

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

ISSN 2073-7416

BUILDING AND RECONSTRUCTION

№5 (115) 2024

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



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL

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)*

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

Ребољж 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 объединенному каталогу «Пресса России»
на сайтах www.ppressa-ru.ru и www.akc.ru

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2024

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Абаев З.К., Денпур Ц. Оценка сейсмостойкости различных конструктивных решений типового железобетонного жилого здания нелинейным статическим и динамическим методами.....	4
Обернихина Я.Л., Смоляго Г.А. Перераспределение усилий в неразрезных железобетонных балках, усиленных углепластиком под нагрузкой.....	23
Овсянников С.Н., Самохвалов А.С. Звукопередача через ограждения с малыми техническими элементами, включая воздухообменные устройства.....	31
Фёдоров В.С., Купчикова Н.В., Рекунов С.С., Федосюк И. В. Фильтрационная устойчивость грунтовых перемычек плотин как временных гидротехнических сооружений.....	44
Мурашкин В.Г. Модель деформирования бетона прошедшего длительный срок эксплуатации.....	61

Безопасность зданий и сооружений

Надольский В.В. Нормируемые значения вероятности отказа строительных конструкций.....	70
Ву Нзюк Туен, Федорова Н.В. Динамический отклик железобетонного каркаса здания при сценарии удаления колонны.....	82

Архитектура и градостроительство

Расторгуев С.В. Методы изучения истории архитектуры на основе 3D моделирования.....	95
--	----

Строительные материалы и технологии

Баруздин А.А., Закревская Л.В. Рециклинг шитого полиэтилена для создания композиционных строительных материалов.....	112
Шмаров И.А., Земцов В.В. Влияние горизонтальной стационарной солнцезащиты на освещенность помещения.....	127
Шубин И.Л., Стронгин А.С., Разаков М.А. Применение искусственного интеллекта для управления инженерным оборудованием зданий.....	138

BUILDING AND RECONSTRUCTION

Scientific and technical journal
The journal is published since 2003.
The journal is published 6 times a year.
№ 5 (115) 2024

The founder – Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education
«Orel State University named after I.S. Turgenev»
(Orel State University)

Contents

Theory of engineering structures. Building units

- Abaev Z K., Denpur T.** Seismic performance evaluation of different design options of typical reinforced concrete residential building by nonlinear static and dynamic analyses..... 4
- Obernihina Y. L., Smolyago G. A.** Redistribution of forces in continuous reinforced concrete beams reinforced with cfrp under load..... 23
- Ovsyannikov S.N., Samokhvalov A.S.** Sound transmission through enclosing structures with small technical elements, including air exchange devices..... 31
- Fedorov V.S., Kupchikova N.V., Rekunov S.S. Fedosyuk I.V.** Filtration stability of soil bridges of dams as temporary hydraulic structures..... 44
- Murashkin V.G.** Secant modulus ratio for reconstructable reinforced concrete..... 61

Building and structure safety

- Nadolski V.V.** Standardized values of the failure probability of building structures..... 70
- Vu Ngoc Tuyen, Fedorova N.V.** Dynamic response of reinforced concrete building frame under column removal scenario..... 82

Architecture and urban planning

- Rastorguev S.V.** Methods of studying the history of architecture based on 3D modeling..... 95

Construction materials and technologies

- Baruzdin A.A., Zakrevskaya L.V.** Recycling of cross-linked polyethylene to create composite building materials..... 112
- Shmarov I.A., Zemtsov V.V.** The effect of horizontal stationary sun protection on the illumination of the room..... 127
- Shubin I.L., Strongin A.S., Razakov M.A.** The use of artificial intelligence to control the engineering equipment of buildings..... 138

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:

ПН №ФЦ 77-67169 from 16.09.2016 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossi»

36294 on the websites www.pressa-ef.ru and

www.akc.ru

© Orel State University, 2024

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.

З. К. АБАЕВ¹, Ц. ДЕНПУР²

¹Владикавказский научный центр РАН, г. Владикавказ, Россия

²Министерство инфраструктуры и транспорта, г. Тхимпху, Бутан

ОЦЕНКА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ТИПОВОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЖИЛОГО ЗДАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫМ СТАТИЧЕСКИМ И ДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДАМИ

Аннотация. Представлено сравнительное исследование сейсмостойкости типового пятиэтажного железобетонного жилого здания в г. Тхимпху, Бутан, спроектированного согласно старым и новым индийским нормам. Для анализа использовались две нелинейные модели объекта исследования, разработанные в программе STERA 3D. Оценка сейсмостойкости производилась с помощью метода спектра несущей способности (*capacity spectrum method, CSM*) и нелинейного анализа истории отклика (*response history analysis, RHA*) для трех записей землетрясений.

Конструктивные повреждения элементов и этажей зданий, оцениваются с помощью индексов повреждаемости с использованием масштабированных записей землетрясений. Результаты показывают, что здания, спроектированные в соответствии с новыми индийскими нормами, обладают большей сейсмостойкостью по сравнению со зданиями, спроектированными в соответствии со старыми. Более того, оценка индексов повреждаемости для здания, спроектированного с использованием новых норм, показывает, что здание имеет более равномерное распределение повреждений по этажам и предотвращает конструктивные повреждения на уровне обрушения при рассматриваемом максимальном масштабном движении грунта.

Ключевые слова: оценка сейсмостойкости, нелинейный статический анализ, нелинейный динамический анализ, спектр несущей способности, индекс повреждаемости.

Z. K. ABAEV¹, T. DENPUR²

¹Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Vladikavkaz, Russia

²Ministry of Infrastructure and Transport, Thimphu, Bhutan

SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF DIFFERENT DESIGN OPTIONS OF TYPICAL REINFORCED CONCRETE RESIDENTIAL BUILDING BY NONLINEAR STATIC AND DYNAMIC ANALYSES

Abstract. A comparative study on the seismic performances of typical five-story RC residential buildings designed with old and new Indian codes is presented. Accordingly, two three-dimensional models of a building designed with the old and new Indian codes are developed using STERA 3D software. The seismic performances are evaluated using the Capacity Spectrum Method (CSM) and non-linear Response History Analysis (RHA) for three input ground motions, in addition, the structural damage estimates given by damage indices are compared under scaled ground motions.

Results show that the building designed with the new Indian codes provide reduced structural responses when compared to that designed with old Indian codes. Furthermore, the assessment of the damage indices for the building designed using the new codes shows that the building has a more even damage dispersion over the floors and prevents collapse-level structural damage under the considered maximum scaled ground motion.

Keywords: seismic performance evaluation, nonlinear static analysis, response history analysis, capacity spectrum, damage index.

© Абаев З.К., Денпур Ц., 2024

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Le Roux-Mallouf R. et al. A 2600-year-long paleoseismic record for the Himalayan Main Frontal Thrust (western Bhutan) // *Solid Earth*. Copernicus Publications, 2020. Vol. 11, № 6. P. 2359–2375.
2. Debnath R., Halder L. A Comparative Study of the Seismic Provisions of Indian Seismic Code IS 1893-2002 and Draft Indian Code IS 1893:2016 // *Recent Advances in Structural Engineering, Volume 2* / ed. Rao A.R.M., Ramanjaneyulu K. Singapore: Springer Singapore, 2019. Vol. 12. P. 151–160.
3. Абаев З. К. Определение сейсмических сил в зданиях со стенами из природного камня в Федеративной Демократической Республике Непал, Российской Федерации и Республике Таджикистан / З. К. Абаев, М. Шилдкамп, А. Д. Валиев // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2022. № 6. С. 18-45.
4. Aschheim M., Hernández-Montes E., Vamvatsikos D. Design of Reinforced Concrete Buildings for Seismic Performance: Practical Deterministic and Probabilistic Approaches. Taylor & Francis, 2016. 400 p.
5. Аветисян Л.А., Скорняков Т.С. Оценка сейсмостойкости многоэтажного каркасного здания по Российским и Европейским нормативным документам // *Строительство и реконструкция*. 2018. № 1. С. 80–87.
6. Бедов А.И., Николенко И.И. Обеспечение эксплуатационных характеристик железобетонных элементов каркасов зданий, подвергшихся сейсмическим воздействиям // *Строительство и реконструкция*. 2021. № 1. С. 3–15.
7. Aggarwal Y., Kulariya M., Saha S.K. Seismic performance evaluation of reinforced concrete hilly buildings under sequence of earthquakes // *Structural Design Tall Build*. 2024. Vol. 33, № 6. P. e2086.
8. Shegay A.V. et al. Evaluation of seismic residual capacity ratio for reinforced concrete structures // *Resilient Cities and Structures*. 2023. Vol. 2, № 1. P. 28–45.
9. Fajfar P. A Practical Nonlinear Method for Seismic Performance Evaluation // *Advanced Technology in Structural Engineering*. Philadelphia, Pennsylvania, United States: American Society of Civil Engineers, 2000. P. 1–8.
10. Абаев З. К. Оценка сейсмостойкости многоэтажного жилого здания с фрикционно-маятниковыми опорами на примере Индонезии / З. К. Абаев, Ф. Султан // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2024. Т. 20. № 1. С. 57–72.
11. Baek H.-J. et al. Seismic Performance Evaluation of Reinforced Concrete Buildings Retrofitted with a New Concrete Filled Tube Composite Strengthening System // *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, № 24. P. 13231.
12. Naeem A., Koichi K., Lee J. Seismic Performance Evaluation of Reinforced Concrete Building Structure Retrofitted with Self-Centering Disc-Slit Damper and Conventional Steel Slit Damper // *Buildings*. 2024. Vol. 14, № 3. P. 795.
13. Harrington C.C., Liel A.B. Indicators of improvements in seismic performance possible through retrofit of reinforced concrete frame buildings // *Earthquake Spectra*. 2021. Vol. 37, № 1. P. 262–283.
14. Абаев З. К. Разработка рекомендаций по реализации политики снижения сейсмического риска в Российской Федерации на основе мирового опыта / З. К. Абаев, А. Д. Валиев, М. Ю. Кодзаев // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2023. № 3. С. 48-72.
15. Manfredi V. et al. Selection and spectral matching of recorded ground motions for seismic fragility analyses // *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2022. Vol. 20, № 10. P. 4961–4987.
16. Center for Engineering Strong Motion Data USGS. Режим доступа: <https://www.strongmotioncenter.org> (дата обращения: 14.05.2024).
17. Earthquake Disaster Engineering Research Laboratory. Software STERA 3D. Режим доступа: <https://rc.ace.tut.ac.jp/saito/software-e.html> (дата обращения: 14.05.2024).
18. Kitamura H., Miyauchi Y., Uramoto H. Study on Standards for Judging Structural Performances in Seismic Performance Based Design: Evaluation of the safety limit value and margin I and II levels in JSCA seismic performance menu // *Transactions of AIJ*. 2006. Vol. 71, № 604. P. 183–191.
19. Freeman S.A. The capacity spectrum method as a tool for seismic design // *Proceedings of the 11th European conference on earthquake engineering*. Citeseer, 1998. P. 6–11.
20. Park Y., Ang A.H. -S. Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete // *Journal of Structural Engineering*. 1985. Vol. 111, № 4. P. 722–739.
21. Pradhan S., Li Y., Sanada Y. Seismic performance evaluation and risk assessment of typical reinforced concrete frame buildings with masonry infill and conventional vertical extension in Nepal // *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2022. Vol. 20, № 2. P. 853–884.
22. Zhao J. et al. Seismic performance evaluation of different strategies for retrofitting RC frame buildings // *Structures*. 2021. Vol. 34. P. 2355–2366.
23. Nakano Y. et al. Guideline for post-earthquake damage evaluation and rehabilitation of RC buildings in Japan // *13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver BC, Canada, 2004. Vol. 1, № 1. P. 124.

REFERENCES

1. Le Roux-Mallouf R. et al. A 2600-year-long paleoseismic record for the Himalayan Main Frontal Thrust (western Bhutan). *Solid Earth*. Copernicus Publications, 2020. Vol. 11, № 6. P. 2359–2375. <https://doi.org/10.5194/se-11-2359-2020>
2. Debnath R., Halder L. A Comparative Study of the Seismic Provisions of Indian Seismic Code IS 1893-2002 and Draft Indian Code IS 1893:2016. *Recent Advances in Structural Engineering*. Volume 2 / ed. Rao A.R.M., Ramanjaneyulu K. Singapore: Springer Singapore, 2019. Vol. 12. P. 151–160. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0365-4_13
3. Abaev Z.K., Schildkamp M., Valiev A.D. Base shear seismic demand comparison for buildings with natural stone walls in Nepal, Russia and Tajikistan. *Earthquake Engineering. Construction Safety*. 2022. № 6. P. 18-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-6-18-45>
4. Aschheim M., Hernández-Montes E., Vamvatsikos D. Design of Reinforced Concrete Buildings for Seismic Performance: Practical Deterministic and Probabilistic Approaches. Taylor & Francis, 2016. 400 p.
5. Avetisyan L.A., Skorniyakov T.S. Estimation of seismic resistance of multi-storey frame building according to Russian and European normative documents. *Building and Reconstruction*. 2018. № 1. P. 80-87. (In Russ.)
6. Bedov A.I., Nikolenko I.I. Provision of operational characteristics of reinforced concrete elements of frames of buildings subjected to seismic effects. *Building and Reconstruction*. 2021. № 1. P. 3-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-93-1-3-15>
7. Aggarwal Y., Kulariya M., Saha S.K. Seismic performance evaluation of reinforced concrete hilly buildings under sequence of earthquakes. *Structural Design Tall Build*. 2024. Vol. 33, № 6. P. e2086. <https://doi.org/10.1002/tal.2086>
8. Shegay A.V. et al. Evaluation of seismic residual capacity ratio for reinforced concrete structures. *Resilient Cities and Structures*. 2023. Vol. 2, № 1. P. 28–45. <https://doi.org/10.1016/j.rcns.2023.02.004>
9. Fajfar P. A Practical Nonlinear Method for Seismic Performance Evaluation. *Advanced Technology in Structural Engineering*. Philadelphia, Pennsylvania, United States: American Society of Civil Engineers, 2000. P. 1–8. [https://doi.org/10.1061/40492\(2000\)125](https://doi.org/10.1061/40492(2000)125)
10. Abaev Z.K., Sulthan F. Seismic Performance Evaluation of Multi-Storey Residential Building with Friction Pendulum Bearings: Indonesia case study. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2024. Vol. 20. № 1. P. 57–72. (In Russ.) <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2024-20-1-57-72>
11. Baek H.-J. et al. Seismic Performance Evaluation of Reinforced Concrete Buildings Retrofitted with a New Concrete Filled Tube Composite Strengthening System. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, № 24. P. 13231. <https://doi.org/10.3390/app132413231>
12. Naeem A., Koichi K., Lee J. Seismic Performance Evaluation of Reinforced Concrete Building Structure Retrofitted with Self-Centering Disc-Slit Damper and Conventional Steel Slit Damper. *Buildings*. 2024. Vol. 14, № 3. P. 795. <https://doi.org/10.3390/buildings14030795>
13. Harrington C.C., Liel A.B. Indicators of improvements in seismic performance possible through retrofit of reinforced concrete frame buildings. *Earthquake Spectra*. 2021. Vol. 37, № 1. P. 262–283. <https://doi.org/10.1177/8755293020936707>
14. Abaev Z., Valiev A., Kodzaev M. Development of recommendations for the implementation of seismic risk mitigation policy in the Russian Federation based on world experience. *Earthquake Engineering Construction Safety*. 2023. № 3. P. 48–72. (In Russ.) <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-3-48-72>
15. Manfredi V. et al. Selection and spectral matching of recorded ground motions for seismic fragility analyses. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2022. Vol. 20, № 10. P. 4961–4987. <https://doi.org/10.1007/s10518-022-01393-0>
16. Center for Engineering Strong Motion Data USGS. Available from: <https://www.strongmotioncenter.org> (Accessed: 14.05.2024).
17. Earthquake Disaster Engineering Research Laboratory. Software STERA 3D. Available from: <https://rc.ace.tut.ac.jp/saito/software-e.html> (Accessed: 14.05.2024).
18. Kitamura H., Miyauchi Y., Uramoto H. Study on Standards for Judging Structural Performances in Seismic Performance Based Design: Evaluation of the safety limit value and margin I and II levels in JSCA seismic performance menu. *Transactions of AIJ*. 2006. Vol. 71, № 604. P. 183–191. https://doi.org/10.3130/aijs.71.183_1
19. Freeman S.A. The capacity spectrum method as a tool for seismic design. *Proceedings of the 11th European conference on earthquake engineering*. Citeseer, 1998. P. 6–11.
20. Park Y., Ang A.H. -S. Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete. *Journal of Structural Engineering*. 1985. Vol. 111, № 4. P. 722–739. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1985\)111:4\(722\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1985)111:4(722))
21. Pradhan S., Li Y., Sanada Y. Seismic performance evaluation and risk assessment of typical reinforced concrete frame buildings with masonry infill and conventional vertical extension in Nepal. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2022. Vol. 20, № 2. P. 853–884. <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01246-2>
22. Zhao J. et al. Seismic performance evaluation of different strategies for retrofitting RC frame buildings. *Structures*. 2021. Vol. 34. P. 2355–2366. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.09.016>

23. Nakano Y. et al. Guideline for post-earthquake damage evaluation and rehabilitation of RC buildings in Japan. *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver BC, Canada, 2004. Vol. 1, № 1. P. 124.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 24-79-00087).

Авторы выражают благодарность Японско-Российскому центру молодежных обменов (*JREX*), Японскому агентству международного сотрудничества (*JICA*) и Международному институту сейсмологии и сейсмостойкого строительства *IISEE* (г. Цукуба, Япония) за возможность академического и исследовательского сотрудничества.

Acknowledgements

The research was supported by the Russian Science Foundation (Project No. 24-79-00087).

The authors are grateful to the Japan-Russia Youth Exchange Center (*JREX*), the Japan International Cooperation Agency (*JICA*), and the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering *IISEE* (Tsukuba, Japan) for the opportunity of academic and research cooperation.

Информация об авторах:

Абаев Заурбек Камболатович

ФГБУН «Владикавказский научный центр РАН», г. Владикавказ, Россия,
кандидат технических наук, доцент, научный сотрудник комплексного научно-исследовательского отдела.
E-mail: zaurbek_a@yahoo.com

Денпур Церинг

Министерство инфраструктуры и транспорта, г. Тхимпху, Бутан, исполнительный инженер.
E-mail: tsheringdendup2@gmail.com

Information about authors:

Abaev Zaurbek K.

Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Vladikavkaz, Russia,
Candidate of Technical Science, Researcher. ORCID ID: 0000-0002-6932-2740.
E-mail: zaurbek_a@yahoo.com

Dendup Tshering

Ministry of Infrastructure and Transport, Thimphu, Bhutan, Executive Engineer.
ORCID ID: 0009-0008-3416-3672.
E-mail: tsheringdendup2@gmail.com

Я.Л. ОБЕРНИХИНА¹, Г.А. СМОЛЯГО¹¹ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)», г. Белгород, Россия

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В НЕРАЗРЕЗНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКАХ, УСИЛЕННЫХ УГЛЕПЛАСТИКОМ ПОД НАГРУЗКОЙ

Аннотация. В данной статье приведены результаты экспериментальных исследований перераспределения изгибающих моментов в двухпролетных неразрезных железобетонных балках, усиленных углепластиком под нагрузкой, а именно, пятнадцати балок пяти серий. Первая серия балок (БМ) – эталонные образцы без усиления. Ко второй серии балок (БМУ) относились образцы, усиленные углепластиком путем приклеивания его к растянутой зоне в пролетах с U-образной анкерровкой на приопорных участках без предварительного нагружения. Третья (БМУ В), четвертая (БМУ Г) и пятая (БМУ Д) серии балок – образцы, усиленные углепластиком при 30%, 50% и 70% от предполагаемой разрушающей нагрузки эталонных образцов, аналогично второй серии балок. Для раскрытия статической неопределенности в начале и конце каждого этапа экспериментального исследования снимались показания опорных динамометров. На основании полученных данных были построены средние по каждой серии опытные эпюры изгибающих моментов. Кроме того, в результате исследования было выявлено, что усиление углепластиком оказывает влияние на характер перераспределения изгибающих моментов в неразрезных балках, изменяя соотношения опорного $M_{оп}$ и пролетных $M_{пр}$ моментов. Таким образом, с помощью использования системы внешнего армирования на основе полимеркомпозиционных материалов можно скорректировать при необходимости характер перераспределения изгибающих моментов в неразрезных балках. В частности, выполнив усиление пролетных зон, можно разгрузить опорную.

