

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

ISSN 2073-7416

BUILDING AND RECONSTRUCTION

№2 (112) 2024

март-апрель

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)*

Реболю 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:

Юрова О.В., *(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.pressa-ru.ru и www.akc.ru

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2024

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Джамуев Б.К. Влияния несъемных пустотообразователей на прочность заземленных по контуру монолитных железобетонных плит перекрытия.....	3
Колчунов В.И., Крылов С.Б., Федоров С.С. Жесткость железобетонных конструкций при изгибе с учетом поперечной и продольной сил (часть 2).....	16
Надольский В.В. Несовершенства для расчета стальных конструкций методом конечных элементов. Часть 1.....	28
Симаков О.А., Нецадимов В.А. Проектирование усиления каменной кладки односторонними аппликациями из торкрет-бетона.....	39
Трошин М.Ю., Турков А.В., Заев А.В. Влияние шага досок в поперечном слое на деформативность и распределение напряжений в трехслойной CLT-панели, жестко заземленной с двух сторон.....	50

Безопасность зданий и сооружений

Колчунов В.И., Савин С.Ю., Амелина М.А. Устойчивость железобетонной колонны, подверженной сжатию с кручением в результате особого воздействия.....	59
Соловьев А.А., Соловьев С.А. Вероятностный анализ надежности стержней стальных ферм при неполной статистической информации.....	74

Архитектура и градостроительство

Михайлова Е.В. Архитектурно-художественные решения общественно-торговых комплексов при реконструкции советских кинотеатров.....	83
--	----

Строительные материалы и технологии

Алексеев В.А., Баженова С.И., Монахина А.А. Прогнозирование характеристик грунтобетонных массивов, создаваемых инъектированием особотонкодисперсных вяжущих (микроцементов) по манжетной технологии.....	95
Черкасов В.Д., Щербак Ю.П., Черкасов Д.В. Эластичные самоклеящиеся радиопоглощающие материалы.....	110
Шестаков Н.И., Алешин Н.Д., Макаров А.Д. Ресурсный потенциал пыли уноса асфальтобетонных заводов.....	117

BUILDING AND RECONSTRUCTION

Scientific and technical journal
The journal is published since 2003.
The journal is published 6 times a year.
№ 2 (112) 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

- Dzhamuev B.K.** The effect of non-removable void generators on the strength of monolithic reinforced concrete floor slabs clamped along the contour..... 3
- Kolchunov V.I., Krylov S.B., Fedorov S.S.** Stiffness of reinforced concrete structures under bending considering shear and axial forces (part 2)..... 16
- Nadolski V.V.** Imperfections for the calculation of steel structures by the finite element method. Part 1..... 28
- Simakov O.A., Neshchadimov V.A.** Design of masonry strengthening with one-sided shotcrete applications..... 39
- Troshin M.Yu., Turkov A.V., Zaev A.V.** The effect of the pitch of the boards in the transverse layer on the deformability and stress distribution in a three-layer CLT panel rigidly clamped on both sides..... 50

Building and structure safety

- Kolchunov V.I., Savin S.Yu., Amelina M.A.** Stability of a reinforced concrete column under compression with torsion caused by accidental action..... 59
- Soloveva A.A., Solovev S.A.** Reliability analysis of steel truss bars with imprecise statistical data 74

Architecture and urban planning

- Mikhaylova E.V.** Architectural and artistic solutions of the OTC during the gentrification of soviet cinemas 83

Construction materials and technologies

- Alekseev A.V., Bazhenova S.I., Monakhina A.A.** Prediction of characteristics of soil-concrete massifs created by injection of extremely fine-dispersed binders (microcements) 95
- Cherkasov V.D., Shcherbak Y.P., Cherkasov D.V.** Elastic self-adhesive radioabsorbing materials 110
- Shestakov N.I., Aleshin N.D., Makarov A.D.** Resource potential of dust entrainment of asphalt-concrete plants 117

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:

Yurova O.V. (Russia)

The edition address:

302030, Oryol region., Oryol,

Moskovskaya Street, 77

+79065704999

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

E-mail: str_and_rek@mail.ru

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

The certificate of registration:

ПИ №ФЦ 77-67169 from 16.09.2016 г.

Index on the catalogue of the «**Pressa Rossii**»

86294 on the websites www.pressa-ff.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.

Б.К. ДЖАМУЕВ¹

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

ВЛИЯНИЯ НЕСЪЕМНЫХ ПУСТОТООБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ПРОЧНОСТЬ ЗАЦЕМЛЕННЫХ ПО КОНТУРУ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ

Аннотация. В статье представлены результаты численного исследования влияния несъемных пустотообразователей на прочность зацементированных по контуру монолитных железобетонных плит перекрытия. Моделирование конструкций выполнено с использованием объемных конечно-элементных моделей в программном комплексе «ЛИРА-САПР». Исследования проведены для образцов 4 видов, различающихся между собой габаритами в плане и армированием. Дано подробное описание использованных зависимостей и законов деформирования материалов в ходе построения моделей. Сравнительному анализу подверглись величины сжимающих напряжений в бетоне и арматуре, а также растягивающих напряжения в арматуре, полученные в результате моделирования. На основе проведенного исследования установлено, что использование несъемных пустотообразователей в монолитной железобетонной плите не снижает ее прочность, при этом позволяет сократить расход бетона на 18,3÷23,1 %.

Ключевые слова: железобетон, монолитная плита, плита с пустотообразователями, прочность, численное моделирование, конечно-элементная модель, программный комплекс «ЛИРА-САПР».

