates of components of the stress redistribution process in the foundation, the development of dilation, etc.

Keywords: Force interaction of foundations with soil, settlement of foundations, normal contact stresses, deformations, free-standing foundation, progressive collapse.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тер-Мартirosян, А. З. Осадки оснований сооружений при статическом, циклическом и вибрационном воздействиях / А. З. Тер-Мартirosян // Международный журнал «Геотехника». – М. – 2010. – С.77-81.
2. Алексеев В.М., Евдокимцев О.В., Леденев В.В. Экспериментальные исследования работы фундаментов при действии центральной и внецентренной многократно повторной нагрузки. ВНИИТПИ, № 11691. М., 1998. – 25 с.
3. Леденёв В. В., Основания и фундаменты при сложных силовых воздействиях (опыты): монография для научных работников, аспирантов и магистрантов строительного профиля: в 2 т. /– Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. Т. 2. – 2015. – 288 с.
4. Jia J. Dynamic and cyclic properties of soils // Soil dynamics and foundation modeling// Springer international publishing Ag. 2018.P. 75-108.
5. Леденёв В. В., Несущая способность и деформативность оснований и фундаментов при сложных силовых воздействиях: монография / – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 324 с. – 400 экз. – ISBN 978-5-8265-1444-3.
6. Diakov I N, Tsarenko N V, Diakov M I., Experimental studies of the “foundation-soil” system operation with sudden loading// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 913 (2020) 022064 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/913/2/022064.
7. Дьяков И.М. Планирование экспериментальных исследований работы системы «фундамент-основание» при внезапных догружениях [Электронный ресурс]/ И.М. Дьяков, М.И. Дьяков, Б.Ю. Барыкин // Строительство и техногенная безопасность. — 2020. — № 19(71). — с.5-12. — DOI: 10.37279/2413-1873-2020-19-5-12.
8. Vesic, A. S. Analysis of ultimate loads of shallow foundations /A. S. Vesic // Journal of the soil mechanics and foundation division. – 1973. – V. 99, N SM1. – P. 45 – 73
9. Motra H.B., Stutz H., Wuttke F. Quality assessment of soil bearing capacity factor models of shallow foundations // Soils and Foundations. 2016. Volume 56. Issue 2. Pp. 265-276.
10. Сиразиев Л.Ф. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния трехслойного грунтово-цементного основания при кратковременных штамповых испытаниях и наличии водонасыщенного слоя. Известия КГАСУ, 2017, № 4 (42). – Казань, С.228-236.
11. Колчунов В.И., Московцева В.С., Бушова О.Б., Жуков Д.И. Расчетный анализ способов защиты монолитных каркасов многоэтажных зданий с плоскими перекрытиями от прогрессирующего обрушения. Строительство и реконструкция. 2021;(4):35-44. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-96-4-35-44>
12. Колчунов В.И., Московцева В.С. Живучесть железобетонных каркасов многоэтажных зданий со сложнапряженными элементами // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2022. Т. 18. № 3. С. 195–203. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2022-18-3-195-203>.
13. Травуш, В. И. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения в рамках законодательных и нормативных требований / В. И. Травуш, В. И. Колчунов, Е. В. Леонтьев. - (Строительные конструкции, здания и сооружения). - Текст: непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. - 2019. - № 2. - С. 46-54. - Библиогр.: с. 53-54 (19 назв.). - ISSN 0869-7019.
14. Тархута Н.Я., Васильев Ю.М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог / Н.Я. Хархута, Ю.М. Васильев. - Москва : Транспорт, 1975. - 285 с.
15. Денисенко В. В., Ляшенко П. А. Исследование влияния скорости приложения постоянно возрастающей нагрузки на консолидацию грунтов после нагружения Научные труды КубГТУ №15.– 2016. – С. 1–15.
16. Т.М. Уласик. Влияние «стесненной» дилатансии на несущую способность свайных фундаментов/ Вестник полоцкого государственного университета. Строительство. Прикладные науки 2015, №16. – С30-33.
17. Abouzar Sadrekarimi. Static liquefaction-triggering analysis considering soil dilatancy. Soils and Foundations 2014;54(5). С.955-966
18. Merita Tafili 1,2,*, Carlos Grandas Tavera 3, Theodoros Triantafyllidis 1 and Torsten Wichtmann. On the Dilatancy of Fine-Grained Soils / Geotechnics/ Geotechnics 2021, 1, 192–215. <https://doi.org/10.3390/geotechnics1010010/> <https://www.mdpi.com/journal/geotechnics>
19. John McDougall, Darren Kelly, Daniel Barreto/ Particle loss: An initial investigation into size effects and stress-dilatancy/ April 2019/ SOILS AND FOUNDATIONS 59(3) DOI:10.1016/j.sandf.2019.03.002 License CC BY-NC-ND 4.0
20. Muhammad Shehzad Khalid a, Mamoru Kikumoto b, Ying Cui b, Kiyoshi Kishida. The role of dilatancy in shallow overburden tunneling/ ScienceDirect Underground Space 4 (2019) 181–200

REFERENCES

1. Ter-Martirosyan, A. Z. Settlement of the foundations of structures under static, cyclic and vibration influences. A. Z. Ter-Martirosyan. *International Journal of Geotechnics*. – M. – 2010. – P.77-81.
2. Alekseev V.M., Evdokimtsev O.V., Ledenev V.V. Experimental studies of the operation of foundations under the action of central and eccentric repeated loads. VNIITPI, No. 11691. M., 1998. - 25 p.
3. Ledenev V. V. Foundations and foundations under complex force influences (experiments): monograph for scientists, graduate students and undergraduates in construction: in 2 volumes. Tambov: Publishing house of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "TSTU", 2015. T. 2. - 2015. - 288 p.
4. Jia J. Dynamic and cyclic properties of soils. *Soil dynamics and foundation modeling*. Springer international publishing Ag. 2018.P. 75-108.
5. Ledenev V. V. Bearing capacity and deformability of bases and foundations under complex force influences: monograph. Tambov: Publishing house of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "TSTU", 2015. – 324 p. – 400 copies. – ISBN 978-5-8265-1444-3.
6. Diakov I N, Tsarenko N V, Diakov M I. Experimental studies of the “foundation-soil” system operation with sudden loading. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 913 (2020) 022064 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/913/2/022064.
7. Dyakov I.M. Planning of experimental studies of the operation of the “foundation-foundation” system under sudden additional loading [Electronic resource]. *Construction and technogenic safety*. - 2020. - No. 19(71). — p.5-12. — DOI: 10.37279/2413-1873-2020-19-5-12.
8. Vesic, A. S. Analysis of ultimate loads of shallow foundations .A. S. Vesic. *Journal of the soil mechanics and foundation division*. – 1973. – V. 99, N SM1. – P. 45 – 73.
9. Motra H.B., Stutz H., Wuttke F. Quality assessment of soil bearing capacity factor models of shallow foundations. *Soils and Foundations*. 2016. Volume 56. Issue 2. Pp. 265-276.
10. Siraziev L.F. Experimental studies of the stress-strain state of a three-layer soil base during short-term stamping tests and the presence of a water-saturated layer. *News of KGASU*, 2017, No. 4 (42). – Kazan, pp. 228-236.
11. Kolchunov V.I., Moskovtseva V.S., Bushova O.B., Zhukov D.I. Calculation analysis of methods for protecting monolithic frames of multi-story buildings with flat floors from progressive collapse. *Construction and reconstruction*. 2021;(4):35-44. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-96-4-35-44>.
12. Kolchunov V.I., Moskovtseva V.S. Vitality of reinforced concrete frames of multi-storey buildings with complexly stressed elements. *Structural mechanics of engineering structures and structures*. 2022. T. 18. No. 3. pp. 195–203. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2022-18-3-195-203>.
13. Travush, V. I. Protection of buildings and structures from progressive collapse within the framework of legislative and regulatory requirements (Building structures, buildings and structures). *Industrial and civil construction*. - 2019. - No. 2. - P. 46-54. - Bibliography: p. 53-54 (19 titles). - ISSN 0869-7019.
14. Tarhuta N.Ya., Vasiliev Yu.M. Strength, stability and soil compaction of highway subgrades. Moscow: Transport, 1975. - 285 p.
15. Denisenko V.V., Lyashenko P.A. Study of the influence of the speed of application of a constantly increasing load on the consolidation of soils after loading *Scientific works of KubSTU*. No. 15. – 2016. – P. 1–15.
16. T.M. Ulasik. The influence of “constrained” dilatancy on the bearing capacity of pile foundations. Bulletin of Polotsk State University. Construction. Applied Sciences 2015, No. 16. – P. 30-33.
17. Abouzar Sadrekarimi. Static liquefaction-triggering analysis considering soil dilatancy. *Soils and Foundations* 2014;54(5). C.955-966.
18. Merita Tafili 1,2,*, Carlos Grandas Tavera 3, Theodoros Triantafyllidis 1 and Torsten Wichtmann. On the Dilatancy of Fine-Grained Soils. *Geotechnics* 2021, 1, 192–215. <https://doi.org/10.3390/geotechnics1010010> <https://www.mdpi.com/journal/geotechnics>.
19. John McDougall, Darren Kelly, Daniel Barreto. Particle loss: An initial investigation into size effects and stress-dilatancy. April 2019. SOILS AND FOUNDATIONS 59(3) DOI:10.1016/j.sandf.2019.03.002 License CC BY-NC-ND 4.0.
20. Muhammad Shehzad Khalid a, Mamoru Kikumoto b, Ying Cui b, Kiyoshi Kishida. The role of dilatancy in shallow overburden tunneling. ScienceDirect Underground Space 4 (2019) 181–200.

Информация об авторах

Дьяков Игорь Михайлович

ФГАОУ ВО Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Россия,
канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой Геотехники и конструктивных элементов зданий,
E-mail: karta3@mail.ru

Дьяков Михаил Игоревич

ФГАОУ ВО Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Россия,
аспирант кафедры строительных конструкций,

E-mail: dyakov.info.aca@yandex.ru

Information about authors

Diakov Igor M.

Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, Simferopol, Russia,
candidate in tech. sc., docent, head of the department of geotechnics and structural elements of buildings

E-mail: karta3@mail.ru

Diakov Michael I.

Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, Simferopol, Russia,
postgraduate student of the Department of Building Structures

E-mail: dyakov.info.aca@yandex.ru

В.И. КОЛЧУНОВ¹, Т.А. ИЛЬЮЩЕНКО^{1,2}, Н.В. ФЕДОРОВА¹,
С.Ю. САВИН¹, В.В. ТУР³, А.А. ЛИЗОГУБ³

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

²Курский государственный университет, г. Курск, Россия

³Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь

ЖИВУЧЕСТЬ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ

Аннотация. Проблеме живучести конструктивных систем зданий и сооружений уделяется все больше внимания во всем мире. Предлагаемая обзорная статья направлена на систематизацию, обобщение и анализ новых результатов исследований по вопросам, относящимся к разработке расчетных моделей статического, динамического и статико-динамического сопротивления конструктивных систем зданий и сооружений в условиях особых и аварийных воздействий, а также критериев, применяемых при проверках их живучести в особых расчетных ситуациях. Приведен критический обзор-анализ зарубежных и отечественных публикаций по вопросам, касающимся постановочных и концептуальных подходов к оценке механической безопасности зданий и сооружений на этапах жизненного цикла и при аварийных ситуациях, силовых и средовых факторов сопротивления конструктивных систем зданий при динамических нагрузках в аварийных ситуациях, а также расчетных моделей сопротивления несущих систем в целом. Особое внимание уделено анализу работ, относящихся к оценке живучести конструктивных систем зданий и сооружений полу вероятностными (детерминированными), вероятностными методами и методом оценки рисков. В заключении статьи сформулированы основные выводы и возможные направления развития исследований.

Ключевые слова: живучесть, особое предельное состояние, критерии особого предельного состояния, механическая безопасность, оценка риска

V.I. KOLCHUNOV¹, T.A. ILIUSHCHENKO^{1,2}, N.V. FEDOROVA¹,
S.Y. SAVIN¹, V.V. TUR³, A.A. LIZAHUB³

¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

²Kursk State University, Kursk, Russia

³Brest State Technical University, Brest, Belarus

STRUCTURAL ROBUSTNESS: AN ANALYTICAL REVIEW

Abstract. The problem of robustness of structural systems of buildings and structures is receiving more and more attention in the publications of Russian and foreign authors. In this regard, the presented review article is aimed at systematizing, summarizing and analyzing new research results on issues related to the development of calculation models of static, dynamic and static-dynamic resistance of buildings structural systems under conditions of special and emergency impacts, as well as criteria, used when testing their robustness in special design situations, seems relevant. To achieve this goal, a critical review and analysis of foreign and domestic publications is provided on the issues of formulation and conceptual approaches to assessing the mechanical safety of buildings and structures at the stages of the life cycle of buildings and in emergency situations, force and environmental resistance factors of buildings structural systems under dynamic loads in emergency situations as well as calculation models of the resistance of load-bearing.

Particular attention in the scientific review is paid to the analysis of works related to assessing the robustness of buildings structural systems using semi-probability (deterministic), probabilistic methods and risk assessment methods. The main conclusions and possible directions for the development of these studies are formulated in the conclusion of the article.

Key words: robustness, special limit state, criteria for special limit state, mechanical safety, risk assessment.

© Колчунов В.И., Ильющенко Т.А., Федорова Н.В., Савин С.Ю., Тур В.В., Лизогуб А.А., 2024

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колчунов В. И., Федорова Н. В. Некоторые проблемы живучести железобетонных конструктивных систем при аварийных воздействиях // Вестник НИЦ Строительство. 2018. № 1. С. 115-119.
2. Fedorova N.V., Savin S.YU. Progressive collapse resistance of facilities experienced to localized structural damage - an analytical review // Строительство и реконструкция. 2021. Vol. 95, № 3. Pp. 76-108.
3. Kiakojour F., De Biagi V., Chiaia B., Sheidaii M. R. Progressive collapse of framed building structures: Current knowledge and future prospects // Engineering Structures. 2020. № December 2019 (206). С. 110061.
4. Бондаренко В. М., Колчунов В. И. Экспозиция живучести железобетона // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 5. С. 4-8.
5. Колчунов В.И., Ключева Н.В., Андросова Н.В., Бухтиярова А.С. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях. М.: Издательство АСВ, 2014. 208 с.
6. Тамразян А.Г. Концептуальные подходы к оценке живучести строительных конструкций, зданий и сооружений, Железобетонные конструкции. 2023. Т. 3. № 3. С. 62-74.
7. Алмазов В. О. Кхой Као Зуй. Динамика прогрессирующего разрушения монолитных многоэтажных каркасов. М.:Изд-во АСВ.- 2013-128с.
8. Hadi M. N. S., Alrudaini T. M. S. Preventing the progressive collapse of reinforced concrete buildings // International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing. 2011. P. 1-12.
9. Mohamed O., Al Khattab R., Mishra A., Isam, F. Recommendations for reducing progressive collapse potential in flat slab structural systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2019. T. 471. №. 5. P. 052069.
10. Hammad K., Loftly I., Naiem M. Enhancing Progressive Collapse Resistance in Existing Buildings // Design and Construction of Smart Cities. 2021. P. 39-46.
11. Yihai Bao, Sashi K Kunnath, Sherif El-Tawil, Hai S Lew. Macromodel-based simulation of progressive collapse: reinforced concrete frame structures // Journal of Structural Engineering. 2008, Vol. 134, No. 7. P. 1079-1091.
12. Mohajeri Nav F. Analytical investigation of reinforced concrete frames under middle column removal scenario // Adv. Struct. Eng. 2018. № 21.9 P. 1388-1401.
13. Ahmadi R., Rashidian O., Abbasnia R., Mohajeri Nav F., Usefi N. Experimental and numerical evaluation of progressive collapse behavior in scaled RC beam-column subassemblage // Shock and Vibration. 2016. T. 2016.
14. Гениев Г.А., Колчунов В.И., Ключева Н.В. и др. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях: монография. М.: АСВ, 2004. 216 с.
15. Thaer, M., Alrudaini, S. and Muhammad, N. S. H. A New Design to Prevent Progressive Collapse of Reinforced Concrete Buildings // The 5th Civil Engineering Conference in The Asian Region and Australasian Structural Engineering Conference, 2010.
16. Травуш В.И. Шапиро Г.И. Колчунов В.И. Леонтьев Е.В. Федорова Н.В. Проектирование защиты крупнопанельных зданий от прогрессирующего обрушения // Жилищное строительство. 2019. №3. С40-46.
17. Azim I., Yang J., Bhatta S., Wang F., Liu Q. F. Factors influencing the progressive collapse resistance of RC frame structures // Journal of Building Engineering. 2020. T. 27. С. 100986.
18. Ерёмин К. И., Матвеюшкин С. А. Особенности экспертизы и НК металлических конструкций эксплуатируемых сооружений // В мире неразрушающего контроля. 2008. №. 4. С. 4-7.
19. СП 296.1325800.2017 «Здания и сооружения. Особые воздействия»
20. СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения»
21. ASCE 76-23. Standard for Mitigation of Disproportionate Collapse Potential in Buildings and Other Structures. - American Society of Civil Engineers. 2023
22. GSA (General Services Administration). Alternate path analysis and design guidelines for progressive collapse resistance (Revision). - General Services Administration. 2016
23. BS EN 1991-1-7:2006 Eurocode 1. Actions on structures. General actions. Accidental actions. Comite Europeen de Normalisation (2002), Draft pr EN 1992-1-1
24. Бондаренко В.М., Боровских А.В. Износ, повреждения и безопасность железобетонных сооружений. – М.: ИД Русанова, 2000. 144 с.
25. Колчунов В. И., Колчунов В. И., Федорова Н. В. Деформационные модели железобетона при особых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2018. №. 8. С. 54-60.

26. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. Москва: Издательство АСВ, 2004. 472 с.
27. Голышев А.Б. Бачинский В.Я., Полищук В.П. Железобетонные конструкции. Сопротивление железобетона. Т.1. К.: Логос, 2001. 481 с
28. Расторгуев Б.С., Плотников А.И. Обеспечение живучести гражданских зданий при особых воздействиях // Тематическая научно-практическая конференция «Городской строительный комплекс и безопасность жизнеобеспечения граждан»: сб. докладов. М.: МГСУ, 2005. 9-10
29. Orton S. Development of a CFRP System to Provide Continuity in Existing Reinforced Concrete Buildings Vulnerable to Progressive Collapse, Dissertation, 2007
30. Kim J. and Yu J. Analysis of Reinforced Concrete Frames Subjected to Column Loss // Magazine of Concrete Research, ICE publishing. 2012. V.64(1), pp. 21-33
31. D3-1: Design recommendations against progressive collapse in steel and steel-concrete buildings. European Convention for Constructional Steelwork (ECCS). FAILNOMORE. – 2021.
32. ГОСТ 27.002-89.9. Надежность в технике. Термины и определения. Введ. 1990-07-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 1990. 38 с.
33. Махутов Н. А., Петров В. П., Резников Д. О. Оценка живучести сложных технических систем // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2009. – №. 3. – С. 47-66.
34. Райзер В. Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1995. 348 с.
35. Анцелиович Л. Л. Надежность, безопасность и живучесть самолета // М.: Машиностроение. 1985. – Т. 3985. – С. 296
36. Болотин В. В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. М.: Стройиздат, 1971.
37. Тур В.В., Надольский В.В. Концепция проектирования строительных конструкций на основе численных моделей сопротивления // Строительство и реконструкция. 2022. № 6. С. 78-90
38. Bassam A. Izzuddin, Miguel F. Pereira, Ulrike Kuhlmann, Lars Rölle, Ton Vrouwenvelder, Bernt J. Leira, Application of Probabilistic Robustness Framework: Risk Assessment of Multi-Storey Buildings under Extreme Loading // Struct. Eng. Int. 2012. 22(1). 79-85.
39. Ellingwood B R. Mitigating risk from abnormal loads and progressive collapse // J. Perform. Constr. Fac. 2006. 20 (4). 315-323.
40. Biagi V. D., Kiakojouri F., Chiaia B., Sheidaii M. R. A simplified method for assessing the response of RC frame structures to sudden column removal // Applied Sciences. 2020. T. 10. №. 9. С. 3081.
41. Chen C. H., Zhu Y. F., Yao Y., Huang Y., Long X. An evaluation method to predict progressive collapse resistance of steel frame structures // Journal of Constructional Steel Research. 2016. T. 122. С. 238-250.
42. Alekseytsev, A.V. Mechanical safety of reinforced concrete frames under complex emergency actions // Magazine of Civil Engineering. 2021. 103(3). Article No. 10306. DOI: 10.34910/MCE.103.6
43. Лизогуб А.А., Тур А.В., Тур В.В. Вероятностный подход к оценке живучести конструктивных систем из сборного и монолитного железобетона // Строительство и реконструкция. 2023. Т. 108, № 4. С. 95 – 107
44. Naghavi F., Tavakoli H. R. Probabilistic prediction of failure in columns of a steel structure under progressive collapse using response surface and artificial neural network methods // Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. 2022. С. 1-17.
45. Cardoso J. B., de Almeida J. R., Dias J. M., Coelho P. G. Structural reliability analysis using Monte Carlo simulation and neural networks // Advances in Engineering Software. 2008. T. 39. №. 6. С. 505-513.
46. Tur V.V., Tur A.V., Derechennik S.S. Checking of structural system robustness based on pseudo-static full probabilistic approach // Proceedings of the fib Symposium 2019: Concrete-Innovations in Materials, Design and Structures. 2019. Pp. 2126-2133.
47. Дятляр А.Н. Оптимизация живучести конструктивно нелинейных железобетонных стержневых конструкций в запредельных состояниях: дис. – Орел: [Орлов. Гос. Техн. ун-т], 2005.
48. Гениев Г.А. О принципе эквиградиентности и применении его к оптимизационным задачам устойчивости стержневых систем // Строительная механика и расчет сооружений. 1979. №6. С. 8-13.
49. Масленников А. М. Риски возникновения природных и техногенных катастроф. СПб., 2008. 165с.
50. Кудзис А.П. Оценка надежности железобетонных конструкций. Вильнюс: Мокслас, 1985. 156 с
51. Котляровский В.А., Забегаев А.В. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. КН.5.-М.: АСВ, 2011.-414с.
52. СТБ ISO 2394-2007. Надежность строительных конструкций. Общие принципы Введ. 01.07.08. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2007. 69 с.
53. ТКП EN 1990-2011. Основы проектирования конструкций. Введ. 01.07.12. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2012. 70 с.

54. Надольский В. В., Верева Ф. А. Особенности определения значений индекса надежности для разных периодов повторяемости // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров: сборник научных статей XXI Международного научно-методического семинара. – 2018. С.205-212.
55. Колчунов В. И., Туп В. В. Направления проектирования конструктивных систем в особых расчетных ситуациях //Промышленное и гражданское строительство. 2023. №. 7. С. 5-15.
56. Fu G., Frangopol D. M. Balancing weight, system reliability and redundancy in a multiobjective optimization framework //Structural Safety. 1990. Т. 7. №. 2-4. С. 165-175.
57. Baker J. W., Schubert M., Faber M. H. On the assessment of robustness //Structural safety. 2008. Т. 30. №. 3. С. 253-267.
58. Chen Y., Yang G. P., Xia Q. Y., Wu G. W. Enrichment and characterization of dissolved organic matter in the surface microlayer and subsurface water of the South Yellow Sea //Marine Chemistry. 2016. Т. 182. С. 1-13.
59. Beck A. T., da Rosa Ribeiro L., Costa L. G., Stewart M. G. Comparison of risk-based robustness indices in progressive collapse analysis of building structures //Structures. Elsevier, 2023. Т. 57. С. 105295.
60. Unified Facilities Criteria. Design of buildings to resist progressive collapse (UFC 4-023-03) Washington, DC: Department of Defence (DoD), 2009.
61. Abdelwahed B. A review on building progressive collapse, survey and discussion // Case Studies in Construction Materials. 2019. (11).
62. Qiao H., Yang Y., Zhang J. Progressive Collapse Analysis of Multistory Moment Frames with Varying Mechanisms // Journal of Performance of Constructed Facilities. 2018. № 4 (32). С. 04018043.
63. Almusallam T. H., Elsanadedy H. M., Al-Sallou, Y. A., Siddiqui N. A., Iqbal R. A. Experimental investigation on vulnerability of precast RC beam-column joints to progressive collapse //KSCE Journal of Civil Engineering. 2018. Т. 22. С. 3995-4010.
64. ACI 318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary American Concrete Institute, 2019
65. Abdelazim W., Mohamed H. M., Benmokrane B. Inelastic Second-Order Analysis for Slender GFRP-Reinforced Concrete Columns: Experimental Investigations and Theoretical Study // Journal of Composites for Construction. 2020. № 3 (24).
66. MacGregor J. G. Design of slender concrete columns - revisited // ACI Structural Journal. 1993. № 3 (90). С. 302–307.
67. Kolchunov V. I., Prasolov N. O., Kozharinova L. V. Experimental and theoretical research on survivability of reinforced concrete frames in the moment of individual element buckling // Vestnik MGSU. 2011. № 3–2. С. 109–115.
68. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. Москва. 2019.
69. Amiri S., Saffari H., Mashhadi J. Assessment of dynamic increase factor for progressive collapse analysis of RC structures // Engineering Failure Analysis. 2018. (84). С. 300–310.
70. Tsai M.-H. An Approximate Analytical Formulation for the Rise-Time Effect on Dynamic Structural Response Under Column Loss // International Journal of Structural Stability and Dynamics. 2018. № 03 (18). С. 1850038.
71. Weng J., Tan K. H., Lee C. K. Adaptive superelement modeling for progressive collapse analysis of reinforced concrete frames // Engineering Structures. 2017. (151). С. 136–152.
72. Геммерлинг А.В. Расчет стержневых систем, М.: Стройиздат, 1974, 207 с.
73. Беглов А.Д., Санжаровский Р.С. О методах решения уравнений ползучести бетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2005. №3. С. 55-63.
74. Санжаровский Р. С. Устойчивость элементов строительных конструкций при ползучести / Р. С. Санжаровский, Ленинград: Издательство Ленинградского университета, 1984. 217 с.
75. Sasani M., Sagioglu S. Progressive Collapse Resistance of Hotel San Diego // Journal of Structural Engineering. 2008. № 3 (134). С. 478–488.
76. Геммерлинг А. В. Несущая способность стержневых стальных конструкций, Москва: Госстройиздат, 1958. 216 с.
77. Perelmuter A. V. Using the criterion of resistibility to assess of a structural limit state // Vestnik MGSU. 2021. № 12. С. 1559–1566.
78. Alexandrov A. V., Travush V. I., Matveev A. V. O raschete sterzhnevyyh konstruktсий na ustoychivost' // Industrial and Civil Engineering. 2002. № 3. С. 16–19.
79. Trekin N. N., Kodysh E. N. Special Limit Condition Of Reinforced Concrete Structures And Its Normalization // Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo. 2020. № 5. С. 4–9.

80. Тур А. В. Сопротивление изгибаемых железобетонных элементов при внезапном приложении нагрузки :дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.01. Брест, 2012
81. Shi F., Wang L., Dong S. Progressive collapse assessment of the steel moment-frame with composite floor slabs based on membrane action and energy equilibrium //The Open Construction & Building Technology Journal. 2017. Т. 11. №. 1.
82. Белостоцкий А. М., Акимов П. А., Дмитриев Д. С., Нагибович А. И., Петряшев Н. О., Петряшев С. О. Расчетное исследование параметров механической безопасности высотного (404 метра) жилого комплекса «One Tower» в деловом центре «Москва-Сити» //Academia. Архитектура и строительство. 2019. №. 3. С. 122-129.
83. Белостоцкий А. М., Акимов П. А., Аул А. А., Дмитриев Д. С., Дядченко Ю. Н., Нагибович А. И. и др. Расчетное обоснование механической безопасности стадионов к Чемпионату мира по футболу 2018 года //Academia. Архитектура и строительство. 2018. №. 3. С. 118-129.
84. Травуш В.И., Белостоцкий А.М., Вершинин В.В., Островский К.И., Петряшев Н.О., Петряшев С.О. Численное моделирование физически нелинейной динамической реакции высотных зданий при сейсмических воздействиях уровня МРЗ // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2016. №12(1). С. 117-139.
85. Перельмутер А.В., Криксунов Э.З., Мосина Н.В. Реализация расчета монолитных жилых зданий на прогрессирующее (лавинообразное) обрушение в среде вычислительного комплекса “SCAD Office” // Инженерно-строительный журнал. 2009. Т. 4. № 2. С. 13–18.
86. Marchis A. G., Botez M. D. A numerical assessment of the progressive collapse resistance of RC frames with respect to the number of stories //Procedia Manufacturing. 2019. Т. 32. P. 136-143.
87. Marjanishvili S. and Agnew E. Comparison of Various Procedures for Progressive Collapse Analysis // Journal of Performance of Constructed Facilities. 2006. Vol. 20, No. 4, pp. 365-374
88. Kaewkulchai G. Beam element formulation and solution procedure for dynamic progressive collapse analysis / G. Kaewkulchai, E.B. Williamson // Computers & Structures. 2004. Т. 82. № 7-8. С.639-651.
89. Izzuddin B.A., Vlassis A. G., Elghazouli A. Y., Nethercot D. A. Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss—Part I: Simplified assessment framework // Engineering structures. 2008. Т. 30. № 5. – С.1308-1318.
90. Vlassis A.G., Izzuddin B. A., Elghazouli A. Y., Nethercot D. A. Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss—Part II: Application // Engineering Structures. 2008. Т. 30. № 5. С.1424-1438.
91. Mckay A.E. Alternative Path Method in Progressive Collapse Analysis: Variation of Dynamic and Non-Linear Load Increase Factors / M.Sc., the University of Texas at San Antonio, 2008.
92. Mohamed, O. A. Assessment of Progressive Collapse Potential in Corner Floor Panels of Reinforced Concrete Buildings // Engineering Structures.2009. Vol. 31
93. Brian I. S. Experimental and Analytical Assessment on the Progressive Collapse Potential of Existing Buildings // Master Thesis, Ohio State University. 2010, USA
94. Fu F. Progressive Collapse Analysis of High-Rise Building With 3-D Finite Element Modeling Method // Journal of Constructional Steel Research. 2009. pp.1269-1278.
95. Salem H. M. Computer-Aided Design of Framed Reinforced Concrete Structures Subjected to Flood Scouring // Journal of American Science. 2011. 7(10), pp. 191-200
96. Kwasniewski L. Nonlinear dynamic simulations of progressive collapse for a multistory building // Engineering Structures. 2010. Т. 32. № 5. С.1223-1235
97. Савин С.Ю., Колчунов В.И., Федорова Н.В. Расчет устойчивости железобетонных каркасов зданий при особых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2023. N 9. С. 12-21. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.09.12-21
98. Бондаренко В.М., Мигаль Р.Е., Ягунов Б.А. Резервы и экспозиция конструктивной безопасности зданий, эксплуатирующийся в агрессивной среде // Строительство и реконструкция. 2014. No 1. С. 3–10
99. Бондаренко В. М., Колчунов В. И. Концепция и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях //Промышленное и гражданское строительство. 2013. №. 2. С. 28-31.
100. Галустов К.З. Развитие теории ползучести бетона и совершенствование методов расчета железобетонных конструкций / автореферат диссертации на соискание учетной степени д.т.н., Москва, 2008
101. Голышев А.Б., Колчунов В.И. Сопротивление железобетона. Киев: Основа, 2009. 432 с.
102. Андросова Н.Б., Колчунов В.И., Емельянов С.Г. Неравновесные и нелинейные процессы при оценке потенциала живучести железобетонных конструктивных систем в запредельных состояниях // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2022. Т. 18. № 6. С. 490–502. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2022-18-6-490-502>.
103. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1988. 120 с.
104. Травуш В.И., Мурашкин В.Г. Влияние ползучести на распределение деформаций и напряжений в изгибаемом элементе // Строительство и реконструкция. 2017. № 2. С. 57–70.

105. Бондаренко В. М., Ключева Н. В. К расчету сооружений, меняющих расчетную схему вследствие коррозионных повреждений // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2008. № 1. С. 4-12.
106. EN 1992-1-2: 2004. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings (Проектирование железобетонных конструкций), 2004.
107. Ларионов Е.А., Римшин В.И., Жданова Т.В. Принцип наложения деформаций в теории ползучести // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15. № 6. С. 483–496.
108. Dellepiani M. G. et al. Numerical investigation on the creep response of concrete structures by means of a multi-scale strategy // Construction and Building Materials. 2020. Т. 263. С. 119867.
109. Назаренко В.Г., Звездов А.И., Ларионов Е.А., Квасников А.А. Концепция развития прикладной теории ползучести железобетона // Бетон и железобетон. 2020. № 2 (602). С. 8–11
110. Бондаренко В. М., Марков С.В., Римшин В.И. Коррозионные повреждения и ресурс силового сопротивления железобетонных конструкций // БСТ, 2002. № 8. С. 26-32.
111. Kmieciak P., Kamiński M. Modelling of reinforced concrete structures and composite structures with concrete strength degradation taken into consideration // Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2011. Volume 11. Issue 3. Pp. 623 – 636.
112. Минас А. И. Метод оценки коррозионной стойкости некоторых строительных материалов // Строительные материалы и конструкции. Ростов н/Д., 1972. С.49-61.
113. Попеско А. И. Работоспособность железобетонных конструкций, подверженных коррозии // СПб: СПб гос. архит.-строит. ун-т, 1996. 182 с
114. Гузев Е. А., Митин А.А., Басова Л.Н. Деформативность и трещиностойкость сжатых армированных элементов при длительном нагружении и действии жидких сред // Сб. тр. НИИЖБ. М.: Стройиздат, 1984. 34 с
115. Савицкий Н. В., Гузев Е.А., Бондаренко В.М. Интегральный метод оценки напряженно деформированного состояния железобетонных элементов в случае воздействия агрессивной среды и силовой нагрузки // Коррозионная стойкость бетона и железобетона в агрессивных средах. М.: 1984. С. 20-27
116. Бондаренко В. М., Ключева Н.В. К расчету сооружений, меняющих расчетную схему вследствие коррозионных повреждений // Известия вузов. Строительство. 2008. №1. С. 4-12.
117. Бондаренко В. М., Римшин В.И. Диссипативная теория силового сопротивления железобетона. М.: Студент, 2015. 111с.
118. Бондаренко В. М. Силовое деформирование, коррозионные повреждения и энергосопротивление железобетона, Юго-Зап. гос. ун-т – Курск. 2016. 67с
119. Селяев, Л.М. Ошкина, П.В. Селяев В.П. Химическое сопротивление цементных бетонов действию сульфат-ионов // Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013
120. Селяев В. П., Селяев П. В., Алимов М. Ф., Сорокин Е. В. Оценка остаточного ресурса железобетонных изгибаемых элементов, подверженных действию хлоридной коррозии // Строительство и реконструкция. 2017. №. 6. С. 49-58.
121. Ключева Н. В., Андросова Н. Б., Губанова М. С. Критерий прочности коррозионно повреждаемого бетона при сложном напряженном состоянии // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2015. №. 1. С. 38-42.
122. Magda I. Mousa. Effect of bond loss of tension reinforcement on the flexural behaviour of reinforced concrete beams // HBRC Journal, 2016, 12:3, 235-241, DOI: 10.1016/j.hbrj.2015.01.003.
123. Zandi K, Coronelli D. Anchorage capacity of corroded reinforcement: Eccentric pull-out tests on beamend specimens. In: Report No. 2010-06, Department of Civil and Environmental Engineering. Goteborg, Sweden: Chalmers University of Technology
124. Попов Д. С. Экспериментальные исследования динамических свойств коррозионно-поврежденных сжатых железобетонных элементов // Строительство и реконструкция. 2022. №. 2. С. 55-64.
125. Kai Q., Zhiqiang H. U. A. N. G., Yunhao W. E. N. G., Xiaohui Y. U. Study on load resisting mechanism of corroded RC frame structures against progressive collapse // Journal of Building Structures. 2022. Т. 43. №. 9. С. 181.
126. Tamrazyan A. The Bearing Capacity of Compressed Corrosion-Damaged Reinforced Concrete Elements under Lateral Pulse Loading // Buildings. 2023. Т. 13. №. 9. С. 2133.
127. Леонович, С. Н., Литвиновский, Д. А., Чернякевич, О. Ю., Степанова, А. В. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях : в 2 ч. Минск : БНТУ, 2016. Ч. 1. 390 с.
128. Истомин А. Д., Петрова В. А. Усилия в статически неопределимых железобетонных конструкциях при силовых и температурных воздействиях // Безопасность строительного фонда России проблемы и решения. 2019. С. 60-68.