Ключевые слова: неразрезная железобетонная балка, перераспределение усилий, усиление под нагрузкой, система внешнего армирования, углепластик

Y. L. OBERNIKHINA¹, G. A. SMOLYAGO¹¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

REDISTRIBUTION OF FORCES IN CONTINUOUS REINFORCED CONCRETE BEAMS REINFORCED WITH CFRP UNDER LOAD

Abstract. This article presents the results of experimental studies of bending moment redistribution in two-span continuous reinforced concrete beams reinforced with CFRP under load. Namely, fifteen beams of five series. The first series of beams (CB) are reference specimens without reinforcement. The second series of beams (MSB) included specimens reinforced with CFRP by gluing it to the tension zone in spans with U-shaped anchorage in the support sections without preliminary loading. The third (MSB C), fourth (MSB D) and fifth (MSB E) series of beams are specimens reinforced with CFRP at 30%, 50% and 70% of the expected breaking load of the reference specimens, similar to the second series of beams. To reveal static indeterminacy, readings of support dynamometers were taken at the beginning and end of each stage of the experimental study. Based on the data obtained, average experimental bending moment diagrams for each series were constructed. In addition, the study revealed that carbon fiber reinforcement affects the nature of the redistribution of bending moments in continuous beams, changing the ratio of the support M_{su} and span M_{sp} moments. Thus, by using an external reinforcement system based on polymer composite materials, it is possible to adjust, if necessary, the nature of the redistribution of bending moments in continuous beams. In particular, by reinforcing the span zones, it is possible to relieve the support.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крылов С.М., Гуца Ю.П., Абаканов М.С. Прочность статически неопределимых балок, армированных сталями без площадки текучести // Сборник НИИЖБ: Прочность, жесткость и трещиностойкость железобетонных конструкций. 1979. С. 40-41.
2. Смоляго Г.А., Жданов А.Е., Дрокин С.В., Дронов А.В. Расчет многопролетных железобетонных балок по методу заданных деформаций // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №12. С. 59-61.
3. Тамразян А.Г., Сайед Й.А.К. Экспериментальное исследование коэффициента перераспределения моментов в статически неопределимых железобетонных балках // Строительство и реконструкция. 2023. № 5. С. 24–35. [doi.org:10.33979/2073-7416-2023-109-5-24-35](https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-109-5-24-35)
4. Сайед Й.А.К. Исследование перераспределения моментов в статически неопределимых корродированных железобетонных балках // Инженерный вестник Дона. 2024. № 1.
5. Гиль А.И., Лазовский Е.Д. Анализ результатов экспериментальных исследований неразрезных железобетонных балок с комбинированным армированием композитной и стальной арматурой растянутой зоны над промежуточной опорой // Вестник БрГТУ. 2023. №2(131). С. 3-8. [doi.org:10.36773/1818-1112-2023-131-2-3-8](https://doi.org/10.36773/1818-1112-2023-131-2-3-8)
6. Маилян Л.Р. Перераспределение усилий в статически неопределенных железобетонных балках // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. 1983. № 4. С. 6.
7. Никулин А.И., Сотников Д.Ю., Казаков Д.В. Перераспределение усилий в статических расчётах неразрезных железобетонных балок // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2008. № 17. С. 34-37.
8. Смоляго Г.А., Обернихина Я.Л., Обернихин Д.В. Влияние внешнего армирования углепластиком на перераспределение усилий в неразрезных железобетонных балках // Архитектура. Строительство. Информационные технологии - 2023 (АСИТ-2023). 2023. С. 33-34.
9. Попов Д.С. Численные исследования перераспределений усилий в статически неопределимых коррозионно-поврежденных железобетонных балках // Инженерный вестник Дона. 2023. № 4 (100). С. 591-610.
10. Grace N.F., Sayed G.A., Saleh K.R. Strengthening of continuous beams using fibre reinforced polymer laminates // Fourth International Symposium on FRP Reinforcement for RC Structures. ACI. 1999. Pp. 647-657.
11. Grace N.F. Strengthening of negative moment region of RC beams using CFRP Strips // ACI Struct. J. 2001. Vol. 98(3). Pp. 347-357.
12. El-Refaie S.A., Ashour A.F., Garrity S.W. Sagging and hogging strengthening of continuous reinforced concrete beams using carbon fibre-reinforced polymer sheets // ACI Struct. J. 2003. Vol.100. Pp. 446-453. doi.org/10.14359/12653
13. El-Refaie S.A., Ashour A.F., Garrity S.W. CFRP strengthened continuous concrete beams // Proceedings of the ICE - Structures and Buildings. 2003. Vol. 156 (4). Pp. 395-404. doi.org/10.1680/stbu.2003.156.4.395
14. Aly H.A., Nasr E.A., El-Ghandour A.A., Abdelrahman A. A. Moment redistribution in RC continuous beams strengthened in flexure by CFRP laminates // FRP Composites in Civil Engineering – CICE. 2004. Pp. 227-235. [doi.org:10.1201/9780203970850.ch22](https://doi.org/10.1201/9780203970850.ch22).
15. Aiello M.A., Valente L., Rizzo A. Moment redistribution in continuous reinforced concrete beams strengthened with carbon-fiber-reinforced polymer laminates // Mech. Compos. Mater. 2007. Vol. 43. Pp. 453-66. doi.org/10.1007/s11029-007-0043-x
16. Maghsoudi A.A., Bengar H. Moment redistribution and ductility of RHSC continuous beams strengthened with CFRP // Turkish J. Eng. Env. Sci. 2009. Vol. 33. Pp. 45-59. doi.org/10.3906/muh-0901-6
17. Akbarzadeh H., Maghsoudi A.A. Experimental and analytical investigation of reinforced high strength concrete continuous beams strengthened with fiber reinforced polymer // Materials and Design. 2010. Vol.31. Pp. 1130-1147. doi.org/10.1016/j.matdes.2009.09.041
18. Araba A., Ashour A. Flexural performance of hybrid GFRP-steel reinforced concrete continuous beams // Composites Part B. 2018. Vol. 154. Pp. 321–336. doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.08.077.

REFERENCES

1. Krylov S.M., Gushcha Yu.P., Abakanov M.S. Prochnost' staticheski neopredelimykh balok, armirovannykh stalyami bez ploshchadki tekuchesti [Strength of statically indeterminate beams reinforced with steels without a yield plateau]. *Sbornik NIIZHB: Prochnost', zhestkost' i treshchinostoykost' zhelezobetonnykh konstruksiy*. 1979. Pp. 40-41. (rus)
2. Smolyago G.A., Zhdanov A.E., Drokin S.V., Dronov A.V. Raschet mnogoproletnykh zhelezobetonnykh balok po metodu zadannykh deformatsiy [Calculation of multi-span reinforced concrete beams using the method of specified deformations]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2014. Vol. 12. Pp. 59-61. (rus)

3. Tamrazyan A.G., Sayed Y.A.K. Eksperimental'noye issledovaniye koeffitsiyenta pereraspredeleniya momentov v staticheski neopredelimykh zhelezobetonnykh balkakh [Experimental study of the coefficient of moment Redistribution in statically indeterminate rc beams]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2023. No. 5. Pp. 24–35. [doi.org:10.33979/2073-7416-2023-109-5-24-35](https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-109-5-24-35). (rus)
4. Sayed Y.A.K. Issledovaniye pereraspredeleniya momentov v staticheski neopredelimykhkorrodirovannyye zhelezobetonnyye balki [Study of moment redistribution in statically indeterminate corroded reinforced concrete beams]. *Engineering Bulletin of the Don*. 2024. No. 1. (rus)
5. Gil A.I., Lazovsky E.D. Issledovaniye pereraspredeleniya momentov v staticheski neopredelimykh korrodirovannykh zhelezobetonnykh balkakh [Analysis of experimental research results of continuous reinforced concrete beams with combined reinforcement of the tensile zone above the intermediate support with composite and steel reinforcement]. *Bulletin of BrSTU*. 2023. No. 2. Vol. 131. Pp. 3-8. [doi.org:10.36773/1818-1112-2023-131-2-3-8](https://doi.org/10.36773/1818-1112-2023-131-2-3-8). (rus)
6. Mailyan L.R. Pereraspredeleniye usily v staticheski neopredelennykh zhelezobetonnykh balkakh [Redistribution of forces in statically indeterminate reinforced concrete beams]. *News of higher educational institutions. Construction and architecture*. 1983. No. 4. Pp. 6. (rus)
7. Nikulin A.I., Sotnikov D.Y., Kazakov D.V. Pereraspredeleniye usily v staticheskikh raschotakh nerazrezykh zhelezobetonnykh balok [Redistribution of forces in static calculations of continuous reinforced concrete beams]. *Bulletin of the Oryol State Technical University. Series: Construction and transport*. 2008. No. 17. Pp. 34-37. (rus)
8. Smolyago G.A., Obernikhina Ya.L., Obernikhin D.V. Vliyaniye vneshnego armirovaniya ugleplastikom na pereraspredeleniye usily v nerazrezykh zhelezobetonnykh balkakh [Influence of external reinforcement with carbon fiber on the redistribution of forces in continuous reinforced concrete beams]. *Architecture. Construction. information technologies - 2023 (ASIT-2023)*. 2023. Pp. 33-34. (rus)
9. Popov D.S. Chislennyye issledovaniya pereraspredeleniy usily v staticheski neopredelimykh korrozionno-povrezhdennykh zhelezobetonnykh balkakh [Numerical Investigations of Stress Redistributions in Statically Indeterminate Corrosion-Damaged Reinforced Concrete Beams]. *Engineering Bulletin of the Don*. 2023. No. 4. Vol. 100. Pp. 591-610. (rus)
10. Grace N.F., Sayed G.A., Saleh K.R. Strengthening of Continuous Beams Using Fibre Reinforced Polymer Laminates. *Fourth International Symposium on FRP Reinforcement for RC Structures. ACI*. 1999. Pp. 647-657.
11. Grace N.F. Strengthening of Negative Moment Region of RC Beams Using CFRP Strips. *ACI Struct. J*. 2001. Vol. 98. No. 3. Pp. 347-357.
12. El-Refaie S.A., Ashour A.F., Garrity S.W. Sagging and hogging strengthening of continuous reinforced concrete beams using carbon fiber-reinforced polymer sheets. *ACI Struct. J*. 2003. Vol. 100. Pp. 446-453. doi.org/10.14359/12653_13.
13. El-Refaie S.A., Ashour A.F., Garrity S.W. CFRP strengthened continuous concrete beams. *Proceedings of the ICE - Structures and Buildings*. 2003. Vol. 156. No. 4. Pp. 395-404. doi.org/10.1680/stbu.2003.156.4.395
14. Aly H.A., Nasr E.A., El-Ghandour A.A., Abdelrahman A.A. Moment redistribution in RC continuous beams strengthened in flexure by CFRP laminates. *FRP Composites in Civil Engineering - CICE*. 2004. Pp. 227-235. [doi.org:10.1201/9780203970850.ch22](https://doi.org/10.1201/9780203970850.ch22).
15. Aiello M.A., Valente L., Rizzo A. Moment redistribution in continuous reinforced concrete beams strengthened with carbon-fiber-reinforced polymer laminates. *Mech. Compos. Mater*. 2007. Vol. 43. Pp. 453-66. doi.org/10.1007/s11029-007-0043-x
16. Maghsoudi A.A., Bengar H. Moment redistribution and ductility of RHSC continuous beams strengthened with CFRP. *Turkish J. Eng. Env. Sci*. 2009. Vol. 33. Pp. 45-59. doi.org/10.3906/muh-0901-6
17. Akbarzadeh H., Maghsoudi A.A. Experimental and analytical investigation of reinforced high strength concrete continuous beams strengthened with fiber reinforced polymer. *Materials and Design*. 2010. Vol.31. Pp. 1130-1147. doi.org/10.1016/j.matdes.2009.09.041
18. Araba A., Ashour A. Flexural performance of hybrid GFRP-steel reinforced concrete continuous beams. *Composites Part B*. 2018. Vol. 154. Pp. 321–336. doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.08.077.

Информация об авторах:

Обернихина Яна Леонидовна

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)», г. Белгород, Россия,
старший преподаватель кафедры Строительства и городского хозяйства.
E-mail: yana.ishuk@yandex.ru

Смоляго Геннадий Алексеевич

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)», г. Белгород, Россия,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Строительства и городского хозяйства.
E-mail: str-exp@mail.ru

Information about authors:

Obernikhina Yana L.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation,
Senior Lecturer of the Department of Construction and Urban Economics.

E-mail: yana.ishuk@yandex.ru

Smolyago Gennadiy A.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation,
D.Sc. in Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Construction and Urban Economics,

E-mail: str-exp@mail.ru

С.Н. ОВСЯННИКОВ^{1,2}, А.С. САМОХВАЛОВ^{1,2}

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия

²Научно-исследовательский институт строительной физики, Москва, Россия

ЗВУКОПЕРЕДАЧА ЧЕРЕЗ ОГРАЖДЕНИЯ С МАЛЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ, ВКЛЮЧАЯ ВОЗДУХООБМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА

***Аннотация.** Исследовалась звукоизоляция сложных ограждающих конструкций, включающих малые технические элементы, в том числе воздуховоды, проходящие через внутренние конструкции, и воздухообменные устройства в наружных конструкциях. На примере воздухообменных каналов и клапана «КИВ 125» показано их влияние на звукоизоляцию многослойных остеклений. Представлены результаты измерения звукоизолирующей способности одно- трехслойных остеклений с воздухообменными устройствами. Использованы стандартные методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций и малых технических элементов. Измерение звукоизоляции одно- и многослойных остеклений с воздухообменными элементами позволило выявить влияние воздухообменного канала и количества элементов остекления на звукопередачу через данный тип конструкций и разработать методику проектирования шумозащитных окон в сочетании с вентиляционными каналами или воздухообменными устройствами.*

Ключевые слова: звукоизоляция, прохождение звука, многослойные остекления воздухообменные устройства.

S.N. OVSYANNIKOV^{1,2}, A.S. SAMOKHVALOV^{1,2}

¹Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

²Research Institute of building physics, Moscow, Russia

SOUND TRANSMISSION THROUGH ENCLOSING STRUCTURES WITH SMALL TECHNICAL ELEMENTS, INCLUDING AIR EXCHANGE DEVICES

***Abstract.** The sound insulation of complex enclosing structures, including small technical elements, including air ducts passing through internal structures and air exchange devices in external structures, was studied. Using the example of air exchange channels and the KIV 125 air exchange device, their effect on the sound insulation of multilayer glazing is shown. The results of measuring the sound insulation ability of single- and three-layer glazing with air exchange devices are presented. Standard methods for measuring the sound insulation of enclosing structures and small technical elements were used. The measurement of sound insulation of single- and multi-layer glazing with air exchange elements made it possible to identify the influence of the number of glazing elements and the air exchange channel on sound transmission through this type of structures and to develop a methodology for designing noise-proof windows in combination with ventilation ducts or air exchange devices.*

Keywords: sound insulation, sound transmission, multilayer glazing, air exchange device.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rayleigh (J.W. Strett). Theory of sound. T.2. Translation from English, edited by S.M. Rytov. Moscow: Gostekhstroyizdat. 1955. 476 p.
2. Cremer L. Theorie der Schalldämmung Wände bei schrägen Einfall // Akust. Zeite. 1942, Bd. 7, No 3, pp. 81–104.
3. Bhattacharya M.C., Guy R.W., Crocker M.J. Coincidence effect with sound waves in a finite plate // J. of Sound & Vibration. 1971. Vol. 18. No 2, pp. 157–169.
4. Bhattacharya M.C., Crocker M.J. Forced vibration of a panel and radiation of sound into a room // Acustica. 1970. No 22, pp. 275–294.
5. Седов М.С. Звукоизоляция. Справочник «Техническая акустика транспортных машин»: Под ред. д-ра техн. наук профессора Н. И. Иванова. СПб: Политехника, 1992. Глава 4. С. 68–106.
6. Sewell K.B. Transmission of Reverberant Sound through a Single – Leaf Partion Surrounded by an Infinite Rigid Baffle // J. of Sound and Vibration. 1970. Vol. 12. No 1. pp. 21–32.
7. Maidanik G. Response of ribbed panels to reverberant acoustic fields. // J. of the Acoustical Society of America. – 1962. –V. 34. – № 6. – P. 809-826.
8. Josse, R., Lamure J. Transmission du son par une paroi simple // Acustica. 1964. pp. 266-280.
9. Овсянников С.Н., Самохвалов А.С., Звукоизоляция однослойных остеклений, одно- и двухкамерных стеклопакетов. // Жилищное строительство. 2023. № 12. С 12-17. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-12-12-17>.
10. Leppington, F.G., Broadbent, E.G. and Heron, K.H. The acoustic radiation efficiency of rectangular panels // Proceedings of the Royal Society of London, A382. 1982. pp. 45–71.
11. London A. Transmission of reverberant sound through double walls // J. Acoust. Soc. Amer. 1950. Vol. 22. No. 2, pp. 270–279.
12. Gosele K. Zur Luftschalldämmung von einschaligen Wänden und Decken. // Acustica. 1968. 20, p. 334.
13. Gosele K. Zur Berechnung der Luftschalldämmung von doppelschaligen bauteilen.// Acustica. 1980, 45, p. 208.
14. Винокур Р.Ю., Лалаев Э.М. Теоретические и экспериментальные исследования звукоизоляционных стеклопакетов. // В книге: Борьба с шумом и звуковой вибрацией. М.: МДНТП. 1982. с. 62-67.
15. Vinokur, R., Transmission loss of triple partitions at low frequencies. // Applied Acoustics, 1990, Vol.29 (1), pp. 15-24.
16. Vinokur, R., Simple equation for multilayer sound insulation with no interlayer sound absorption at high frequencies. //ICSV 18, Rio de Janeiro, Brazil, 2011, pp. 1-5.
17. Tadeu A.J.B., Mateus D.M.R. Sound transmission through single, double and triple glazing. Experimental evaluation // Applied Acoustics. 2001. Vol.62, pp. 307–325. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(00\)0032-3](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(00)0032-3).
18. Xin F.X., Lu T.J. Analytical modeling of sound transmission through clamped triple-panel partition separated by enclosed air cavities // European Journal of Mechanics A/Solids. 2011. Vol. 30, pp. 770–782. <https://doi.org/10.1016/euromechsol.2011.14.013>
19. Kurra S. Comparison of the models predicting sound insulation values of multilayered building elements // Applied Acoustics. 2012. Vol.73, pp. 575–589. <https://doi.org/10.1016/apacoust.2011.11.008>.
20. Овсянников С.Н., Самохвалов А.С. Окна в отдельных переплетах с высокой тепло-звукоизоляцией // Строительные материалы. 2012. № 6. С. 42–43.
21. Bibby C., Hodgson M. Prediction study of factors affecting speech privacy between rooms and the effect of ventilation openings. //Applied Acoustics. 2013. Vol. 74. pp. 585–590.
22. Bibby C., Hodgson M. Field measurement of the acoustical and airflow performance of interior natural-ventilation openings and silencers.// Building and Environment. 2013. Vol. 67., pp. 265-273.
23. De Salis M.H.F., Oldham D.J., Sharples S. Noise control strategies for naturally ventilated buildings.// Building and Environment. 2002.Vol. 37, pp. 471 – 484.
24. Alonso A., Suarez R., Patricio J., Escandon R., Sendra J. J. Acoustic retrofit strategies of windows in facades of residential buildings: Requirements and recommendations to reduce exposure to environmental noise.// Journal of Building Engineering. 2021.102773. pp. 1-10.
25. Bajraktari E., Lechleitner J., Mahdavi A. Estimating the sound insulation of double facades with openings for natural ventilation.// Energy Procedia. 2015. Vol. 78 pp. 140 – 145.
26. Xiang Yu, Siu-Kit Lau b, Li Cheng c, Fangsen Cui. A numerical investigation on the sound insulation of ventilation windows.// Applied Acoustics. 2017. Vol.117. pp. 113–121.
27. Liangfen Du, Siu-Kit Lau, Siew Eang Lee, Danzer M. K. Experimental study on noise reduction and ventilation performances of sound-proofed ventilation window. //Building and Environment. 2020. Vol.181. 107105. pp. 1-9.

28. Urbán D., Roozen N.B., Zafko P., Rychtáriková M., Tomašovič P., Glorieux C. Assessment of sound insulation of naturally ventilated double skin facades. //Building and Environment. 2016, Vol 110. pp. 148-160. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.10.004>.
29. Gioia Fusaro, Xiang Yu, Jian Kang, Fangsen Cui. Development of metacage for noise control and natural ventilation in a window system. //Applied Acoustics, 2020. Vol. 170. 107510., pp. 1-9.