B.K. DZHAMUEV¹

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

THE EFFECT OF NON-REMOVABLE VOID GENERATORS ON THE STRENGTH OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE FLOOR SLABS CLAMPED ALONG THE CONTOUR

Abstract. The article presents the results of a numerical experiment to determine the effect of non-removable void generators on the strength of monolithic reinforced concrete floor slabs clamped along the contour. The experimental samples are made in the form of spatial models using volumetric finite element models in the LIRA-CAD software package. The tests were carried out on 4 series of samples, differing in terms of dimensions and reinforcement. Detailed descriptions of the dependencies used and the laws of deformation of materials during the construction of models are given. The values of compressive stresses in concrete and reinforcement, as well as tensile stresses in reinforcement obtained as a result of tests, were subjected to comparative analysis. Based on the conducted experiment, it was found that the use of non-removable voids in a monolithic reinforced concrete slab does not reduce its strength, while reducing concrete consumption by 18.3-23.1%.

Keywords: reinforced concrete, monolithic slab, slab with voids, strength, numerical modeling, numerical experiment, non-removable voids, finite element model, software package «LIRA-CAD».

© Джамуев Б.К., 2024

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 9561-91 «Плиты перекрытий железобетонные многпустотные для зданий и сооружений технические условия».
2. Прилуцкий О.Г. Способ изготовления монолитного строительного элемента // Патент России №RU2243889C2. 10.01.2005.
3. ООО «К-РегионСтрой». Многпустотная железобетонная плита перекрытия // Патент№RU49853U1. 10.12.2005.
4. Котенков И.А. Многпустотная железобетонная плита перекрытия // Патент Беларуси №BY7667U. 30.10.2011.
5. УО «БГТУ». Пустотообразователь безбалочной плиты перекрытия // Патент Беларуси №BY8418U. 30.08.2012.
6. Мартынов А.А. Способ изготовления зданий и сооружений с трансформируемой в процессе эксплуатации планировкой // Патент России №RU2488667C2. 27.07.2013.
7. Пушкарёв Б.А. Способ изготовления монолитных железобетонных балочных плит перекрытий с круглыми пустотами, с применением неизвлекаемых картонно-полиэтиленовых пустотообразователей // Патент России №RU2634156C2. 24.10.2017.
8. СТО 38311046-001-2019 «Монолитные железобетонные облегченные плиты с пустотообразователями Simkar. Правила проектирования и возведения».
9. СТО 35546020.001-2016 «Несъемная опалубка (пустотообразователи и соединительные муфты) Сибформа®. Общие сведения о технологии, номенклатура изделий. Рекомендации по расчету и конструированию монолитных безбалочных плит перекрытий с несъемной опалубкой Сибформа® в соответствии с СП 63.13330.2012».
10. Tiwari N. and Zafar S. Structural Behavior of Bubble Deck Slabs and Its Application: Main Paper. IJSRD International Journal for Scientific Research & Development. 2016. Vol. 4. Issue 02. Pp: 433-437. ISSN (online): 2321-0613.
11. Ibrahim A. M., Ali N. K., and Salman W. D. Flexural Capacities of Reinforced Concrete Two-Way Bubbledeck Slabs of Plastic Spherical Voids. J. Print. Iraq, 2013. Vol. 06. No. 02. Pp: 9-20.
12. Valivonis J., Skuturna T, Daugeviius M. and Šneideris A. Punching shear strength of reinforced concrete slabs with plastic void formers. Constr. Build. Mater. 2017. Vol.145. Pp: 518-527.
13. Saifulla M., Azeem M. A. Comparative Seismic Performance of a Conventional Slab and Flat Slab over a Bubble Deck Slab. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. November 2017. Vol. 7. Issue 11.. Pp: 137-143.
14. Teja P. P., Kumar P. V, Mounika C. R., and Saha P. Structural Behavior of Bubble Deck Slab. January 2012. Pp: 383-388.
15. Lakshmikanth L., Poluraju P. Performance of Structural Behaviour of Bubble Deck Slab. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE). April 2019. Vol.7. Issue 6C2. ISSN: 2277-3878.
16. Varghese J. P, M. George. Parametric Investigation on the Seismic Response of Voided and Solid Flat Slab Systems. IJSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology. March 2018. Vol. 5. Issue 3. Pp: 256-258.
17. Mahalakshmi S., S. Nanthini S., and Saha A. P. Experimental Studies on Comparison of Conventional Slab and Bubble Deck Slab Based on Strength. 2017. Vol. 5. Pp: 580-588.
18. Орлова М.Д., Мнушкин М.А., Евтушенко И.С., Виноградова К.И., Егармин К.А. Анализ применения пустотообразователей из рециклированного полипропилена при создании облегченных монолитных перекрытий. Исследование различных направлений современной науки: Сборник материалов XXI Международной научно-практической конференции. Ч.1. Москва. 2017. С.562-567.
19. Филимонова Е. С. Анализ напряженно-деформированного состояния монолитной плиты перекрытия с пустотообразователями по системе Cobiax на основании различных расчетных моделей // Молодой ученый. 2022. № 20 (415). С. 107-109.
20. Малахова А.Н. Пустотные кессонные плиты перекрытий монолитных многоэтажных зданий // Вестник МГСУ. 2016. № 6. С. 15-24.
21. СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003».
22. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений / под ред. А.А. Уманского. М.: Госстройиздат, 1960. 1041 с.
23. СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*».