129. Федоров В.С., Левитский В.Е. Теоретические основы прогнозирования изменения прочностных и деформативных характеристик бетона в условиях пожара // Проблемы обеспечения безопасности строительного фонда России: Труды III Международных академических чтений. Курск: КурскГТУ, 2004. С. 236–244.
130. Федоров В. С. Основные положения теории расчета огнестойкости железобетонных конструкций // Жилищное строительство. 2010. №. 4. С. 29-32.
131. Kiran T., Anand, N., Mathews, M. E., Kanagaraj, B., Andrushia, A. D., Lubloy, E., & Jayakumar, G. Investigation on improving the residual mechanical properties of reinforcement steel and bond strength of concrete exposed to elevated temperature // Case Studies in Construction Materials. 2022. Т. 16. С. e01128.
132. Li Z., Liu, Y., Huo, J., Elghazouli, A. Y. Experimental and analytical assessment of RC joints with varying reinforcement detailing under push-down loading before and after fires // Engineering Structures. 2019. Т. 189. С. 550-564.
133. Parthasarathi N., Satyanarayanan K. S. Progressive collapse behavior of reinforced concrete frame exposed to high temperature // Journal of Structural Fire Engineering. 2020. Т. 12. №. 1. С. 110-124.
134. Матвиенко В. Е. Сопротивление железобетонной балки воздействию пожара в стадии работы как висячей системы // Перспективы развития строительного комплекса. 2020. С. 235-240.
135. Тамразян А. Г., Мехрализадех А. Б. Особенности проявления огневых воздействий при расчете конструкций на прогрессирующее разрушение зданий с переходными этажами // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. №. 12. С. 41-44.
136. Caredda G., Makoond N., Buitrago M., Sagaseta J. Learning from the progressive collapse of buildings // Developments in the built environment. 2023. Т. 15. С. 100194.
137. Sasani M., Werner A., Kazemi A. Bar fracture modeling in progressive collapse analysis of reinforced concrete structures // Engineering Structures. 2011. № 2 (33). С. 401–409.
138. Adam J. M. [и др.]. Dynamic performance of a real-scale reinforced concrete building test under a corner-column failure scenario // Engineering Structures. 2020. (210).
139. Meng L., Ding Y., Li L., Wei J., Li M., Wang J., Liu J. Study on dynamic properties of lightweight ultra-high performance concrete (L-UHPC) // Construction and Building Materials. 2023. Т. 399. С. 132526.
140. Баженов Ю. М. Бетон при динамическом нагружении / Ю. М. Баженов, Москва: Стройиздат, 1970. 271 с.
141. Гениев Г. А. Метод определения динамических пределов прочности бетона // Бетон и железобетон. 1998. № 1. С. 18–19.
142. Nam J. W., Kim H. J., Kim S. B., Jay Kim J. H., Byun K. J. Analytical study of finite element models for FRP retrofitted concrete structure under blast loads // International Journal of Damage Mechanics. 2009. № 5 (18). С. 461–490.
143. Yang Y., Wu C., Liu Z. Rate dependent behaviour of 3D printed ultra-high performance fibre-reinforced concrete under dynamic splitting tensile // Composite Structures. 2023. Т. 309. С. 116727.
144. Wei J., Cheng B., Li L., Long W. J., Khayat K. H. Prediction of dynamic mechanical behaviors of coral concrete under different corrosive environments and its enhancement mechanism // Journal of Building Engineering. 2023. Т. 63. С. 105507.
145. Баженова А. В., Цветков К. А. Экспериментальная оценка влияния некоторых факторов на прочность бетона при однократном динамическом воздействии // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании. 2017. С. 206-212.
146. Федорова Н. В., Медянкин М. Д., Бушова О. Б. Определение параметров статико-динамического деформирования бетона // Промышленное и гражданское строительство. 2020. №. 1. С. 4-11.
147. Гениев Г. А. Метод определения динамических пределов прочности бетона // Бетон и железобетон. 1998. № 1. С. 18–19.
148. Yu W., Jin L., Du X. Influence of pre-static loads on dynamic compression and corresponding size effect of concrete: Mesoscale analysis // Construction and Building Materials. 2021. (300). С. 124302.
149. Lai J., Sun W. Dynamic behaviour and visco-elastic damage model of ultra-high performance cementitious composite // Cement and Concrete Research. 2009. Т. 39. №. 11. С. 1044-1051.
150. Levchitch V., Kvasha V., Boussalis H., Chassiakos A., Kosmatopoulos E. Seismic performance capacities of old concrete // Proceedings, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, BC, Canada. 2004. С. 1-6.
151. Тамразян А. Г., Есаян С. Г. Механика ползучести бетона // М.: МГСУ. 2012.
152. Сидоров В. Н. Численное моделирование реологических свойств строительных материалов на примере ползучести бетона // Безопасность строительного фонда России проблемы и решения. 2019. С. 129-137.
153. Fallon C.T., Quiel S.E., Naito C.J. Uniform Pushdown Approach for Quantifying Building-Frame Robustness and the Consequence of Disproportionate Collapse // Journal of Performance of Constructed Facilities. 2016. Vol. 30. Iss. 6

REFERENCES

1. Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Nekotorye problemy zhivuchesti zhelezobetonnykh konstruktivnykh sistem pri avariynnykh vozhdeystviyakh [Some problems of survivability of reinforced concrete structural systems under emergency impacts] // *Bulletin of the Scientific Research Center Construction*. 2018. No. 1. pp. 115-119. (rus)
2. Fedorova N.V., Savin S.YU. Progressive collapse resistance of facilities experienced to localized structural damage - an analytical review // *Building and Reconstruction*. 2021. Vol. 95, No 3. Pp. 76-108.
3. Kiakojoury F., De Biagi V., Chiaia B., Sheidaii M. R. Progressive collapse of framed building structures: Current knowledge and future prospects // *Engineering Structures*. 2020. No December 2019 (206). C. 110061.
4. Bondarenko V. M., Kolchunov V. I. Ekspozitsiya zhivuchesti zhelezobetona [Exposition of the survivability of reinforced concrete] // *News of higher educational institutions. Construction*. 2007. No. 5. pp. 4-8. (rus)
5. Kolchunov V.I., Klyueva N.V., Androsova N.V., Bukhtiyarova A.S. Zhivuchest' zdaniy i sooruzhenij pri zaproektnykh vozhdeystviyakh [Survivability of buildings and structures under beyond-design influences]. M.: ASV Publishing House, 2014. 208 p. (rus)
6. Tamrazyan A.G. Konceptual'nye podhody k ocenke zhivuchesti stroitel'nykh konstrukcij, zdaniy i sooruzhenij [Conceptual approaches to assessing the survivability of building structures, buildings and structures] // *Reinforced Concrete Structures*. 2023. T. 3. No. 3. P. 62-74. (rus)
7. Almazov V. O. Khoi Khao Zui. Dinamika progressiruyushchego razrusheniya monolitnykh mnogoetazhnykh karkasov [Dynamics of progressive destruction of monolithic multi-story frames]. M.: Publishing House ASV. - 2013-128p. (rus)
8. Hadi M. N. S., Alrudaini T. M. S. Preventing the progressive collapse of reinforced concrete buildings // *International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*. 2011. P. 1-12.
9. Mohamed O., Al Khattab R., Mishra A., Isam, F. Recommendations for reducing progressive collapse potential in flat slab structural systems // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. T. 471. №. 5. P. 052069.
10. Hammad K., Lofty I., Naiem M. Enhancing Progressive Collapse Resistance in Existing Buildings // *Design and Construction of Smart Cities*. 2021. P. 39-46.
11. Yihai Bao, Sashi K Kunnath, Sherif El-Tawil, Hai S Lew. Macromodel-based simulation of progressive collapse: reinforced concrete frame structures // *Journal of Structural Engineering*. 2008, Vol. 134, No. 7. P. 1079-1091.
12. Mohajeri Nav F. Analytical investigation of reinforced concrete frames under middle column removal scenario // *Adv. Struct. Eng.* 2018. № 21.9 P. 1388-1401.
13. Ahmadi R., Rashidian O., Abbasnia R., Mohajeri Nav F., Usefi N. Experimental and numerical evaluation of progressive collapse behavior in scaled RC beam-column subassemblage // *Shock and Vibration*. 2016. T. 2016.
14. Geniev G.A., Kolchunov V.I., Klyueva N.V. Prochnost' i deformativnost' zhelezobetonnykh konstrukcij pri zaproektnykh vozhdeystviyakh [Strength and deformability of reinforced concrete structures under beyond-design influences]. M.: ASV, 2004. 216 p. (rus)
15. Thaer M., Alrudaini S. and Muhammad, N. S. H. A New Design to Prevent Progressive Collapse of Reinforced Concrete Buildings // *The 5th Civil Engineering Conference in The Asian Region and Australasian Structural Engineering Conference*, 2010.
16. Travush V.I. Shapiro G.I. Kolchunov V.I. Leontyev E.V. Fedorova N.V. Proektirovanie zashchity krupnopanel'nykh zdaniy ot progressiruyushchego obrusheniya [Design of protection of large-panel buildings from progressive collapse] // *Housing Construction*. 2019. No 3. Pp. 40-46. (rus)
17. Azim I., Yang J., Bhatta S., Wang F., Liu Q. F. Factors influencing the progressive collapse resistance of RC frame structures // *Journal of Building Engineering*. 2020. T. 27. C. 100986.
18. Eremin K. I., Matveyushkin S. A. Osobennosti ekspertizy i NK metallicheskih konstrukcij ekspluatiruemykh sooruzhenij [Features of examination and NDT of metal structures of operated structures] // *In the world of non-destructive testing*. 2008. No. 4. pp. 4-7.
19. SP 296.1325800.2017. Zdaniya i sooruzheniya. Osobyje vozhdeystviya [Buildings and structures. Special Impacts]. 2018 (rus)
20. SP 385.1325800. 2018. Zashchita zdaniy i sooruzhenij ot progressiruyushchego obrusheniya. Pravila proektirovaniya. Osnovnye polozheniya [Protection of buildings and structures from progressive collapse. Design rules. The main provisions]. M.: Standartinform, 2018. P. 19 (rus)
21. ASCE 76-23. Standard for Mitigation of Disproportionate Collapse Potential in Buildings and Other Structures. - American Society of Civil Engineers. 2023
22. GSA (General Services Administration). Alternate path analysis and design guidelines for progressive collapse resistance (Revision). - General Services Administration. 2016

23. BS EN 1991-1-7:2006 Eurocode 1. Actions on structures. General actions. Accidental actions. Comite Europeen de Normalisation (2002), Draft pr EN 1992-1-1
24. Bondarenko V.M., Borovskikh A.V. Iznos, povrezhdeniya i bezopasnost' zhelezobetonnyh sooruzhenij [Wear, damage and safety of reinforced concrete structures]. – M.: Rusanova Publishing House, 2000. 144 p. (rus)
25. Kolchunov V.I., Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Deformacionnye modeli zhelezobetona pri osobyh vozdeystviyah [Deformation models of reinforced concrete under special influences] // *Industrial and civil construction*. 2018. No. 8. pp. 54-60. (rus)
26. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Raschetnye modeli silovogo soprotivleniya zhelezobetona [Calculation models of force resistance of reinforced concrete]. Moscow: ASV Publishing House. 2004. 472 p. (rus)
27. Golyshev A.B. Bachinsky V.Ya., Polishchuk V.P. ZHelezobetonnye konstrukcii. Soprotivlenie zhelezobetona [Reinforced concrete structures. Resistance of reinforced concrete]. T.1. K.: Logos, 2001. 481 p. (rus)
28. Rastorguev B.S., Plotnikov A.I. Obespechenie zhivuchesti grazhdanskih zdaniy pri osobyh vozdeystviyah [Ensuring the survivability of civil buildings under special influences] // Thematic scientific-practical conference “City construction complex and the safety of life support for citizens”: collection. reports. M.: MGSU, 2005. 9-10 (rus)
29. Orton S. Development of a CFRP System to Provide Continuity in Existing Reinforced Concrete Buildings Vulnerable to Progressive Collapse, Dissertation, 2007
30. Kim J. and Yu J. Analysis of Reinforced Concrete Frames Subjected to Column Loss // *Magazine of Concrete Research*. 2012. V.64(1), pp. 21-33
31. D3-1: Design recommendations against progressive collapse in steel and steel-concrete buildings. European Convention for Constructional Steelwork (ECCS). FAILNOMORE. – 2021.
32. GOST 27.002-89.9. Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniya [Reliability in technology. Terms and Definitions]. M.: IPK Publishing House of Standards, 1990. 38 p. (rus)
33. Makhutov N. A., Petrov V. P., Reznikov D. O. Ocenka zhivuchesti slozhnyh tekhnicheskikh sistem [Assessment of the survivability of complex technical systems] // *Problems of safety and emergency situations*. 2009. – No. 3. – pp. 47-66. (rus)
34. Raiser V. D. Raschet i normirovanie nadezhnosti stroitel'nyh konstrukcij [Calculation and standardization of reliability of building structures]. M.: Stroyizdat, 1995. 348 p. (rus)
35. Antseliovich L. L. Nadezhnost', bezopasnost' i zhivuchest' samoleta [Reliability, safety and survivability of the aircraft] // M.: Mechanical Engineering. 1985. – T. 3985. – P. 296 (rus)
36. Bolotin V.V. Primenenie metodov teorii veroyatnostej i teorii nadezhnosti v raschetah sooruzhenij [Application of methods of probability theory and reliability theory in the calculations of structures]. M.: Stroyizdat, 1971. (rus)
37. Tur V.V., Nadolsky V.V. Konceptiya proektirovaniya stroitel'nyh konstrukcij na osnove chislennyh modelej soprotivleniya [The concept of designing building structures based on numerical resistance models] // *Construction and Reconstruction*. 2022. No. 6. P. 78-90 (rus)
38. Bassam A. Izzuddin, Miguel F. Pereira, Ulrike Kuhlmann, Lars Rölle, Ton Vrouwenvelder, Bernt J. Leira, Application of Probabilistic Robustness Framework: Risk Assessment of Multi-Storey Buildings under Extreme Loading // *Struct. Eng. Int*. 2012. 22(1). 79-85.
39. Ellingwood B R. Mitigating risk from abnormal loads and progressive collapse // *J. Perform. Constr. Fac*. 2006. 20 (4). 315-323.
40. Biagi V. D., Kiakojouri F., Chiaia B., Sheidaii M. R. A simplified method for assessing the response of RC frame structures to sudden column removal // *Applied Sciences*. 2020. T. 10. №. 9. C. 3081.
41. Chen C. H., Zhu Y. F., Yao Y., Huang Y., Long X. An evaluation method to predict progressive collapse resistance of steel frame structures // *Journal of Constructional Steel Research*. 2016. T. 122. C. 238-250.
42. Alekseytsev, A.V. Mechanical safety of reinforced concrete frames under complex emergency actions // *Magazine of Civil Engineering*. 2021. 103(3). Article No. 10306. DOI: 10.34910/MCE.103.6
43. Lizogub A.A., Tur A.V., Tur V.V. Veroyatnostnyj podhod k ocenke zhivuchesti konstruktivnyh sistem iz sbornogo i monolitnogo zhelezobetona [Probabilistic approach to assessing the survivability of structural systems made of prefabricated and monolithic reinforced concrete] // *Construction and Reconstruction*. 2023. T. 108, No. 4. P. 95 – 107 (rus)
44. Naghavi F., Tavakoli H. R. Probabilistic prediction of failure in columns of a steel structure under progressive collapse using response surface and artificial neural network methods // *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*. 2022. C. 1-17.
45. Cardoso J. B., de Almeida J. R., Dias J. M., Coelho P. G. Structural reliability analysis using Monte Carlo simulation and neural networks // *Advances in Engineering Software*. 2008. T. 39. №. 6. C. 505-513.
46. Tur V.V., Tur A.V., Derechennik S.S. Checking of structural system robustness based on pseudo-static full probabilistic approach // *Proceedings of the fib Symposium 2019: Concrete-Innovations in Materials, Design and Structures*. 2019. Pp. 2126-2133.

47. Dyagtyar A.N. Optimizaciya zhivuchesti konstruktivno nelinejnyh zhelezobetonnyh sterzhnevyyh konstrukcij v zapredel'nyh sostoyaniyah [Optimization of the survivability of structurally nonlinear reinforced concrete rod structures in extreme states]: thesis. Orel: [Orlov. State Tech. University], 2005. (rus)
48. Geniev G.A. O principe ekvigradientnosti i primeneni ego k optimizacionnym zadacham ustojchivosti sterzhnevyyh sistem [On the principle of equigradiance and its application to optimization problems of stability of rod systems] // *Structural mechanics and design of structures*. 1979. No. 6. pp. 8-13. (rus)
49. Maslennikov A. M. Riski vozniknoveniya prirodnyh i tekhnogennyh katastrof [Risks of natural and man-made disasters]. St. Petersburg, 2008. 165p. (rus)
50. Kudzis A.P. Ocenka nadezhnosti zhelezobetonnyh konstrukcij [Reliability assessment of reinforced concrete structures]. Vilnius: Mokslas, 1985. 156 p. (rus)
51. Kotlyarovskiy V.A., Zabegaev A.V. Avarii i katastrofy. Preduprezhdenie i likvidaciya posledstvij [Accidents and disasters. Prevention and mitigation of consequences]. KN.5.-M.: ASV, 2011.-414 p. (rus)
52. STB ISO 2394-2007. Nadezhnost' stroitel'nyh konstrukcij. Obshchie principy [Reliability of building structures. General principles Intro]. Minsk: State Standard of the Republic of Belarus, 2007. 69 p. (rus)
53. TKP EN 1990-2011. Osnovy proektirovaniya konstrukcij [Fundamentals of structural design]. Minsk: Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2012. 70 p. (rus)
54. Nadolskiy V.V., Verevka F.A. Osobennosti opredeleniya znachenij indeksa nadezhnosti dlya raznykh periodov povtoryaemosti [Features of determining the values of the reliability index for different periods of repetition] // Prospective directions of innovative development of construction and training of engineering personnel: collection of scientific articles of the XXI International Scientific and Methodological Seminar. – 2018. P.205-212. (rus)
55. Kolchunov V. I., Tur V. V. Napravleniya proektirovaniya konstruktivnyh sistem v osobykh raschetnykh situatsiyah [Directions for designing structural systems in special design situations] // *Industrial and civil construction*. 2023. No. 7. P. 5-15. (rus)
56. Fu G., Frangopol D. M. Balancing weight, system reliability and redundancy in a multiobjective optimization framework // *Structural Safety*. 1990. T. 7. № 2-4. C. 165-175.
57. Baker J. W., Schubert M., Faber M. H. On the assessment of robustness // *Structural safety*. 2008. T. 30. № 3. C. 253-267.
58. Chen Y., Yang G. P., Xia Q. Y., Wu G. W. Enrichment and characterization of dissolved organic matter in the surface microlayer and subsurface water of the South Yellow Sea // *Marine Chemistry*. 2016. T. 182. C. 1-13.
59. Beck A. T., da Rosa Ribeiro L., Costa L. G., Stewart M. G. Comparison of risk-based robustness indices in progressive collapse analysis of building structures // *Structures. Elsevier*. 2023. T. 57. C. 105295.
60. Unified Facilities Criteria. Design of buildings to resist progressive collapse (UFC 4-023-03) Washington, DC: Department of Defence (DoD), 2009.
61. Abdelwahed B. A review on building progressive collapse, survey and discussion // *Case Studies in Construction Materials*. 2019. (11).
62. Qiao H., Yang Y., Zhang J. Progressive Collapse Analysis of Multistory Moment Frames with Varying Mechanisms // *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2018. № 4 (32). C. 04018043.
63. Almusallam T. H., Elsanadedy H. M., Al-Sallou, Y. A., Siddiqui N. A., Iqbal R. A. Experimental investigation on vulnerability of precast RC beam-column joints to progressive collapse // *KSCCE Journal of Civil Engineering*. 2018. T. 22. C. 3995-4010.
64. ACI 318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary American Concrete Institute, 2019
65. Abdelazim W., Mohamed H. M., Benmokrane B. Inelastic Second-Order Analysis for Slender GFRP-Reinforced Concrete Columns: Experimental Investigations and Theoretical Study // *Journal of Composites for Construction*. 2020. № 3 (24).
66. MacGregor J. G. Design of slender concrete columns - revisited // *ACI Structural Journal*. 1993. № 3 (90). C. 302–307.
67. Kolchunov V. I., Prasolov N. O., Kozharinova L. V. Experimental and theoretical research on survivability of reinforced concrete frames in the moment of individual element buckling // *Vestnik MGSU*. 2011. № 3–2. C. 109–115.
68. GOST 27751-2014 Nadezhnost' stroitel'nyh konstrukcij i osnovanij. Osnovnye polozheniya [Reliability of building structures and foundations. Basic provisions]. Moscow: JSC "Research Center" Construction ", 2019. (rus)
69. Amiri S., Saffari H., Mashhadi J. Assessment of dynamic increase factor for progressive collapse analysis of RC structures // *Engineering Failure Analysis*. 2018. (84). C. 300–310.