REFERENCES

1. Rayleigh (J.W. Strett). Theory of sound. T.2. Translation from English, edited by S.M. Rytov. Moscow: Gostekhstroyizdat. 1955. 476 p.
2. Cremer L. Theorie der Schalldämmung Wände bei schrägen Einfall *Akust. Zeite*. 1942, Bd. 7, No 3, pp. 81–104.
3. Bhattacharya M.C., Guy R.W., Crocker M.J. Coincidence effect with sound waves in a finite plate. *J. of Sound & Vibration*. 1971. Vol. 18. No 2, pp. 157–169.
4. Bhattacharya M.C., Crocker M.J. Forced vibration of a panel and radiation of sound into a room. *Acustica*. 1970. No 22, pp. 275–294.
5. Sedov M.S. Soundproofing. Handbook "Technical acoustics of transport vehicles": Ed. Dr. tech. Sciences Professor N. I. Ivanov. St. Petersburg: Polytechnic, 1992. Chapter 4. S. 68–106.
6. Sewell K.B. Transmission of Reverberant Sound through a Single – Leaf Partion Surrounded by an Infinite Rigid Baffle. *J. of Sound and Vibration*. 1970. Vol. 12. No 1. pp. 21–32.
7. Maidanik G. Response of ribbed panels to reverberant acoustic fields. *J. of the Acoustical Society of America*. – 1962. –V. 4. – № 6. – P. 809-826.
8. Josse, R., Lamure J. Transmission du son par une paroi simple. *Acustica*. 1964. pp. 266-280.
9. Ovsyannikov S.N., Samokhvalov A.S. Sound insulation of single-layer glazing, single- and double-chamber double-glazed windows. *Housing construction*. 2023. №. 12. pp. 12-17. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-12-12-17>.
10. Leppington, F.G., Broadbent, E.G. and Heron, K.H. The acoustic radiation efficiency of rectangular panels. *Proceedings of the Royal Society of London*, A382. 1982. pp. 45–71.
11. London A. Transmission of reverberant sound through double walls. *J. Acoust. Soc. Amer*. 1950. Vol. 22. No. 2, pp. 270–279.
12. Gosele K. Zur Luftschalldämmung von einschaligen Wänden und Decken. *Acustica*. 1968. 20, p. 334.
13. Gosele K. Zur Berechnung der Luftschalldämmung von doppelschaligen bauteilen. *Acustica*. 1980, 45, p. 208.
14. Vinokur R.Yu., Lalaev E.M. Theoretical and experimental studies of soundproof glass units. *In the book: Combating noise and sound vibration*. Moscow: MDNTP. 1982. pp. 62-67.
15. Vinokur, R., Transmission loss of triple partitions at low frequencies. *Applied Acoustics*, 1990, Vol.29 (1), pp. 15-24.
16. Vinokur, R., Simple equation for multilayer sound insulation with no interlayer sound absorption at high frequencies. *ICSV 18*, Rio de Janeiro, Brazil, 2011, pp. 1-5.
17. Tadeu A.J.B., Mateus D.M.R. Sound transmission through single, double and triple glazing. Experimental evaluation. *Applied Acoustics*. 2001. Vol.62, pp. 307–325. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(00\)0032-3](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(00)0032-3).
18. Xin F.X., Lu T.J. Analytical modeling of sound transmission through clamped triple-panel partition separated by enclosed air cavities. *European Journal of Mechanics A/Solids*. 2011. Vol. 30, pp. 770–782. <https://doi.org/10.1016/euromechsol.2011.14.013>
19. Kurra S. Comparison of the models predicting sound insulation values of multilayered building elements. *Applied Acoustics*. 2012. Vol.73, pp. 575–589. <https://doi.org/10.1016/apacoust.2011.11.008>.
20. Ovsyannikov S.N., Samokhvalov A.S. Windows in separate bindings with high heat and sound insulation. *Housing construction*. 2012. No. 6. pp. 42–43 (In Russian).
21. Bibby C., Hodgson M. Prediction study of factors affecting speech privacy between rooms and the effect of ventilation openings. *Applied Acoustics*. 2013. Vol. 74. pp. 585–590.
22. Bibby C., Hodgson M. Field measurement of the acoustical and airflow performance of interior natural-ventilation openings and silencers. *Building and Environment*. 2013. Vol. 67., pp. 265-273.
23. De Salis M.H.F., Oldham D.J., Sharples S. Noise control strategies for naturally ventilated build-ings. *Building and Environment*. 2002.Vol. 37, pp. 471 – 484.
24. Alonso A., Suarez R., Patricio J., Escandon R., Sendra J. J. Acoustic retrofit strategies of windows in facades of residential buildings: Requirements and recommendations to reduce exposure to environmental noise. *Journal of Building Engineering*. 2021.102773. pp. 1-10.
25. Bajraktari E., Lechleitner J., Mahdavi A. Estimating the sound insulation of double facades with openings for natural ventilation. *Energy Procedia*. 2015. Vol. 78 pp. 140 – 145.

26. Xiang Yu, Siu-Kit Lau b, Li Cheng c, Fangsen Cui. A numerical investigation on the sound insulation of ventilation windows. *Applied Acoustics*. 2017. Vol.117. pp. 113–121.
27. Liangfen Du, Siu-Kit Lau, Siew Eang Lee, Danzer M. K. Experimental study on noise reduction and ventilation performances of sound-proofed ventilation window. *Building and Environment*. 2020. Vol.181. 107105. pp. 1-9.
28. Urbán D., Roozen N.B., Zařko P., Rychtáriková M., Tomařovič P., Glorieux C. Assessment of sound insulation of naturally ventilated double skin facades. *Building and Environment*. 2016, Vol 110. pp. 148-160. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.10.004>.
29. Gioia Fusaro, Xiang Yu, Jian Kang, Fangsen Cui. Development of metacage for noise control and natural ventilation in a window system. *Applied Acoustics*, 2020. Vol. 170. 107510., pp. 1-9.

Информация об авторах

Овсянников Сергей Николаевич

ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», г. Томск, Россия, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Архитектура гражданских и промышленных зданий»
E-mail: ovssn@tsuab.ru

Самохвалов Александр Сергеевич

ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», г. Томск, Россия, старший преподаватель кафедры «Архитектура гражданских и промышленных зданий»
E-mail: tomsk117@mail.ru

Information about authors

Ovsyannikov Sergey N.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering”, Tomsk, Russia,
Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of “Architecture of Civil and Industrial Buildings”
E-mail: ovssn@tsuab.ru

Samokhvalov Alexander S.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering”, Tomsk, Russia,
Senior Lecturer of the Department of “Architecture of Civil and Industrial Buildings”
E-mail: tomsk117@mail.ru

В.С. ФЁДОРОВ¹, Н.В. КУПЧИКОВА^{1,2}, С.С. РЕКУНОВ³, И.В. ФЕДОСЮК

¹ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», г. Москва, Россия

²ГБУ НИИ «МосТрансПроект», г. Москва, Россия

³Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

⁴ООО «МКЛ Плюс», г. Волгоград, Россия

ФИЛЬТРАЦИОННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ГРУНТОВЫХ ПЕРЕМЫЧЕК ПЛОТИН КАК ВРЕМЕННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. Изучение влияния конструктивно-технологических решений устройства перемычек судоходных гидротехнических сооружений на фильтрационные процессы и устойчивость насыпи ядра плотины при эксплуатационных воздействиях. Метод исследования представляет собой численное моделирование процессов и аналитические методы исследования позволили получить результаты поставленной цели. В результате изучения влияния конструктивно-технологических решений устройства перемычек, как временных судоходных гидротехнических сооружений на фильтрационные процессы и устойчивость насыпи ядра плотины при эксплуатационных воздействиях выполнен анализ конструктивно-технологических решений устройства перемычек судоходных гидротехнических сооружений, анализ способов перекрытия русла реки, как процессов постепенного обжатия потока до появления скоростей течения, размывающих русло реки и материал отсыпки. Выявлены критерии, обеспечивающие фильтрационную прочность грунта для отсыпки ядра грунтовой плотины. Проведено исследование потенциального разрушения перемычки при расчете на основное сочетание нагрузок с помощью численного моделирования. Выполнен анализ фильтрационной устойчивости перемычки методом конечных элементов при динамических воздействиях. Разработаны предложения для исключения скопления профильтровавшейся воды через тело перемычки. Фильтрационная устойчивость грунтовой перемычки, как временного гидротехнического сооружения обеспечивается, по действующему градиенту напора на контакте двух грунтов значительно меньше допустимого градиента, т.е. размыв отсутствует. Полученные результаты численного моделирования позволяют наблюдать более точный механизм разрушения перемычек плотин. Производить работы по замене ремонтных ворот шлюза под защитой грунтовой перемычки возможно только с соблюдением требований нормативно-технической документации и проведением необходимых расчетов.

Ключевые слова: фильтрационная устойчивость, конструктивно-технологические решения, перемычки, временные гидротехнические сооружения, сопряжения с грунтовым основанием

V.S. FEDOROV¹, N.V. KUPCHIKOVA^{1,2}, S.S. REKUNOV³, I.V. FEDOSYUK⁴

¹The Russian University of Transport (RUT (MIIT), Moscow, Russia

²«Scientific Research and Design Institute of Urban Transport of the city of Moscow», Moscow, Russia

³Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

⁴ООО «МКЛ Плюс», Volgograd, Russia

FILTRATION STABILITY OF SOIL BRIDGES OF DAMS AS TEMPORARY HYDRAULIC STRUCTURES

Abstract. Study of the influence of design and technological solutions for the construction of bulkheads of shipping hydraulic structures on filtration processes and the stability of the embankment of the dam core under operational impacts. The research method is a numerical modeling of the processes and analytical research methods made it possible to obtain the results of the set goal.

© Фёдоров В.С., Купчикова Н.В., Рекунов С.С., Федосюк И.В., 2024

As a result of studying the influence of design and technological solutions for the construction of bulkheads, as temporary shipping hydraulic structures, on filtration processes and the stability of the embankment of the dam core under operational impacts, the following were completed: analysis of

design and technological solutions for the construction of bulkheads of shipping hydraulic structures; analysis of the methods of blocking the river bed, as processes of gradual compression of the flow until the appearance of flow velocities that wash away the river bed and the backfill material. Criteria were identified that ensure the filtration strength of the soil for backfilling the core of the earth dam. A study was conducted of the potential destruction of the bulkhead when calculating for the main combination of loads using numerical modeling. Analysis of the filtration stability of the bulkhead using the finite element method under dynamic impacts has been carried out. Proposals have been developed to prevent the accumulation of filtered water through the bulkhead body. The filtration stability of the soil bulkhead as a temporary hydraulic structure is ensured by the current pressure gradient at the contact of two soils, which is significantly less than the permissible gradient, i.e., there is no erosion. The obtained results of numerical modeling allow us to observe a more accurate mechanism for the destruction of dam bulkheads. It is possible to carry out work on replacing the repair gates of the sluice under the protection of the soil bulkhead only in compliance with the requirements of regulatory and technical documentation and performing the necessary calculations.

Keywords: *filtration stability, structural and technological solutions, bridges, temporary hydraulic structures, interfaces with the soil base.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. URL:https://morflot.gov.ru/deyatelnost/napravleniya_deyatelnosti/rechnoy_flot/vvt/sudohodnyie_gidrotehnicheskie_sooruzheniya/?ysclid=1qiehilt5a647160453 (дата посещения 22.12.2023 г.).
2. Федеральный закон от 27.07.1997 г. № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» // Собрание законодательства РФ. – 28.07.1997. – № 30. – Ст. 3589.
3. Колосов М. А. Диагностика состояния камеры шлюза по степени гашения напора на верхней голове // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2014. – № 2 (83). – С. 83-86.
4. Соколова Ю. А. Причины атмосферной коррозии металлоконструкций и методы защиты // Иновации и инвестиции. – 2017. № 8. – С. 157-160.
5. МУ 050-025-2001. Методические указания. Определения технического состояния металлоконструкций ворот и затворов СГТС. – М.: ФГУП ЦБНТИМТ РФ, 2002. – 86 с.
6. Кульмицкий М.Л. Расчетные исследования влияния коррозионного износа на прочность металлоконструкций ворот и затворов шлюзов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2016. – № 1 (35). – С. 60-66.
7. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» // Собрание законодательства РФ. – 04.01.2010. – № 1. – Ст. 5.
8. Лапин Г. Г. Организация гидротехнического строительства: практическое пособие для проектировщиков, строителей и студентов вуза // . – Москва, 2021. – 189 с. – ISBN 978-56044903-1-0.
9. Телешев В. И. Организация, планирование и управление гидротехническим строительством // В. И. Телешев. – Москва : Стройиздат, 1989. – 416 с.
10. Рассказов Л. Н. Гидротехнические сооружения. Часть 1 / Л. Н. Рассказов, В. Г. Орехов, Н. А. Анискин. – 2-е изд. – Москва : Изд-во Ассоциации строительных вузов: под редакцией Л. Н. Рассказова, 2011. – 575 с.
11. П-885-91. Пособие по технологии возведения плотин из грунтовых материалов к СНиП 2.06.05-84 и СНиП 3.07.01-85" (утв. Всесоюзным ордена Ленина проектно-исследовательским научно-исследовательским объединением "Гидропроект" им. С.Я. Жука 22.02.1991). Введ. 1991-02-22. – М., 1991 – 162 с.
12. Праведный Г. Х. Подготовка скальных оснований плотин из грунтовых материалов / Г. Х. Праведный, В. Г. Радченко – Ленинград : Изд-во Энергия, 1973. – 82 с.
13. Буренкова В. В. Отечественный опыт оценки фильтрационной прочности несвязных грунтов тела плотины и основания // Природообустройство. – 2020. – № 4. – С. 84-91.
14. СП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84. Введ. 2013-01-01. – М., 2013 – 58 с.
15. URL: <http://geowizard.org/index.html> (дата посещения 22.12.2023 г.).
16. URL: <https://www.plaxis.ru> (дата посещения 22.12.2023 г.).
17. Baotang Shen, Jingyu Shi, Nick Barton, An approximate nonlinear modified Mohr-Coulomb shear strength criterion with critical state for intact rocks // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2018. Vol. 10.Iss. 4. Pp. 645-652.

18. Hassani, Rahim & Basirat, Rouhollah & Mahmoodian, Navid. Classical Method and Numerical Modeling for De-signing of Sheet Pile Wall (Case Study: Tuti-Bahri Bridge, Sudan). 2016. 10.13140/RG.2.2.10294.91208.
19. П 56-90/ВНИИГ. Рекомендации по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений. С.-Перетруб, 1992 – 110 с.
20. ВСН 04-71. Указания по расчету устойчивости земляных откосов. «Энергия», 1971 – 105 с.
21. Чугаев Р.Р. Гидравлика. Л.: Энергоиздат. Ленинградское отделение, 1982. - 672 с.
22. Чугаев Р.Р. Гидротехнические сооружения. Часть 1. Глухие плотины. Агропромиздат, 1985. - 318 с.
23. Чугаев Р.Р. Гидротехнические сооружения. Часть 2. Водосливные плотины. Агропромиздат, 1985. - 302 с.
24. Расчёт водохранилища: водохозяйственное обоснование и определение параметров. Часть II. Расчёт параметров грунтовой плотины: методические указания к выполнению практических работ по курсам «Проектирование водохозяйственных систем», «Водохозяйственные сооружения» и «Инженерные сооружения» для студентов V курса, обучающихся по специальностям 280302 «Комплексное использование и охрана водных ресурсов» и 130302 «Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания» / О.Г. Савичев, В.В. Крамаренко. –Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 40с.

REFERENCES

1. URL: https://morflot.gov.ru/deyatelnost/napravleniya_deyatelnosti/rechnoy_flot/vvt/sudohodnyie_gidrotehnic_heskie_sooruzeniya/?ysclid=lqiehilt5a647160453 (date of visit 12/22/2023).
2. Federal Law of 07/27/1997 No. 117-FZ "On the Safety of Hydraulic Structures" // Collected Legislation of the Russian Federation. - 07/28/1997. - No. 30. - Art. 3589.
3. Kolosov, M. A. Diagnostics of the lock chamber condition by the degree of pressure damping on the upper head. *Bulletin of the Admiral*. – 2014. - No. 2 (83). – Pp. 83-86.
4. Sokolova, Yu. A. Causes of atmospheric corrosion of metal structures and methods of protection. *Innovations and investments*. – 2017. No. 8. – Pp. 157-160.
5. MU 050-025-2001. Methodical instructions. Definitions of the technical condition of metal structures of gates and valves of the SGTS. – М.: FSUE TsBNTIMT RF, 2002. – 86 p.
6. Kulmitsky, M.L. Calculation studies of the effect of corrosive wear on the strength of metal structures of gates and valves of locks. *Bulletin of the Admiral*. – 2016. - No. 1 (35). – Pp. 60-66.
7. Federal Law of 30.12.2009 No. 384-FZ "Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures". *Collection of Legislation of the Russian Federation*. – 04.01.2010. - No. 1. – Art. 5.
8. Lapin, G. G. Organization of hydraulic engineering construction: a practical guide for designers, builders and university students. – Moscow, 2021. – 189 p. – ISBN 978-56044903-1-0.
9. Teleshev, V. I. Organization, planning and management of hydraulic engineering construction. – Moscow: Stroyizdat, 1989. – 416 p.
10. Rasskazov, L. N. Hydraulic engineering structures. Part 1 - 2nd ed. - Moscow: Publishing house of the Association of construction universities: edited by L. N. Rasskazov, 2011. - 575 p.
11. P-885-91. Manual on the technology of construction of dams from earth materials to SNiP 2.06.05-84 and SNiP 3.07.01-85" (approved. All-Union Order of Lenin Design and Survey Research Association "Gidroproekt" named after S. Ya. Zhuk on 22.02.1991). Introduced. 1991-02-22. - М., 1991 - 162 p.
12. Pravedny, G. Kh. Preparation of rocky foundations of dams from earth materials - Leningrad: Energia Publishing House, 1973. - 82 p.
13. Burenkova, V. V. Domestic experience in assessing the filtration strength of non-cohesive soils of the dam body and foundation. *Nature management*. - 2020. – No. 4. – P. 84-91.
14. SP 39.13330.2012. Dams made of earth materials. Updated version of SNiP 2.06.05-84. Introduced 2013-01-01. – М., 2013 – 58 p.
15. URL: <http://geowizard.org/index.html> (date of visit 12/22/2023).
16. URL: <https://www.plaxis.ru> (date of visit 12/22/2023).
17. Baotang Shen, Jingyu Shi, Nick Barton, An approximate nonlinear modified Mohr-Coulomb shear strength criterion with critical state for intact rocks. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2018. Vol. 10. Iss. 4. pp. 645-652.
18. Hassani, Rahim & Basirat, Rouhollah & Mahmoodian, Navid. Classical Method and Numerical Modeling for De-signing of Sheet Pile Wall (Case Study: Tuti-Bahri Bridge, Sudan). 2016. 10.13140/RG.2.2.10294.91208.
19. P 56-90/VNIIG. Recommendations for the design of reverse filters of hydraulic structures. S.-Peretrubr, 1992 – 110 p.
20. VSN 04-71. Guidelines for calculating the stability of earth slopes. "Energy", 1971 – 105 p.
21. Chugaev R.R. Hydraulics. L.: Energoizdat. Leningrad Branch, 1982. - 672 p.

22. Chugaev R.R. Hydraulic structures. Part 1. Blind dams. Agropromizdat, 1985. - 318 p.
23. Chugaev R.R. Hydraulic structures. Part 2. Spillway dams. Agropromizdat, 1985. - 302 p.
24. Reservoir calculation: water management justification and determination of parameters. Part II. Calculation of parameters of an earth dam: guidelines for practical work on the courses "Design of water management systems", "Water management structures" and "Engineering structures" for fifth-year students studying in the specialties 280302 "Complex use and protection of water resources" and 130302 "Prospecting and exploration of groundwater and engineering-geological surveys". - Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2009. - 40 p.

Информация об авторе

Фёдоров Виктор Сергеевич

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ МИИТ)

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции, здания и сооружения».

E-mail: fvs_skzs@mail.ru

Купчикова Наталья Викторовна

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ МИИТ),

старший научный сотрудник ГБУ НИИ «МосТрансПроект»,

E-mail: kupchikova79@mail.ru

Рекунов Сергей Сергеевич

Волгоградский государственный технический университет,
к.т.н., доцент кафедры «Строительная механика»

E-mail: rekunoff@mail.ru

Федосюк Игорь Викторович

ООО «МКЛ Плюс», г. Волгоград,
главный инженер проекта

E-mail: iviktorovich34@mail.ru

Information about author

Fyodorov Viktor S.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Russian University of Transport" (RUT MIIT)

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of "Building Structures, Buildings and Facilities".

E-mail: fvs_skzs@mail.ru

Kupchikova Natalya V.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Russian University of Transport" (RUT MIIT),

Senior Researcher of the State Budgetary Institution Research Institute "MosTransProekt",

E-mail: kupchikova79@mail.ru

Rekunov Sergey S.

Volgograd State Technical University,

PhD, Associate Professor of the Department of "Structural Mechanics"

E-mail: rekunoff@mail.ru

Fedosyuk Igor V.

ООО "MKL Plus", Volgograd,

Chief Project Engineer

E-mail: iviktorovich34@mail.ru

В.Г. МУРАШКИН¹

¹ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара, Россия

МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА ПРОШЕДШЕГО ДЛИТЕЛЬНЫЙ СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. В процессе длительного срока эксплуатации в бетоне нарушается соответствие между прочностью и начальным модулем деформации, поэтому для расчета эксплуатируемых железобетонных конструкций требуются деформационные кривые, соответствующие происшедшим изменениям. Выражение на основе уравнения Аррениуса позволяет построить модель деформирования бетона на основе экспериментальных данных. Такая модель соответствует установленным критериям. Для подтверждения адекватности полученной модели, представлены результаты сравнения предлагаемой модели с моделью деформирования бетона, заложенной в нормы, для различных классов бетонов. Полученные результаты подтверждают адекватность предложенной деформационной модели

Ключевые слова: диаграмма деформирования бетона, реконструкция, железобетон, относительные деформации.

V.G. MURASHKIN¹

¹ Samara State Technical University, Samara, Russia

DEFORMATION MODEL OF CONCRETE AFTER PROLONGED USAGE

Abstract. The relationship between the strength of concrete and tangent modulus gets broken during its prolonged usage, so deformation curves matching the changes that occurred are required for the calculation of reinforced concrete structures. The formula based on the Arrhenius equation enables the creation of concrete deformation model based on experimental data. Such model matches the criteria set. For validation of the model adequacy the results of comparing the model being proposed with the concrete deformation model used in the standards for different concrete classes are presented in graphical and tabular form. The results obtained confirm the adequacy of the deformation model proposed.