REFERENCES

1. GOST 10180-2012 «Reinforced concrete multi-cavity floor slabs for buildings and structures technical conditions». (rus)
2. Prilutsky O.G. Sposob izgotovleniya monolitnogo stroitel'nogo elementa [Method of manufacturing a monolithic building element] // Russian Patent No.RU2243889C2. 10.01.2005. (rus)
3. ООО «K-RegionStroj». Mnogopustotnaya zhelezobonnaya plita perekrytiya [Multi-cavity reinforced concrete floor slab] // Patent No.RU49853U1. 12/10/2005. (rus)
4. Kotenkov I.A. Mnogopustotnaya zhelezobonnaya plita perekrytiya [Multi-hollow reinforced concrete floor slab] // Patent of Belarus No.BY7667U. 10/30/2011. (rus)
5. УО «BGTU». Pustotoobrazovatel' bezbalchoj plity perekrytiya [Void-forming girderless floor slab] // Patent of Belarus No. BY8418U. 30.08.2012. (rus)
6. Martynov A.A. Sposob izgotovleniya zdaniy i sooruzhenij s transformiruemoj v processe ekspluatcii planirovkoj [Method of manufacturing buildings and structures with a layout transformed during operation] // Patent of Russia No. RU2488667C2. 07/27/2013. (rus)
7. Pushkarev B.A. Sposob izgotovleniya monolityh zhelezobonnyh balochnyh plit perekrytij s kruglymi pustotami, s primeneniem neizvlekaemyh kartonno-polietilenovyh pustotoobrazovatelej [Method of manufacturing monolithic reinforced concrete floor slabs with round voids, using non-removable cardboard-polyethylene void formers] // Russian Patent No.RU2634156C2. 10/24/2017. (rus)
8. STO 38311046-001-2019 «Monolithic reinforced concrete lightweight slabs with Simkar void formers. Rules of design and construction». (rus)
9. STO 35546020.001-2016 «Fixed formwork (voids and couplings) Sibforma ®. General information about the technology, product range. Recommendations for the calculation and design of monolithic girderless floor slabs with non-removable formwork Sibform ® in accordance with SP 63.13330.2012». (rus)
10. Tiwari N. and Zafar S. Structural Behavior of Bubble Deck Slabs and Its Application: Main Paper. *IJSRD International Journal for Scientific Research & Development*. 2016. Vol. 4. Issue 02. Pp: 433-437. ISSN (online): 2321-0613.
11. Ibrahim A. M., Ali N. K., and Salman W. D. Flexural Capacities of Reinforced Concrete Two-Way Bubbledeck Slabs of Plastic Spherical Voids. *J. Print. Iraq*. 2013. Vol. 06. No. 02. Pp: 9-20.
12. Valivonis J., Skuturna T, Daugeviius M. and Šneideris A. Punching shear strength of reinforced concrete slabs with plastic void formers. *Constr. Build. Mater*. 2017. Vol.145. Pp: 518-527.
13. Saifulla M., Azeem M. A. Comparative Seismic Performance of a Conventional Slab and Flat Slab over a Bubble Deck Slab. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. November 2017. Vol. 7. Issue 11.. Pp: 137-143.
14. Teja P. P., Kumar P. V, Mounika C. R., and Saha P. Structural Behavior of Bubble Deck Slab. January 2012. Pp: 383-388.
15. Lakshminanth L., Poluraju P. Performance of Structural Behaviour of Bubble Deck Slab. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. April 2019. Vol.7. Issue 6C2. ISSN: 2277-3878.
16. Varghese J. P, M. George. Parametric Investigation on the Seismic Response of Voided and Solid Flat Slab Systems. *IJSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. March 2018. Vol. 5. Issue 3. Pp: 256-258.
17. Mahalakshmi S., S. Nanthini S., and Saha A. P. Experimental Studies on Comparison of Conventional Slab and Bubble Deck Slab Based on Strength. 2017. Vol. 5. Pp: 580-588.
18. Orlova M.D., Mnushkin M.A., Evtushenko I.S., Vinogradova K.I., Egarmin K.A. Analiz primeneniya pustotoobrazovatelej iz reciklirovannogo polipropilena pri sozdaniy oblegchennyh monolityh perekrytij. Issledovanie razlichnyh napravlenij sovremennoj nauki: Sbornik materialov XXI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. [Analysis of the use of hollow formers from recycled polypropylene in the creation of lightweight monolithic floors. Research of various directions of modern science: Collection of materials of the XXI International Scientific and practical Conference]. Part 1. Moscow. 2017. Pp.562-567. (rus)
19. Filimonova E. S. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya monolitnoj plity perekrytiya s pustotoobrazovatelyami po sisteme Cobiax na osnovanii razlichnyh raschetnyh modelej [Analysis of the stress-strain state of a monolithic floor slab with void generators according to the Cobiax system based on various computational models] // *J. Young Scientist*. 2022. No. 20 (415). Pp. 107-109. (rus)
20. Malahova A.N. Pustotnye kessonnye plity perekrytij monolityh mnogoetazhnyh zdaniy [Hollow coffered floor slabs of monolithic multi-storey buildings] // *J. Vestnik MGSU*. 2016. No. 6. Pp. 15-24. (rus)
21. SP 63.13330.2018 «Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Updated edition of SNiP 52-01-2003». (rus)
22. Handbook of the designer of industrial, residential and public buildings and structures / edited by A.A. Umansky. Moscow: Gosstroyizdat, 1960. 1041 p. (rus)
23. SP 20.13330.2016 «Loads and impacts. Updated version of SNiP 2.01.07-85». (rus)

Информация об авторах:

Джамуев Булат Калсынович

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

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: dbk-07@mail.ru

Information about authors:

Dzhamuev Bulat K.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

candidate of technical science, associated professor, associated professor of the department of reinforced concrete and stone structures.