70. Tsai M.-H. An Approximate Analytical Formulation for the Rise-Time Effect on Dynamic Structural Response Under Column Loss // *International Journal of Structural Stability and Dynamics*. 2018. № 03 (18). C. 1850038.
71. Weng J., Tan K. H., Lee C. K. Adaptive superelement modeling for progressive collapse analysis of reinforced concrete frames // *Engineering Structures*. 2017. (151). C. 136–152.
72. Gemmerling A.V. Raschet sterzhnevnyh sistem [Calculation of rod systems]. M.: Stroyizdat, 1974, 207 p. (rus)
73. Beglov A.D., Sanzharovsky R.S. O metodah resheniya uravnenij polzuchesti betona [On methods for solving concrete creep equations] // *Structural mechanics of engineering structures and structures*. 2005. No3. pp. 55–63. (rus)
74. Sanzharovsky R. S. Ustojchivost' elementov stroitel'nyh konstrukcij pri polzuchesti [Stability of elements of building structures under creep]. Leningrad: Leningrad University Publishing House, 1984. 217 p. (rus)
75. Sasani M., Sagioglu S. Progressive Collapse Resistance of Hotel San Diego // *Journal of Structural Engineering*. 2008. № 3 (134). C. 478–488.
76. Gemmerling A.V. Nesushchaya sposobnost' sterzhnevnyh stal'nyh konstrukcij [Bearing capacity of rod steel structures]. Moscow: Gosstroyizdat, 1958. 216 p. (rus)
77. Perelmuter A. V. Using the criterion of resistibility to assess of a structural limit state // *Vestnik MGSU*. 2021. № 12. C. 1559–1566.
78. Alexandrov A. V., Travush V. I., Matveev A. V. O raschete sterzhnevnyh konstruksiy na ustoychivost' // *Industrial and Civil Engineering*. 2002. № 3. C. 16–19.
79. Trekin N. N., Kodysh E. N. Special Limit Condition Of Reinforced Concrete Structures And Its Normalization // *Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo*. 2020. № 5. C. 4–9.
80. Tur A.V. Soprotivlenie izgibaemyh zhelezobetonnyh elementov pri vnezapnom prilozhenii nagruzki [Resistance of bending reinforced concrete elements under sudden application of load]: dis. Ph.D. tech. Sciences: spec. 05.23.01. Brest, 2012 (rus)
81. Shi F., Wang L., Dong S. Progressive collapse assessment of the steel moment-frame with composite floor slabs based on membrane action and energy equilibrium // *The Open Construction & Building Technology Journal*. 2017. T. 11. №. 1.
82. Belostotsky A. M., Akimov P. A., Dmitriev D. S., Nagibovich A. I., Petryashev N. O., Petryashev S. O. Raschetnoe issledovanie parametrov mekhanicheskoy bezopasnosti vysotnogo (404 metra) zhilogo kompleksa «One Tower» v delovom centre «Moskva-Siti» [Calculation study of the mechanical safety parameters of a high-rise (404 meters) residential complex " One Tower" in the Moscow City business center] // *Academia. Architecture and construction*. 2019. no. 3. pp. 122-129. (rus)
83. Belostotsky A. M., Akimov P. A., Aul A. A., Dmitriev D. S., Dyadchenko Yu. N., Nagibovich A. I. Raschetnoe obosnovanie mekhanicheskoy bezopasnosti stadionov k CHempionatu mira po futbolu 2018 goda [Calculation justification for the mechanical safety of stadiums for the World Cup 2018] // *Academia. Architecture and construction*. 2018. no. 3. pp. 118-129. (rus)
84. Travush V.I., Belostotsky A.M., Vershinin V.V., Ostrovsky K.I., Petryashev N.O., Petryashev S.O. CHislennoe modelirovanie fizicheski nelinejnoj dinamicheskoy reakcii vysotnyh zdaniy pri sejsmicheskikh vozdeystviyah urovnya MRZ [Numerical modeling of physically nonlinear dynamic response of high-rise buildings under seismic impacts at the MSE level] // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2016. No. 12(1). pp. 117-139. (rus)
85. Perelmuter A.V., Kriksunov E.Z., Mosina N.V. Realizaciya rascheta monolitnyh zhilyh zdaniy na progressiruyushchee (lavinoobraznoe) obrushenie v srede vychislitel'nogo kompleksa “SCAD Office” [Implementation of the calculation of monolithic residential buildings for progressive (avalanche-like) collapse in the environment of the SCAD Office computer complex] // *Engineering and Construction Journal*. 2009. T. 4. No. 2. P. 13–18. (rus)
86. Marchis A. G., Botez M. D. A numerical assessment of the progressive collapse resistance of RC frames with respect to the number of stories // *Procedia Manufacturing*. 2019. T. 32. P. 136-143.
87. Marjanishvili S. and Agnew E. Comparison of Various Procedures for Progressive Collapse Analysis // *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2006. Vol. 20, No. 4, pp. 365-374
88. Kaewkulchai G. Beam element formulation and solution procedure for dynamic progressive collapse analysis / G. Kaewkulchai, E.B. Williamson // *Computers & Structures*. 2004. T. 82. № 7-8. C.639-651.
89. Izzuddin B.A., Vlassis A. G., Elghazouli A. Y., Nethercot D. A. Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss—Part I: Simplified assessment framework // *Engineering structures*. 2008. T. 30. № 5. – C.1308-1318.
90. Vlassis A.G., Izzuddin B. A., Elghazouli A. Y., Nethercot D. A. Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss—Part II: Application // *Engineering Structures*. 2008. T. 30. № 5. C.1424-1438.
91. Mckay A.E. Alternative Path Method in Progressive Collapse Analysis: Variation of Dynamic and Non-Linear Load Increase Factors / M.Sc., the University of Texas at San Antonio, 2008.
92. Mohamed, O. A. Assessment of Progressive Collapse Potential in Corner Floor Panels of Reinforced Concrete Buildings // *Engineering Structures*. 2009. Vol. 31

93. Brian I. S. Experimental and Analytical Assessment on the Progressive Collapse Potential of Existing Buildings // Master Thesis, Ohio State University. 2010, USA
94. Fu F. Progressive Collapse Analysis of High-Rise Building With 3-D Finite Element Modeling Method // *Journal of Constructional Steel Research*. 2009. pp.1269-1278.
95. Salem H. M. Computer-Aided Design of Framed Reinforced Concrete Structures Subjected to Flood Scouring // *Journal of American Science*. 2011. 7(10), pp. 191-200
96. Kwasniewski L. Nonlinear dynamic simulations of progressive collapse for a multistory building // *Engineering Structures*. 2010. T. 32. № 5. C.1223-1235
97. Savin S.Yu., Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Raschet ustojchivosti zhelezobetonnyh karkasov zdaniy pri osobnyh vozdeystviyah [Calculation of the stability of reinforced concrete frames of buildings under special influences] // *Industrial and civil construction*. 2023. N 9. pp. 12-21. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.09.12-21 (rus)
98. Bondarenko V.M., Migal R.E., Yagupov B.A. Rezervy i ekspozitsiya konstruktivnoj bezopasnosti zdaniy, ekspluatiruyushchiesya v agressivnoy srede [Reserves and exposure to the structural safety of buildings operating in an aggressive environment] // *Construction and reconstruction*. 2014. No. 1. P. 3–10 (rus)
99. Bondarenko V. M., Kolchunov V. I. Konceptiya i napravleniya razvitiya teorii konstruktivnoj bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij pri silovyh i sredovyh vozdeystviyah [Concept and directions of development of the theory of structural safety of buildings and structures under power and environmental influences] // *Industrial and civil construction*. 2013. No. 2. pp. 28-31. (rus)
100. Galustov K.Z. Razvitiye teorii polzuchesti betona i sovershenstvovanie metodov rascheta zhelezobetonnyh konstrukcij [Development of the theory of concrete creep and improvement of methods for calculating reinforced concrete structures] / Abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences, Moscow, 2008 (rus)
101. Golyshev A.B., Kolchunov V.I. Soprotivlenie zhelezobetona [Resistance of reinforced concrete]. Kyiv: Osnova, 2009. 432 p. (rus)
102. Androsova N.B., Kolchunov V.I., Emelyanov S.G. Neravnovesnye i nelinejnye processy pri ocenke potentsiala zhivuchesti zhelezobetonnyh konstruktivnyh sistem v zapredel'nyh sostoyaniyah [Nonequilibrium and nonlinear processes in assessing the survivability potential of reinforced concrete structural systems in extreme states] // *Structural mechanics of engineering structures and structures*. 2022. T. 18. No. 6. pp. 490–502. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2022-18-6-490-502>. (rus)
103. Rekomendatsii po uchetu polzuchesti i usadki betona pri raschete betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij [Recommendations for taking into account creep and shrinkage of concrete when calculating concrete and reinforced concrete structures]. M.: Stroyizdat, 1988. 120 p. (rus)
104. Travush V.I., Murashkin V.G. Vliyanie polzuchesti na raspredelenie deformatsij i napryazhenij v izgibaemom elemente [The influence of creep on the distribution of deformations and stresses in a bending element] // *Construction and reconstruction*. 2017. No. 2. P. 57–70. (rus)
105. Bondarenko V. M., Klyueva N. V. K raschetu sooruzhenij, menyayushchih raschetnyuyu skhemu vsledstvie korrozionnyh povrezhdenij [To the calculation of structures that change the design scheme due to corrosion damage] // *News of higher educational institutions. Construction*. 2008. No. 1. pp. 4-12. (rus)
106. EN 1992-1-2: 2004. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, 2004.
107. Larionov E.A., Rimshin V.I., Zhdanova T.V. The principle of superimposition of deformations in the theory of creep [The principle of superimposition of deformations in the theory of creep] // *Structural mechanics of engineering structures and structures*. 2019. Vol. 15. No. 6. pp. 483–496. (rus)
108. Dellepiani M. G. et al. Numerical investigation on the creep response of concrete structures by means of a multi-scale strategy // *Construction and Building Materials*. 2020. T. 263. C. 119867.
109. Nazarenko V.G., Zvezdov A.I., Larionov E.A., Kvasnikov A.A. Konceptiya razvitiya prikladnoj teorii polzuchesti zhelezobetona [Concept of development of the applied theory of creep of reinforced concrete] // *Concrete and reinforced concrete*. 2020. No. 2 (602). pp. 8–11 (rus)
110. Bondarenko V.M., Markov S.V., Rimshin V.I. Korrozionnye povrezhdeniya i resurs silovogo soprotivleniya zhelezobetonnyh konstrukcij [Corrosion damage and the resource of force resistance of reinforced concrete structures] // *BST*, 2002. No. 8. P. 26-32. (rus)
111. Kmiecik P., Kamiński M. Modelling of reinforced concrete structures and composite structures with concrete strength degradation taken into consideration // *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2011. Volume 11. Issue 3. Pp. 623 – 636.
112. Minas A.I. Metod ocenki korrozionnoj stojkosti nekotoryh stroitel'nyh materialov [Method for assessing the corrosion resistance of some building materials] // *Construction materials and structures*. Rostov n/d., 1972. P.49-61. (rus)

113. Popesko A.I. Rabotosposobnost' zhelezobetonnykh konstrukcij, podverzhennykh korrozii [Performance of reinforced concrete structures subject to corrosion]. St. Petersburg: St. Petersburg State University. architect-builds univ., 1996. 182 p. (rus)
114. Guzeev E.A., Mitin A.A., Basova L.N. Deformativnost' i treshchinostojkost' szhatykh armirovannykh elementov pri dlitel'nom nagruzhении i dejstvii zhidkikh sred [Deformability and crack resistance of compressed reinforced elements under long-term loading and action of liquid media] // Collection of articles. tr. NIIZHB. M.: Stroyizdat, 1984. 34 p. (rus)
115. Savitsky N.V., Guzeev E.A., Bondarenko V.M. Integral'nyj metod ocenki napryazhenno deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnykh elementov v sluchae vozdejstviya agressivnoj sredy i silovoj nagruzki [Integral method for assessing the stress-strain state of reinforced concrete elements in the case of exposure to an aggressive environment and force load]. Corrosion resistance of concrete and reinforced concrete in aggressive environments. M.: 1984. P. 20-27 (rus)
116. Bondarenko V.M., Klyueva N.V. K raschetu sooruzhenij, menyayushchih raschetnyuyu skhemu vsledstvie korroziionnykh povrezhdenij [To the calculation of structures that change the design scheme due to corrosion damage] // *News of universities. Construction*. 2008. No. 1. pp. 4-12. (rus)
117. Bondarenko V.M., Rimshin V.I. Dissipativnaya teoriya silovogo soprotivleniya zhelezobetona [Dissipative theory of force resistance of reinforced concrete]. M.: Student, 2015. 111 p. (rus)
118. Bondarenko V. M. Silovoe deformirovanie, korroziionnye povrezhdeniya i energosoprotivlenie zhelezobetona [Force deformation, corrosion damage and energy resistance of reinforced concrete]. South-West. state University. Kursk. 2016. 67p. (rus)
119. Selyaev, L.M. Oshkina, P.V. Selyaev V.P. Himicheskoe soprotivlenie cementnykh betonov dejstviyu sul'fat-ionov [Chemical resistance of cement concrete to the action of sulfate ions] // Saransk: Mordov Publishing House. University, 2013 (rus)
120. Selyaev V.P., Selyaev P.V., Alimov M.F., Sorokin E.V. Ocenka ostatochnogo resursa zhelezobetonnykh izgibaemykh elementov, podverzhennykh dejstviyu hloridnoj korrozii [Assessment of the residual life of reinforced concrete bending elements exposed to chloride corrosion] // *Construction and reconstruction*. 2017. no. 6. pp. 49-58. (rus)
121. Klyueva N.V., Androsova N.B., Gubanova M.S. Kriterij prochnosti korroziionno povrezhdaemogo betona pri slozhnom napryazhennom sostoyanii [Strength criterion for corrosion-damaged concrete under complex stress state] // *Structural mechanics of engineering structures and structures*. 2015. No. 1. pp. 38-42. (rus)
122. Magda I. Mousa. Effect of bond loss of tension reinforcement on the flexural behaviour of reinforced concrete beams // *HBRC Journal*. 2016, 12:3, 235-241, DOI: 10.1016/j.hbrj.2015.01.003.
123. Zandi K, Coronelli D. Anchorage capacity of corroded reinforcement: Eccentric pull-out tests on beamend specimens. In: Report No. 2010-06, Department of Civil and Environmental Engineering. Goteborg, Sweden: Chalmers University of Technology
124. Popov D. S. Eksperimental'nye issledovaniya dinamicheskikh svojstv korroziionno-povrezhdennykh szhatykh zhelezobetonnykh elementov [Experimental studies of the dynamic properties of corrosion-damaged compressed reinforced concrete elements] // *Construction and reconstruction*. 2022. No. 2. pp. 55-64. (rus)
125. Kai Q., Zhiqiang H. U. A. N. G., Yunhao W. E. N. G., Xiaohui Y. U. Study on load resisting mechanism of corroded RC frame structures against progressive collapse // *Journal of Building Structures*. 2022. T. 43. №. 9. C. 181.
126. Tamrazyan A. The Bearing Capacity of Compressed Corrosion-Damaged Reinforced Concrete Elements under Lateral Pulse Loading // *Buildings*. 2023. T. 13. №. 9. C. 2133.
127. Leonovich, S. N., Litvinovsky, D. A., Chernyakevich, O. Yu., Stepanova, A. V. Prochnost', treshchinostojkost' i dolgovechnost' konstrukcionnogo betona pri temperaturnykh i korroziionnykh vozdejstviyah : v 2 ch [Strength, crack resistance and durability of structural concrete under temperature and corrosion influences: in 2 parts]. Minsk: BNTU, 2016. Part 1. 390 p. (rus)
128. Istomin A.D., Petrova V.A. Usiliya v staticheski neopredelimyh zhelezobetonnykh konstrukcijah pri silovykh i temperaturnykh vozdejstviyah [Efforts in statically indeterminate reinforced concrete structures under force and temperature influences] // *Safety of the Russian construction fund, problems and solutions*. 2019. pp. 60-68. (rus)
129. Fedorov V.S., Levitsky V.E. Teoreticheskie osnovy prognozirovaniya izmeneniya prochnostnykh i deformativnykh harakteristik betona v usloviyah pozhara [Theoretical foundations for predicting changes in the strength and deformation characteristics of concrete under fire conditions] // Problems of ensuring the safety of the Russian building stock: Proceedings of the III International Academic Readings. Kursk: Kursk State Technical University, 2004. pp. 236–244. (rus)
130. Fedorov V. S. Osnovnye polozheniya teorii rascheta ognestojkosti zhelezobetonnykh konstrukcij [Basic provisions of the theory of calculating the fire resistance of reinforced concrete structures] // *Housing Construction*. 2010. No. 4. pp. 29-32. (rus)
131. Kiran T., Anand, N., Mathews, M. E., Kanagaraj, B., Andrushia, A. D., Lubloy, E., & Jayakumar, G. Investigation on improving the residual mechanical properties of reinforcement steel and bond strength of concrete exposed to elevated temperature // *Case Studies in Construction Materials*. 2022. T. 16. C. e01128.

132. Li Z., Liu, Y., Huo, J., Elghazouli, A. Y. Experimental and analytical assessment of RC joints with varying reinforcement detailing under push-down loading before and after fires // *Engineering Structures*. 2019. T. 189. C. 550-564.
133. Parthasarathi N., Satyanarayanan K. S. Progressive collapse behavior of reinforced concrete frame exposed to high temperature // *Journal of Structural Fire Engineering*. 2020. T. 12. №. 1. C. 110-124.
134. Matvienko V. E. Soprotivlenie zhelezobetonnoj balki vozdeystviyu pozhara v stadii raboty kak visyachej sistemy [Resistance of a reinforced concrete beam to the effects of fire at the stage of operation as a hanging system] // *Prospects for the development of the construction complex*. 2020. pp. 235-240.
135. Tamrazyan A. G., Mehralizadeh A. B. Osobennosti proyavleniya ognevyyh vozdeystvij pri raschete konstrukcij na progressiruyushchee razrushenie zdaniy s perekhodnymi etazhami [Features of the manifestation of fire effects in the calculation of structures for the progressive destruction of buildings with transitional floors] // *Fire and Explosion Safety*. 2012. T. 21. No. 12. pp. 41-44.
136. Caredda G., Makoond N., Buitrago M., Sagaseta J. Learning from the progressive collapse of buildings // *Developments in the built environment*. 2023. T. 15. C. 100194.
137. Sasani M., Werner A., Kazemi A. Bar fracture modeling in progressive collapse analysis of reinforced concrete structures // *Engineering Structures*. 2011. № 2 (33). C. 401-409.
138. Adam J. M. [и др.]. Dynamic performance of a real-scale reinforced concrete building test under a corner-column failure scenario // *Engineering Structures*. 2020. (210).
139. Meng L., Ding Y., Li L., Wei J., Li M., Wang J., Liu J. Study on dynamic properties of lightweight ultra-high performance concrete (L-UHPC) // *Construction and Building Materials*. 2023. T. 399. C. 132526.
140. Bazhenov Yu. M. Beton pri dinamicheskom nagruzhении [Concrete under dynamic loading]. Moscow: Stroyizdat, 1970. 271 p. (rus)
141. Geniev G. A. Metod opredeleniya dinamicheskikh predelov prochnosti betona [Method for determining the dynamic strength limits of concrete] // *Concrete and reinforced concrete*. 1998. No. 1. P. 18-19. (rus)
142. Nam J. W., Kim H. J., Kim S. B., Jay Kim J. H., Byun K. J. Analytical study of finite element models for FRP retrofitted concrete structure under blast loads // *International Journal of Damage Mechanics*. 2009. № 5 (18). C. 461-490.
143. Yang Y., Wu C., Liu Z. Rate dependent behaviour of 3D printed ultra-high performance fibre-reinforced concrete under dynamic splitting tensile // *Composite Structures*. 2023. T. 309. C. 116727.
144. Wei J., Cheng B., Li L., Long W. J., Khayat K. H. Prediction of dynamic mechanical behaviors of coral concrete under different corrosive environments and its enhancement mechanism // *Journal of Building Engineering*. 2023. T. 63. C. 105507.
145. Bazhenova A. V., Tsvetkov K. A. Eksperimental'naya ocenka vliyaniya nekotorykh faktorov na prochnost' betona pri odnokratnom dinamicheskom vozdeystvii [Experimental assessment of the influence of some factors on the strength of concrete under a single dynamic impact] // *Integration, partnership and innovation in construction science and education*. 2017. pp. 206-212. (rus)
146. Fedorova N.V., Medyankin M.D., Bushova O.B. Opredelenie parametrov statiko-dinamicheskogo deformirovaniya betona [Determination of parameters of static-dynamic deformation of concrete] // *Industrial and civil construction*. 2020. No. 1. pp. 4-11. (rus)
147. Geniev G. A. Metod opredeleniya dinamicheskikh predelov prochnosti betona [Method for determining the dynamic strength limits of concrete] // *Concrete and reinforced concrete*. 1998. No. 1. P. 18-19 (rus)
148. Yu W., Jin L., Du X. Influence of pre-static loads on dynamic compression and corresponding size effect of concrete: Mesoscale analysis // *Construction and Building Materials*. 2021. (300). C. 124302.
149. Lai J., Sun W. Dynamic behaviour and visco-elastic damage model of ultra-high performance cementitious composite // *Cement and Concrete Research*. 2009. T. 39. №. 11. C. 1044-1051.
150. Levitchich V., Kvasha V., Boussalis H., Chassiakos A., Kosmatopoulos E. Seismic performance capacities of old concrete // *Proceedings, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, BC, Canada*. 2004. C. 1-6.
151. Tamrazyan A. G., Yesayan S. G. Mekhanika polzuchesti betona [Mechanics of concrete creep] // M.: MGSU. 2012.
152. Sidorov V. N. CHislennoe modelirovanie reologicheskikh svoystv stroitel'nykh materialov na primere polzuchesti betona [Numerical modeling of the rheological properties of building materials using the example of concrete creep] // *Safety of the Russian building stock problems and solutions*. 2019. pp. 129-137.
153. Fallon C.T., Quiel S.E., Naito C.J. Uniform Pushdown Approach for Quantifying Building-Frame Robustness and the Consequence of Disproportionate Collapse. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2016. Vol. 30. Iss. 6