Keywords: stress-strain diagram of concrete, reconstruction, reinforced concrete, compressive strain.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 255.1325800.2016 «Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения».
2. Mushtaq Sadiq Radhi, Shakir Ahmed Al-Mishhadani, Hasan Hamodi Joni. Effect of Age on Concrete Core Strength Results // The 2nd International Conference of Buildings, Construction and Environmental Engineering (BCEE2-2015) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/307858837> (дата обращения: 01.11.2021).
3. Селяев, В.П., Низина Т.А. Оценка долговечности железобетонных конструкций с применением метода деградационных функций // Второй международный симпозиум «Проблемы современного бетона и железобетона». Минск. 2009. С. 369–385.
4. Баженов Ю.М., Мурашкин В.Г. Учет изменения прочности бетона при проектировании железобетонных конструкций // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2017 № 20. С. 244-251.
5. Гениев Г.А. Зависимость прочности бетона от времени // Бетон и железобетон. 1993. № 1. С. 15-17.
6. Петров В.В. К вопросу построения моделей расчета долговечности конструкций // Сб. Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций. Саранск: СГУ. 2014. С. 136-144.
7. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Травуш В.И. [и др.] Оценка прочностных и деформационных характеристик высокопрочных бетонов в конструкциях и динамики их изменения во времени // Строительные материалы. 2023. № 11. С. 28-38.
8. Travush V.I., Murashkin V.G. Concrete Deformation Model for Reconstructed Reinforced Concrete // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. Vol. 18, No. 4. P. 132-137.
9. СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».
10. Зегер А. Возникновение дефектов решетки при движении дислокаций и их влияние на температурную зависимость деформирующих напряжений ГЦК кристаллов // Сб. сокр. пер. и рефератов иностр. период. литературы «Проблемы современной физики. Дислокации в кристаллах». М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. С. 179-268
11. Потапова Л.Б., Ярцев В.П. Механика материалов при сложном напряженном состоянии М.: «Издательство Машиностроение – 1». 2005. 244 с.
12. Полухин П.И., Горелик С.С., Воронцов В.К. Физические основы пластической деформации М.: «Металлургия». 1982. 584 с.
13. Байков В.Н., Горбатов С.В., Димитров З.А. Построение зависимости между напряжениями и деформации сжатого бетона по системе нормируемых показателей // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1977. №6. С. 15-18.
14. Мурашкин Г.В., Мурашкин В.Г. Моделирование диаграмм деформирования бетона // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2007. № 2 (14). С. 86-88.

REFERENCES

1. SP 255.1325800.2016. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila ekspluatatsii. Osnovnyye polozheniya [Buildings and structures. Operating rules. Basic provisions]. (rus).
2. Mushtaq Sadiq Radhi, Shakir Ahmed Al-Mishhadani, Hasan Hamodi Joni. Effect of Age on Concrete Core Strength Results *The 2nd International Conference of Buildings, Construction and Environmental Engineering (BCEE2-2015)*. [Online] URL: <https://www.researchgate.net/publication/307858837>.
3. Selyaev, V.P., Nizina T.A. Otsenka dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstruksij s primeneniem metoda degradatsionnykh funktsij [Evaluation of the durability of reinforced concrete structures using the method of degradation functions]. Vtoroj mezhdunarodnyj simpozium «Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona» The Second International Symposium «Problems of Modern Concrete and Reinforced Concrete». Minsk. 2009. Pp. 369–385. (rus).
4. Bazhenov Y.M., Murashkin V.G. Uchet izmeneniya prochnosti betona pri proektirovanii zhelezobetonnykh konstruksij [Taking into account changes in concrete strength when designing reinforced concrete structures] *Vestnik Volzhskogo regional'nogo otdeleniya Rossijskoj akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk*. 2017. № 20. Pp. 244-251. (rus).
5. Geniev G.A. Zavisimost' prochnosti betona ot vremeni [Dependence of concrete strength on time] *Beton i zhelezobeton*. 1993. № 1. Pp. 15-17. (rus).

6. Petrov V.V. K voprosu postroeniya modelej rascheta dolgovechnosti konstruksij [On the issue of constructing models for calculating the durability of structures] *Sb. Dolgovechnost' stroitel'nykh materialov, izdelij i konstruksij*. Saransk: SGU. 2014. Pp. 136-144. (rus).
7. Kapriellov S. S., Shejfel'd A.V., Travush V.I., Karpenko N.I., Krylov S.B. [Assessment of Strength and Deformation Characteristics of High-Strength Concrete in Structures and the Dynamics of Their Changes over Time] *Ocenka prochnostnyh i deformatsionnyh harakteristik vysokoprochnykh betonov v konstrukciyah i dinamiki ih izmeneniya vo vremeni Stroitel'nye materialy*. 2023. № 11. Pp. 28-38. (rus).
8. Travush V. I., Murashkin V.G. Concrete Deformation Model for Reconstructed Reinforced Concrete *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2022. Vol. 18, No. 4. Pp. 132-137.
9. SP 63.13330.2018 Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozheniya [Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions] (rus).
10. Zeger A. Vozniknovenie defektov reshetki pri dvizhenii dislokacij i ih vliyanie na temperaturnuyu zavisimost' deformiruyushchih napryazhenij GCK kristallov [The emergence of lattice defects during the motion of dislocations and their influence on the temperature dependence of the deforming stresses of FCC crystals] *Problemy sovremennoj fiziki. Dislokacii v kristallah*. Moscow. Izd-vo inostranoj literatury. 1960. Pp. 179-268.
11. Potapova L.B., Yarcev V.P. Mekhanika materialov pri slozhnom napryazhennom sostoyanii [Mechanics of materials under complex stress state] Moscow. Mashinostroenie – 1. 2005. 244p. (rus).
12. Poluhin P.I., Gorelik S.S., Voroncov V.K. Fizicheskie osnovy plasticheskoy deformacii [Physical basis of plastic deformation] Moscow. «Metallurgiya». 1982. 584p. (rus).
13. Bajkov V.N., Gorbatov C.V., Dimitrov Z.A. Postroenie zavisimosti mezhdu napryazheniyami i deformacii szhatogo betona po sisteme normiruemykh pokazatelej [Construction of the relationship between stresses and deformations of compressed concrete using a system of standardized indicators] *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura*. – 1977. - №6.- Pp.15-18. (rus).
14. Murashkin G.V., Murashkin V.G Modelirovanie diagramm deformirovaniya betona [Concrete stress-strain diagrams modeling] *Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i transport*. 2007. № 2 (14). Pp. 86-88. (rus).

Информация об авторах

Мурашкин Василий Геннадьевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», г. Самара, Россия,
канд. техн. наук, доцент
E-mail: murvag@mail.ru

Information about authors

Murashkin Vasily G.

Samara State Technical University, Samara, Russia,
candidate in tech. sc., docent
E-mail: murvag@mail.ru

В.В. НАДОЛЬСКИЙ^{1,2}

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

² Белорусский национальный технический университет (БНТУ), г. Минск, Республика Беларусь

НОРМИРУЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

***Аннотация.** Учитывая изменчивую природу несущей способности и воздействий, проверка проектной надежности строительных конструкций сводится к обеспечению того, что вероятность наступления предельного состояния не должна превышать целевое (допустимое) значение. Этот метод известен как вероятностный метод проверки предельных состояний. Существуют более простые методы проверки предельных состояний для инженерных расчетов, наиболее популярным из которых является метод коэффициентов надёжности. Однако в той или иной степени все существующие методы проверки предельных состояний и, соответственно, методы обеспечения проектной надежности строительных конструкций основаны на вероятностном методе. По этой причине исследования и нормативное закрепление допустимых вероятностей отказа являются одной из первостепенных задач научного сообщества и национальных органов в области разработки строительных норм и правил. На основании аналитического обзора исследований представлено описание вероятности отказа и индекса надежности как мер проектной надежности; зафиксированы положения, на основании которых необходимо назначать целевое значение вероятности отказа, включая прямые и косвенные последствия отказа; представлены результаты сравнения численных значений индексов надежности. Наиболее полная методика определения целевых значений вероятности отказа изложена в международном стандарте ISO 2394. Данный стандарт содержит указания по определению целевых индексов надежности на основе экономической оптимизации, анализа индивидуального или общественного риска, а также индекса качества жизни. Однако данная методика и, в особенности, численные значения индексов надежности требуют адаптации с учетом экономических особенностей конкретной страны.*

***Ключевые слова:** вероятность отказа, индекс надежности, формат безопасности, вероятностный метод, коэффициенты надежности, неопределенности, Еврокод.*

V.V. NADOLSKI^{1,2}

¹ Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus

² Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

STANDARDIZED VALUES OF THE FAILURE PROBABILITY OF BUILDING STRUCTURES

***Abstract.** Taking into account the variable nature of load-bearing capacity and loads, checking the design reliability of building structures leads to ensuring that the probability of occurrence of the limit state should not exceed the target (permissible) value. This method is known as the probabilistic limit state verification method. There are simpler methods for checking limit states for engineering calculations, the most popular of which is the method of reliability factors. However, all existing methods for checking limit states and, accordingly, methods for ensuring the design reliability of building structures are based on the probabilistic method. For this reason, research and the normative consolidation of acceptable failure probabilities are one of the primary tasks of the scientific community and national authorities in the field of developing norms and rules. Based on an analytical review of the research, a description of the probability of failure and the reliability index as measures of design reliability is presented and provisions are fixed on the basis of which it is necessary to assign a target value for the probability of failure, including direct and indirect consequences of failure.*

© Надольский В.В., 2024

The conditions for assigning target failure probabilities in regulatory documents are systematized and the results of comparing the numerical values of reliability indices are presented. The most complete methodology for determining the target values of the probability of failure is set out in the international standard ISO 2394. This standard contains guidelines for determining target reliability indices based on economic optimization, analysis of individual or public risk, as well as the quality of life index. However, this methodology, and in particular the numerical values of reliability indices, require adaptation taking into account the economic characteristics of a particular country.

Keywords: *probability of failure, reliability index, safety format, probabilistic method, reliability factors, uncertainties, Eurocode.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Митасов В.М., Адищев В.В., Стаценко Н.В. Концепция предельных состояний и их проверка по российским нормам и Еврокодам // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2017. №8. С. 15-23.
2. Харченко А.О., Харченко А.А., Владецкая Е.А. Использование вероятностных методов оценки надежности технических объектов на примере технологических и автомобильных систем // Мир транспорта и технологических машин. 2019. № 4(67). С. 3-10.
3. Герасимов Е.П. Использование вероятностных методов для вычисления нормативной надежности по трещиностойкости железобетонных изгибаемых элементов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2018. № 1(44). С. 55-60.
4. Мкртычев О.В., Юрьев Р.В. Оценка надежности консольной плиты при действии повторяющихся землетрясений // Вестник МГСУ. 2010. № 3. С. 147-151.
5. Тамразян А.Г., Филимонова Е. А. Критерии формирования комплексной целевой функции железобетонной плиты с учетом анализа риска // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С. 68-74.
6. Мкртычев О.В., Райзер В.Д. Теория надежности в проектировании строительных конструкций / Мкртычев О.В., Райзер В. Д. - Москва : Издательство АСВ, 2016. - 908 с.
7. Райзер В.Д. Очерк развития теории надежности и норм проектирования строительных конструкций // Сейсмостойкое строительство и безопасность сооружений. 2014. №2. С. 29-35.
8. Тамразян А.Г. Бетон и железобетон – проблемы и перспективы // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №8. С. 30-33.
9. Уткин В.С., Соловьев С.А., Ярыгина О.В. Расчет несущих элементов конструкций по заданному значению надежности при неполной статистической информации // Строительство и реконструкция. 2020. № 1(87). С. 81-91. DOI: 10.33979/2073-7416-2020-87-1-81-91.
10. Diamantidis D., Holický M., Sýkora M. Reliability and Risk Acceptance Criteria for Civil Engineering Structures // Transactions of the VŠB - Technical University of Ostrava Civil Engineering Series. 2016. Vol. 16. P. 1-10. DOI: 10.1515/tvsb-2016-0008.
11. Diamantidis D., Sykora M. Reliability differentiation and uniform risk in standards: a critical review and a practical appraisal // Future Trends in Civil Engineering. 2019. P.242-260. DOI: 10.5592/CO/FTCE.2019.11.
12. Hingorani R., Tanner P., Prieto M., Lara C. Consequence classes and associated models for predicting loss of life in collapse of building structures. Structural Safety. 2020. Vol. 85. DOI: 10.1016/j.strusafe.2019.101910
13. Vrouwenvelder A. C. W. M. Target reliability as a function of the design working life // Structural engineering international. 2010. P. 62-65.
14. Тур В. В., Тур А.В., Дереченник С.С. О назначении требуемых мер надежности при разработке национальных нормативных документов по проектированию строительных конструкций // Вестник Брестского государственного технического университета. 2020. № 1. С. 2–15. Doi: 10.36773/1818-1212-2020-119-1-2-15.
15. Holicky M., Diamantidis D., Sykora M. Reliability levels related to different reference periods and consequence classes. Beton- und Stahlbetonbau. 2018. Vol. 113. P. 22-26. <https://doi.org/10.1002/best.201800039>
16. Baravalle M., Köhler J. A risk-based approach for calibration of design codes // Structural Safety. 2019. Vol. 78. P. 63-75.
17. Meinen N.E., Steenbergen R.D.J.M. Reliability levels obtained by Eurocode partial factor design - A discussion on current and future reliability levels. Heron. 2018. Vol. 63(3). P. 243-301.
18. Тур В. В., Надольский В. В. Целевые значения показателей проектной надежности в рамках концепции надежности, принятой в европейских нормах (Еврокодах) // Проблемы современного бетона и железобетона. 2015. Вып. 7. С. 178 – 192.
19. Надольский В.В., Тур В.В. Калибровка (определение) частного коэффициента для снеговой нагрузки при расчетах стальных конструкций // Вестник Брестского государственного технического университета. 2013. № 1(79). С. 169–172.

20. Надольский В.В., Мартынов Ю.С. Оценка требуемого (целевого) уровня надежности на основании предыдущего опыта нормирования // Вестник Полоцкого государственного университета. 2014. № 8. С. 27–34.
21. Надольский В.В., Голицки М., Сикора М., Тур В.В. Сопоставление уровней надежности, обеспечиваемых нормами Российской Федерации и Евросоюза // Вестник МГСУ. 2013. № 6. С. 7–20. DOI: 10.22227/1997-0935.2013.6.7-20.
22. Nadolski V.V., Holický M., Sýkora M. Comparison of the reliability levels provided by Eurocodes and by standards of the Republic of Belarus // Вестник МГСУ. 2013. № 2. С. 7–21.
23. Ditlevsen O., Friis-Hansen P. Life Quality Index an empirical or a normative concept? // International Journal of Risk Assessment and Management. 2007. Vol. 7. P. 895 - 921. DOI: 10.1504/IJRAM.2007.014666.
24. Pandey M.D., Nathwani J. Life Quality Index for the Estimation of Societal Willingness-to-Pay for Safety. Structural Safety. 2004. Vol. 26. 181-199. DOI: 10.1016/j.strusafe.2003.05.001.
25. Holický M. Optimisation of the target reliability for temporary structures // Civil Engineering and Environmental Systems. 2013. Vol. 30(2). P. 87-96.
26. Allen D.E. Limit states criteria for structural evaluation of existing buildings. Canadian Journal of Civil Engineering, 1991. Vol. 18(6). P. 995-1004.
27. Steenbergen R., Sýkora M., Diamantidis D., Holický M. Economic and human safety reliability levels for existing structures // Structural Concrete. 2015. Vol. 16(3). P. 323-332.
28. Fischer K., Virguez E., Sánchez-Silva M., Faber M.H. On the assessment of marginal life saving costs for risk acceptance criteria. Structural Safety. 2013. Vol. 44. P. 37–46. doi: 10.1016/j.strusafe.2013.05.00.
29. Tanner P., Hingorani R. Acceptable risks to persons associated with building structures. Structural Concrete. 2015. Vol. 16(3). Pp. 314-22.
30. Sýkora M., Diamantidis D., Holický M., Jung K. Target Reliability for Existing Structures Considering Economic and Societal Aspects // Structure and Infrastructure Engineering. 2017. Vol. 13. P. 181-194.
31. Eldukair Z.A., Ayyub B.M. Analysis of recent U.S. structural and construction failures // Journal of Performance of Constructed Facilities. 1991. Vol. 5. P. 57-73.
32. Steenbergen R.D.J.M., Vrouwenvelder A.C.W.M. Safety philosophy for existing structures and partial factors for traffic loads on bridges. Heron. 2010. Vol. 55(2). P. 123 – 139.
33. Vrijling J.K., van Gelder P.H.A.J.M., Ouwenkerk S.J. Criteria for acceptable risk in the Netherlands. // Infrastructure Risk Management Processes. 2005. P. 143-157. DOI: 10.1061/9780784408155.ch05.
34. Vrouwenvelder T., Scholten N. Assessment criteria for existing structures // Structural Engineering International. 2010. Vol. 20. P. 62-65.
35. Aven T., Heide B. Reliability and validity of risk analysis. Reliability Engineering & System Safety, 2009. Vol. 94(11). P. 1862-1868. DOI: 10.1016/j.res.2009.06.003
36. Cornell C., Jalayar F., Hamburger R., Foutch D. Probabilistic basis for 2000 SAC Federal Emergency Management Agency steel moment frame guidelines. Journal of Structural Engineering ASCE. 2002. Vol. 128(4). p. 526–533.

REFERENCES

1. Mitasov V.M., Adishchev V.V., Stacenko N.V. Koncepciya predel'nyh sostoyanij i ih prover-ka po rossijskim normam i Evrokodam [The concept of limit states and their verification according to Russian norms and Eurocodes] *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*. 2017. Vol.8. P. 15-23. (rus)
2. Harchenko A.O., Harchenko A.A., Vladeckaya E.A. Ispol'zovanie veroyatnostnyh metodov ocenki nadezhnosti tekhnicheskikh ob'ektov na primere tekhnologicheskikh i avtomobil'nyh sistem [The use of probabilistic methods for assessing the reliability of technical objects on the example of technological and automotive systems] *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2019. Vol. 4(67). P. 3-10. (rus)
3. Gerasimov E.P. Ispol'zovanie veroyatnostnyh metodov dlya vychisleniya normativnoj nadezhnosti po treshchinostojkosti zhelezobetonnyh izgibaemyh elementov [The use of probabilistic methods for calculating the normative reliability of crack resistance of reinforced concrete bendable elements] *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya*. 2018. Vol. 1(44). P. 55-60. (rus)
4. Mkrtychev O.V., YU'rev R.V. Ocenka nadezhnosti konsol'noj plity pri dejstvii povtoryayu-shchihsya zemletryasenij [Assessment of the reliability of a cantilever plate under the action of repeated earthquakes] *Vestnik MGSU*. 2010. Vol. 3. P. 147-151. (rus)
5. Tamrazyan A.G., Filimonova E. A. Kriterii formirovaniya kompleksnoj celevoj funkicii zhelezobetonnoj plity s uchetom analiza riska [Criteria for the formation of a complex target function of a reinforced concrete slab taking into account risk analysis] *Vestnik MGSU*. 2013. Vol. 10. P. 68-74. (rus)