E-mail: dbk-07@mail.ru

В.И. КОЛЧУНОВ^{1,2}, С.Б. КРЫЛОВ³, С.С. ФЕДОРОВ¹¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия²Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия³Научно-исследовательский центр "Строительство", (НИИЖБ) Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева

ЖЕСТКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИЗГИБЕ С УЧЕТОМ ПОПЕРЕЧНОЙ И ПРОДОЛЬНОЙ СИЛ (ЧАСТЬ 2)

Аннотация. Приведены физическая и расчётная модель для определения параметров предельных состояний железобетонных конструкций при сложном напряжённом состоянии - изгибе с продольной и поперечными силами. На основе принятой схемы дискретизации поперечного сечения и теоремы А.Р. Ржаницына о двойственности между силовыми и деформационными параметрами построены прямой и обратный переход для определения коэффициентов матрицы жёсткости железобетонных стержневых конструкций с наклонными и нормальными трещинами. Определение жёсткости конструкций в зоне наклонных трещин выполнено на основе модели составных полосок, на которые разбивается зона с наклонными трещинами. При этом принята гипотеза о характере распределения деформаций в сложнапряжённом железобетонном элементе с наклонными трещинами. Для этой модели получен условный модуль сдвига, позволяющий определять средние относительные линейные и угловые деформации бетоны и арматуры в точке, прилегающей к шву сдвига между наклонными трещинами. На основе этой модели и с использованием экспериментально полученного значения относительного сдвига в наклонной трещине определены нагельные усилия в арматурном стержне, пересекаемом наклонной трещиной. Использование полученных аналитических зависимостей в практике проектирования железобетонных конструкций позволяет не только существенно уточнить определение перемещений и ширины раскрытия наклонных и нормальных трещин, но и максимально сблизить расчётную и физическую модель, базирующуюся на экспериментальных данных.

Ключевые слова: железобетон, жёсткость, физическая модель, расчётная модель, наклонная трещина, сдвиг, нагельный эффект, составной стержень.

VL. I. KOLCHUNOV^{1,2}, S.B. KRYLOV³, S.S. FEDOROV¹¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia²Scientific Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia³Gvozdev Research Institute of Reinforced Concrete, JSC SIC Construction, Moscow, Russia.

STIFFNESS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES UNDER BENDING CONSIDERING SHEAR AND AXIAL FORCES (PART 2)

Abstract. The paper presents a physical and computational model for determining the parameters of limit states of reinforced concrete structures under complex stressed state - bending with axial and shear forces. Based on the adopted scheme of cross-section discretization and A.R. Rzhantsyn's theorem of duality between force and deformation parameters, the forward and backward transfer for determining the coefficients of the stiffness matrix of reinforced concrete rod structures with inclined and normal cracks have been constructed. Stiffness of structures in the zone of inclined cracks is determined using the model of composite strips which separate the zone with inclined cracks. The hypothesis about the character of deformation distribution in a complex-stressed reinforced concrete element with inclined cracks is accepted.

For this model the conditional shear modulus is obtained, which allows to determine the average relative linear and angular strains of concrete and reinforcement at the point adjacent to the shear joint between inclined cracks. Based on this model and using the experimentally obtained value of the relative shear in the inclined crack, the dowel forces in the reinforcing bar intersected by the inclined crack were determined. The application of the obtained analytical relationships in the practice of designing reinforced concrete structures allows not only to clarify significantly the definition of displacements and width of opening of inclined and normal cracks, but also to maximize the convergence of the design and physical model based on experimental data.

Keywords: reinforced concrete, stiffness, physical model, computational model, inclined crack, shear, dowel effect, composite bar.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Arzamastsev S.A., Rodevich V.V. To the calculation of reinforced concrete elements for bending with torsion // Proceedings of higher educational institutions, Building. 2015. vol. 681. no. 9, Pp. 99-109.
2. Ilker Kalkan, Saruhan Kartal. Torsional Rigidities of Reinforced Concrete Beams Subjected to Elastic Lateral Torsional Buckling // International Journal of Civil and Environmental Engineering. 2017. Vol. 11. No.7. Pp. 969-972.
3. Klein G., Lucier G., Rizkalla S., Zia P., Gleich H. Torsion simplified: a failure plane model for design of spandrel beams // ACI Concrete International Journal, February 2012. Pp.1-19
4. Lin W. Experimental investigation on composite beams under combined negative bending and torsional moments // Advances in Structural Engineering. 2021. 24(6). Pp. 1456-1465. <https://doi.org/10.1177/1369433220981660>.
5. Залесов А.С., Мухамедиев Т.А., Чистяков Е.А. Расчет трещиностойкости железобетонных конструкций по новым нормативным документам // Бетон и железобетон. 2002. №5. С. 15-18.
6. Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н.Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности, трещиностойкости и деформациям. М.: Изд. АСВ, 2010. 352 с.
7. Крылов С.Б. Построение точного общего решения уравнения изгиба железобетонного стержня с учетом ползучести и трещинообразования // Бетон и железобетон в Украине. 2002. №4(14). С. 2-4.
8. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов Вл. И., Каприелов С.С., Демьянов А.И., Конорев А.В. Основные результаты экспериментальных исследований железобетонных конструкций из высокопрочного бетона В100 круглого и кольцевого сечений при кручении с изгибом // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. №15(1). С.51-61.
9. Демьянов А.И., Сальников А.С., Колчунов Вл. И. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций при кручении с изгибом и анализ их результатов // Строительство и реконструкция. 2017. №4(72). С. 17-26.
10. Колчунов В.И., О.И. Аль-Хашими, Протченко М.В. Жесткость железобетонных конструкций при изгибе с поперечной и продольной силами // Строительство и реконструкция. 2021. №6. С. 5-19.
11. Колчунов Вл. И., Федоров В.С. Понятийная иерархия моделей в теории сопротивления строительных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2020. №8. с. 16-23. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.08.16-23.
12. Kolchunov Vl. I., Dem'yanov A. I. The modeling method of discrete cracks and rigidity in reinforced concrete // Magazine of Civil Engineering, 2019. vol. 88. no. 4. Pp. 60-69, DOI: 10.18720/MCE.88.6.
13. Karpenko N. I., Kolchunov Vl. I., Travush V. I. Calculation model of a complex stress reinforced concrete element of a boxed section during torsion with bending // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2021. vol. 51. no. 3. Pp. 7-26, DOI: 10.36622/VSTU.2021.51.3.001.
14. Горностаев И. С., Ключева Н. В., Колчунов Вл. И., Яковенко И. А. Деформативность железобетонных составных конструкций с наклонными трещинами // Строительная механика и расчет сооружений. – 2014. – № 5(256). – С. 60-66.
15. Гусев Б.В., Звездов А.И. Теоретические и экспериментальные исследования статистических вопросов прочности бетонов // Строительные материалы. 2017. № 11. С. 18-21.
16. Бондаренко В.М., Колчунов Вл.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М.: Изд-во АСВ, 2004. 471 с.
17. Веружский Ю.В., Колчунов Вл.И. Методы механики железобетона. Учебное пособие. - К.: Книжное издательство НАУ, 2005. 653 с