Информация об авторах:

Колчунов Виталий Иванович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
Академик РААСН, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: asiorel@mail.ru

Ильюшенко Татьяна Александровна

ФГБОУ ВО «Курский государственный университет», г. Курск, Россия, старший преподаватель кафедры промышленного и гражданского строительства.
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия, начальник отдела технического нормирования в области строительства
E-mail: tatkhalina93@yandex.ru

Федорова Наталья Витальевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
Советник РААСН, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой промышленного и гражданского строительства
E-mail: fedorova@mgsu.ru

Савин Сергей Юрьевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: savinsyu@mgsu.ru

Тур Виктор Владимирович

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Беларусь,
заслуженный работник образования РБ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии бетона и строительных материалов.
E-mail: profturvic@gmail.com

Лизогуб Александр Александрович

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Беларусь,
м.т.н., младший научный сотрудник ОЛ «НИЦИС».
E-mail: p_332_14lizogub@mail.ru

Information about authors:

Kolchunov Vitaly I.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Full member of RAACS, Doctor of Tech. Sc., Professor, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures
E-mail: asiorel@mail.ru

Iliushchenko Tatiana A.

Kursk State University, Kursk, Russia.
Kursk, Russia, Senior Lecturer of the Department of Industrial and Civil Engineering.
construction.
Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, Moscow, Russia,
Head of the Department of Technical Standardization in the field of construction.
E-mail: tatkhalina93@yandex.ru

Fedorova Natalia V.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Advisor of RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of Industrial and Civil Engineering
E-mail: fedorova@mgsu.ru

Savin Sergei Y.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
candidate of technical science, associate professor of the department of Reinforced Concrete and Masonry Structures
E-mail: savinsyu@mgsu.ru

Tur Viktor V.

Brest State Technical University, Brest, Belarus,
doctor of technical sciences, Professor, Head the Department of Concrete Technology and Construction Materials
E-mail: profturvic@gmail.com

Lizahub Aliaksandr Al.

Brest State Technical University, Brest, Belarus,
master of eng. science, junior research fellow of BL «RCIC»
E-mail: p_332_14lizogub@mail.ru

А.Г. ТАМРАЗЯН¹, В.И. ЧЕРНИК¹¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
(НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОННАХ ПРИ ОГНЕВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ С УЧЕТОМ СТАДИИ ОХЛАЖДЕНИЯ

Аннотация. Статистика пожаров на территории Российской Федерации показывает, что в ряде регионов, находящихся в зонах с высокой сейсмической активностью, происходит наибольшее количество пожаров по стране. Это приводит к риску обрушений зданий при воздействии сейсмических нагрузок на вертикальные несущие конструкции, поврежденные в результате пожара. Нормативный подход к расчету огнесохранности железобетонных конструкций не учитывает тепломассоперенос на этапе, который следует после прекращения пожара. Проводится анализ распределения температурных полей по сечению железобетонной колонны с учетом стадий нагрева и охлаждения. Выполнены стандартные огневые испытания опытных железобетонных образцов. Продолжительность стандартного огневого воздействия 15, 30 и 45 мин. Для центральных областей сечения наибольшие температуры получены уже после нагрева, рост температуры составляет до 222%. Для уточнения картины распределения температурных полей выполняется численный теплотехнический КЭ расчет опытных образцов в ПК SOLIDWORKS. Основываясь на экспериментальных данных по термодатчикам, для каждого образца уточнены теплотехнические характеристики λ и C . По сравнению с нормативными значения вычисленных характеристик отличаются до 7,14 раза. Из результатов исследования следует, что для нахождения максимальных температур помимо стадии нагрева, необходимо рассматривать тепломассоперенос и в стадии охлаждения, когда температура на наружной поверхности образца начинает снижаться.

Ключевые слова: железобетонные колонны, тепломассоперенос, стандартный пожар, температурная кривая, землетрясение после пожара.

A.G. TAMRAZYAN¹, V.I. CHERNIK¹¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia

HEAT AND MASS TRANSFER IN REINFORCED CONCRETE COLUMNS UNDER FIRE ACTION WITH CONSIDERATION OF THE COOLING STAGE

Abstract. Statistics on fire incidents in the Russian Federation indicate that a number of regions with high seismic activity have the highest number of fires in the country. This poses a risk of building collapses due to seismic loads on vertical load-bearing structures damaged by fire. The current normative approach to the calculation of fire safety of reinforced concrete structures does not consider heat and mass transfer at the stage following the termination of the fire. The distribution of temperature fields along the cross-section of a reinforced concrete column is analyzed, taking into account the stages of heating and cooling. Standard fire tests of experimental reinforced concrete specimens are performed. The duration of standard fire exposure is 15, 30 and 45 minutes. For the central areas of the cross-section, the highest temperatures were obtained after heating, with a temperature increase of up to 222%. To elucidate the distribution of temperature fields, a numerical heat-technical FE calculation of experimental specimens in SOLIDWORKS PC is conducted. Based on the experimental data on thermocouples, the thermal characteristics λ and C are specified for each sample. The results of the study indicate that in order to identify the maximum temperatures, it is necessary to consider both the heating and cooling stages.

Keywords: reinforced concrete columns, heat and mass transfer, standard fire, temperature curve, earthquake after fire.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tamrazyan A. Reduce the impact of dynamic strength of concrete under fire conditions on bearing capacity of reinforced concrete columns // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. No. 475-476. Pp. 1563-1566. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.475-476.1563.
2. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Оптимальное проектирование несущих конструкций зданий с учетом относительного риска аварий // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. № 7. С. 819-830. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.7.819-830.
3. Тамразян, А. Г., Попов Д. С. Напряженно-деформированное состояние коррозионно-поврежденных железобетонных элементов при динамическом нагружении // *Промышленное и гражданское строительство*. 2019. № 2. С. 19-26. DOI 10.33622/0869-7019.2019.02.19-26.
4. Тамразян А. Г., Черник В. И. Жесткость поврежденной пожаром железобетонной колонны при разгрузке после высокоинтенсивного горизонтального воздействия // *Вестник МГСУ*. 2023. №18(9). С. 1369-1382. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.9.1369-1382>.
5. Алмазов В. О., Плотников А. И., Расторгуев Б. С. Проблемы сопротивления зданий прогрессирующему разрушению // *Вестник МГСУ*. 2011, №2-1, С. 16-20.
6. Гончаренко В. С. и др. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статист. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
7. Жарницкий В.И., Голда Ю.Л., Курнавина С.О. Развитие повреждений в железобетонной раме при сейсмических воздействиях // *Бетон и железобетон - взгляд в будущее*. 2014, С.57-67.
8. Ilki A., Demir U. Factors affecting the seismic behavior of reinforced concrete structures after fire exposure // *NED University Journal of Research*. 2019. No.1 (special). pp. 31-42. DOI: 10.35453/NEDJR-STMECH-2019-0003.
9. Korsun V., Baranov A. Mechanical properties of high-strength concrete after heating at temperatures up to 400 °C // *Proceedings of EECSE 2020*. 2021, Pp. 454-463 DOI: 10.1007/978-3-030-72404-7_44.
10. Милованов А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре. – М.: Стройиздат, 1998. – 304 с.: ил. – ISBN 5-274-01695-2.
11. Федоров В. С., Левитский В. Е., Матвиенко В. Е. Методика построения температурных профилей для расчёта огнестойкости железобетонных конструкций методом нормализованной кривой // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. 2021, №1(35), с. 5-8.
12. Franssen, J. M., and T. Gernay. Modeling Structures in Fire with SAFIR: Theoretical Background and Capabilities // *Journal of Structural Fire Engineering*. 2017. No. 8 (3). Pp. 300–323. <https://doi.org/10.1108/JSFE-07-2016-0010>.
13. Bisby L, Gales J, Maluk C. A contemporary review of large-scale non-standard structural fire testing // *Fire Science Reviews*. 2013. No. 2(1). Pp.1-27. <https://doi.org/10.1186/2193-0414-2-1>
14. Melo J. et al. Cyclic behaviour of as-built and strengthened existing reinforced concrete columns previously damaged by fire // *Engineering Structures*. 2022, No. 266, 114584, DOI: 10.1016/j.engstruct.2022.114584.
15. Tamrazyan A. G., Avetisyan L. A. Experimental and theoretical study of reinforced concrete elements under different characteristics of loading at high temperatures // *Procedia Engineering*. – 2016. No. 153. pp. 721-725. DOI:10.1016/j.proeng.2016.08.232.
16. Корсун В.И., Баранов А.О. Расчёт температурно-усадочных деформаций высокопрочных бетонов применительно к условиям воздействия повышенных температур // *Сборник научных трудов РААСН. Том 2. Российская академия архитектуры и строительных наук*. 2020, с. 314-321.
17. Demir U. et al. Post fire seismic performance of reinforced precast concrete columns // *PCI Journal*. – 2020. No.65(6). Pp. 62-80. DOI: 10.15554/pci.65.6-01.
18. Xu Y. et al. Post-fire seismic behaviors of concrete stub columns in different fire exposure cases // *Zhendong yu Chongji/Journal of Vibration and Shock*. 2020. No. 39(18). Pp. 11-19.

REFERENCES

1. Tamrazyan A. Reduce the impact of dynamic strength of concrete under fire conditions on bearing capacity of reinforced concrete columns. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. No. 475-476. Pp. 1563-1566. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.475-476.1563.
2. Tamrazyan A.G., Alekseyev A.V. Optimal structures design: accounting of costs and relative accidents risk. *Vestnik MGSU*. 2019. Vol. 14. No. 7. Pp. 819-830. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.7.819-830. (rus).
3. Tamrazyan A. G., Popov D. S. Stress-strain State of Corrosion-Damaged Reinforced Concrete Elements under Dynamic Loading. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]*, 2019, No. 2, Pp. 19–26. DOI:10.33622/0869-7019.2019.02.19-26. (rus).

4. Tamrazyan A.G., Chernik V.I. Stiffness of a fire-damaged reinforced concrete column during unloading after high-intensity horizontal impact. *Vestnik MGSU*. 2023. No.18(9). Pp. 1369-1382. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.9.1369-1382> (rus).
5. Almazov V.O., Plotnikov A.I., Rastorguev B.S. Problems of building's strength to progressive collapse. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 2-1. Pp. 16-20. (rus)
6. Goncharenko V. S. et al. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu: statist. sb. Balashixa [Fires and fire safety in 2021: stat. coll. Balashikha]: FGBU VNIPO MChS Rossii, 2022. 114 p. (rus)
7. Zharniczkiy V.I., Golda Yu.L., Kurnavina S.O. Razvitie povrezhdenij v zhelezobetonnoj rame pri sejsmicheskix vozdeystviyax [Damage development in reinforced concrete frame under seismic impacts]. *Beton i zhelezobeton - vzglyad v budushhee*. 2014, Pp.57-67. (rus)
8. Ilki A., Demir U. Factors affecting the seismic behavior of reinforced concrete structures after fire exposure. *NED University Journal of Research*. 2019. No.1 (special). Pp. 31-42. DOI: 10.35453/NEDJR-STMECH-2019-0003.
9. Korsun V., Baranov A. Mechanical properties of high-strength concrete after heating at temperatures up to 400 °C. *Proceedings of EECE 2020*. 2021, Pp. 454-463 DOI: 10.1007/978-3-030-72404-7_44
10. Milovanov A.F. Stojkost' zhelezobetonny'x konstrukcij pri pozhare [Resistance of Reinforced Concrete Structures at Fire]. Moscow: Stroyizdat, 1998. 304 p. ISBN 5-274-01695-2. (rus)
11. Fedorov V. S., Levitskiy V. E., Matvienko V. E. Technique for constructing temperature profiles for calculation of fire resistance of reinforced concrete structures by the normalized curve method. *Inzhenerno-stroitel'ny' vestnik Prikaspiya*. 2021, No. 1(35), Pp. 5-8. (rus)
12. Franssen, J. M., and T. Gernay. Modeling Structures in Fire with SAFIR: Theoretical Background and Capabilities. *Journal of Structural Fire Engineering*. 2017. No. 8 (3). Pp. 300–323. <https://doi.org/10.1108/JSFE-07-2016-0010>
13. Bisby L, Gales J, Maluk C. A contemporary review of large-scale non-standard structural fire testing. *Fire Science Reviews*. 2013. No. 2(1). Pp.1-27. <https://doi.org/10.1186/2193-0414-2-1>
14. Melo J. et al. Cyclic behaviour of as-built and strengthened existing reinforced concrete columns previously damaged by fire. *Engineering Structures*. 2022, No. 266, 114584, DOI: 10.1016/j.engstruct.2022.114584
15. Tamrazyan A. G., Avetisyan L. A. Experimental and theoretical study of reinforced concrete elements under different characteristics of loading at high temperatures. *Procedia Engineering*. 2016. No. 153. Pp. 721-725. DOI:10.1016/j.proeng.2016.08.232
16. Korsun V.I., Baranov A.O. Calculation of Temperature and Shrinkage Deformations of High-Strength Concrete under Conditions of Elevated Temperatures. *Sbornik nauchny'x trudov RAASN. Tom 2. Rossijskaya akademiya arxitektury i stroitel'ny'x nauk*. 2020. Pp. 314-321. (rus)
17. Demir U. et al. Post fire seismic performance of reinforced precast concrete columns. *PCI Journal*. 2020. No. 65(6). Pp. 62-80. DOI: 10.15554/pci65.6-01
18. Xu Y. et al. Post-fire seismic behaviors of concrete stub columns in different fire exposure cases. *Zhendong yu Chongji/Journal of Vibration and Shock*. 2020. No. 39(18). Pp. 11-19

Информация об авторах

Ашот Георгиевич Тамразян

Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»), г. Москва, Россия,
д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций,
E-mail: tamrazian@mail.ru

Владимир Игоревич Черник

Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»), г. Москва, Россия,
преподаватель кафедры железобетонных и каменных конструкций, аспирант,
E-mail: chernik_vi@mail.ru

Information about authors

Tamrazyan Ashot G.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
doctor in tech. sc., prof., head of the department of reinforced concrete and masonry structures,
E-mail: tamrazian@mail.ru

Chernik Vladimir I.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
lecturer of the department of reinforced concrete and stone structures, postgraduate student,
E-mail: chernik_vi@mail.ru

О.В. ВОЛИЧЕНКО^{1,2}, Т.О. ЦУРИК³¹ Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, г. Москва, Россия² ФГБОУ ВО «НИУ Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия³ Юго-западный государственный университет, г. Курск, Россия

РЕНОВАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОЙ АРХИТЕКТУРЫ НА ОСНОВЕ ИММЕРСИВНОГО ПОДХОДА

Аннотация. Актуальность исследования определяется наличием комплекса социально-экономических, экологических и культурно-исторических проблем в градостроительстве, связанных с эффективным использованием бывших промышленных территорий и созданием общественных пространств с сохранением памятников архитектуры. В статье рассмотрены проблемы реновации исторических зданий, объектов промышленной архитектуры в крупных городах. Предметом исследования является реновация объекта культурного наследия регионального значения (ансамбля) «Ликеро-водочный завод» в г. Курске. Изучение проблемы использования промышленных объектов, имеющих культурную и историческую ценность, носит междисциплинарный характер и позволяет раскрыть градостроительный потенциал зданий промышленной архитектуры. Недостаточно изученными остаются принципы выбора направлений и оценки результатов реновации в зависимости от величины объекта и его места в структуре города. В качестве наиболее перспективного направления реновации авторы предлагают применение иммерсивных практик. Возвращение заброшенных и проблемных городских территорий для нового целевого использования может осуществляться различными способами. Принцип формирования иммерсивного пространства основывается на глубоком понимании историко-культурной и средовой значимости объекта, сохранении баланса между первоначальным обликом и градостроительным окружением. Иммерсивные технологии успешно реализованы в городской среде европейских и российских городов. Авторы раскрывают характеристики иммерсивного пространства и предлагают вариант использования территории ликеро-водочного завода на основе сюжетного погружения в культурную матрицу объекта с привлечением технологий виртуальной реальности. Реалистичность и динамичность пространства наряду с максимальным сохранением облика объекта культурного наследия позволяет по-новому переосмыслить трансформацию промышленных территорий и их значение в современной городской среде.

Ключевые слова: реновация, промышленная архитектура, иммерсивное пространство, городская среда, принципы формирования.

O.V. VOLICHENKO^{1,2}, T.O. TSURIK³¹ RUDN University, Moscow, Russia² National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia³ Southwest State University, Kursk, Russia

RENOVATION OF INDUSTRIAL ARCHITECTURAL OBJECTS BASED ON AN IMMERSIVE APPROACH

Annotation. The relevance of the study is determined by the presence of a complex of socio-economic, environmental, cultural and historical problems in urban planning related to the effective use of former industrial areas and the creation of public spaces with the preservation of architectural monuments. The article examines the problems of renovation of historical buildings and industrial architecture in large cities. The subject of the study is the renovation of a cultural heritage site of regional significance (ensemble) "Distillery" in Kursk.

© Воличенко О.В., Цурик Т.О., 2024

The study of the problem of using industrial facilities that have cultural and historical value is interdisciplinary in nature and makes it possible to reveal the urban planning potential of industrial architecture buildings. The principles of choosing directions and assessing the results of renovation depending on the size of the object and its place in the structure of the city remain insufficiently studied. The authors propose the use of immersive practices as the most promising direction for renovation. The return of abandoned and problematic urban areas for new intended uses can be carried out in various ways. The principle of creating an immersive space is based on a deep understanding of the historical, cultural and environmental significance of the object, maintaining a balance between the original appearance and the urban surroundings. Immersive technologies have been successfully implemented in the urban environment of European and Russian cities. The authors reveal the characteristics of the immersive space and propose an option for using the territory of the distillery based on a plot immersion in the cultural matrix of the object using virtual reality technologies. The realism and dynamism of the space, along with maximum preservation of the appearance of the cultural heritage site, allows us to rethink the transformation of industrial areas and their significance in the modern urban environment in a new way.