6. Mkrtychev O.V., Rajzer V.D. Teoriya nadezhnosti v proektirovanii stroitel'nykh konstrukcij [Theory of reliability in the design of building structures] / Mkrtychev O.V., Rajzer V. D. - Moskva : Izdatel'stvo ASV, 2016. 908 p. (rus)
7. Rajzer V.D. Ocherk razvitiya teorii nadezhnosti i norm proektirovaniya stroitel'nykh konstrukcij [An essay on the development of the theory of reliability and standards of design of construction structures] *Sejismostojkoe stroitel'stvo i bezopasnost' sooruzhenij*. 2014. No2. P. 29-35. (rus)
8. Tamrazyan A.G. Beton i zhelezobeton – problemy i perspektivy [Concrete and reinforced concrete – problems and prospects] *Promyshlennoe i grazh-danskoe stroitel'stvo*. 2014. Vol.8. P. 30-33. (rus)
9. Utkin V.S., Solov'ev S.A., YAr'ygina O.V. Raschet nesushchih elementov konstrukcij po zadan-nomu znacheniyu nadezhnosti pri nepolnoj statisticheskoj informacii [Calculation of load-bearing structural elements according to a given reliability value with incomplete statistical information] *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2020. Vol. 1(87). P. 81-91. DOI: 10.33979/2073-7416-2020-87-1-81-91. (rus)
10. Diamantidis D., Holický M., Sýkora M. Reliability and Risk Acceptance Criteria for Civil Engineering Structures. *Transactions of the VŠB - Technical University of Ostrava Civil Engineering Series*. 2016. Vol. 16. P. 1-10. DOI: 10.1515/tvsb-2016-0008.
11. Diamantidis D., Sykora M. Reliability differentiation and uniform risk in standards: a critical review and a practical appraisal. *Future Trends in Civil Engineering*. 2019. P.242-260. DOI: 10.5592/CO/FTCE.2019.11.
12. Hingorani R., Tanner P., Prieto M., Lara C. Consequence classes and associated models for predicting loss of life in collapse of building structures. *Structural Safety*. 2020. 85. DOI: 10.1016/j.strusafe.2019.101910
13. Vrouwenvelder A. C. W. M. Target reliability as a function of the design working life . *Structural engineering international*. 2010. P. 62-65.
14. Tur V.V., Tur A.V., Derechennik S.S. O naznachenii trebuemykh mer nadezhnosti pri razra-botke nacional'nykh normativnykh dokumentov po proektirovaniyu stroitel'nykh konstrukcij [On the appointment of required reliability measures in the development of national regulatory documents on the design of building structures]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2020. Vol. 1. P. 2–15. Doi: 10.36773/1818-1212-2020-119-1-2-15. (rus)
15. Holický M., Diamantidis D., Sykora M. Reliability levels related to different reference periods and consequence classes. *Beton- und Stahlbetonbau*. 2018. Vol. 113. P. 22-26. DOI: 10.1002/best.201800039
16. Baravalle M., Köhler J. A risk-based approach for calibration of design codes. *Structural Safety*. 2019. Vol. 78. p. 63-75.
17. Meinen N.E., Steenbergen R.D.J.M. Reliability levels obtained by Eurocode partial factor design - A discussion on current and future reliability levels. *Heron*. 2018. Vol. 63. No. 3. pp. 243-301.
18. Tur V. V., Nadol'skij V. V. Celevye znacheniya pokazatelej proektnoj nadezhnosti v ramkah koncepcii nadezhnosti, prinyatoj v evropejskikh normah (Evrokodah) [Target values of design reliability indicators within the framework of the reliability concept adopted in European standards (Eurocodes)] . *Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona*. 2015. Vyp. 7. P. 178 – 192. (rus)
19. Nadol'skij V.V., Tur V.V. Kalibrovka (opredelenie) chastnogo koefficienta dlya snegovoj nagruzki pri raschetah stal'nykh konstrukcij [Calibration (determination) of the partial coefficient for snow load in calculations of steel structures] *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2013. Vol. 1(79). P. 169–172. (rus)
20. Nadol'skij V.V., Martynov YU.S. Ocenka trebuemogo (celevogo) urovnya nadezhnosti na os-novanii predydushchego opyta normirovaniya [Assessment of the required (target) level of reliability based on previous rationing experience] . *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta*. 2014. Vol. 8. P. 27–34. (rus)
21. Nadol'skij V.V., Golicki M., Sikora M., Tur V.V. Sopostavlenie urovnej nadezhnosti, obespechivaemykh normami Rossijskoj Federacii i Evrosoyuza [Comparison of reliability levels provided by the norms of the Russian Federation and the European Union] . *Vestnik MGSU*. 2013. Vol. 6. P. 7–20. DOI: 10.22227/1997-0935.2013.6.7-20. (rus)
22. Nadolski V.V., Holický M., Sýkora M. Comparison of the reliability levels provided by Eurocodes and by standards of the Republic of Belarus . *Vestnik MGSU*. 2013. Vol. 2. C. 7–21.
23. Ditlevsen O., Friis-Hansen P. Life Quality Index an empirical or a normative concept? *International Journal of Risk Assessment and Management*. 2007. Vol. 7. P. 895 - 921. DOI: 10.1504/IJRAM.2007.014666.
24. Pandey M.D., Nathwani J. Life Quality Index for the Estimation of Societal Willingness-to-Pay for Safety. *Structural Safety*. 2004. Vol. 26. 181-199. DOI: 10.1016/j.strusafe.2003.05.001.
25. Holický M. Optimisation of the target reliability for temporary structures . *Civil Engineering and Environmental Systems*. 2013. Vol. 30. No. 2. P. 87-96.
26. Allen D.E. Limit states criteria for structural evaluation of existing buildings. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 1991. Vol. 18. No. 6, P. 995-1004.
27. Steenbergen R., Sýkora M., Diamantidis D., Holický M. Economic and human safety reliability levels for existing structures . *Structural Concrete*. 2015. Vol. 16. No. 3. P. 323-332.
28. Fischer K., Virguez E., Sánchez-Silva M., Faber M.H. On the assessment of marginal life saving costs for risk acceptance criteria. *Structural Safety*. 2013. Vol. 44. P. 37–46. doi: 10.1016/j.strusafe.2013.05.00.

29. Tanner P., Hingorani R. Acceptable risks to persons associated with building structures. *Structural Concrete*. 2015. Vol. 16(3). Pp. 314-22.
30. Sýkora M., Diamantidis D., Holický M., Jung K. Target Reliability for Existing Structures Considering Economic and Societal Aspects . *Structure and Infrastructure Engineering*. 2017. Vol. 13. No. 1. P. 181-194.
31. Eldukair Z.A., Ayyub B.M. Analysis of recent U.S. structural and construction failures . *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 1991. Vol. 5. No. 1. P. 57-73.
32. Steenbergen R.D.J.M., Vrouwenvelder A.C.W.M. Safety philosophy for existing structures and partial factors for traffic loads on bridges. *Heron*. 2010. Vol. 55(2). P. 123 – 139.
33. Vrijling J.K., van Gelder P.H.A.J.M., Ouwenkerk S.J. Criteria for acceptable risk in the Netherlands. *Infrastructure Risk Management Processes*. 2005. pp. 143-157. DOI: 10.1061/9780784408155.ch05.
34. Vrouwenvelder T., Scholten N. Assessment criteria for existing structures . *Structural Engineering International*. 2010. Vol. 20. No. 1, pp. 62-65.
35. Aven T., Heide B. Reliability and validity of risk analysis. *Reliability Engineering & System Safety*. 2009. Vol. 94(11). P. 1862-1868. DOI: 10.1016/j.ress.2009.06.003
36. Cornell C., Jalayar F., Hamburger R., Foutch D. Probabilistic basis for 2000 SAC Federal Emergency Management Agency steel moment frame guidelines. *Journal of Structural Engineering ASCE*. 2002. Vol. 128(4). p. 526–533.

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

ВУ НГОК ТУЕН¹, Н.В. ФЕДОРОВА¹

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
(НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

ДИНАМИЧЕСКИЙ ОТКЛИК ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КАРКАСА ЗДАНИЯ ПРИ СЦЕНАРИИ УДАЛЕНИЯ КОЛОННЫ

***Аннотация.** В статье представлен простой, но эффективный метод оценки динамического отклика железобетонной конструкции при внезапном удалении несущей колонны. Локальная область над разрушенной колонной моделируется в виде двухпролетной балки с сосредоточенной массой m , расположенной в середине балки. Процесс удаления несущей средней колонны моделируется путем снижения значения внутреннего усилия $R(t)$ в данной колонне до нуля за определенный короткий промежуток времени t_r . Основываясь на предложенной модели, находим динамическое перемещение во времени точки, в которой находится сосредоточенная масса. Полученные результаты представляют интерес для решения прикладных задач, связанных с проблемой живучести, защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения, в частности при определении критериев деформативности железобетонных конструкций при особом напряженном состоянии.*

***Ключевые слова:** динамическая оценка, модель с одной степенью свободы (SDOF), удаление колонны, прогрессирующее обрушение, коэффициент динамичности, демпфирование.*

VU NGOC TUYEN¹, N.V. FEDOROVA¹

¹ Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

DYNAMIC RESPONSE OF REINFORCED CONCRETE BUILDING FRAME UNDER COLUMN REMOVAL SCENARIO

***Abstract.** The paper presents a simple but effective method for assessing the dynamic response of a reinforced concrete structure under sudden removal of a load-bearing column. The local region above the failed column is modeled as a two-span beam with a concentrated mass m located in the middle of the beam. The removal process of the load-bearing middle column is modeled by reducing the value of the internal force $R(t)$ in this column to zero in a certain short period of time t_r . Based on the proposed model, we find the dynamic displacement in time of the point where the concentrated mass is located. The obtained results are of interest for solving applied problems related to the problem of survivability, protection of buildings and structures from progressive collapse, in particular in determining the criteria for the deformability of reinforced concrete structures under a special stress state.*

***Keywords:** dynamic response, single-degree-of-freedom (SDOF) model, column-removal scenario, progressive collapse, dynamic amplification factor, damping, column removal time.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kiakojour F., Sheidaii M.R., De Biagi V., Chiaia B. Progressive collapse of structures: A discussion on annotated nomenclature // *Structures*. 2021. №29. С. 1417–1423. DOI:10.1016/J.ISTRUC.2020.12.006.
2. Pearson C., Delatte N. Ronan Point Apartment Tower Collapse and its Effect on Building Codes // *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2005. №2(19). С. 172–177. DOI:10.1061/(ASCE)0887-3828(2005)19:2(172).
3. GSA. Alternate path analysis and design guidelines for progressive collapse resistance. Washington D.C.: General Services Administration, 2016. 203 с.
4. UFC 4-023-03: Design of Buildings to Resist Progressive Collapse, US Department of Defense, Washington, DC USA, 2009.
5. СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения. М.: Минстрой России, 2018. 33 с.
6. Xuan Dat P., Tan K.H. Experimental study of beam–slab substructures subjected to a penultimate-internal column loss // *Engineering Structures*. 2013. №55. С. 2–15. DOI:10.1016/J.ENGSTRUCT.2013.03.026.
7. Qian K., Li B. Performance of Three-Dimensional Reinforced Concrete Beam-Column Substructures under Loss of a Corner Column Scenario // *Journal of Structural Engineering*. 2013. №4(139). С. 584–594. DOI:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000630.
8. Sadek F., Main J.A., Lew H.S., Bao Y. Testing and Analysis of Steel and Concrete Beam-Column Assemblies under a Column Removal Scenario // *Journal of Structural Engineering*. 2011. №9(137). С. 881–892. DOI:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000422.
9. Yi W.J., He Q.F., Xiao Y., Kunnath S.K. Experimental study on progressive collapse-resistant behavior of reinforced concrete frame structures // *ACI Structural Journal*. 2008. №4(105). С. 433–439. DOI:10.14359/19857.
10. Yu J., Tan K.H. Experimental and numerical investigation on progressive collapse resistance of reinforced concrete beam column sub-assemblages // *Engineering Structures*. 2013. №55. С. 90–106. DOI:10.1016/j.engstruct.2011.08.040.
11. Pham A.T., Tan K.H. Static and Dynamic Responses of Reinforced Concrete Structures under Sudden Column Removal Scenario Subjected to Distributed Loading // *Journal of Structural Engineering*. 2018. №1(145). С. 04018235. DOI:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002214.
12. Kai Q., Li B. Dynamic performance of RC beam-column substructures under the scenario of the loss of a corner column—Experimental results // *Engineering Structures*. 2012. №42. С. 154–167. DOI:10.1016/J.ENGSTRUCT.2012.04.016.
13. Yu J., Rinder T., Stolz A., Tan K.-H., Riedel W. Dynamic Progressive Collapse of an RC Assemblage Induced by Contact Detonation // *Journal of Structural Engineering*. 2014. № 6(140). С. 04014014. DOI:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000959.
14. Weng Y.H., Qian K., Fu F., Fang Q. Numerical investigation on load redistribution capacity of flat slab substructures to resist progressive collapse // *Journal of Building Engineering*. 2020. №29. С. 101109. DOI:10.1016/J.JOBE.2019.101109.
15. Pham A.T., Tan K.H., Yu J. Numerical investigations on static and dynamic responses of reinforced concrete sub-assemblages under progressive collapse // *Engineering Structures*. 2017. №149. С. 2–20. DOI:10.1016/j.engstruct.2016.07.042.
16. Yu J., Luo L., Li Y. Numerical study of progressive collapse resistance of RC beam-slab substructures under perimeter column removal scenarios // *Engineering Structures*. 2018. №159. С. 14–27. DOI:10.1016/j.engstruct.2017.12.038.
17. Dusenberry D.O., Hamburger R.O. Practical Means for Energy-Based Analyses of Disproportionate Collapse Potential // *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2006. №4(20). С. 336–348. DOI:10.1061/(ASCE)0887-3828(2006)20:4(336).
18. Vlassis A.G., Izzuddin B.A., Elghazouli A.Y., Nethercot D.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. № 30(5). С. 1308–1318.
19. Liu M., Pirmoz A. Energy-based pulldown analysis for assessing the progressive collapse potential of steel frame buildings // *Engineering Structures*. 2016. №123. С. 372–378. DOI:10.1016/J.ENGSTRUCT.2016.05.020.
20. Tsai M.H. An analytical methodology for the dynamic amplification factor in progressive collapse evaluation of building structures // *Mechanics Research Communications*. 2010. №1(37). С. 61–66. DOI:10.1016/J.MECHRESCOM.2009.11.001.
21. 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. DOI:10.1016/J.ENGFANAL.2017.11.011.

22. Khuyen H.T., Iwasaki E. An approximate method of dynamic amplification factor for alternate load path in redundancy and progressive collapse linear static analysis for steel truss bridges // *Case Studies in Structural Engineering*. 2016. №6. С. 53–62. DOI:10.1016/J.CSSE.2016.06.001.
23. Xu G., Ellingwood B.R. Probabilistic Robustness Assessment of Pre-Northridge Steel Moment Resisting Frames // *Journal of Structural Engineering*. 2011. №9(137). С. 925–934. DOI:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000403.
24. Brunesi E., Parisi F. Progressive collapse fragility models of European reinforced concrete framed buildings based on pushdown analysis // *Engineering Structures*. 2017. №152. С. 579–596. DOI:10.1016/J.ENGSTRUCT.2017.09.043.
25. Weng J., Lee C.K., Tan K.H. Simplified Dynamic Assessment for Reinforced-Concrete Structures Subject to Column Removal Scenarios // *Journal of Structural Engineering*. 2020. №12(146). С. 04020278. DOI:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002833.
26. Yu J., Guo Y. Nonlinear SDOF model for dynamic response of structures under progressive collapse // *Journal of Engineering Mechanics*. 2016. № 142(3).
27. Yu J., Yin C., Guo Y. Nonlinear SDOF Model for Progressive Collapse Responses of Structures with Consideration of Viscous Damping // *Journal of Engineering Mechanics*. 2017. №9(143). С. 04017108. DOI:10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0001339.
28. Kwasniewski L. Nonlinear dynamic simulations of progressive collapse for a multistory building // *Engineering Structures*. 2010. № 5(32). С. 1223–1235. DOI:10.1016/J.ENGSTRUCT.2009.12.048.
29. Song B.I., Sezen H. Experimental and analytical progressive collapse assessment of a steel frame building // *Engineering Structures*. 2013. №56. С. 664–672. DOI:10.1016/J.ENGSTRUCT.2013.05.050.
30. Liu M. A new dynamic increase factor for nonlinear static alternate path analysis of building frames against progressive collapse // *Engineering Structures*. 2013. (№48). С. 666–673. DOI:10.1016/J.ENGSTRUCT.2012.12.011.
31. ATC-40 (Applied Technology Council) Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. Redwood City: CA, 1996.
32. Priestley M.J.N., Grant D.N. Viscous damping in seismic design and analysis // *Journal of earthquake engineering*. 2005. №2(9). С. 229–255. DOI:10.1142/S1363246905002365.
33. Blandon C.A., Priestley M.J.N. Equivalent viscous damping equations for direct displacement based design // *Journal of earthquake engineering*. 2005. №2(9). С. 257–278. DOI:10.1142/S1363246905002390.
34. Liu T., Zhang Q. AP/VP specific equivalent viscous damping model for base-isolated buildings characterized by SDOF systems // *Engineering Structures*. 2016. №111. С. 36–47. DOI:10.1016/J.ENGSTRUCT.2015.12.024.
35. Chopra A.K. Dynamics of structures. Pearson Education India, 2007. 994 с.

REFERENCES

1. Kiakojour, F., Sheidai, M.R., De Biagi, V., Chiaia, B. Progressive collapse of structures: A discussion on annotated nomenclature. *Structures*. 2021. No. 29. Pp. 1417–1423. DOI:10.1016/J.ISTRUC.2020.12.006.
2. Pearson, C., Delatte, N. Ronan Point Apartment Tower Collapse and its Effect on Building Codes. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2005. Vol. 19. No. 2. Pp. 172–177. DOI:10.1061/(ASCE)0887-3828(2005)19:2(172).
3. GSA. Alternate path analysis and design guidelines for progressive collapse resistance. Washington D.C., General Services Administration, 2016. 203 p.
4. UFC 4-023-03: Design of Buildings to Resist Progressive Collapse, US Department of Defense, Washington, DC USA, 2009. 244 p.
5. SP, 385.1325800.2018. Protection of buildings and structures from progressive collapse. Design rules. Basic provisions. M., Ministry of Construction of Russia, 2018. 33 p. (rus)
6. Xuan Dat, P., Tan, K.H. Experimental study of beam–slab substructures subjected to a penultimate-internal column loss. *Engineering Structures*. 2013. No. 55. Pp. 2–15. DOI:10.1016/J.ENGSTRUCT.2013.03.026.
7. Qian, K., Li, B. Performance of Three-Dimensional Reinforced Concrete Beam-Column Substructures under Loss of a Corner Column Scenario. *Journal of Structural Engineering*. 2013. Vol. 139. No. 4. Pp. 584–594. DOI:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000630.
8. Sadek, F., Main, J.A., Lew, H.S., Bao, Y. Testing and Analysis of Steel and Concrete Beam-Column Assemblies under a Column Removal Scenario. *Journal of Structural Engineering*. 2011. Vol. 137. No. 9. Pp. 881–892. DOI:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000422.
9. Yi, W.J., He, Q.F., Xiao, Y., Kunnath, S.K. Experimental study on progressive collapse-resistant behavior of reinforced concrete frame structures. *ACI Structural Journal*. 2008. Vol. 105. No. 4. Pp. 433–439. DOI:10.14359/19857.
10. Yu, J., Tan, K.H. Experimental and numerical investigation on progressive collapse resistance of reinforced concrete beam column sub-assemblages. *Engineering Structures*. 2013. No. 55. Pp. 90–106. DOI:10.1016/j.engstruct.2011.08.040.

11. Pham, A.T., Tan, K.H. Static and Dynamic Responses of Reinforced Concrete Structures under Sudden Column Removal Scenario Subjected to Distributed Loading. *Journal of Structural Engineering*. 2018. Vol. 145. No. 1. DOI:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002214.
12. Kai, Q., Li, B. Dynamic performance of RC beam-column substructures under the scenario of the loss of a corner column—Experimental results. *Engineering Structures*. 2012. No. 42. Pp. 154–167. DOI:10.1016/J.ENGSTRUCT.2012.04.016.
13. Yu, J., Rinder, T., Stolz, A., Tan, K.-H., Riedel, W. Dynamic Progressive Collapse of an RC Assemblage Induced by Contact Detonation. *Journal of Structural Engineering*. 2014. Vol. 140. No. 6. DOI:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000959.
14. Weng, Y.H., Qian, K., Fu, F., Fang, Q. Numerical investigation on load redistribution capacity of flat slab substructures to resist progressive collapse. *Journal of Building Engineering*. 2020. No. 29. DOI:10.1016/J.JOBE.2019.101109.
15. Pham, A.T., Tan, K.H., Yu, J. Numerical investigations on static and dynamic responses of reinforced concrete sub-assemblages under progressive collapse. *Engineering Structures*. 2017. No. 149. Pp. 2–20. DOI:10.1016/j.engstruct.2016.07.042.
16. Yu, J., Luo, L., Li, Y. Numerical study of progressive collapse resistance of RC beam-slab substructures under perimeter column removal scenarios. *Engineering Structures*. 2018. No. 159. Pp. 14–27. DOI:10.1016/j.engstruct.2017.12.038.
17. Dusenberry, D.O., Hamburger, R.O. Practical means for energy-based analyses of disproportionate collapse potential. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2006. Vol. 20. No. 4. Pp. 336–348. DOI:10.1061/(ASCE)0887-3828(2006)20:4(336).
18. Vlassis, A.G., Izzuddin, B.A., Elghazouli, A.Y., Nethercot, D.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. Vol. 30. No. 5. Pp. 1308–1318. DOI:10.1016/j.engstruct.2007.07.011
19. Liu, M., Pirmoz, A. Energy-based pulldown analysis for assessing the progressive collapse potential of steel frame buildings. *Engineering Structures*. 2016. No. 123. Pp. 372–378. DOI:10.1016/J.ENGSTRUCT.2016.05.020.
20. Tsai, M.H. An analytical methodology for the dynamic amplification factor in progressive collapse evaluation of building structures. *Mechanics Research Communications*. 2010. Vol. 37. No. 1. Pp. 61–66. DOI:10.1016/J.MECHRESCOM.2009.11.001.
21. Amiri, S., Saffari, H., Mashhadi, J. Assessment of dynamic increase factor for progressive collapse analysis of RC structures. *Engineering Failure Analysis*. 2018. No. 84. Pp. 300–310. DOI:10.1016/J.ENGFAILANAL.2017.11.011.
22. Khuyen, H.T., Iwasaki, E. An approximate method of dynamic amplification factor for alternate load path in redundancy and progressive collapse linear static analysis for steel truss bridges. *Case Studies in Structural Engineering*. 2016. No. 6. Pp. 53–62. DOI:10.1016/J.CSSE.2016.06.001.
23. Xu, G., Ellingwood, B.R. Probabilistic Robustness Assessment of Pre-Northridge Steel Moment Resisting Frames. *Journal of Structural Engineering*. 2011. Vol. 137. No. 9. Pp. 925–934. DOI:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000403.
24. Brunesi, E., Parisi, F. Progressive collapse fragility models of European reinforced concrete framed buildings based on pushdown analysis. *Engineering Structures*. 2017. No. 152. Pp. 579–596. DOI:10.1016/J.ENGSTRUCT.2017.09.043.
25. Weng, J., Lee, C.K., Tan, K.H. Simplified Dynamic Assessment for Reinforced-Concrete Structures Subject to Column Removal Scenarios. *Journal of Structural Engineering*. 2020. Vol. 146. No. 12. DOI:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002833.
26. Yu, J., Guo, Y. Nonlinear SDOF model for dynamic response of structures under progressive collapse. *Journal of Engineering Mechanics*. 2016. Vol. 142. No. 3. DOI:10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0001031.
27. Yu, J., Yin, C., Guo, Y. Nonlinear SDOF Model for Progressive Collapse Responses of Structures with Consideration of Viscous Damping. *Journal of Engineering Mechanics*. 2017. Vol. 143. No. 9. DOI:10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0001339.
28. Kwasniewski, L. Nonlinear dynamic simulations of progressive collapse for a multistory building. *Engineering Structures*. 2010. Vol. 32. No. 5. Pp. 1223–1235. DOI:10.1016/J.ENGSTRUCT.2009.12.048.
29. Song, B.I., Sezen, H. Experimental and analytical progressive collapse assessment of a steel frame building. *Engineering Structures*. 2013. No. 56. Pp. 664–672. DOI:10.1016/J.ENGSTRUCT.2013.05.050.
30. Liu, M. A new dynamic increase factor for nonlinear static alternate path analysis of building frames against progressive collapse. *Engineering Structures*. 2013. No. 48. Pp. 666–673. DOI:10.1016/J.ENGSTRUCT.2012.12.011.
31. ATC-40 (Applied Technology Council) Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. Redwood City, CA, 1996.
32. Priestley, M.J.N., Grant, D.N. Viscous damping in seismic design and analysis. *Journal of earthquake engineering*. Vol. 9. No. 2. Pp. 229–255. DOI:10.1142/S1363246905002365.