18. Гольшев А. Б. Соппротивление железобетона / А. Б. Гольшев, Вл. И. Колчунов. – К.: Основа, 2009.
19. Гольшев А.Б., Колчунов Вл. И. Соппротивление железобетонных конструкций, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях (монография). Киев: Основа. 2010. 286 с.
20. Емельянов С. Г., Немчинов Ю. И., Колчунов Вл.И., Марьенков Н. Г., Яковенко И. А. Особенности расчета сейсмостойкости крупнопанельных зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №12. С. 64–71.
21. Kim C., Kim S., Kim K.-H., Shin D., Haroon M., Lee J.-Y. Torsional Behavior of Reinforced Concrete Beams with High-Strength Steel Bars // ACI Structural Journal. 2019. – 116. Pp. 251-233.
22. Велюжский Ю.В., Гольшев А.Б., Колчунов Вл.И., Клюева Н.В., Лисицин Б.М., Машков И.Л., Яковенко И.А. Справочное пособие по строительной механике. В двух томах. Том II: Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2014.432 с.
23. Баширов Х. З., Колчунов Вл. И., Федоров В. С., Яковенко И. А. Железобетонные составные конструкции зданий и сооружений. Москва: Издательство АСВ, 2017. 248 с.
24. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами, М: Стройиздат. 1976. 204 с.
25. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 410 с.
26. Карпенко, С. Н. Об общем подходе к построению теории прочности железобетонных элементов при действии поперечных сил // Бетон и железобетон. 2007. №2. С. 21-27.
27. Колчунов В.И., Крылов С.Б., Федоров С.С. Жесткость железобетонных конструкций при изгибе с учётом поперечной и продольной сил (часть 1) // Строительство и реконструкция. 2023. № 6. С. 25-40. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-110-6-25-40>

REFERENCES

1. Arzamastsev S.A., Rodevich V.V. To the calculation of reinforced concrete elements for bending with torsion. *Proceedings of higher educational institutions. Building*. 2015. vol. 681. no. 9, Pp. 99-109.
2. IlkerKalkan, SaruhanKartal. Torsional Rigidities of Reinforced Concrete Beams Subjected to Elastic Lateral Torsional Buckling. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*. 2017. Vol. 11. No.7. Pp. 969–972.
3. G. Klein, G. Lucier, S. Rizkalla, P. Zia and H. Gleich. Torsion simplified: a failure plane model for design of spandrel beams. *ACI Concrete International Journal*. 2012. February. Pp.1-19
4. Lin W. Experimental investigation on composite beams under combined negative bending and torsional moments. *Advances in Structural Engineering*. 2021. 24(6). Pp. 1456–1465. DOI: 10.1177/1369433220981660.
5. Zalesov A.S., Mukhamediev T.A., Chistyakov E.A. Calculation of crack resistance of reinforced concrete structures according to new normative documents. *Concrete and Reinforced Concrete*. 2002. No. 5. Pp. 15-18.
6. Kodysh E.N., Nikitin I.K., Trekin N.N. Calculation of reinforced concrete structures from heavy concrete on strength, crack resistance and deformations. Moscow: Publ. ASV, 2010. 352 p.
7. Krylov S.B. Construction of the exact general solution of the bending equation of a reinforced concrete rod with account of creep and cracking. *Concrete and Reinforced Concrete in Ukraine*. 2002. No. 4(14). Pp. 2-4.
8. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov Vl. I., Kaprielov S.S., Demyanov A.I., Konorev A.V. Main results of experimental studies of reinforced concrete structures of high-strength concrete B100 round and circular cross sections in torsion with bending. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2019. vol. 15. no. 1. Pp. 51-61. DOI:10.22363/1815-5235-2019-15-1-51-61
9. Demyanov A.I., Salnikov A.S., Kolchunov Vl. I. The experimental studies of reinforced concrete constructions in torsion with bending and the analysis of their results. *Building and Reconstruction*, 2017. vol. 72, no. 4. Pp. 17–26.
10. Kolchunov V.I., Al-Hashimi O.I., Protchenko M.V. Bending stiffness of reinforced concrete structures with transverse and longitudinal forces. *Building and reconstruction*. 2021. No. 6. Pp. 5-19.
11. Kolchunov Vl. I., Fedorov V.S. Conceptual Hierarchy of Models in the Theory of Resistance of Building Structures. *Industrial and Civil Engineering*. 2020. No. 8. Pp. 16–23, DOI: 10.33622/0869-7019.2020.08.16-23.
12. Kolchunov V. I., Dem'yanov A. I. The modeling method of discrete cracks and rigidity in reinforced concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2019. vol. 88. no. 4. p. 60-69, DOI: 10.18720/MCE.88.6.
13. Karpenko N. I., Kolchunov Vl. I., Travush V. I. Calculation model of a complex stress reinforced concrete element of a boxed section during torsion with bending. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2021. vol. 51. no. 3. Pp. 7-26. DOI: 10.36622/VSTU.2021.51.3.001.
14. Gornostaev I.S., Klyueva N.V., Kolchunov Vl.I., Yakovenko I.A. Deformability of reinforced concrete composite structures with inclined cracks. *Structural mechanics and calculation of structures*. 2014. No. 5 (256). Pp. 60-66.