Keywords: renovation, industrial architecture, immersive space, urban environment, principles of formation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2016 г. N 1034/пр. и введен в действие с 1 июля 2017 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054209> (дата обращения: 24.04.2024).
2. Воличенко О., Цурик Т. Двойственность отношения к исторической городской застройке // Проект Байкал. 2023. Т. 20. № 75. С. 68-73. DOI 10.51461/pb.75.16.
3. Herrera-Avellanosa D., Haas F., Leijonhufvud G., Brostrom T., Buda A., Pracchi V., Webb A. L., Hüttler W., Troi A. Deep renovation of historic buildings: The IEA-SHC Task 59 path towards the lowest possible energy demand and CO2 emissions // International Journal of Building Pathology and Adaptation International Journal of Building Pathology and Adaptation. 2020. 38(4). P. 539-553. DOI: 10.1108/IJBPA-12-2018-0102.
4. Uranga E.J., Etxepare L., Lizundia I. and Sagarna M. Energy efficiency intervention and preservation in residential built heritage: analysis, proposal and results in the Gros district of San Sebastian // Preliminary Conference Report: Energy Efficiency in Historic Buildings, 2018. Visby. Pp. 472-481.
5. Гребенщиков В. С. Методология и концептуальное моделирование функциональной структуры промышленного девелопмента индустриальных парков // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 9 (108). С. 1053-1060. DOI 10.22227/1997-0935.2017.9.1053-1060.
6. Baronin S. A., Kulakov K.Y. Development of the municipal market of the land plot auctions for housing construction in Russia // Journal of Applied Economic Sciences. 2016. Vol. 11. No. 4. Pp. 698-708.
7. Мельникова И. Б. К проблеме реконструкции исторических промышленных объектов // Экология урбанизированных территорий. 2016. № 1. С. 91-95.
8. Гайдук А. Р. Реновация промышленных объектов и адаптация индустриальных зон городов к современным условиям (на примере г. Казань) // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 4 (38). С. 83-88.
9. Полякова Т. Н., Цурик Т. О. Социокультурные аспекты реабилитации промышленных территорий в городской среде // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2019. Т. 9. № 3 (32). С. 226-235.
10. Быстрова Т. Ю. Реабилитация промышленных территорий городов: теоретические предпосылки, проектные направления (часть 1) // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2013. №3. С. 21-24.
11. Воличенко О. В., Головина Е. В. Модель анализа историко-архитектурных объектов // Строительство и реконструкция. 2023. № 6(110). С. 86-96. DOI 10.33979/2073-7416-2023-110-6-86-96.
12. Дрожжин Р. А. Реновация промышленных территорий // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2015. №1 (11). С. 84-86.
13. Майборода Д. В. Реновация промышленных территорий // Вестник науки. 2019. №6 (15). Т. 5. С. 239-241.
14. Гончарова М. С. Реновация промышленных территорий и развитие арт-среды // Труды института бизнес-коммуникаций: научное издание. Т. 3. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2018. С. 68-79.
15. Воличенко О. В., Рычкин Е. Д. Реновации промышленных территорий – как фактор преобразования городского ландшафта // Архитектура и строительство России. 2018. № 2(226). С. 84-91.

16. Снитко А. В. Реновация промышленных объектов и архитектурно-историческая среда: вопросы корреляции // *Архитектура, градостроительство, дизайн*. 2022. № 1(31). С. 19-28.
17. Меркульева А. В. Иммерсивные методики в современных социокультурных практиках // *Вестник СПбГИК*. 2020. №2 (43). С. 58-62.
18. Венкова А. В. Пространственные энвайронменты в современном искусстве // *Международный журнал исследований культуры*. 2018. №3 (32). С. 209-219. DOI: 10.24411/2079-1100-2018-00060.
19. Никифорова А. А., Воронова Н. И. Иммерсивные практики в современном культурном пространстве (мировой и отечественный опыт) // *Философия и культура*. 2023. №5. С. 60-73.
20. Научно-проектная документация проект границ территории объекта культурного наследия регионального значения «Ликеро–водочный завод», 1900 – 1903 гг. (Курская область, г. Курск, ул. Халтурина, д. 16) // Научно-исследовательский центр проектирования и историко-культурных экспертиз НИЦ ПИИКЭ. М., 2023. Шифр: 2023/74-ГТ-1.
21. Капцевич О. А. Психологические эффекты визуального восприятия городской среды: систематический обзор // *Психология. Журнал Высшей школы экономики*. 2021. Т. 18. № 3. С. 575–597.

REFERENCES

1. SP 42.13330.2016. Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastrojka gorodskih i sel'skih poselenij [Planning and development of urban and rural settlements] Uтвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2016 г. N 1034/пр. и введен в действие с 1 июля 2017 г. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054209> (data obrashcheniya: 24.04.2024). (rus)
2. Volichenko O., Curik T. Dvoystvennost' otnosheniya k istoricheskoy gorodskoj zastrojke [Ambivalence of attitude towards historical urban development] *Proekt Bajkal*. 2023. Vol. 20. No. 75. Pp. 68-73. DOI 10.51461/pb.75.16. (rus)
3. Herrera-Avellanosa D., Haas F., Leijonhufvud G., Brostrom T., Buda A., Pracchi V., Webb A. L., Hüttler W., Troi A. Deep renovation of historic buildings: The IEA-SHC Task 59 path towards the low-est possible energy demand and CO2 emissions. *International Journal of Building Pathology and Adaptation International Journal of Building Pathology and Adaptation*. 2020. 38(4). Pp. 539-553. DOI: 10.1108/IJBPA-12-2018-0102.
4. Uranga E.J., Etxepare L., Lizundia I. and Sagarna M. Energy efficiency intervention and preservation in residential built heritage: analysis, proposal and results in the Gros district of San Sebastian. Preliminary Conference Report: Energy Efficiency in Historic Buildings, 2018. Visby. Pp. 472-481.
5. Grebenshchikov V. S. Metodologiya i konceptual'noe modelirovanie funkcional'noj struktury promyshlennogo developmenta industrial'nyh parkov [Methodology and conceptual modeling of the functional structure of industrial development of industrial parks] *Vestnik MGSU*. 2017. Vol. 12. No. 9 (108). Pp. 1053-1060. DOI 10.22227/1997-0935.2017.9.1053-1060. (rus)
6. Baronin S. A., Kulakov K.Y. Development of the municipal market of the land plot auctions for housing construction in Russia. *Journal of Applied Economic Sciences*. 2016. Vol. 11. No. 4. Pp. 698-708. (rus)
7. Mel'nikova I. B. K probleme rekonstrukcii istoricheskikh promyshlennykh ob'ektov [On the problem of reconstruction of historical industrial facilities] *Ekologiya urbanizirovannykh territorij*. 2016. No. 1. Pp. 91-95. (rus)
8. Gajduk A. R. Renovaciya promyshlennykh ob'ektov i adaptaciya industrial'nyh zon gorodov k sovremennym usloviyam (na primere g. Kazan') [Renovation of industrial facilities and adaptation of industrial zones of cities to modern conditions (using the example of Kazan)] *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2016. No. 4 (38). Pp. 83-88. (rus)
9. Polyakova T. N., Curik T. O. Sociokul'turnye aspekty rehabilitacii promyshlennykh territorij v gorodskoj srede [Sociocultural aspects of rehabilitation of industrial areas in the urban environment] *Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Sociologiya. Menedzhment*. 2019. Vol. 9. No. 3 (32). Pp. 226-235. (rus)
10. Bystrova T. YU. Rehabilitaciya promyshlennykh territorij gorodov: teoreticheskie pred-posylki, proektnye napravleniya (chast' 1) [Rehabilitation of industrial areas of cities: theoretical background, project directions (part 1)] *Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN*. 2013. No. 3. Pp. 21-24. (rus)
11. Volichenko O. V., Golovina E. V. Model' analiza istoriko-arhitekturnykh ob'ektov [Model for analysis of historical and architectural objects] *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2023. No. 6 (110). Pp. 86-96. DOI 10.33979/2073-7416-2023-110-6-86-96. (rus)
12. Drozhzhin R. A. Renovaciya promyshlennykh territorij [Renovation of industrial areas] *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta*. 2015. No. 1 (11). Pp. 84-86. (rus)

13. Majboroda D. V. Renovaciya promyshlennyh territorij [Renovation of industrial areas] *Vestnik nauki*. 2019. No. 6 (15). Vol. 5. Pp. 239-241. (rus)
14. Goncharova M. S. Renovaciya promyshlennyh territorij i razvitie art-sredy [Renovation of industrial areas and development of the art environment] Trudy instituta biznes-kommunikacij: nauchnoe izdanie. Vol. 3. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij gos-udarstvennyj universitet promyshlennyh tekhnologij i dizajna, 2018. Pp. 68-79. (rus)
15. Volichenko O. V., Rychkin E. D. Renovacii promyshlennyh territorij – kak faktor pre-obrazovaniya gorodskogo landshafta [Renovation of industrial areas - as a factor in transforming the urban landscape] *Arhitektura i stroitel'stvo Rossii*. 2018. No. 2(226). Pp. 84-91. (rus)
16. Snitko A. V. Renovaciya promyshlennyh ob'ektov i arhitekturno-istoricheskaya sreda: voprosy korrelyacii [Renovation of industrial facilities and architectural and historical environment: issues of correlation] *Arhitektura, gradostroitel'stvo, dizajn*. 2022. No. 1(31). Pp. 19-28. (rus)
17. Merkul'eva A. V. Immersivnye metodiki v sovremennyh sociokul'turnyh praktikah [Immersive techniques in modern sociocultural practices] *Vestnik SPbGIK*. 2020. No. 2 (43). Pp. 58-62. (rus)
18. Venkova A. V. Prostranstvennye envajronmenty v sovremennom iskusstve [Spatial environments in contemporary art] *Mezhduna-rodnyj zhurnal issledovanij kul'tury*. 2018. No. 3 (32). Pp. 209-219. DOI: 10.24411/2079-1100-2018-00060. (rus)
19. Nikiforova A. A., Voronova N. I. Immersivnye praktiki v sovremennom kul'turnom prostranstve (mirovoj i otechestvennyj opyt) [Immersive practices in the modern cultural space (world and domestic experience)] *Filosofiya i kul'tura*. 2023. No. 5. Pp. 60-73. (rus)
20. Nauchno-proektnaya dokumentaciya proekt granic territorii ob'ekta kul'turnogo nasle-diya regional'nogo znacheniya «Likero–vodochnyj zavod», 1900 – 1903 gg. (Kurskaya oblast', g. Kursk, ul. Halturina, d. 16). Nauchno-issledovatel'skij centr proektirovaniya i istoriko-kul'turnyh ekspertiz NIC PIIKE. M., 2023. SHifr: 2023/74-GT-1. (rus)
21. Kapcevich O. A. Psihologicheskie efekty vizual'nogo vospriyatiya gorodskoj sredy: si-stematicheskij obzor [Psychological effects of visual perception of urban environments: a systematic review] *Psihologiya. Zhurnal Vysshej shkoly ekonomiki*. 2021. Vol. 18. No. 3. Pp. 575–597. (rus)

Информация об авторах

Воличенко Ольга Владимировна

Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, г. Москва, Россия,
ФГБОУ ВО «НИУ Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия
д-р архитектуры, доц., проф. кафедры архитектуры, реставрации и дизайна,
E-mail: wolitschenko@mail.ru

Цурик Татьяна Олеговна

ФГБОУ ВО «Юго-западный государственный университет», г. Курск, Россия,
канд. культурологии, доц., доцент кафедры архитектуры, градостроительства и графики,
E-mail: TsurikTO@yandex.ru

Information about authors

Volichenko Olga Vladimirovna

RUDN University, Moscow, Russia,
National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia
doctor of architecture, docent, prof. of the dep. of architecture, restoration and design,
E-mail: wolitschenko@mail.ru

Tsurik Tatyana O.

Southwestern State University, Kursk, Russia,
candidate cultural, docent, associate prof. of the dep. of architecture, urban planning and graphics,
E-mail: TsurikTO@yandex.ru

А. Е. ЕНИН,¹ Т. И. ГРОШЕВА¹¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ЛАНДШАФТНО-РЕКРЕАЦИОННЫХ ПРОСТРАНСТВ В УСЛОВИЯХ РЕКОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ГОРОДА

Аннотация. Рассмотрены способы моделирования с разделением методов и моделей на два класса: мысленные и материальные. Определена зависимость применения тех или иных методов моделирования и типов моделей от природы исследуемого объекта или явления. Установлено, что для сложных объектов используется комплексный и системный подход. Показана неэффективность технико-экономических и «комплексных» методов исследования и делается вывод о том, что выход из создавшегося положения возможен лишь при пересмотре сложившейся методологической концепции. Предложен анализ критериев, которым должен соответствовать архитектурный объект для количественного анализа и моделирования его структуры. Показано, что проектировщики и исследователи используют методы количественного анализа функционально-пространственной структуры ландшафтно-рекреационного пространства (ЛРП) городской среды, а также дополнительные методы и приёмы анализа функционально-пространственной структуры ЛРП городской среды. Предложен реально осуществимый путь успешного построения и управления жизнедеятельностью демозкосистем, как объекта архитектуры, это разработка функциональных моделей, адекватных реальным экологическим системам типа «население↔среда» с точностью до «С-изоморфизма» (системного изоморфизма). Таким образом, формулировка концепции проекта реконструкции ландшафтно-рекреационного пространства базируется на понимании пространства, как демозкосистемы, достижения эффективности, взаимосвязанной работой всех компонентов и протекающих процессов (производственных, бытовых, рекреационных и коммуникационных). Таким образом, достигается целостность ландшафтно-рекреационного пространства.

Ключевые слова: модель, ландшафтно-рекреационное пространство, демозкосистема, системный изоморфизм, целостность

А. Е. ENIN¹, Т. И. GROSHEVA¹¹Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

DEVELOPMENT OF MODELS OF LANDSCAPE AND RECREATIONAL SPACES IN THE CONTEXT OF RECONSTRUCTION OF THE CENTRAL HISTORICAL PART OF THE CITY

Abstract. Methods of modeling are considered with the division of methods and models into two classes: mental and material. The dependence of the application of certain modeling methods and types of models on the nature of the object or phenomenon under study is determined. It has been established that an integrated and systematic approach is used for complex objects. The inefficiency of technical, economic and "complex" research methods is shown, and it is concluded that a way out of the current situation is possible only if the architects revise the existing methodological concept. An analysis of the criteria that an architectural object must meet for quantitative analysis and modeling of its structure is proposed.

It is shown that designers and researchers use methods of quantitative analysis of the functional and spatial structure of the landscape and recreational space of the urban environment, as well as additional methods and techniques for analyzing the functional and spatial structure of the urban environment. The only realistically feasible way of successful construction and management of the life of demoecosystems as an object of architecture is the development of functional models that are adequate to real ecological systems of the "population-environment↔" type with an accuracy of "C-isomorphism" (system isomorphism). Thus, the formulation of the concept of the project for the reconstruction of landscape and recreational space is based on the understanding of space as a demoecosystem, the achievement of efficiency, the interrelated work of all components and ongoing processes (industrial, domestic, recreational and communication). Thus, the integrity of the landscape and recreational space is achieved.

Keywords: *model, landscape-recreational space, demoecosystem, systemic isomorphism, integrity.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Енин, А.Е., Общие принципы и методы реконструкции системы ландшафтно-рекреационных пространств города. // Наука и бизнес: пути развития. 2018. № 6 (84). С. 64-70.
2. Матлин, И.О. Анализ системы обслуживания // Сб.: Вопросы географии. – М., 1972. – С. 82-91.
3. Токарева, Г.Ш. Формирование и развитие городских узловых районов: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. архитектуры: 18.00.04 /– Москва, 1985. – 23 с.
4. Якшин, А.М. Графоаналитический метод в градостроительных исследованиях и проектировании.-М.: Стройиздат, 1979. – 204 с.
5. Лаврик, Г.И. Методологические основы районной планировки. Введение в демоэкологию: учебник для вузов. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2006. - 113с.
6. Мастера советской архитектуры об архитектуре. Избранные отрывки из писем, статей, выступлений и трактатов. В 2-х т. под общ. ред. М.Г. Бархина [и др.]. Т.1. – М.: Искусство, 1975. – 544 с.
7. Perloff, H.S. The art of planning.– NY: Plenum Press, 1985. – 364 p
8. Tesler, E. Philosophy of systems. From primordial chaos to the future of humanity.NY: Vantage Press, 2000. – 384 p.
9. Fleischmann, M. Fractals in the natural sciences. New Jersey: Princeton University Press, 1990.– 200 p.
10. Исмаил, Х.Д.А. Фрактальные построения в композиции архитектурных объектов (на примере памятников исламской архитектуры): автореф. дис. на соискание ученой степени канд. архитектуры: 05.23.20 / Исмаил
11. Kim, T.J. Expert systems: applications to urban planning: Springer-Verlag, 1990. – 268 p.
12. Мерлен, П. Город. Количественные методы изучения. М.: Прогресс, 1977 – 262 с.
13. Стрельников, А.И. Программа определения потенциальной транспортной потребности по воздушным расстояниям. // Автоматизация проектирования городских транспортных систем. Вып. №4– М.: Стройиздат, 1977. – 105 с.
14. Закон Мура [Электронный ресурс] - Режим доступа:
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D0%9C%D1%83%D1%80%D0%B0.
15. Салько А.В. , Инновационные методы формирования образовательной среды высших учебных заведений.//Архитектурные исследования,№2(10), 2017, с.22-34
16. Подолинский С.А. Труд человека и его отношение к распределению энергии: изд. 2-ое. М.: Белые Альбы, 2005. – 160 с.