33. Blandon, C.A., Priestley, M.J.N. Equivalent viscous damping equations for direct displacement based design. *Journal of earthquake engineering*. 2005. Vol. 9. No. 2. Pp. 257–278. DOI:10.1142/S1363246905002390.
34. Liu, T., Zhang, Q. AP/VP specific equivalent viscous damping model for base-isolated buildings characterized by SDOF systems. *Engineering Structures*. 2016. No. 111. Pp. 36–47. DOI:10.1016/J.ENGSTRUCT.2015.12.024.
35. Chopra, A.K. Dynamics of structures. Pearson Education India, 2007. 994 p.

Информация об авторах

Ву Нгок Туен

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры фундаментального образования,
E-mail: WuNgokTuen@gic.mgsu.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

Information about authors

Vu Ngoc Tuyen

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Fundamental Education,
E-mail: WuNgokTuen@gic.mgsu.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

С.В. РАСТОРГУЕВ¹¹ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», Ярославль, Россия

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ИСТОРИИ АРХИТЕКТУРЫ НА ОСНОВЕ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Цифровые технологии и искусственный интеллект становятся всё более актуальными в различных областях человеческой деятельности, в частности, в научных исследованиях. Если говорить об истории архитектуры, то технологии расширенной реальности (AR/VR) и 3D моделирования только начинают апробироваться в этом разделе науки. Ставка делается на 3D реконструкцию как отдельных исторических памятников, так и более крупных объектов. В статье описываются способы 3D реконструкции – ручное моделирование, различные варианты 3D сканирования, в том числе фотограмметрический метод. Оцениваются возможности привлечения искусственного интеллекта для развития технологии. Рассматриваются способы воссоздания в цифровой среде сложных архитектурных комплексов вплоть до городов применительно к разным историческим эпохам. Как отдельная ветка исследования приводится вариант реконструкции нереализованных архитектурных проектов известных авторов. В качестве рабочих примеров приводятся цифровые 3D модели Москвы нач. XIX и XX веков, Санкт-Петербурга нач. XVIII века, Ярославля нач. XX века и альтернативной модели Москвы с реализованными объектами Русского авангарда нач. XX века и генплана 1935 г. Оцениваются перспективы дальнейшего развития описываемой технологии.

Ключевые слова: памятник архитектуры, 3D моделирование, расширенная реальность, фотограмметрия, 3D город, авангард, альтернативная история.

S.V. RASTORGUEV¹¹Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

METHODS OF STUDYING THE HISTORY OF ARCHITECTURE BASED ON 3D MODELING

Abstract. Digital technologies and artificial intelligence are becoming increasingly relevant in various areas of human activity, in particular, in scientific research. If we talk about the history of architecture, then the technologies of extended reality (AR/VR) and 3D modeling are just beginning to be tested in this section of science. The focus is on 3D reconstruction of both individual historical monuments and larger objects. The article considers 3D reconstruction methods – manual modeling and various 3D scanning options, including the photogrammetric method. Artificial intelligence can also be used in different ways to advance technology. The article examines methods for recreating complex architectural objects, including cities, in a digital environment, in relation to different historical eras. As a separate area of research, a variant of reconstruction of unrealized architectural projects of famous authors is given. As working examples, digital 3D models of Moscow of the early 19th and 20th centuries, St. Petersburg of the early 18th century, Yaroslavl of the early 20th century and an alternative model of Moscow with implemented objects of the Russian avant-garde of the early 20th century and the general plan of 1935 are given. The prospects for further development of the described technology are assessed.

Keywords: architectural monument, 3D modeling, extended reality, photogrammetry, 3D city, avant-garde, alternative history.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Строганова Л. А., Веретенникова А. А. Применение иммерсивных технологий в дизайне и архитектуре // Состояние, проблемы и перспективы развития современных социально-экономических процессов. Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2021. С. 63-78.
2. Чистяков А.В. Интерактивное виртуальное прототипирование в архитектурном проектировании // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Т. 17. №. 4. С. 74-78. DOI: 10.14529/build170411
3. Руденко, М.П. Способы виртуальной реконструкции памятников архитектуры // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. 2015. № 1-2(8-9). С. 110-117. EDN XSASKP.
4. Herold H., Hecht R. 3D reconstruction of urban history based on old maps // Digital Research and Education in Architectural Heritage: 5th Conference, DECH 2017, and First Workshop, UHDL 2017, Dresden, Germany, March 30-31, 2017, Revised Selected Papers 1. Springer International Publishing, 2018. С. 63-79. DOI: 10.1007/978-3-319-76992-9_5
5. Хапаев В.В., Бацура И.В. Компьютерная 3D реконструкция античного и средневекового города Херсонес Таврический: опыт, проблемы и перспективы // Историческая информатика. 2018. № 4. С. 39-56. DOI: 10.7256/2585-7797.2018.4.28489
6. Бородкин Л.И. и др. Виртуальная реконструкция Московского Страстного монастыря (XVII-XX вв.): комплексное использование технологий 3D-моделирования // Информационный бюллетень ассоциации История и компьютер. 2015. № 44. С. 8-12. EDN YMJPPU.
7. Маландина Т.В. Виртуальная 3D-реконструкция интерьеров подмосковных усадеб XVIII – начала XX веков: парадные интерьеры усадебного комплекса Никольское-Урюпино // Историческая информатика. 2021. № 2. С. 134-170. DOI: 10.7256/2585-7797.2021.2.36029
8. Notre Dame Cathedral's restoration is imagined through digital scans by architectural historian Andrew Tallon [Электронный ресурс]. URL: <https://archinect.com/news/article/150132307/notre-dame-cathedral-s-restoration-is-imagined-through-digital-scans-by-architectural-historian-andrew-tallon> (дата обращения: 8.08.2024).
9. Ledoux H, Biljecki F, Dukai B, Kumar K, Peters RY, Stoter JE et al. 3dfier: automatic reconstruction of 3D city models. // Journal of Open Source Software. 2021. №6(57) Article 2866. DOI: 10.21105/joss.02866
10. Pompeii - a 3DRevival — Lund University [Электронный ресурс]. URL: <https://portal.research.lu.se/en/projects/pompeii-a-3d-revival> (дата обращения: 8.08.2024).
11. The real history behind the most impressive landmarks in Assassin's Creed Origins [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pcgamer.com/the-real-history-behind-the-most-impressive-landmarks-in-assassins-creed-origins/> (дата обращения: 8.08.2024).
12. L. Ragia, F. Sarri and K. Mania. 3D reconstruction and visualization of alternatives for restoration of historic buildings: A new approach. // 1st International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management (GISTAM), Barcelona, Spain, 2015, pp. 1-9.
13. В Белокаменном подклете Старого Английского двора откроется выставка «Зарядье. Архивы возможного» // Сайт мэра Москвы [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mos.ru/news/item/129328073/> (дата обращения: 8.08.2024).
14. Ярградфорум и 3D Ярославль. Новости Vimania [Электронный ресурс]. URL: <https://vimania.ru/w/blog/2022/08/25/> (дата обращения: 10.08.2024).
15. 3D Москва, утраченная или невоплощённая. Дзен.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://dzen.ru/a/ZkIKvL5L0A2WZtpR> (дата обращения: 10.08.2024).
16. Корнев В.И. Использование цифровых технологий и 3D-моделирования в градостроительной деятельности (на примере города Томска) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 70-82. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-70-82
17. Buyukdemircioglu M., Kocaman S. Reconstruction and efficient visualization of heterogeneous 3D city models // Remote Sensing. 2020. Т. 12. №. 13. С. 2128. DOI: 10.3390/rs12132128
18. Yilmaz H. M. et al. Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage // Journal of Cultural Heritage. 2007. Т. 8. №. 4. С. 428-433. DOI: 10.1016/j.culher.2007.07.004
19. Шестопалова О.Л., Шестопалов Р.П. Об интеграции ВМ-технологии информационного моделирования зданий с методами фотограмметрии при построении цифровых моделей объектов в архитектурно-строительной отрасли // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. №. 8. С. 138-143. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-8-138-144
20. Гарифуллин А.Р., Майоров Н.Д., Фролов В.А. Дифференцируемые процедурные модели для реконструкции 3D-моделей по одному изображению // Графикон-конференции по компьютерной графике и зрению. 2023. Т. 33. С. 14-24.
21. Croce V. et al. H-BIM and artificial intelligence: classification of architectural heritage for semi-automatic scan-to-BIM reconstruction // Sensors. 2023. Т. 23. №. 5. С. 2497. DOI: 10.3390/s23052497
22. Bifrost for Autodesk Maya 2025. Autodesk [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autodesk.com/products/maya/bifrost> (дата обращения: 8.08.2024).

23. NVIDIA RTX GPU ускоряют новые алгоритмы ИИ в Adobe Substance Alchemist и Blender [Электронный ресурс]. URL: <https://render.ru/ru/news/post/18206> (дата обращения: 8.08.2024).
24. 3 essential ZBrush retopology techniques. TheFastCode [Электронный ресурс]. URL: <https://www.thefastcode.com/en-try/article/3-essential-zbrush-retopology-techniques> (дата обращения: 8.08.2024).
25. Jie S., Zhixin L. I., Wenyuan Z. Recent progress in large-scale 3D city modeling // *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*. 2019. Т. 48. №. 12. С. 1523. DOI: 10.11947/j.AGCS.2019.20190471
26. Lei, B., Stouffs, R., & Biljecki, F. (2022). Assessing and benchmarking 3D city models. // *International Journal of Geographical Information Science*, 37(4), 788–809. DOI: 10.1080/13658816.2022.2140808
27. Собрание фасадов, Его Императорским Величеством Высочайше апробованных для частных строений в городах Российской Империи. 1809—[1812] года. Части I—V. С.-Петербург, 1809—1812. 287 с.
28. Biljecki F., Ledoux H., Stoter J. Generating 3D city models without elevation data // *Computers, Environment and Urban Systems*. 2017. Т. 64. С. 1-18. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2017.01.001
29. Plan de Moscou - Plan von Moskau v.2 1:10K 1812. Retromap [Электронный ресурс]. URL: https://retromap.ru/0818125_0420092_55.751776,37.611501 (дата обращения: 8.08.2024).
30. Виды Москвы в гравюрах 19 века. Дом Н.В. Гоголя - мемориальный музей и научная библиотека [Электронный ресурс]. URL: <https://gogol.museum-online.moscow/entity/ALBUM/3557470> (дата обращения: 8.08.2024).
31. PastVu - ретроспектива среды обитания человечества: [Электронный ресурс]. URL: <https://pastvu.com/> (дата обращения: 8.08.2024).
32. 3D-модель Москвы 1812-1912 гг. Портал «Архитектура и энтропия» [Электронный ресурс]. URL: <https://cih.ru/lb/index.html> (дата обращения: 10.08.2024).
33. Исчезнувшие достопримечательности Ярославля. Журнал «ЦИХ journal» [Электронный ресурс]. URL: <https://cih.ru/j3/726.html> (дата обращения: 10.08.2024).
34. Москва, которой не было, 1920—1970. Портал «Архитектура и энтропия» [Электронный ресурс]. URL: <https://cih.ru/lb/m2.html> (дата обращения: 10.08.2024).
35. Мастер, Маргарита и Москва, которой не было. Дзен.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://dzen.ru/a/Zcuijvq3VBaFpRs> (дата обращения: 10.08.2024).

REFERENCES

1. Stroganova L.A., Veretennikova A.A. *Primeneniye immersivnykh tekhnologiy v dizayne i arkhitekture* [Application of immersive technologies in design and architecture] *State, problems and prospects for the development of modern socio-economic processes*. Petrozavodsk: MCNP "New Science", 2021. Pp. 63-78. (rus).
2. Chistyakov A.V. *Interaktivnoye virtual'noye prototipirovaniye v arkhitekturnom proyektirovani* [Interactive virtual prototyping in architectural design] *Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction and architecture*. 2017. Vol. 17. No. 4. Pp. 74-78. (rus). DOI: 10.14529/build170411
3. Rudenko, M.P. *Sposoby virtual'noy rekonstruktsii pamyatnikov arkhitektury* [Methods of virtual reconstruction of architectural monuments] *Systems analysis and information technologies in the sciences of nature and society*. 2015. No. 1-2 (8-9). Pp. 110-117. (rus). EDN XSASKP
4. Herold H., Hecht R. 3D reconstruction of urban history based on old maps. *Digital Research and Education in Architectural Heritage: 5th Conference, DECH 2017, and First Workshop, UHDL 2017, Dresden, Germany, March 30-31, 2017, Revised Selected Papers 1*. Springer International Publishing, 2018. Pp. 63-79. DOI: 10.1007/978-3-319-76992-9_5
5. Khapaev V.V., Batsura I.V. *Komp'yuternaya 3D rekonstruktsiya antichnogo i srednevekovogo goroda Khersones Tavricheskiy: opyt, problemy i perspektivy* [Computer 3D reconstruction of the ancient and medieval city of Tauric Chersonesos: experience, problems and prospects] *Historical informatics*. 2018. No. 4. Pp. 39-56. (rus). DOI: 10.7256/2585-7797.2018.4.28489
6. Borodkin L.I. et al. *Virtual'naya rekonstruktsiya Moskovskogo Strastnogo monastyrya (XVII-XX vv.): kompleksnoye ispol'zovaniye tekhnologiy 3D-modelirovaniya* [Virtual reconstruction of the Moscow Passion Monastery (XVII-XX centuries): complex use of 3D modeling technologies] *Information bulletin of the History and Computer association*. 2015. No. 44. Pp. 8-12. (rus). EDN YMJPPU.
7. Malandina T.V. *Virtual'naya 3D-rekonstruktsiya inter'yerov podmoskovnykh usadeb XVIII – nachala XX vekov: paradnyye inter'yery usadebnogo kompleksa Nikol'skoye-Uryupino* [Virtual 3D reconstruction of the interiors of Moscow region estates of the 18th – early 20th centuries: ceremonial interiors of the Nikolskoye-Uryupino estate complex]. *Historical informatics*. 2021. No. 2. Pp. 134-170. (rus). DOI: 10.7256/2585-7797.2021.2.36029
8. Notre Dame Cathedral's restoration is imagined through digital scans by architectural historian Andrew Tallon [Online]. URL: <https://archinect.com/news/article/150132307/notre-dame-cathedral-s-restoration-is-imagined-through-digital-scans-by-architectural-historian-andrew-tallon> (date of application: 8.08.2024).

9. Ledoux H, Biljecki F, Dukai B, Kumar K, Peters RY, Stoter JE et al. 3dfier: automatic reconstruction of 3D city models. *Journal of Open Source Software*. 2021. No. 6 (57) Article 2866. DOI: 10.21105/joss.02866
10. Pompeii - a 3DRevival. Lund University [Online]. URL: <https://portal.research.lu.se/en/projects/pompeii-a-3d-revival> (date of application: 8.08.2024).
11. The real history behind the most impressive landmarks in Assassin's Creed Origins [Online]. URL: <https://www.pcgamer.com/the-real-history-behind-the-most-impressive-landmarks-in-assassins-creed-origins/> (date of application: 8.08.2024).
12. L. Ragia, F. Sarri and K. Mania. 3D reconstruction and visualization of alternatives for restoration of historic buildings: A new approach. 1st International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management (GISTAM), Barcelona, Spain, 2015, pp. 1-9.
13. V Belokamennom podklete Starogo Angliyskogo dvora otkroyetsya vystavka «Zaryad'ye. Arkhivy vozmozhnogo» [The exhibition "Zaryadye. Archives of the Possible" will open in the White Stone Basement of the Old English Court]. Moscow Mayor's Website (rus). [Online]. URL: <https://www.mos.ru/news/item/129328073/> (date of application: 8.08.2024).
14. Yargradforum i 3D Yaroslavl' [Yargradforum and 3D Yaroslavl] Vimania News (rus). [Online]. URL: <https://vimania.ru/w/blog/2022/08/25/> (date of application: 10.08.2024).
15. 3D Moskva, uteryannaya ili nevoploshchonnaya [3D Moscow, lost or unrealized]. Dzen.ru (rus). [Online]. URL: <https://dzen.ru/a/ZkIKvL5L0A2WZtpR> (date of application: 10.08.2024).
16. Korenev V.I. Ispol'zovaniye tsifrovyykh tekhnologiy i 3D-modelirovaniya v gradostroitel'noy deyatel'nosti (na primere goroda Tomsk) [Use of digital technologies and 3D modeling in urban planning activities (on the example of the city of Tomsk)]. *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2020. Vol. 22. No. 6. Pp. 70-82 (rus). DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-70-82
17. Buyukdemircioglu M., Kocaman S. Reconstruction and efficient visualization of heterogeneous 3D city models. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. No. 13. Article 2128. DOI: 10.3390/rs12132128
18. Yilmaz H. M. et al. Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*. 2007. Vol. 8. No. 4. Pp. 428-433. DOI: 10.1016/j.culher.2007.07.004
19. Shestopalova O.L., Shestopalov R.P. Ob integratsii BIM-tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya zdaniy s metodami fotogrammetrii pri postroyenii tsifrovyykh modeley ob'yektov v arkhitekturno-stroitel'noy otrasli [On the integration of BIM technology for building information modeling with photogrammetry methods in the construction of digital models of objects in the architectural and construction industry]. *Bulletin of Tula State University. Technical sciences*. 2022. No. 8. Pp. 138-143 (rus). DOI: 10.24412/2071-6168-2022-8-138-144
20. Garifullin A.R., Mayorov N.D., Frolov V.A. Differentsiruyemyye protsedurnyye modeli dlya rekonstruktsii 3D-modeley po odnomu izobrazheniyu [Differentiable procedural models for reconstruction of 3D models from a single image]. *Graphicon conferences on computer graphics and vision*. 2023. Vol. 33. Pp. 14-24 (rus).
21. Croce V. et al. H-BIM and artificial intelligence: classification of architectural heritage for semi-automatic scan-to-BIM reconstruction. *Sensors*. 2023. Vol. 23. No. 5. Article 2497. DOI: 10.3390/s23052497
22. Bifrost for Autodesk Maya 2025. Autodesk [Online]. URL: <https://www.autodesk.com/products/maya/bifrost> (date of application: 8.08.2024).
23. NVIDIA RTX GPU uskoryayut novyye algoritmy II v Adobe Substance Alchemist i Blender [NVIDIA RTX GPUs Accelerate New AI Algorithms in Adobe Substance Alchemist and Blender] (rus). [Online]. URL: <https://render.ru/ru/news/post/18206> (date of application: 8.08.2024).
24. 3 essential ZBrush retopology techniques. TheFastCode [Online]. URL: <https://www.thefastcode.com/entry/article/3-essential-zbrush-retopology-techniques> (date of application: 8.08.2024).
25. Jie S., Zhixin L. I., Wenyuan Z. Recent progress in large-scale 3D city modeling. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*. 2019. Vol. 48. No. 12. Article 1523. DOI: 10.11947/j.AGCS.2019.20190471
26. Lei, B., Stouffs, R., & Biljecki, F. Assessing and benchmarking 3D city models. *International Journal of Geographical Information Science*, 2022. 37(4), 788–809. DOI: 10.1080/13658816.2022.2140808
27. Sobraniye fasadov, Yego Imperatorskim Velichestvom Vysochayshe aprobovannykh dlya chastnykh stroyeniy v gorodakh Rossiyskoy Imperii [Collection of facades, approved by His Imperial Majesty for private buildings in the cities of the Russian Empire]. 1809-[1812]. Parts I-V. St. Petersburg, 1809-1812. 287 p.
28. Biljecki F., Ledoux H., Stoter J. Generating 3D city models without elevation data. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2017. Vol. 64. Pp. 1-18. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2017.01.001
29. Moscow Plan - Plan von Moskau v.2 1:10K 1812. Retromap [Online]. URL: https://retromap.ru/0818125_0420092_55.751776,37.611501 (date of application: 8.08.2024).
30. Vidy Moskvyy v gravyrakh 19 veka. Dom N.V. Gogolya - memorial'nyy muzey i nauchnaya biblioteka [Views of Moscow in 19th century engravings. N.V. Gogol's House - memorial museum and scientific library] (rus). [Online]. URL: <https://gogol.museum-online.moscow/entity/ALBUM/3557470> (date of application: 8.08.2024).
31. PastVu - retrospektiva sredey obitaniya chelovechestva [PastVu - A Retrospective of Human Habitat] (rus). [Online]. URL: <https://pastvu.com/> (date of application: 8.08.2024).
32. 3D-model' Moskvyy 1812-1912 gg. [3D model of Moscow 1812-1912]. Portal "Architecture and Entropy" (rus). [Online]. URL: <https://cih.ru/lb/index.html> (date of application: 10.08.2024).