15. Gusev B.V., Zvezdov A.I. Theoretical and experimental studies of statistical issues of concrete strength. *Construction Materials*. 2017. No. 11. Pp. 18-21.
16. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Design models of the power resistance of reinforced concrete. Moscow: Publishing house ASV, 2004. 471 p.
17. Veruzhsky Yu.V., Kolchunov V.I. Methods of reinforced concrete mechanics. Kiev: NAU Book Publishing House. 2005. 653 p.
18. Golyshev A.B., Kolchunov V.I. Reinforced concrete resistance. Kiev: Osнова, 2009. 432 p.
19. Golyshev A.B., Kolchunov V.I. Soprotivlenie zhelezobetonnykh konstrukcij, vozvodimyh v slozhnyh inzhenerno-geologicheskikh usloviyah [Resistance of reinforced concrete structures erected in complex engineering-geological conditions] Kiev: Osнова, 2010. 286 p. (in Russian).
20. Emelianov s. G., Nemchinov Yu. I., Maryenkov N. G., Kolchunov V. I., Yakovenko I. A. Features of calculation of seismic stability of large-panel buildings. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 12. Pp. 64–71. (in Russian).
21. Kim C., Kim S., Kim K.-H., Shin D., Haroon M., Lee J.-Y. Torsional Behavior of Reinforced Concrete Beams with High-Strength Steel Bars. *ACI Structural Journal*. 2019. 116. Pp. 251-233.
22. Velyuzhsky Yu.V., Golyshev A.B., Kolchunov V.I., Klyueva N.V., Lisitsin B.M., Mashkov I.L., Yakovenko I.A. A reference guide to structural mechanics: Volume II. Moscow: Publishing house ABC. 2014. 432 p.
23. Bashirov Kh.Z., Kolchunov V. I., Fedorov V.S., Yakovenko I.A. Reinforced concrete composite structures of buildings and structures. Moscow: ASV Publishing House, 2017. 248 p.
24. Karpenko N.I. The theory of deformation of reinforced concrete with cracks. Moscow: Stroyizdat. 1976.
25. Karpenko N.I. General models of reinforced concrete mechanics. Moscow: Stroyizdat, 1996. 410 p.
26. Karpenko, S.N. On the general approach to the construction of the theory of strength of reinforced concrete elements under the action of transverse forces. *Concrete and reinforced concrete*. 2007. No. 2. Pp. 21-27.
27. Kolchunov V.I., Krylov S.B., Fedorov S.S. Stiffness of reinforced concrete structures under bending considering shear and axial forces (part 1). *Building and Reconstruction*. 2023. No. 6. Pp. 25-40. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-110-6-25-40>

Информация об авторах:

Колчунов Владимир Иванович

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,

Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры инженерной графики и компьютерного моделирования.

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), г. Москва, Россия

Главный научный сотрудник

E-mail: vlik52@mail.ru

Крылов Сергей Борисович

Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией механики железобетона НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»»

E-mail: niizhb_lab8@mail.ru

Федоров Сергей Сергеевич

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Росси

Кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой инженерной графики и компьютерного моделирования

E-mail: fedorovss@mgsu.ru

Information about authors:

Kolchunov Vladimir Iv.

Moscow State University of Civil Engineering (NIU MGSU), Moscow, Russia,
Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of Engineering Graphics and Computer Modeling.
Scientific Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia, chief researcher
E-mail: vlik52@mail.ru

Krylov Sergey B.

Gvozdev Research Institute of Reinforced Concrete, JSC SIC Construction, Moscow, Russia,
Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, doctor of technical sciences, professor, head of the Reinforced Concrete Mechanics Laboratory at the Gvozdev Research Institute for Reinforced Concrete.
E-mail: niizhb_lab8@mail.ru

Fedorov Sergey S.

Moscow State University of Civil Engineering (NIU MGSU), Moscow, Russia,
candidate of technical sciences, head of the Department of Engineering Graphics and Computer Modeling.
E-mail: fedorovss@mgsu.ru

В.В. НАДОЛЬСКИЙ^{1,2}

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

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

НЕСОВЕРШЕНСТВА ДЛЯ РАСЧЕТА СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ. ЧАСТЬ 1.

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

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

V.V. NADOLSKI^{1,2}

¹Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus

²Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

IMPERFECTIONS FOR THE CALCULATION OF STEEL STRUCTURES BY THE FINITE ELEMENT METHOD. PART 1.