REFERENCES

1. Yenin, A.E., General Principles and Methods of Reconstruction of the System of Landscape and Recreational Spaces of the City. *Science and Business: Ways of Development*. 2018. № 6 (84). S. 64-70.
2. Matlin, I.O. Analiz sistemy obsluzhdenii [Analysis of the service system]. *Voprosy geografii*. Moscow, 1972. P. 82-91.
3. Tokareva, G.Sh. Formation and Development of Urban Uzlovykh Districts: Avtoref. dis. for the degree of Cand. Architecture: 18.00.04. Moscow, 1985. 23 p. (rus)
4. Yakshin A.M., Govarenkova T.M. et al. – Moscow, Sroyizdat Publ., 1979. 204 p. (rus)

5. Lavrik, G.I. Metodologicheskie osnovy rayonnoy planirovaniye [Methodological foundations of district planning]. Introduction to Demoeology: Textbook for Higher Educational Institutions. *Belgorod: BSTU named after V.G. Shukhov*, 2006. - 113 p. (rus)
6. Masters of Soviet Architecture on Architecture. Selected Excerpts from Letters, Articles, Speeches and Treatises/ In 2 vols. M.G. Barkhina [et al.]. T.1. – Moscow, Iskusstvo Publ., 1975. – 544 p.
7. Perloff, H.S. The art of planning. H.S. NY: Plenum Press, 1985. – 364 p.
8. Tesler, E. Philosophy of systems. From primordial chaos to the future of humanity .NY: *Vantage Press*, 2000. – 384 p.
9. Fleischmann, M. Fractals in the natural sciences. M. *New Jersey: Princeton University Press*, 1990. – 200 p.
10. Ismail, H.D.A. Fraktale Konstruktionen in der Komposition architektonischer Objekte (am Beispiel von Denkmälern der islamischen Architektur): Avtoref. Dis. für den Grad der Cand. Architektur: 23.05.20.
11. Kim, T.J. Expertsystems: applicationstourbanplanning .NY: *Springer-Verlag*, 1990. – 268 p.
12. Merlin, P. Gorod. Quantitative Untersuchungsmethoden. PProgress Publ., 1977, 262 S.
13. Strelnikov A.I. Programm zur Ermittlung des potentiellen Transportbedarfs für Luftstrecken . *Automatisierung städtischer Verkehrssysteme*. Bd. Nr. 4 – Moskau, Stroyiz-dat Publ., 1977. – 105 p.
14. Moore's Law [Elektronnyi resurs] - Rezhim dostupa: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D0%9C%D1%83%D1%80%D0%B0
15. Salko A.V. , Innovatsionnye metody formirovaniya obrazovatel'noy sredy vysshego uchebnykh uchebnykh [Innovative Methoden zur Bildung des Bildungsumfelds von Hochschuleinrichtungen]. *Architectural Research*, No. 2 (10), 2017, pp. 22-34
16. Podolinsky, S.A. Trud cheloveka i ego otnosheniya k rasrasedleniyu energii: izd. 2. Belye Alvy Publ., 2005. 160 p. (rus)

Информация об авторах:

Енин Александр Егорович

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия
кандидат архитектуры, профессор, заведующий кафедрой основ проектирования и архитектурной графики.
e-mail: a_yenin@mail.ru

Грошева Татьяна Игоревна

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия
кандидат архитектуры, доцент кафедры основ проектирования и архитектурной графики.
e-mail: tfs007@mail.ru

Information about authors:

Enin Alexander E.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Voronezh State Technical University", Voronezh, Russia candidate of architecture, professor, head of the department of fundamentals of design and architectural graphics.
E-mail: a_yenin@mail.ru

Grosheva Tatyana I.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Voronezh State Technical University", Voronezh, Russia candidate of architecture, associate professor of the department of fundamentals of design and architectural graphics.
E-mail: tfs007@mail.ru

В.З. АБДРАХИМОВ¹, Д.В. АБДРАХИМОВ²

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ НА СУШИЛЬНЫЕ СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО ОБРАЗЦА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

^{1, 2}ФГБОУ ВО Самарский государственный экономический университет, г. Самара, Россия

Аннотация. Многочисленные исследования показали, что регулирование и стабилизация сушки, при которой количество влаги удаляется в пределах 70%, в керамических изделиях осуществляется в основном за счет введения в глинистые композиции различные отощители, которые увеличивают расстояния межмолекулярное воздействие между глинистыми частицами, вследствие чего удаляется механически примешанная вода. **Цель работы:** исследовать влияние золошлаковой смеси на показатели сушки: водопроводность, усадку и механическую прочность керамического образца на основе техногенного сырья цветной металлургии – ГЦИ (глинистой части «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд) с использованием регрессивного метода анализа. **Постановка задачи.** С учетом ограниченного во многих регионах России наличия качественных сырьевых материалов для получения керамических образцов использовались отходы энергетики и цветной металлургии без применения природного традиционного сырья. Введение в керамическую композицию в качестве отощителя золошлаковой смеси, которая не имеет усадку, способствует более равномерному по всему образцу распределению влаги, а затем ее плавному удалению во время сушки изделия. Золошлаковую смесь необходимо вводить в керамические массы для сокращения усадки при сушке, повышения влаговодности, но необходимо при этом учесть, что снижается прочность высушенного образца при сжатии. Увеличение содержания золошлаковой смеси в керамических композициях уменьшает ее пластичность. Повышение содержания золошлаковой смеси до 32% снижает пластичность до 9. Такая пластичность при формировании полуфабрикатов способствует появлению на них трещин (снижается у глинистого компонента связующая способность, что не позволяет формировать образцы без дефектов). Оптимальными составами для эффективной сушки образцов являются составы, содержащие 20-24% золошлаковой смеси. В настоящей работе использовался регрессионный метод анализа, дающий возможность выбрать необходимые модельные уравнения, которые помогут определить керамические массы, обладающие эффективными свойствами и для прогнозирования результатов, не вошедших в эксперимент.

Ключевые слова: золошлаковая смесь, сушильные свойства, ГЦИ, керамический образец, регрессионный метод анализа.

V.Z. ABDRAKHIMOV¹, D.V. ABDRAKHIMOV²

STUDY OF INFLUENCE OF ASH-SLAG MIXTURE ON DRYING PROPERTIES OF CERAMIC SAMPLE USING REGRESSION ANALYSIS METHOD

^{1, 2}Samara State University of Economics, Samara, Russia

Abstract. Numerous studies have shown that control and stabilization of drying, in which the amount of moisture is removed within 70%, in ceramic products is mainly due to the introduction of various absorbers into clay compositions, which increase the intermolecular distance between clay particles, as a result of which mechanically mixed water is removed. **The purpose of the work:** to study the effect of ash and slag mixture on drying indicators: plumbing, shrinkage and mechanical strength of a ceramic sample based on technogenic raw materials of non-ferrous metallurgy - GZI (clay part of the "tails" of gravity of zircon-ilmenite ores) using a regressive analysis method.

Task statement. *Given the limited availability of high-quality raw materials in many regions of Russia, energy waste and non-ferrous metallurgy without the use of natural traditional raw materials were used to obtain ceramic samples. The inclusion of a non-shrinkable ash-slag mixture in the ceramic composition contributes to a more uniform distribution of moisture throughout the sample and then to its smooth removal during drying of the article. The ash and slag mixture must be added to the ceramic masses to reduce shrinkage during drying, increase moisture conductivity, but it must be borne in mind that the compression strength of the dried sample decreases. Increase of ash-slag mixture content in ceramic compositions reduces its plasticity. Increasing the content of ash and slag mixture to 32% reduces ductility to 9. Such plasticity in the formation of semi-finished products contributes to the appearance of cracks on them (the binding ability of the clay component decreases, which does not allow forming samples without defects). Optimal compositions for efficient drying of samples are those containing 20-24% ash and slag mixture. In this work, a regression analysis method was used, which makes it possible to select the necessary model equations that will help determine ceramic masses with effective properties and to predict results that were not included in the experiment.*

Keywords: *ash-slag mixture, drying properties, GZI, ceramic sample, regression analysis method.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баскаков С.В. Сушка кирпича. М.: Издательство литературы по строительству, 1966. 175 с.
2. Абдрахимов В.З. Получение керамических стеновых материалов на основе монтмориллонитовой глины и «хвостов» обогащения полиметаллических руд // Строительство и реконструкция. 2022. №4 С. 132-138. DOI: [10.33979/2073-7416-2022-102-4-132-138](https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-102-4-132-138)
3. Волочко А.Т., Подболотов К.Б., Хорт Н.А., Манак П.И. Влияние комплексных видов отошителей и цветонесущего сырья на свойство изделий строительной керамики // Вестник полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2020. №16. С. 42-46.
4. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Использование в производстве жаростойких бетонах алюмосодержащего нанотехногенного сырья и отходов углеобогащения // Строительство и реконструкция. 2021. №1. С. 96-105. DOI: [10.33979/2073-7416-2021-93-1-96-105](https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-93-1-96-105)
5. Абдрахимов В.З. Использование золошлакового материала и нанотехногенного карбонатного шлама в производстве кирпича на основе бейделлитовой глины // Строительство и реконструкция. 2019. №2. С. 81-89.
6. Столбоушкин А.Ю., Иванов А.И., Бердов Г.И., Сыромьясов В.А., Дружинин М.С. Влияние вещественного состава заполнителя из отходов сжигания топлива на формирование ячеистой структуры газозолотона // Строительные материалы. 2014. №12. С. 42-44.
7. Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Фомина Е.В. Фазообразование в геополлимерных системах на основе золы-уноса Апатитской ТЭЦ // Строительные материалы. 2015. №12. С. 85-87
8. Ахмедьянов А.У., Киргизбаева К.Ж., Туреханова Г.И. Вторичная переработка отходов (золошлаков) промышленных предприятий // Технические науки. Горное дело. 2018. №10. С. 8-11.
9. Досмухамедов Н.К., Калан В.А., Дареуш Г.С. Инновационная технология комплексной переработки золы от сжигания угля // Уголь 2020. №1. С. 58-62.
10. Сайбулатов С.Ж., Сулейменов С.Т., Ралко А.В. Золокерамические стеновые материалы. Алма-Ата. Наука. – 1982, С 292.
11. Сулейменов С.Т. Физико-химические процессы структурообразования в строительных материалах и минеральных отходов промышленности –М: Моноскрип – 1996. 298 с.
12. Шмитько Е. И., Суслов А. А., Усачев А. М. Новый способ повышения эффективности процессов сушки керамических изделий // Строительные материалы. 2006. №5. С 20-22.
13. Горгодзе Г.А. Исследование фактора, влияющего на сушильные свойства керамического кирпича // Альманах современной науки и образования. 2009. №6. С. 49-52.
14. Дятлов Е.М., Бирюк В.А. Химическая технология керамики и огнеупоров. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2006. 275 с.
15. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Use of Nonferrous Metallurgy Waste: Clayey Portion of the Zircon-Ilmenite Ore Gravity Tailings and Pyrite Cinders in Tile-Making // Materials Science Forum. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland. 2020. Vol. 989. pp 47-53.
16. Сайбулатов С.Ж. Исследование реологических свойств и напряженного состояния золокерамических масс в процессе сушке // Промышленная теплотехника. 1982. Т.2. №3. С. 62-65.

17. Абдрахимова Е.С. Исследование упруго-пластично-вязких показателей, водопроводности и усадочных свойств глинистых материалов различного химико-минералогического состава // Новые огнеупоры. 2004. С. 45-50.
18. Шмитко Е. И., Суслов А. А., Усачев А. М., Афанасьева С. Н. Оценка влагоемкостных характеристик материалов-подложек для контактно-диффузионного способа сушки изделий // Высокие технологии в экологии труды 9 международной учебно-практической конференции. Воронеж, 2006. С 141-145.
19. Сайбулатов С.Ж. Исследование влияния состава зол на фазовые превращения в золокерамике. С.Ж. Сайбулатов. // Комплексное использование минерального сырья. 1985 №11. С 78-81с.
20. Лысенко А.А. Введение в регрессионный анализ данных и регрессионные модели // Неделя науки Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. 2020. Т. 1. №3-1. С. 93-95.
21. Кайракбаев А.К., Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Исследование регрессивным методом влияния содержания отходов при нефтедобыче и нефтехимии на физико-механические показатели керамического кирпича // Материаловедение 2017. №6. С. 31-35.

REFERENCES

1. Baskakov S.V. Drying bricks. M.: Publishing House of literature on construction, 1966. 175 p.
2. Abdrakhimov V.Z. Obtaining ceramic wall materials based on montmorillonite clay and "tails" of polymetallic ore enrichment // Construction and reconstruction. 2022. No.4 pp. 132-138. DOI: 10.33979/2073-7416-2022-102-4-132-138
3. Volochko A.T., Podbolotov K.B., Hort N.A., Manak P.I. Influence of complex types of cleaners and color-bearing raw materials on the property of building ceramics products. *Bulletin of Polotsk State University. Series F. Construction. Applied sciences*. 2020. No.16. pp. 42-46. (rus)
4. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. The use of aluminum-containing nanotechnogenic raw materials and carbon enrichment waste in the production of heat-resistant concrete/ *Construction and reconstruction*. 2021. No. 1. pp. 96-105. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-93-1-96-105. (rus)
5. Abdrakhimov V.Z. The use of ash and slag material and nanotechnogenic carbonate sludge in the production of bricks based on beidellite clay. *Construction and reconstruction*. 2019. No.2. pp. 81-89. (rus)
6. Stolboushkin A.Yu., Ivanov A.I., Berdov G.I., Syromyasov V.A., Druzhinin M.S. The influence of the material composition of the filler from fuel combustion waste on the formation of the cellular structure of gas-reinforced concrete. *Building materials*. 2014. No.12. pp. 42-44. (rus)
7. Kozhukhova N.I., Zhernovsky I.V., Fomina E.V. Phase formation in geopolymer systems based on fly ash of Apatitskaya CHP. *Building materials*. 2015. No.12. pp. 85-87. (rus)
8. Akhmedianov A.U., Kirgizbaeva K.Zh., Turekhanova G.I. Recycling of waste (ash and slag) of industrial enterprises. *Technical Sciences. Mining*. 2018. No.10. pp. 8-11.
9. Dosmukhamedov N.K., Kalan V.A., Dareush G.S. Innovative technology of complex processing of ash from coal combustion. *Coal 2020*. No. 1. pp. 58-62. (rus)
10. Saibulatov S.Zh., Suleimenov S.T., Ralko A.V. Gold-ceramic wall materials. Alma-Ata. The science. - 1982, With 292.
11. Suleimenov S.T. Physico-chemical processes of structure formation in building materials and mineral wastes of industry –M: Monuskrip – 1996. 298 p.
12. Shmitko E. I., Suslov A. A., Usachev A.M. A new way to increase the efficiency of drying processes of ceramic products. *Building materials*. 2006. No.5. From 20-22. (rus)
13. Gorgodze G.A. Investigation of the factor influencing the drying properties of ceramic bricks. *Almanac of modern science and education*. 2009. No. 6. pp. 49-52.
14. Dyatlov E.M., Biryuk V.A. Chemical technology of ceramics and refractories. Laboratory workshop. Minsk: BSTU, 2006. 275 p.
15. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Use of Nonferrous Metallurgy Waste: Clayey Portion of the Zircon-Ilmenite Ore Gravity Tailings and Pyrite Cinders in Tile-Making. *Materials Science Forum. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland*. 2020. Vol. 989. pp 47-53.
16. Saibulatov S.Zh. Investigation of rheological properties and stress state of ash-ceramic masses in the drying process. *Industrial heat engineering*. 1982. Vol.2. No. 3. pp. 62-65.
17. Abdrakhimov E.S. Investigation of elastic-plastic-viscous parameters, water resistance and shrinkage properties of clay materials of various chemical and mineralogical composition. *New refractories*. 2004. pp. 45-50.
18. Shmitko E. I., Suslov A. A., Usachev A.M., Afanasyeva S. N. Evaluation of moisture-intensive characteristics of substrate materials for the contact-diffusion method of drying products. High technologies in ecology proceedings of the 9th international educational and practical conference. Voronezh, 2006. pp. 141-145.
19. Saibulatov S.Zh. Investigation of the effect of the composition of ash on phase transformations in gold ceramics. S.Zh. Saibulatov. Complex use of mineral raw materials. 1985 No.11. P. 78-81с.
20. Lysenko A.A. Introduction to regression analysis of data and regression models. Science Week of St. Petersburg State Maritime Technical University. 2020. Vol. 1. No.3-1. pp. 93-95.

21. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Investigation by a regressive method of the influence of waste content in oil production and petrochemistry on the physical and mechanical parameters of ceramic bricks. *Materials Science* 2017. No. 6. pp. 31-35.

Сведения об авторах

Абдрахимов Владимир Закирович

доктор технических наук, профессор (профессор кафедры «Землеустройство и экология»), почетный работник высшего и профессионального образования, заслуженный работник высшего профессионального образования Самарской области.

e-mail: 3375892@mail.ru

Абдрахимов Дмитрий Владимирович,

студент Самарского государственного экономического университета,

e-mail: 3375892@mail.ru

Information about the authors

Abdrakhimov Vladimir Zakirovich,

Doctor of Technical Sciences, Professor (Professor of the Department "Land Management and Ecology"), honorary worker of higher and professional education, honored worker of higher professional Education of the Samara region.

e-mail: 3375892@mail.ru

Abdrakhimov Dmitry Vladimirovich,

student of Samara State University of Economics,

e-mail: 3375892@mail.ru

А.И. РОДИН¹, А.А. ЕРМАКОВ¹, В.М. КЯШКИН¹, А.М. АСТАШОВ¹, Д.А. БУЯНКИН¹¹Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
г. Саранск, Россия

ПОРИСТАЯ СТЕКЛОКЕРАМИКА ИЗ ОПОКИ, КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ И КОРРЕКТИРУЮЩИХ ДОБАВОК

Аннотация. Пеностекло и вспененные стеклокерамические материалы обладают целым рядом уникальных свойств. Они химически стойкие, легкие, прочные, не горят, плохо пропускают тепло и звук и т.д. Их применяют как в частном строительстве, так и при возведении особо ответственных объектов. В статье подтверждена возможность использования опоки в качестве сырья для получения пористой стеклокерамики (ПСК) за один нагрев шихты методом порошкового вспенивания. Опоку, кальцинированную соду и корректирующие добавки (мел, глина) размалывали совместно в сухом состоянии, засыпали в жаростойкие формы и обжигали. Установлены температурные интервалы спекания и вспенивания шихты на основе опоки, влияние добавок на макроструктуру и свойства пористой стеклокерамики. Результаты получены методами термического анализа (ТА), рентгенофазового анализа (РФА) и др. Мел и глина в составе шихты оказывают существенное влияние на температуру ее спекания и вспенивание при нагревании, а также фазовый состав образцов ПСК. В результате получены образцы с мелкопористой структурой в форме блоков размером 500×500×200 мм со средней плотностью от 190 кг/м³ до 1535 кг/м³, прочностью при сжатии от 2 МПа до 116 МПа и с коэффициентом теплопроводности от 0,06 Вт/м·°C до 0,61 Вт/м·°C. Пористая стеклокерамика на основе опок, кальцинированной соды и корректирующих добавок (мел, глина) по физико-механическим и теплофизическим свойствам превосходит многие аналоги и может быть использована в качестве конструкционных, теплоизоляционных и других видов строительных материалов при строительстве, ремонте и реконструкции объектов различного назначения.

Ключевые слова: пористая стеклокерамика, кремнистые породы, опока, рентгенофазовый анализ, макроструктура, физико-механические свойства, коэффициент теплопроводности.

A.I. RODIN¹, A.A. ERMAKOV¹, V.M. KYASHKIN¹, A.M. ASTASHOV¹,
D.A. BUYANKIN¹¹National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

POROUS GLASS CERAMICS FROM OPOKA, SODA ASH AND CORRECTIVE ADDITIVES

Abstract. Foam glass and foamed glass-ceramic materials have a number of unique properties. They are chemically resistant, light, durable, do not burn, do not transmit heat and sound well, etc. They are used both in private construction and in the construction of specially responsible facilities. The article confirms the possibility of using flask as a raw material for the production of porous glass ceramics (PSK) in one charge heating by powder foaming. Flask, soda ash and corrective additives (chalk, clay) were ground together in a dry state, poured into heat-resistant molds and fired. The temperature ranges of sintering and foaming of the charge based on the flask, the effect of additives on the macrostructure and properties of porous glass ceramics have been established. The results were obtained by thermal analysis (TA), X-ray phase analysis (XFA), etc. Chalk and clay in the composition of the charge have a significant effect on the temperature of its sintering and foaming during heating, as well as the phase composition of the UCS samples. As a result, samples with a finely porous structure in the form of blocks of 500×500×200 mm in size with an average density from 190 kg/m³ to 1535 kg/m³, compressive strength from 2 MPa to 116 MPa and with a thermal conductivity coefficient from 0.06 W/m°C to 0.61 W/m°C.

Porous glass ceramics based on flasks, soda ash and corrective additives (chalk, clay) surpass many analogues in terms of physical, mechanical and thermal properties and can be used as structural, thermal insulation and other types of building materials during construction, repair and reconstruction of facilities for various purposes.