33. Ischeznuvshiye dostoprimechatel'nosti Yaroslavlya [Disappeared landmarks of Yaroslavl]. "СИН journal" (rus). [Online]. URL: <https://cih.ru/j3/726.html> (date of application: 10.08.2024).
34. Moskva, kotoroy ne bylo, 1920—1970. [Moscow That Never Was, 1920-1970] Portal "Architecture and Entropy" (rus). [Online]. URL: <https://cih.ru/lb/m2.html> (date of application: 10.08.2024).
35. Master, Margarita i Moskva, kotoroy ne bylo [The Master, Margarita and the Moscow That Never Was]. Dzen.ru (rus). [Online]. URL: <https://dzen.ru/a/Zcuijvq3VBaFpRs> (date of application: 10.08.2024).

Информация об авторе

Расторгуев Семён Васильевич

Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Россия,
Старший преподаватель кафедры «Архитектура», основатель и главный редактор ведущего российского интернет-портала о концептуальной и футуристической архитектуре.

Information about author

Rastorguev Semyon V.

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia,
Senior Lecturer, Department of Architecture, founder and editor-in-chief of the leading Russian Internet portal on conceptual and futuristic architecture.

А.А. БАРУЗДИН¹, Л.В. ЗАКРЕВСКАЯ¹

¹Владимирский Государственный Университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия

РЕЦИКЛИНГ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Разработано технологическое решение обеспечивающее получение композиционного строительного материала на основе отходов сшитого полиэтилена и боя керамического кирпича. Выявлен характер влияния сшитого полиэтилена на прочностные и деформативные характеристики композита. Проведено сравнение характера разрушения композитов на основе полиэтиленовых гранул, отходов сшитого полиэтилена, кастробетона и традиционного бетона. Выявлено, что характер разрушения предлагаемых композитов больше соответствует традиционному бетону, при этом предел прочности на сжатие составляет 20-40 МПа в зависимости от содержания сшитого полиэтилена. Оценена адгезия заполнителя в виде сшитого полиэтилена к цементной матрице. Установлено, что заполнитель в виде сшитого полиэтилена обладает хорошим сцеплением с цементной матрицей за счет неправильной формы частиц, шероховатости поверхности и наличия в составе сшитого полиэтилена технического углерода. Измеренное значение адгезии поверхности частиц сшитого полиэтилена к цементной матрице составило 0,98 МПа, что сопоставимо с адгезией цементной матрицы к полированной поверхности каменных заполнителей. Дано объяснение формированию гетерогенной прочной структуры за счет механического и химического взаимодействия компонентов.

Ключевые слова: рециклинг, сшитый полиэтилен, кирпичный бой, прочность, модуль деформации, характер разрушения, адгезия.

A.A. BARUZDIN¹, L.V. ZAKREVSKAYA¹

¹ Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov, Vladimir, Russia

RECYCLING OF CROSS-LINKED POLYETHYLENE TO CREATE COMPOSITE BUILDING MATERIALS

Abstract. A technological solution of the production of composite building material based on waste cross-linked polyethylene and ceramic brick has been developed. The nature of the influence of cross-linked polyethylene on the strength and deformation characteristics of the composite is revealed. The nature of the destruction of composites based on polyethylene granules, waste of cross-linked polyethylene, hempcrete and traditional concrete is compared. It was revealed that the nature of the destruction of the proposed composites corresponds more to traditional concrete than to hempcrete, while the compressive strength is 20-40 MPa, depending on the content of crosslinked polyethylene. The adhesion of the aggregate in the form of cross-linked polyethylene to the cement matrix was evaluated. It was found that the aggregate in the form of cross-linked polyethylene has good adhesion to the cement matrix due to the irregular shape of the particles, surface roughness and the presence of carbon black in the composition of cross-linked polyethylene. The measured value of adhesion of the surface of cross-linked polyethylene particles to the cement matrix was 0.98 MPa, which is comparable to the adhesion of the cement matrix to the polished surface of natural aggregates. An explanation for the formation of a heterogeneous durable structure due to the physical and chemical interaction of the components is given.

Keywords: recycling, cross-linked polyethylene, brick scrap, strength, modulus of deformation, nature of destruction, adhesion.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафин Р.Г., Степанов В.В., Хайруллина Э.Р., Гайнуллина А.А., Степанова Т.О. Современные строительные композиционные материалы на основе древесных отходов. // Вестник Казанского технологического университета. 2014. С.123-128.
2. Бакатович А.А., Давыденко Н.В., Должонок А.В. Стеновые материалы на основе соломы и костры льна с высокими теплоизоляционными свойствами. // Вестник Полоцкого государственного университета. 2016. №8. С.28-32.
3. Salim K., Houssam A., Belaid A., Brahim H. Reinforcement of building plaster by waste plastic and glass // ICSI 2019 The 3rd International Conference on Structural Integrity. 2019. pP. 170-176.
4. Сиков Н.Е., Серёгин А.И., Юркин Ю.В. Использование пластиковых отходов в качестве заполнителя в цементном растворе и при изготовлении бетона. // Инженерный вестник Дона. № 8. 2022.
5. M.J. Islam, I.A. Dipta, Md. Rahat. Investigation of recycled poly-ethylene terephthalate (PET) as partial replacement of coarse aggregate in concrete // Journal of Civil Engineering (IEB). 2018. No. 46. Pp. 11-20.
6. KouS.C., LeeG., PoonC.S., Lai W.L. Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes // Waste management. 2009. No.29. Pp. 621–629.
7. Chernouti Y., Rabehi B. Strength and durability of mortar made with plastic bag waste (MPBW) // International Journal of Concrete Structures and materials. Vol.6. No.3.
8. Чалов К.В., Луговой Ю.В., Косивцов Ю.Ю., Сульман Э.М. Исследование кинетики термодеструкции сшитого полиэтилена. // Бюллетень науки и практики. 2019. Т.5. №12. С.37-46.
9. Zéhila G.-Ph., Assaad J.J. Feasibility of concrete mixtures containing cross-linked polyethylene waste materials // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 226. Pp. 1-10.
10. Яковлев Г.И., Гордина А.Ф., Саидова З.С., Бгунова Е.В. Влияние дисперсий технического углерода на свойства мелкозернистого бетона. // Строительные материалы. 2018. С. 89-92.
11. Сарайкина К.А., Голубев В.А., Яковлев Г.И., Федорова Г.Д., Александров Г.Н., Плеханова Т.А., Дулесова И.Г. Модификация базальтофибробетона нанодисперсными системами. // Строительные материалы. 2015. №10. С.64-69.
12. Frigione M. Recycling of PET Bottles as fine aggregate in concrete // Waste Management. 2010. No.30 Pp.1101-1106.
13. Значко-Яворский И.Л. Очерки истории вяжущих веществ от древнейших времен до середины XIX века: Монография – Москва-Ленинград: Издательство академии наук СССР, 1963. 500с.
14. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества: Учеб. – Москва: Издательство литературы по строительству, 1966. 406 с.
15. Каримов И.Ш. Прочность сцепления цементного камня с заполнителями в бетоне и факторы влияющие на нее. // Технологии бетонов. 2013. №4. С.28-31.
16. Несветаев Г.В. Ву Л.К. Модель для оценки сцепления цементного камня с заполнителем по величине предела прочности бетона при осевом растяжении // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2017. Том 9. №3.

REFERENCES

1. Safin R.G., Stepanov V.V., Hajrullina E.R., Gajnullina A.A., Stepanova T.O. Sovremennyye stroitel'nyye kompozitsionnyye materialy na osnove drevesnykh othodov [Modern construction composite materials based on wood waste] *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2014. Pp.123-128. (rus)
2. Bakatovich A.A., Davydenko N.V., Dolzhonok A.V. Stenovyye materialy na osnove solomy i kostry l'na s vysokimi teploizolyatsionnymi svoystvami [Flax straw-based wall materials with high thermal insulation properties] *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta*. 2016. No.8. Pp.28-32. (rus)
3. Salim K., Houssam A., Belaid A., Brahim H. Reinforcement of building plaster by waste plastic and glass // *ICSI 2019 The 3rd International Conference on Structural Integrity*. 2019. Pp. 170-176.
4. Sikov N.E., Seryogin A.I., Yurkin Yu.V. Ispol'zovanie plastikovykh othodov v kachestve zapolnitelya v cementnom rastvore i prigotovlenii betona [The use of plastic waste as an aggregate in cement mortar and concrete preparation] *Inzhenernyy vestnik Dona*. No. 8. 2022. (rus)
5. M.J. Islam, I.A. Dipta, Md. Rahat. Investigation of recycled poly-ethylene terephthalate (PET) as partial replacement of coarse aggregate in concrete // *Journal of Civil Engineering (IEB)*. 2018. No. 46. Pp. 11-20.
6. KouS.C., LeeG., PoonC.S., Lai W.L. Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes // *Waste management*. 2009. No.29. Pp. 621–629.
7. Chernouti Y., Rabehi B. Strength and durability of mortar made with plastic bag waste (MPBW) // *International Journal of Concrete Structures and materials*. Vol.6. No.3.
8. Chalov K.V., Lugovoj Yu.V., Kosivcov Yu.Yu., Sul'man E.M. Issledovanie kinetiki termodestruktsii sshitogo polietilena [Investigation of the kinetics of thermal degradation of cross-linked polyethylene] *Byulleten' nauki i praktiki*. 2019. Vol.5. No.12. Pp.37-46. (rus)

9. Zéhila G.-Ph., Assaad J.J. Feasibility of concrete mixtures containing cross-linked polyethylene waste materials // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 226. Pp. 1-10.
10. Yakovlev G.I., Gordina A.F., Saidova Z.S., Bgunova E.V. Vliyanie dispersij tekhnicheskogo ugleroda na svoystva melkozernistogo betona [The effect of carbon black dispersions on the properties of fine-grained concrete] *Stroitel'nye materialy*. 2018. Pp. 89-92. (rus)
11. Sarajkina K.A., Golubev V.A., Yakovlev G.I., Fedorova G.D., Aleksandrov G.N., Plekhanova T.A., Dulesova I.G. Modifikaciya bazal'tofibrobetona nanodispersnymi sistemami [Modification of basalt fiber concrete by nanodisperse systems] *Stroitel'nye materialy*. 2015. No.10. Pp.64-69. (rus)
12. Frigione M. Recycling of PET Bottles as fine aggregate in concrete // *Waste Management*. 2010. No.30 Pp.1101-1106.
13. Znachko-Yavorskij I.L. Ocherki istorii vvyazhushchih veshchestv ot drevnejshih vremen do serediny XIX veka [Essays on the history of building binders from ancient times to the middle of the XIX century] Moscow-Leningrad. USSR. 1963. 500p. (rus)
14. Volzhenskij A.V., Burov Yu.S., Kolokol'nikov V.S. Mineral'nye vyazhushchie veshchestva [Mineral binders] Moscow. 1966. 406 p. (rus)
15. Karimov I.Sh. Prochnost' scepniya cementnogo kamnya s zapolnitelyami v betone i faktory vliyayushchie na nee [The adhesion strength of cement stone to aggregates in concrete and the factors affecting it] *Tekhnologii betonov*. 2013. No.4. Pp.28-31. (rus)
16. Nesvetayev G.V. Vu L.K. Model' dlya ocenki scepniya cementnogo kamnya s zapolnitelem po velichine predela prochnosti betona pri osovom rastyazhenii [A model for evaluating the adhesion of cement stone to aggregate by the value of the tensile strength of concrete under axial tension] *Internet journal «NAUKOVE DENIE»*. 2017. Vol. 9. No.3. (rus)

Информация об авторах

Баруздин Александр Андреевич

ФГБОУ ВО «Владимирский Государственный Университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
аспирант кафедры строительного производства
E-mail: baruzdin98@bk.ru

Закревская Любовь Владимировна

ФГБОУ ВО «Владимирский Государственный Университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
канд. техн. наук, доц., доцент кафедры строительного производства
E-mail: lvzak@mail.ru

Information about authors

Baruzdin Aleksandr A.

Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir, Russia,
Postgraduate student of the dep. of construction production
E-mail: baruzdin98@bk.ru

Zakrevskaya Lyubov V.

Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir, Russia,
candidate in tech. sc., docent, associated prof. of the dep. of construction production
E-mail: lvzak@mail.ru

И.А. ШМАРОВ¹, В.В. ЗЕМЦОВ¹

¹ФГБУ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия

ВЛИЯНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СТАЦИОНАРНОЙ СОЛНЦЕЗАЩИТЫ НА ОСВЕЩЕННОСТЬ ПОМЕЩЕНИЙ.

***Аннотация.** В статье рассматривается влияние горизонтальных стационарных солнцезащитных устройств на освещенность помещений с учетом их ориентации относительно сторон света и угловой высоты солнца. Измерения проводились под естественным небосводом на трансформируемой модели помещения. Изменялась глубина помещения и размеры стационарного солнцезащитного устройства. На основании полученных результатов даны рекомендации по проектированию эффективных солнцезащитных устройств в целях обеспечения наилучшего баланса между защитой от прямого солнечного излучения и достаточной естественной освещенностью. Использование результатов работы при проектировании будет способствовать улучшению микроклимата помещений, снижению тепловой нагрузки на отопление и повышению энергоэффективности.*

***Ключевые слова:** солнцезащита, угловая высота солнца, естественная освещенность, эффективность солнцезащитных систем.*

I.A. SHMAROV¹, V.V. ZEMTSOV¹

INFLUENCE OF HORIZONTAL STATIONARY SUN PROTECTION ON ROOM DAYLIGHTING

¹ Federal State Budgetary Institution Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Moscow, Russia

***Annotation.** The article examines the influence of horizontal stationary sun protection devices on the illumination of rooms, taking into account their orientation relative to the cardinal directions and the angular height of the sun. Measurements were carried out under the natural sky on a transformable model of the room. The depth of the room and the dimensions of the stationary sun protection device were changed. Based on the obtained results, recommendations are given for the design of effective sun protection devices in order to ensure the best balance between protection from direct solar radiation and sufficient daylighting. Using the results of the work in the design will help improve the microclimate of the premises, reduce the heat load on heating and increase energy efficiency.*

***Keywords:** sun protection, angular height of the sun, daylighting, daylight factor, effectiveness of sun protection systems.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дворецкий А.Т., Моргунова М.А., Сергейчук О.В., Спиридонов А.В. Методы проектирования стационарных солнцезащитных устройств // Светотехника.– 2016.– № 6. – С. 43–47.
2. Архитектурная физика: свет, тепло, звук / Под ред. Н.В. Оболенского. — М.: Архитектура-С, 2007. — 368 с.
3. Соловьёв А.К., Дорожкина Е.А. Современное понимание роли естественного освещения при проектировании зданий // Жилищное строительство. 2021. №11. С. 46-52. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-46-52>
4. Энциклопедия строительных технологий. Современные решения в области солнцезащиты зданий. — М.: Технополис, 2020. — 256 с.
5. Оболенский Н.В. Архитектура и солнце. М. : Стройиздат, 1988.
6. Киреев Н.Н. Повышение эффективности систем естественного освещения зданий на основе более полного учета ресурсов светового климата//Сб.тр. НИИСФ: Совершенствование световой среды помещений. -М., 1986. – с. 7-13.
7. Соловьёв А.К., Сунь Ифэн. Влияния характеристик светопроема на энергопотребление офисного здания в климатической зоне с жарким летом и холодной зимой в Китае // Вестник МГСУ. 2012. № 9. с. 31–38.
8. Коркина Е.В., Шмаров И.А., Войтович Е.В. Исследования времени наступления критической освещённости для оценки длительности дневного естественного освещения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. с. 35-42. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-35-42.
9. Дарула С. Обзор современного состояния и перспектив стандартизации в области естественного внутреннего освещения. // Светотехника, 2019, №1, с.6-20.
10. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». – (с изменениями №1 и №2) – www.consultantplus
11. СП 367.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования естественного и совмещенного освещения» (с изменениями №1 и №2) – www.consultantplus
12. EN 13037:2018. «Естественное освещение» EN 13037:2018 «Daylighting». – 56 p.
13. ДИН 5034-1: 2011 «Естественное освещение помещений. Часть 1. Общие требования.» (DIN 5034-1: 2011 Tageslicht in Innenräumen. Teil 1: Allgemeine Anforderungen). – Berlin, Deutsches Institut für Normung e.V., 2011 – 19 s.
14. ДИН 5034-2: 1985 «Естественное освещение помещений./Часть 2. Основные положения.» (DIN 5034-2: 1985 Tageslicht in Innenräumen. Grundlagen)/ – Berlin, Deutsches Institut für Normung e.V., 1985 – 13 s.
15. БС 8206-2:2008 «Освещение зданий» – Часть 2. Строительные нормы и правила естественного освещения. (BS 8206-2:2008. Lighting for buildings. Part 2) – London, BSI, 2008.
16. Государственный стандарт Китайской Народной Республики GB/T 50033-2001 Стандарт проектирования естественного освещения зданий. (中华人民共和国国家标准建筑采光设计标准, GB/T 50033—2001Standard for daylighting design of buildings).
17. ДБН В.2.5-28-2006. Державні Будівельні норми України. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. - Київ Мінбуд України, 2006. – 76 с.
18. Штофф В.А. Моделирование и философия. М.-Л. Изд-во Наука, 1966 - 304с.
19. Чудинский Р.М. Натурный и модельный эксперимент в учебном познании / Ю.А. Воронин, Р.М. Чудинский // Наука и школа. – 2002. – №3. – С. 33-41.
20. Гусев Н. М. Основы строительной физики: Учебник для ВУЗов. –М. :Стройиздат, 1975. – 440 с.

REFERENCES

1. Dvoretzky A.T., Morgunova M.A., Sergeychuk O.V., Spiridonov A.V. Methods of designing stationary sun protection devices // Lighting engineering.- 2016.– No. 6. – pp. 43-47.
2. Architectural physics: light, heat, sound / Edited by N.V. Obolensky. — М.: Architecture-C, 2007. — 368 p.
3. Solovyov A.K., Dorozhkina E.A. Modern understanding of the role of natural lighting in the design of buildings // Housing construction. 2021. No.11. pp. 46-52. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-46-52>
4. Encyclopedia of construction technologies. Modern solutions in the field of solar protection of buildings. — М.: Technopolis, 2020. — 256 p.
5. Obolensky N.V. Architecture and the sun. М. : Stroyizdat, 1988.

6. Kireev N.N. Improving the efficiency of natural lighting systems of buildings based on a more complete accounting of the resources of the lighting climate//Sat.tr. NIISF: Improving the light environment of the premises. -M., 1986. – pp. 7-13.
7. Solovyov A.K., Sun Yifeng. The influence of the characteristics of the light barrier on the energy consumption of an office building in a climatic zone with hot summers and cold winters in China // Bulletin of the MGSU. 2012. No. 9. pp. 31-38.
8. Korkina E.V., Shmarov I.A., Voitovich E.V. Studies of the time of onset of critical illumination to assess the duration of daytime natural illumination // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2022. No. 6. pp. 35-42. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-35-42.
9. Darula S. Review of the current state and prospects of standardization in the field of natural indoor lighting. // Svtotekhnika, 2019, No.1, pp.6-20.
10. SP 52.13330.2016 "Natural and artificial lighting". – (with changes No. 1 and No. 2) – www.consultantplus
11. SP 367.1325800.2017 "Residential and public buildings. Rules for the design of natural and combined lighting" (with amendments No. 1 and No. 2) – www.consultantplus
12. EN 13037:2018. "Natural lighting" EN 13037:2018 "Daylighting". – 56 p.
13. DIN 5034-1: 2011 "Natural lighting of premises. Part 1. General requirements." (DIN 5034-1: 2011 Tageslicht in Innenräumen. Teil 1: Allgemeine Anforderungen). – Berlin, Deutsches Institut für Normung e.V., 2011 – 19 s.
14. DIN 5034-2: 1985 "Natural lighting of premises./Part 2. Basic provisions." (DIN 5034-2: 1985 Tageslicht in Innenräumen. Grundlagen)/ – Berlin, Deutsches Institut für Normung e.V., 1985 – 13 s.
15. BS 8206-2:2008 "Lighting of buildings" – Part 2. Building codes and rules of natural lighting. (BS 8206-2:2008. Lighting for buildings. Part 2) – London, BSI, 2008.
16. State Standard of the People's Republic of China GB/T 50033-2001 Standard for the design of natural lighting of buildings. (中华人民共和国国家标准建筑采光设计标准, GB/T 50033—2001 Standard for daylighting design of buildings).
17. DBN V.2.5-28-2006. The powers that be are the norms of Ukraine. The engineer owns budinkiv i sporud. The nature of the first piece of illumination. Kiev Ministry of Culture of Ukraine, 2006. – 76 p.
18. Shtoff V.A. Modeling and philosophy. M.-L. Nauka Publishing House, 1966 - 304s.
19. Chudinsky R.M. Natural and model experiment in educational cognition / Yu.A. Voronin, R.M. Chudinsky // Science and school. - 2002. – No.3. – pp. 33-41.
20. Gusev N. M. Fundamentals of building physics: Textbook for universities. –M. :Stroyizdat, 1975. – 440 p.