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Graciano C., Ayestarán A. Steel plate girder webs under combined patch loading, bending and shear // *Journal of Constructional Steel Research*. 2013. Vol. 80. P. 202–212. DOI: 10.1016/j.jcsr.2012.09.018.
2. Kövesdi B., Alcaine J., Dunai L., Braun B. Interaction behaviour of steel I-girders Part I: Longitudinally girders // *Journal of Constructional Steel Research*. 2014. Vol. 103. P. 327–343. DOI: 10.1016/j.jcsr.2014.06.018.
3. Kövesdi B., Alcaine J., Dunai L., Braun B. Interaction behaviour of steel I-girders; part II: Longitudinally stiffened girders // *Journal of Constructional Steel Research*. 2014. Vol. 103. P. 344–353. DOI: 10.1016/j.jcsr.2014.06.017.
4. Nadolski V., Marková J., Podymako V., Sykora M. Pilot numerical analysis of resistance of steel beams under combined shear and patch loading // *Proceedings of conference Modelling in Mechanics 2022, Ostrava, 26-27 May 2022*. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Fakulta stavební, 2021, p. 21-29.
5. Kovacevic S., Markovic N., Sumarac D., Salatic R. Influence of patch load length on plate girders. Part II: Numerical research // *Journal of Constructional Steel Research*. 2019. Vol. 158. P. 213–229. DOI: 10.1016/j.jcsr.2019.03.025.
6. Sinur F., Beg D. Moment–shear interaction of stiffened plate girders—Tests and numerical model verification // *Journal of Constructional Steel Research*. 2013. Vol. 85. P. 116–129. DOI: 10.1016/j.jcsr.2013.03.007.
7. Надольский В.В. Расчет и конструирование фланцевого соединения элементов прямоугольного сечения, подверженных центральному растяжению // *Вестник Полоцкого государственного университета*. 2018. № 16. С. 121–130.
8. Надольский В.В. Параметры численных моделей несущей способности для стальных элементов // *Строительство и реконструкция*. 2023. № 1(1). С. 43–56. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-105-1-43-56.
9. Надольский В. В., Вихляев А.И. Оценка несущей способности балок с гофрированной стенкой методом конечных элементов при действии локальной нагрузки // *Вестник МГСУ*. 2022. Т. 17. Вып. 6. С. 693–706. DOI: 10.22227/1997-0935.202.
10. Надольский В. В., Подымако В.И. Оценка несущей способности стальной балки методом конечных элементов при совместном действии локальных и сдвиговых усилий // *Строительство и реконструкция*. 2022. №2 (100). С.26-43.
11. Кужава З. Статистическая оценка случайных неправильностей реальных центрально сжатых стержней // *Строительная механика и расчёт сооружений*. 1982. №5. с.61-62.
12. Шапиро В.Д. Статистическое исследование начальных искривлений при заводском изготовлении стальных стропильных ферм // В кн.: *Проблемы надёжности в строительном проектировании*. Свердловск. 1972. С.268-273.
13. Корчак М.Д. О влиянии начальных искривлений пояса на устойчивость решетчатого стержня // *Совершенствование и развитие норм проектирования стальных строительных конструкций: Сб. науч. тр. ЦНИИСКА им. Кучеренко*. Москва. 1981. С. 119 - 127.
14. Броуде Б.М., Моисеев В.И. Устойчивость прямоугольных пластинок с упругим защемлением продольных сторон // *Строительная механика и расчет сооружений*. 1982. № 1. с. 39 - 42.
15. Белый Г.И., Стегачев П.Б. Пространственное деформирование несущая способность сжатых стержней стальных ферм, имеющих начальные геометрические несовершенства // *Металлические конструкции и испытание сооружений*. 1982. С. 66-75.
16. Горев В.В., Путилин В.М. О несущей способности и деформативности сжатых сквозных стержней // *Строительная механика и расчет сооружений*. 1976. № 3. С. 34 - 37.
17. Грудев И.Д., Симон Н.Ю. Расчёт зон пластичности при сжатии первоначально искривлённого стержня // *Известия ВУЗов. Строительство и архитектура*. 1984. №7. С.27-30.
18. Schmidt H. Stability of steel shell structures: General report // *Journal of Constructional Steel Research*. 2000. Vol. 55(1-3). P. 159-181.
19. Somodi B., Kövesdi B. Residual stress measurements on welded square box-sections using steel grades of S235-S960 // *Thin-Walled Structures*. 2018. Vol. 123. P. 142-154. DOI: 10.1016/j.tws.2017.11.028..
20. ECCS TC8, Ultimate limit state calculation of sway frames with rigid joints. Publication No. 33, 1984.
21. Rasmussen K.J.R., Hancock G.J. Plate slenderness limits for high strength steel sections // *Journal of Constructional Steel Research*. 1992. Vol. 23. P. 73–96. DOI: 10.1016/0143-974X(92)90037-F.

22. Ban H., Shi G., Shi Y., Wang Y. Overall buckling behavior of 460MPa high strength steel columns: Experimental investigation and design method // *Journal of Constructional Steel Research*. 2012. Vol. 74. P. 140–150. DOI: 10.1016/j.jcsr.2012.0.
23. Ban H., Shi G., Shi Y., Bradford M.A. Experimental investigation of the overall buckling behaviour of 960 MPa high strength steel columns // *Journal of Constructional Steel Research*. 2013. Vol. 88. P. 256–266. DOI: 10.1016/j.jcsr.2013.05.015.
24. Pavlovčič, Froschmeier B., Kuhlmann U., Beg D. Finite element simulation of slender thin-walled box columns by implementing real initial conditions // *Advances in Engineering Software*. 2012. Vol. 44(1). P. 63–74. DOI: 10.1016/j.adv.
25. Cruise R.B., Gardner L. Residual stress analysis of structural stainless steel sections // *Journal of Constructional Steel Research*. 2008. Vol. 64(3). P. 352–366. DOI: 10.1016/j.jcsr.2007.08.001.
26. DegéH., Detzl A., Kuhlmann U. Interaction of global and local buckling in welded RHS compression members // *Journal of Constructional Steel Research*. 2008. Vol. 64(7-8). P. 755-766. DOI: 10.1016/j.jcsr.2008.01.032.
27. Arrayago I., Rasmussen K.J.R. Influence of the imperfection direction on the ultimate response of steel frames in advanced analysis // *Journal of Constructional Steel Research*. 2022. Vol. 190. Paper 107137. Doi: 10.1016/j.jcsr.2022.107.
28. Timmers R. Influence of the imperfection shapes on the collapse mechanisms of stiffened plates with class 4 trapezoidal stiffeners // *Proceedings of the 8th International Conference on Coupled Instabilities in Metal Structures*, LodźUniversity of Technology, Poland, July 12-14, 2021. DOI:10.2139/ssrn.3867313.
29. Timmers R., Lener G. Collapse mechanisms and load–deflection curves of unstiffened and stiffened plated structures from bridge design // *Thin Walled Structures*. 2016. Vol. 106. P. 448–458. DOI: 10.1016/j.tws.2016.05.020.
30. Radwan M., Kövesdi B. Equivalent geometrical imperfections for local and global interaction buckling of welded square box section columns // *Structures*. 2023. Vol. 48. P. 1403-1419. DOI: 10.1016/j.istruc.2023.01.045.