Keywords: porous glass ceramics, siliceous rocks, opoka, X-ray phase analysis, macrostructure, physical and mechanical properties, thermal conductivity coefficient.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. König J., Lopez-Gil A., Cimavilla-Roman P., Rodriguez-Perez M.A., Petersen R.R., Østergaard M.B., Iversen N., Yue Y., Spreitzer M. Synthesis and properties of open- and closed-porous foamed glass with a low density // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 247. 118574. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2020.118574](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118574)
2. Cao J., Lu J., Jiang L., Wang Z. Sinterability, microstructure and compressive strength of porous glass-ceramics from metallurgical silicon slag and waste glass // Ceramics International. 2016. Vol. 42(8). Pp. 10079–10084. doi: [10.1016/J.CERAMINT.2016.03.113](https://doi.org/10.1016/J.CERAMINT.2016.03.113)
3. Guo H., Ye F., Li W., Song X., Xie G. Preparation and characterization of foamed microporous mullite ceramics based on kyanite // Ceramics International. 2015. Vol. 41(10): Pp. 14645–14651. doi: [10.1016/j.ceramint.2015.07.186](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.07.186)
4. Kyaw Oo D'Amore G., Caniato M., Travan A., Turco G., Marsich L., Ferluga A., Schmid C. Innovative thermal and acoustic insulation foam from recycled waste glass powder // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 165. Pp. 1306–1315. doi: [10.1016/j.jclepro.2017.07.214](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.214)
5. Yatsenko E.A., Ryabova A.V., Goltsman B.M. Development of fiber-glass composite coatings for protection of steel oil pipelines from internal and external corrosion // Chernye Metally. 2019. No. 12. Pp. 46–51.
6. Hisham N.A.N., Zaid M.H.M., Aziz S.H.A., Muhammad F.D. Comparison of foam glass-ceramics with different composition derived from ark clamshell (ACS) and soda lime silica (SLS) glass bottles sintered at various temperatures // Materials. 2021. Vol. 14(3). 570. doi: [10.3390/ma14030570](https://doi.org/10.3390/ma14030570)
7. Yatsenko E.A., Goltsman B.M., Kosarev A.S., Karandashova N.S., Smolii V.A., Yatsenko L.A. Synthesis of Foamed Glass Based on Slag and a Glycerol Pore-Forming Mixture // Glass Physics and Chemistry. 2018. Vol. 44(2). Pp. 152–155. doi: [10.1134/S1087659618020177](https://doi.org/10.1134/S1087659618020177)
8. Liu T., Li X., Guan L., Liu P., Wu T., Li Z., Lu A. Low-cost and environment-friendly ceramic foams made from lead-zinc mine tailings and red mud: Foaming mechanism, physical, mechanical and chemical properties // Ceramics International. 2016. 42(1). Pp. 1733–1739. doi: [10.1016/j.ceramint.2015.09.131](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.09.131)
9. Ivanov K.S. Associated Synthesis of Microgranular Foam-Glass-Ceramic from Diatomaceous Shales // Glass and Ceramics (English translation of Steklo i Keramika). 2022. Vol. 79: Pp. 234–238. doi: [10.1007/s10717-022-00491-4](https://doi.org/10.1007/s10717-022-00491-4)
10. Kazantseva L.K., Rashchenko S.V. Optimization of porous heat-insulating ceramics manufacturing from zeolitic rocks // Ceramics International. 2016. Vol. 42(16): Pp. 19250–19256. doi: [10.1016/j.ceramint.2016.09.091](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.09.091)
11. Yatsenko E.A., Smolii V.A., Goltsman B.M., Ryabova A.V., Klimova L.V., Goltsman N.S. Optimal Fractional Composition of Batch for Synthesis of Foam-Glass Materials Based on Diatomite from the Chernoyarskoe Deposit // Glass and Ceramics (English translation of Steklo i Keramika). 2019. Vol. 75. Pp. 391–393. doi: [10.1007/s10717-019-00092-8](https://doi.org/10.1007/s10717-019-00092-8)
12. Huo W., Yan S., Wu J.-M., Liu J., Chen Y., Qu Y., Tang X., Yang J. A novel fabrication method for glass foams with small pore size and controllable pore structure // Journal of the American Ceramic Society. 2017. Vol. 100(12). Pp. 5502–5511. doi: [10.1111/jace.15089](https://doi.org/10.1111/jace.15089)
13. König J., Petersen R.R., Iversen N., Yue Y. Application of foaming agent–oxidizing agent couples to foamed-glass formation // Journal of Non-Crystalline Solids. 2021. Vol. 553. 120469. doi: [10.1016/j.jnoncrysol.2020.120469](https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2020.120469)
14. Xi C., Zheng F., Xu J., Yang W., Peng Y., Li Y., Li P., Zhen Q., Bashir S., Liu J.L. Preparation of glass-ceramic foams using extracted titanium tailing and glass waste as raw materials // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 190. Pp. 896–909. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2018.09.170](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.170)
15. Rodin A., Ermakov A., Erofeeva I., Erofeev V. Effect of Chlorides Content on the Structure and Properties of Porous Glass Ceramics Obtained from Siliceous Rock // Materials. 2022. Vol. 15(9). 3268. doi: [10.3390/ma15093268](https://doi.org/10.3390/ma15093268)
16. Rodin A.I., Ermakov A.A., Kyashkin V.M., Rodina N.G., Erofeev V.T. Processes of foaming and formation of the structure of porous glass ceramics from siliceous rocks // Magazine of Civil Engineering. 2023. Vol. 121(5). 12109. doi: [10.34910/MCE.121.9](https://doi.org/10.34910/MCE.121.9)

17. Rodin A.I., Ermakov A.A., Erofeeva I.V., Erofeev V.T. Structure and properties of porous glass ceramics from siliceous rocks with the addition of $Mg(OH)_2$ // *Materials Physics and Mechanics*. 2023. Vol. 51(5). Pp. 127–141. doi: [10.18149/MPM.5152023_13](https://doi.org/10.18149/MPM.5152023_13)
18. Jia R., Deng L., Yun F., Li H., Zhang X., Jia X. Effects of SiO_2/CaO ratio on viscosity, structure, and mechanical properties of blast furnace slag glass ceramics // *Materials Chemistry and Physics*. 2019. Vol. 233. Pp. 155–162. doi: [10.1016/j.matchemphys.2019.05.065](https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.05.065)
19. Li Y., Zhao L.-H., Wang Y.-K., Cang D.-Q. Effects of Fe_2O_3 on the properties of ceramics from steel slag // *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. 2018. Vol. 25(4). Pp. 413–419. doi: [10.1007/s12613-018-1586-7](https://doi.org/10.1007/s12613-018-1586-7)
20. Costa F.P.D., Morais C.R.D.S., Pinto H.C., Rodrigues A.M. Microstructure and physico-mechanical properties of Al_2O_3 -doped sustainable glass-ceramic foams // *Materials Chemistry and Physics*. 2020. Vol. 256. 123612. doi: [10.1016/j.matchemphys.2020.123612](https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123612)
21. Kahlenberg V., Girtler D., Arroyabe E., Kaindl R., Többsen D.M. Devitrite ($Na_2Ca_3Si_6O_{16}$) – structural, spectroscopic and computational investigations on a crystalline impurity phase in industrial soda-lime glasses // *Mineralogy and Petrology*. 2010. Vol. 100. Pp. 1–9. doi: [10.1007/s00710-010-0116-8](https://doi.org/10.1007/s00710-010-0116-8)
22. Ji R., Zheng Y., Zou Z., Chen Z., Wei S., Jin X., Zhang M. Utilization of mineral wool waste and waste glass for synthesis of foam glass at low temperature // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 215. Pp. 623–632. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2019.04.226](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.226)
23. Beregovoi V.A., Sorokin D.S., Beregovoi A.M. Glass-crystalline materials of a cellular structure, formed by vibration foaming technology // *Defect and Diffusion Forum*. 2021. Vol. 410. Pp. 823–828. doi: [10.4028/www.scientific.net/DDF.410.823](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/DDF.410.823)
24. Erofeev V.T., Korotaev S.A., Vatin N.I. Deformation and Heat-Insulating Characteristics of Light Concrete on Porous Burned Binder Under Heating // *Materials Physics and Mechanics*. 2023. Vol. 51(1). Pp. 33–41. doi: [10.18149/MPM.5112023_4](https://doi.org/10.18149/MPM.5112023_4)

REFERENCES

1. König J., Lopez-Gil A., Cimavilla-Roman P., Rodriguez-Perez M.A., Petersen R.R., Østergaard M.B., Iversen N., Yue Y., Spreitzer M. Synthesis and properties of open- and closed-porous foamed glass with a low density. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 247. 118574. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2020.118574](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118574)
2. Cao J., Lu J., Jiang L., Wang Z. Sinterability, microstructure and compressive strength of porous glass-ceramics from metallurgical silicon slag and waste glass. *Ceramics International*. 2016. Vol. 42(8). Pp. 10079–10084. doi: [10.1016/j.ceramint.2016.03.113](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.03.113)
3. Guo H., Ye F., Li W., Song X., Xie G. Preparation and characterization of foamed microporous mullite ceramics based on kyanite. *Ceramics International*. 2015. Vol. 41(10). Pp. 14645–14651. doi: [10.1016/j.ceramint.2015.07.186](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.07.186)
4. Kyaw Oo D'Amore G., Caniato M., Travan A., Turco G., Marsich L., Ferluga A., Schmid C. Innovative thermal and acoustic insulation foam from recycled waste glass powder. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 165. Pp. 1306–1315. doi: [10.1016/j.jclepro.2017.07.214](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.214)
5. Yatsenko E.A., Ryabova A.V., Goltsman B.M. Development of fiber-glass composite coatings for protection of steel oil pipelines from internal and external corrosion. *Chernye Metally*. 2019. No. 12. Pp. 46–51.
6. Hisham N.A.N., Zaid M.H.M., Aziz S.H.A., Muhammad F.D. Comparison of foam glass-ceramics with different composition derived from ark clamshell (ACS) and soda lime silica (SLS) glass bottles sintered at various temperatures. *Materials*. 2021. Vol. 14(3). 570. doi: [10.3390/ma14030570](https://doi.org/10.3390/ma14030570)
7. Yatsenko E.A., Goltsman B.M., Kosarev A.S., Karandashova N.S., Smolii V.A., Yatsenko L.A. Synthesis of Foamed Glass Based on Slag and a Glycerol Pore-Forming Mixture. *Glass Physics and Chemistry*. 2018. Vol. 44(2). Pp. 152–155. doi: [10.1134/S1087659618020177](https://doi.org/10.1134/S1087659618020177)
8. Liu T., Li X., Guan L., Liu P., Wu T., Li Z., Lu A. Low-cost and environment-friendly ceramic foams made from lead-zinc mine tailings and red mud: Foaming mechanism, physical, mechanical and chemical properties. *Ceramics International*. 2016. 42(1). Pp. 1733–1739. doi: [10.1016/j.ceramint.2015.09.131](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.09.131)
9. Ivanov K.S. Associated Synthesis of Microgranular Foam-Glass-Ceramic from Diatomaceous Shales. *Glass and Ceramics (English translation of Steklo i Keramika)*. 2022. Vol. 79. Pp. 234–238. doi: [10.1007/s10717-022-00491-4](https://doi.org/10.1007/s10717-022-00491-4)
10. Kazantseva L.K., Rashchenko S.V. Optimization of porous heat-insulating ceramics manufacturing from zeolitic rocks. *Ceramics International*. 2016. Vol. 42(16). Pp. 19250–19256. doi: [10.1016/j.ceramint.2016.09.091](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.09.091)
11. Yatsenko E.A., Smolii V.A., Goltsman B.M., Ryabova A.V., Klimova L.V., Goltsman N.S. Optimal Fractional Composition of Batch for Synthesis of Foam-Glass Materials Based on Diatomite from the Chernoyarskoe Deposit. *Glass and Ceramics (English translation of Steklo i Keramika)*. 2019. Vol. 75. Pp. 391–393. doi: [10.1007/s10717-019-00092-8](https://doi.org/10.1007/s10717-019-00092-8)

12. Huo W., Yan S., Wu J.-M., Liu J., Chen Y., Qu Y., Tang X., Yang J. A novel fabrication method for glass foams with small pore size and controllable pore structure. *Journal of the American Ceramic Society*. 2017. Vol. 100(12). Pp. 5502–5511. doi: [10.1111/jace.15089](https://doi.org/10.1111/jace.15089)
13. König J., Petersen R.R., Iversen N., Yue Y. Application of foaming agent–oxidizing agent couples to foamed-glass formation. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2021. Vol. 553. 120469. doi: [10.1016/j.jnoncrysol.2020.120469](https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2020.120469)
14. Xi C., Zheng F., Xu J., Yang W., Peng Y., Li Y., Li P., Zhen Q., Bashir S., Liu J.L. Preparation of glass-ceramic foams using extracted titanium tailing and glass waste as raw materials. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 190. Pp. 896–909. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2018.09.170](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.170)
15. Rodin A., Ermakov A., Erofeeva I., Erofeev V. Effect of Chlorides Content on the Structure and Properties of Porous Glass Ceramics Obtained from Siliceous Rock. *Materials*. 2022. Vol. 15(9). 3268. doi: [10.3390/ma15093268](https://doi.org/10.3390/ma15093268)
16. Rodin A.I., Ermakov A.A., Kyashkin V.M., Rodina N.G., Erofeev V.T. Processes of foaming and formation of the structure of porous glass ceramics from siliceous rocks. *Magazine of Civil Engineering*. 2023. Vol. 121(5). 12109. doi: [10.34910/MCE.121.9](https://doi.org/10.34910/MCE.121.9)
17. Rodin A.I., Ermakov A.A., Erofeeva I.V., Erofeev V.T. Structure and properties of porous glass ceramics from siliceous rocks with the addition of Mg(OH)₂. *Materials Physics and Mechanics*. 2023. Vol. 51(5). Pp. 127–141. doi: [10.18149/MPM.5152023_13](https://doi.org/10.18149/MPM.5152023_13)
18. Jia R., Deng L., Yun F., Li H., Zhang X., Jia X. Effects of SiO₂/CaO ratio on viscosity, structure, and mechanical properties of blast furnace slag glass ceramics. *Materials Chemistry and Physics*. 2019. Vol. 233. Pp. 155–162. doi: [10.1016/j.matchemphys.2019.05.065](https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.05.065)
19. Li Y., Zhao L.-H., Wang Y.-K., Cang D.-Q. Effects of Fe₂O₃ on the properties of ceramics from steel slag. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. 2018. Vol. 25(4). Pp. 413–419. doi: [10.1007/s12613-018-1586-7](https://doi.org/10.1007/s12613-018-1586-7)
20. Costa F.P.D., Morais C.R.D.S., Pinto H.C., Rodrigues A.M. Microstructure and physico-mechanical properties of Al₂O₃-doped sustainable glass-ceramic foams. *Materials Chemistry and Physics*. 2020. Vol. 256. 123612. doi: [10.1016/j.matchemphys.2020.123612](https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123612)
21. Kahlenberg V., Girtler D., Arroyabe E., Kaindl R., Töbrens D.M. Devitrite (Na₂Ca₃Si₆O₁₆) – structural, spectroscopic and computational investigations on a crystalline impurity phase in industrial soda-lime glasses. *Mineralogy and Petrology*. 2010. Vol. 100. Pp. 1–9. doi: [10.1007/s00710-010-0116-8](https://doi.org/10.1007/s00710-010-0116-8)
22. Ji R., Zheng Y., Zou Z., Chen Z., Wei S., Jin X., Zhang M. Utilization of mineral wool waste and waste glass for synthesis of foam glass at low temperature. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 215. Pp. 623–632. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2019.04.226](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.226)
23. Beregovoi V.A., Sorokin D.S., Beregovoi A.M. Glass-crystalline materials of a cellular structure, formed by vibration foaming technology. *Defect and Diffusion Forum*. 2021. Vol. 410. Pp. 823–828. doi: [10.4028/www.scientific.net/DDF.410.823](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/DDF.410.823)
24. Erofeev V.T., Korotaev S.A., Vatin N.I. Deformation and Heat-Insulating Characteristics of Light Concrete on Porous Burned Binder Under Heating. *Materials Physics and Mechanics*. 2023. Vol. 51(1). Pp. 33–41. doi: [10.18149/MPM.5112023_4](https://doi.org/10.18149/MPM.5112023_4)

Информация об авторах

Родин Александр Иванович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»,
г. Саранск, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных материалов и технологий,
E-mail: AL_Rodin@mail.ru

Ермаков Анатолий Анатольевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»,
г. Саранск, Россия,
аспирант кафедры строительных материалов и технологий,
E-mail: anatoly.ermakov97@mail.ru

Кяшкин Владимир Михайлович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»,
г. Саранск, Россия,
кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры строительных материалов и технологий,

E-mail: kyashkin@mail.ru

Асташов Алексей Михайлович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»,
г. Саранск, Россия,
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной и компьютерной графики,
E-mail: astalexm@mail.ru

Буянкин Дмитрий Андреевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»,
г. Саранск, Россия,
лаборант-исследователь кафедры строительных материалов и технологий,
E-mail: super.buyankin@mail.ru

Information about authors

Rodin Aleksander I.

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia,
candidate of technical sciences, docent, associate professor of the department of building materials and technologies,
E-mail: AL_Rodin@mail.ru

Ermakov Anatoly A.

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia,
postgraduate student of the department of building materials and technologies,
E-mail: anatoly.ermakov97@mail.ru

Kyashkin Vladimir M.

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia,
candidate of physical and mathematical sciences, docent, senior scientist of the department of building materials and technologies,
E-mail: kyashkin@mail.ru

Astashov Alexey M.

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia,
candidate of technical sciences, docent, head of the department of engineering and computer graphics,
E-mail: astalexm@mail.ru

Buyankin Dmitry A.

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia,
laboratory researcher of the department of building materials and technologies,
E-mail: super.buyankin@mail.ru

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с основными требованиями
к оформлению научных статей

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется числом знаков с учетом пробелов. Рекомендуемый объем статей: **от 15000 до 45000 знаков с пробелами**.
- Статья должна быть набрана на листах формата А4 шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и сверху – 2 см; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья предоставляется в электронном виде по электронной почте или через систему электронной редакции.
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна статья одного автора**, включая соавторство.
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

В тексте статьи не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- произвольные словообразования;
- сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

Обязательные элементы:

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** кратко описывает объект исследования, мотивацию к проведению исследования, результаты исследования (рекомендуется указывать конкретные результаты и зависимости, полученные в исследовании), выводы (кратко); рекомендуемый объем – от 200 до 250 слов;
- **ключевые слова (на русском и английском языке)** – это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи; рекомендуемый объем списка литературы – не менее 20 источников.

В информации об авторах рекомендуется указывать ORCID, Scopus ID и SPIN-код, присвоенный в РИНЦ.

Редакция не взимает плату с авторов за подготовку, рецензирование и размещение в открытом доступе статей.

Право использования произведений предоставлено авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации.

С полной версией требований к оформлению научных статей
Вы можете ознакомиться на сайте <https://construction.elpub.ru/jour/index>

Адрес издателя:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская область, г. Орел, ул. Комсомольская д. 95
+7 (4862) 75-13-18

www.oreluniver.ru
E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302030, Орловская область, г. Орел, ул. Московская, 77.
+79065704999

<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции.
Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор О.В. Юрова
Компьютерная верстка О.В. Юрова

Подписано в печать
Дата выхода в свет
Формат 70×108/16. Печ. л. 14,6
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95.