Информация об авторах

Шмаров Игорь Александрович

ФГБУ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (127238, Россия, г. Москва, Локомотивный проезд, 21), канд. техн. наук, рук. лаб. «Строительная светотехника», E-mail: shmarovigor@yandex.ru

Земцов Владимир Викторович

ФГБУ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (127238, Россия, г. Москва, Локомотивный проезд, 21), вед. инженер лаб. «Строительная светотехника», E-mail: zemcov-v@yandex.ru

Information about the authors

Shmarov Igor A.

Federal State Budgetary Institution Scientific Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (127238, Russia, Moscow, Locomotive passage, 21), Candidate of Technical Sciences, ruk. lab. "Construction lighting engineering", E-mail: shmarovigor@yandex.ru

Zemtsov Vladimir V.

Federal State Budgetary Institution Scientific Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (127238, Russia, Moscow, Locomotive passage, 21), Vedomosti. lab engineer. "Construction lighting engineering", E-mail: zemcov-v@yandex.ru

И.Л. ШУБИН¹, А.С. СТРОНГИН¹, М.А. РАЗАКОВ¹¹Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, Москва, Российская Федерация

СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ ДЛЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. В работе представлен обзор используемых интеллектуальных систем в различных инженерных системах зданий, которые на данный момент активно разрабатываются инженерами в различных странах. Приведены данные истории развития и применения рассматриваемых систем для различных отраслей народного хозяйства. Описаны результаты практического применения и возникшие особенности эксплуатации устройств управления в различных инженерных системах обеспечения микроклимата (отопления, вентиляция, кондиционирования воздуха). Подробно выделены варианты регулирования систем жизнеобеспечения здания с помощью современных контроллеров, а также варианты их интеграции в совместную единую систему. Определены предполагаемые ключевые точки развития систем нейроуправления инженерным оборудованием в зданиях и сооружениях. Описаны возможные варианты внедрения нейроконтроллеров в здание (в т.ч. и многоступенчатое внедрение нейроконтроллера одной системы в глобальную систему-нейроконтроллер с несколькими инженерными системами). Результаты исследования представляют интерес для совершенствования систем управления инженерным оборудованием зданий и сооружений различного назначения с использованием элементов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: инженерные системы, автоматические системы управления, искусственный интеллект, нейроуправление, нейроконтроллер.

I.L. SHUBIN¹, A.S. STRONGIN¹, M.A. RAZAKOV¹¹Building Physics Institute, Moscow, Russian Federation

MODERN RESEARCH OF INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS USE FOR BUILDING AND STRUCTURES ENGINEERING SYSTEMS

Abstract. There is an overview of the intelligent systems use in different engineering systems of buildings which are designing in different countries. It has been presented the history of considered systems development and application for different sectors on national economy. Authors have described the results of practical application and control devices operation features in different engineering systems for providing microclimate (heating, ventilation and air conditioning). It has been detailed highlighted the options for regulating the building life support systems with modern controllers and integration them to joint unified system. Authors have determined the proposed key points of neural control systems development for engineering equipment in building and structures. Researchers have described possible options for introducing neurocontrollers to a building (including multi-stage introduction of single system neurocontroller to a global system neurocontroller with several engineering systems). The results of the research will be interested for the services operating engineering equipment of buildings and structures for different purposes. Also this information could be used by the planning services and developing companies which use modern automated control systems for engineering systems.

Keywords: engineering systems, automatic control systems, artificial intelligence, neurocontrol, neurocontroller.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ирхин И. А., Булатов В. Г., Воронцов К. В. Аддитивная регуляризация тематических моделей с быстрой векторизацией текста // Компьютерные исследования и моделирование. 2020. Т. 12, № 6. С. 1515-1528. doi:10.20537/2076-7633-2020-12-6-1515-1528.
2. Ирхин И. А., Воронцов К. В. Сходимость алгоритма аддитивной регуляризации тематических моделей // Труды института математики и механики УрО РАН. 2020. Т. 26, № 3. С. 56-68. doi:10.21538/0134-4889-2020-26-3-56-68.
3. Герасименко Н. А., Чернявский А. С., Никифорова М. А., Никитин М. Д., Воронцов К. В. Инкрементальное обучение тематических моделей для поиска трендовых тем в научных публикациях // Доклады Российской академии наук. Математика, информатика, процессы управления. 2022. Т. 508, № 1. С. 106-108. doi:10.31857/S2686954322070086.
4. Филиппов В. В. Анализ научно-технических работ по автоматическому управлению теплоэнергетических установок // Современные достижения научно-технического прогресса. 2023. № 3(8). С. 9-11. doi:10.18411/sdntp-05-2023-02.
5. Фролов В. Я., Жилиготов Р. И. Разработка системы бездатчикового векторного управления синхронным двигателем с постоянными магнитами в Matlab Simulink // Записки горного института. 2018. Т. 229. – С. 92-97.
6. Муртазин Т. Э., Шевченко А. А., Титов В. Г. Система векторного управления автономным электроприводом // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2023. Т. 26. № 4. С. 449-456. doi:10.21443/1560-9278-2023-26-4-449-456.
7. Костылев А. В., Есаулкова Д. В., Казаков Е. Г. Применение нейроуправления в асинхронном электроприводе со скалярным управлением // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике. 2014. № 1. С. 207-217.
8. Burmeyster M. V., Bulatov R. V., Berdyshev I. I. Development of a Method for Optimizing the Voltage Mode Based on Fuzzy Logic // IEEE. С. 9782944. doi:10.1109/Inforino53888.2022.9782944.
9. Wu Z., Gao Z., Li D., Chen Y., Liu Y. On transitioning from PID to ADRC in thermal power plants // Control Theory and Technology. 2021. Т. 19. С. 3-18.
10. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Нейронные сети: оптимальное управление отпуском тепловой энергии // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2019. №8. С. 52-57.
11. Блинова К. А., Курналеева А. А., Бурмейстер М. В., Булатов Р. В. Рыночный механизм управления режимами работы генерирующего оборудования электростанций // XXXIII Международная научно-практическая конференция «EUROPEAN RESEARCH»: сборник трудов. Пенза: Наука и Просвещение, 2021. С. 74-78.
12. Веренцов Л. А., Бурмейстер М. В., Стаценко Д. В., Маленкова Е. А. Оценка эквивалентной инерции в ЭЭС со значительной долей ВИЭ // Наука и бизнес: пути развития. 2023. № 10(148). С. 11-14.
13. Samoilov A. A., Sergeeva, M. M., Burmeyster, M. V., Kislova, E. A., Zaliznyi, S. A. Intelligent engineering of electric energy storage systems in the Russian Federation: Fundamentals // IEEE. 2021. С. 1-5.
14. Болдырев В. В., Горькавый М. А. Разработка интеллектуального модуля управления автоматизированной автономной системой энергообеспечения // Учен. зап. КнАГТУ. 2021. № 3. С. 9-18.
15. Das H. P., Lin Y. W., Agwan U., Spangher L., Devonport A., Yang Y., Drgona J., Chong A., Schiavon S., Spanos C. J. Machine Learning for Smart and Energy-Efficient Buildings // Environmental Data Science. 2024. Т. 3. С. e1. doi:10.1017/eds.2023.43
16. Alanne K., Sierla S. An overview of machine learning applications for smart buildings // Sustainable Cities and Society. 2022. Т. 76. С. 103445.
17. Burkov V., Titarenko B. Economic mechanisms for environmental risk management // E3S Web of Conferences. 2019. Т. 91. С. 08009.
18. Галкина Е. В. Анализ инструментов верификации проектной документации // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 6. С. 95-97. doi:10.24153/2079-5920-2018-8-6-95-97.
19. Galkina E., Kuzina O. Building information model verification at the lifecycle stage of construction // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Т. 365 (5). С. 062031. doi:10.1088/1757-899X/365/5/062031.
20. Burian S. O., Kiselychnyk O., Pushkar M. V., Reshetnik V. S., Zemlianukhina H. Y. Energy-efficient control of pump units based on neural-network parameter observer // Technical Electrodynamics. 2020. № 1. С. 71-77. doi:10.15407/techned2020.01.071.
21. Gromov G. N., Primin O. G. Use of genetic algorithms for calibration of hydraulic models of water supply systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Т. 456. С. 012108. doi:10.1088/1757-899X/456/1/012108.
22. Мамедов В. М., Архаров И. А. Перспективы методов регулирования в инженерных системах // Холодильная техника. 2022. № 4. С. 213-220. doi:10.17816/RF321953.

23. Абдуллин В. В., Шнайдер Д. А., Курзанов С. Ю., Яворовский Ю. В. Использование технологии "интернета вещей" в отоплении зданий: упреждающее управление, распределённый мониторинг, интеллектуальная балансировка // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2018. № 8(200). С. 54-58.
24. Krūmiņš, A., Bogdanovs, N., Beļinskis, R., Mežale, K., Garjāns, M. Increasing Buildings Automation Systems Efficiency with Real-Time Simulation Through Improved Machine Self-learning Algorithms // Springer Proceedings in Energy. 2019. С. 41-49. doi:10.1007/978-3-030-00662-4_4
25. Su B., Wang S., Li W. Impacts of uncertain information delays on distributed real-time optimal controls for building HVAC systems deployed on IoT-enabled field control networks // Applied Energy. 2021. Т. 300. С. 117383.
26. Şahin A. Ş. Performance analysis of single-stage refrigeration system with internal heat exchanger using neural network and neuro-fuzzy // Renewable energy. 2011. №. 10 (36). С. 2747-2752.
27. Pérez-Gomariz M., López-Gómez A., Cerdán-Cartagena F. Artificial neural networks as artificial intelligence technique for energy saving in refrigeration systems — A review // Clean Technologies. 2023. № 1 (5). С. 116-136.
28. Zhang Y., Zhou Z., Liu J., Yuan J. Data augmentation for improving heating load prediction of heating substation based on TimeGAN // Energy. 2022. Т. 260. С. 124919.
29. Li C., Cui C., Li M. A proactive 2-stage indoor CO₂-based demand-controlled ventilation method considering control performance and energy efficiency // Applied Energy. 2023. Т. 329. С. 120288.
30. Zhao Y., Li T., Zhang X., Zhang C. Artificial intelligence-based fault detection and diagnosis methods for building energy systems: Advantages, challenges and the future // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019. Т. 109. С. 85-101.
31. Taheri S., Ahmadi A., Mohammadi-Ivatloo B., Asadi S. Fault detection diagnostic for HVAC systems via deep learning algorithms // Energy and Buildings. 2021. Т. 250. С. 111275.
32. Yang S., Wan M. P., Ng B. F., Dubey S., Henze G. P., Chen W., Baskaran K. Model predictive control for integrated control of air-conditioning and mechanical ventilation, lighting and shading systems // Applied Energy. 2021. №12 (300). С. 117325.

REFERENCES

1. Irkhin I.A., Bulatov V.G., Vorontsov K.V. Additive regularization of topic models with fast text vectorization. *Computer Research and Modeling*. 2020. Vol. 12. No. 6. Pp. 1515-1528. (rus).
2. Irkhin I.A., Vorontsov K.V. Convergence of the algorithm of additive regularization of topic models. *Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics (Suppl.)*. 2021. Vol. 315. Suppl. 1. Pp. S128-S139. (rus).
3. Gerasimenko N. A., Chernyavsky A. S., Nikiforova M. A., Nikitin M. D., Vorontsov K. V. Inkremental'noye obucheniye tematicheskikh modeley dlya poiska trendovykh tem v nauchnykh publikatsiyakh [Incremental training of topic models for searching for trending topics in scientific publications]. *Doklady Rossijskoj Akademii Nauk. Matematika, Informatika, Processy Upravleniya*. 2022. vol. 508, no. 1. pp. 106-108. doi:10.31857/s2686954322070086. (rus).
4. Filippov V. V. Analiz nauchno-tekhnicheskikh rabot po avtomaticheskomu upravleniyu teploenergeticheskikh ustanovok [Analysis of scientific and technical works on automatic control of thermal power plants]. *Sovremennyye dostizheniya nauchno-tekhnicheskogo progressa*. 2023. Vol. 8. No. 3. Pp. 9-11. doi:10.18411/sdntp-05-2023-02. (rus).
5. Frolov V.Y., Zhiligitov R.I. Development of sensorless vector control system for permanent magnet synchronous motor in Matlab Simulink. *Journal of Mining Institute*. 2018. Vol. 229. p. 92. DOI: 10.25515/PMI.2018.1.92. (rus).
6. Murtazin T. E., Shevchenko A. A., Titov V. G. Sistema vektornogo upravleniya avtonomnym elektroprivodom [Vector control system for an autonomous electric drive]. *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2023. Vol. 26. No. 4. Pp. 449-456. doi:10.21443/1560-9278-2023-26-4-449-456. (rus).
7. Kostylev A. V., Esaukova D. V., Kazakov E. G. Primeneniye neyroupravleniya v asinkhronnom elektroprivode so skalyarnym upravleniyem [Application of neural control in an asynchronous electric drive with scalar control]. *Energetika. Innovatsionnyye napravleniya v energetike. cal's-tekhnologii v energetike*. 2014. No. 1. Pp. 207-217. (rus).
8. Burmeyster M. V., Bulatov R. V., Berdyshev I. I. Development of a Method for Optimizing the Voltage Mode Based on Fuzzy Logic. *IEEE*. Pp. 9782944. doi:10.1109/Inforino53888.2022.9782944.
9. Wu Z., Gao Z., Li D., Chen Y., Liu Y. On transitioning from PID to ADRC in thermal power plants. *Control Theory and Technology*. 2021. Vol. 19. Pp. 3-18.
10. Brodach M.M., Shilkin N.V. Neyronnyye seti: optimal'noye upravleniye otpuskom teplovoy energii [Neural networks: optimal control of thermal energy supply]. AVOK: Ventilyatsiya, Otopleniye, Konditsionirovaniye Vozdukh, Teplosnabzheniye i Stroitel'naya Teplofizika. 2019. no. 8. pp. 52-57. (rus).
11. Blinova K. A., Kurnaleyeva A. A., Burmeyster M. V., Bulatov R. V. Rynochnyy mekhanizm upravleniya rezhimami raboty generiruyushchego oborudovaniya elektrostantsiy [Market mechanism for managing the operating modes of generating equipment of power plants]. XXXIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya

«EUROPEAN RESEARCH» [Proceedings of XXXIII International Scientific and Practical Conference «EUROPEAN RESEARCH»]. Penza: Nauka i Prosveshcheniye, 2021. Pp. 74-78. (rus).

12. Verentsov L. A., Burmeister M. V., Statsenko D. V., Malenkova E. A. Otsenka ekvivalentnoy inertsii v ees so znachitel'noy doley vie [Assessment of equivalent inertia in an eps with a significant share of renewable energy sources]. *Nauka i biznes: puti razvitiya*. 2023. Vol. 148. No. 10. Pp. 11-14. (rus).

13. Samoilov A. A., Sergeeva, M. M., Burmeister, M. V., Kislova, E. A., Zaliznyi, S. A. Intelligent engineering of electric energy storage systems in the Russian Federation: Fundamentals // *IEEE*. 2021. Pp. 1-5.

14. Boldyrev V.V., Gorkavy M.A. Razrabotka intellektual'nogo modulya upravleniya avtomatizirovannoy avtonomnoy sistemoy energoobespecheniya [Development of an intelligent control module for an automated autonomous power supply system]. *Uchen. zap. KnaGTU*. 2021. No. 3. Pp. 9-18. (rus).

15. Das H. P., Lin Y. W., Agwan U., Spangher L., Devonport A., Yang Y., Drgona J., Chong A., Schiavon S., Spanos C. J. Machine Learning for Smart and Energy-Efficient Buildings. *Environmental Data Science*. 2024. Vol. 3. Pp. e1. doi:10.1017/eds.2023.43

16. Alanne K., Sierla S. An overview of machine learning applications for smart buildings. *Sustainable Cities and Society*. 2022. Vol. 76. Pp. 103445.

17. Burkov V., Titarenko B. Economic mechanisms for environmental risk management. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 91. Pp. 08009.

18. Galkina E.V. Analiz instrumentov verifikatsii proyektnoy dokumentatsii [Analysis of design documentation verification tools]. *Scientific and Technical Volga Region Bulletin*. 2018. No. 6. Pp. 95-97. doi:10.24153/2079-5920-2018-8-6-95-97. (rus).

19. Galkina E., Kuzina O. Building information model verification at the lifecycle stage of construction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 365. No. 5. Pp. 062031. doi:10.1088/1757-899X/365/6/062031.

20. Burian S. O., Kiselychnyk O., Pushkar M. V., Reshetnik V. S., Zemlianukhina H. Y. Energy-efficient control of pump units based on neural-network parameter observer. *Technical Electrodynamics*. 2020. No. 1. Pp. 71-77. doi:10.15407/techned2020.01.071.

21. Gromov G. N., Primin O. G. Use of genetic algorithms for calibration of hydraulic models of water supply systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 456. Pp. 012108. doi:10.1088/1757-899X/456/1/012108.

22. Vladislav M.M., Arkharov I.A. Prospects for control methods in engineering systems. *Refrigeration Technology*. 2022. Vol. 111. No. 4. Pp. 213–220. doi:10.17816/RF321953. (rus).

23. Abdullin V.V., Shnayder D.A., Kurzanov S. Yu., Yavorovsky Yu. V. IoT technology applications to building heating: predictive control, distributed monitoring, smart hydraulic balancing. *Plumbing, Heating, Air-conditioning*. 2018. Vol. 200. No. 8. Pp. 54-58. (rus).

24. Krūmiņš, A., Bogdanovs, N., Beļinskis, R., Mežale, K., Garjāns, M. Increasing Buildings Automation Systems Efficiency with Real-Time Simulation Trough Improved Machine Self-learning Algorithms. *Springer Proceedings in Energy*. 2019. Pp. 41-49. doi:10.1007/978-3-030-00662-4_4

25. Su B., Wang S., Li W. Impacts of uncertain information delays on distributed real-time optimal controls for building HVAC systems deployed on IoT-enabled field control networks. *Applied Energy*. 2021. Vol. 300. Pp. 117383.

26. Şahin A. Ş. Performance analysis of single-stage refrigeration system with internal heat exchanger using neural network and neuro-fuzzy. *Renewable energy*. 2011. Vol. 36. No. 10. Pp. 2747-2752.

27. Pérez-Gomariz M., López-Gómez A., Cerdán-Cartagena F. Artificial neural networks as artificial intelligence technique for energy saving in refrigeration systems — A review. *Clean Technologies*. 2023. Vol. 5. No. 1. Pp. 116-136.

28. Zhang Y., Zhou Z., Liu J., Yuan J. Data augmentation for improving heating load prediction of heating substation based on TimeGAN. *Energy*. 2022. Vol. 260. Pp. 124919.

29. Li C., Cui C., Li M. A proactive 2-stage indoor CO2-baswd demand-controlled ventilation method considering control performance and energy efficiency. *Applied Energy*. 2023. Vol. 329. Pp. 120288.

30. Zhao Y., Li T., Zhang X., Zhang C. Artificial intelligence-based fault detection and diagnosis methods for building energy systems: Advantages, challenges and the future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 109. Pp. 85-101.

31. Taheri S., Ahmadi A., Mohammadi-Ivatloo B., Asadi S. Fault detection diagnostic for HVAC systems via deep learning algorithms. *Energy and Buildings*. 2021. Vol. 250. Pp. 111275.

32. Yang S., Wan M. P., Ng B. F., Dubey S., Henze G. P., Chen W., Baskaran K. Model predictive control for integrated control of air-conditioning and mechanical ventilation, lighting and shading systems. *Applied Energy*. 2021. Vol. 300. No. 12. Pp. 117325.

Информация об авторах

Шубин Игорь Любимович

ФГБУ «Научно-Исследовательский Институт Строительной Физики РААСН», г. Москва, Россия,

д-р техн. наук, член-корр. РААСН, директор института, E-mail: niisf@niisf.ru

Стронгин Андрей Семенович

ФГБУ «Научно-Исследовательский Институт Строительной Физики РААСН», г. Москва, Россия, канд. техн. наук, с.н.с., заведующий лабораторией «Экологическая безопасность и энергоэффективность инженерного оборудования зданий», E-mail: strongin@yandex.ru

Разаков Мухаммет Азатович

ФГБУ «Научно-Исследовательский Институт Строительной Физики РААСН», г. Москва, Россия, инженер лаборатории «Экологическая безопасность и энергоэффективность инженерного оборудования зданий», E-mail: muhammet@nln.ru

Information about authors

Shubin Igor L.

Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia, doctor in tech. sc., corr. member of RAACS, director, E-mail: niisf@niisf.ru

Strongin Andrew S.

Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia, candidate in tech. sc., senior researcher, head of laboratory «Environmental safety and energy efficiency of buildings engineering equipment», E-mail: strongin@yandex.ru

Razakov Muhammet A.

Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia, engineer of laboratory «Environmental safety and energy efficiency of buildings engineering equipment», E-mail: muhammet@nln.ru