REFERENCES

1. Graciano C., Ayestarán A. Steel plate girder webs under combined patch loading, bending and shear . *Journal of Constructional Steel Research*. 2013. Vol. 80. P. 202–212. DOI: 10.1016/j.jcsr.2012.09.018.
2. Kövesdi B., Alcaine J., Dunai L., Braun B. Interaction behaviour of steel I-girders Part I: Longitudinally unstiffened girders. *Journal of Constructional Steel Research*. 2014. Vol. 103. P. 327–343. DOI: 10.1016/j.jcsr.2014.06.018.
3. Kövesdi B., Alcaine J., Dunai L., Braun B. Interaction behaviour of steel I-girders; part II: Longitudinally stiffened girders. *Journal of Constructional Steel Research*. 2014. Vol. 103. P. 344–353. DOI: 10.1016/j.jcsr.2014.06.017.
4. Nadolski V., Marková J., Podymako V., Sykora M. Pilot numerical analysis of resistance of steel beams under combined shear and patch loading. *Proceedings of conference Modelling in Mechanics 2022*, Ostrava, 26-27 May 2022. Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Fakulta stavební. 2021, p. 21-29.
5. Kovacevic S., Markovic N., Sumarac D., Salatic R. Influence of patch load length on plate girders. Part II: Numerical research. *Journal of Constructional Steel Research*. 2019. Vol. 158. P. 213–229. DOI: 10.1016/j.jcsr.2019.03.025.
6. Sinur F., Beg D. Moment–shear interaction of stiffened plate girders—Tests and numerical model verification. *Journal of Constructional Steel Research*. 2013. Vol. 85. P. 116–129. DOI: 10.1016/j.jcsr.2013.03.007.
7. Nadol'skij V.V. Raschet i konstruirovaniye flancevogo soedineniya elementov pryamougol'nogo secheniya, podverzhennyh central'nomu rastyazheniyu [Calculation and design of the flange connection of rectangular cross-section elements subject to central tension]. *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta*. 2018. № 16. S. 121–130. (rus)
8. Nadol'skij V.V. Parametry chislennyh modelej nesushchej sposobnosti dlya stal'nyh elementov [Parameters of numerical models of bearing capacity for steel elements] *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2023. № 1(1). S. 43-56. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-105-1-43-56. (rus)
9. Nadol'skij V. V., Vihlyayev A.I. Ocenka nesushchej sposobnosti balok s gof-rirovannoj stenкой metodom konechnykh elementov pri dejstvii lokal'noj nagruzki [Assessment of the bearing capacity of beams with a corrugated wall by the finite element method under local load] *Vestnik MGSU*. 2022. T. 17. Vyp. 6. S. 693–706. DOI: 10.22227/1997-0935.202. (rus)
10. Nadol'skij V. V., Podymako V.I. Ocenka nesushchej sposobnosti stal'noj balki metodom konechnykh elementov pri sovmestnom dejstvii lokal'nyh i sdvigovykh usilij [Assessment of the bearing capacity of a steel beam by the finite element method under the combined action of local and shear forces] *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2022. №2 (100). S.26-43. (rus)

11. Kuzhava Z. Statisticheskaya ocenka sluchajnyh nepravil'nostej real'nyh central'no szhatyh sterzhnej [Statistical evaluation of random irregularities of real centrally compressed rods]. *Stroitel'naya mekhanika i raschyot sooruzhenij*. 1982. №5. s.61-62. (rus)
12. SHapiro V.D. Statisticheskoe issledovanie nachal'nyh iskrivlenij pri zavodskom izgotovlenii stal'nyh stropil'nyh ferm [Statistical study of initial curvatures in the factory manufacture of steel trusses]. V kn.: Problemy nadyozhnosti v stroitel'nom proektirovanii. Sverdlovsk. 1972. S.268-273. (rus)
13. Korchak M.D. O vliyanii nachal'nyh iskrivlenij poyasa na ustojchivost' re-shetchatogo sterzhnya [On the effect of the initial curvature of the belt on the stability of the lattice rod] *Sovershenstvovanie i razvitie norm proektirovaniya stal'nyh stroitel'nyh konstrukcij: Sb. nauch. tr. CNIISKA im. Kucherenko. Moskva. 1981. S. 119 - 127. (rus)*
14. Broude B.M., Moiseev V.I. Ustojchivost' pryamougol'nyh plastinok s uprugim zashchemleniem prodol'nyh storon [Stability of rectangular plates with elastic clamping of longitudinal sides] *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij*. 1982. № 1. s. 39 - 42. (rus)
15. Belyj G.I., Stegachev P.B. Prostranstvennoe deformirovanie nesushchaya spo-sobnost' szhatyh sterzhnej stal'nyh ferm, imeyushchih nachal'nye geometricheskie neso-vershenstva [Spatial deformation bearing capacity of compressed rods of steel trusses having initial geometric irregularities] *Metallicheskie konstrukcii i ispytanie sooruzhenij*. 1982. S. 66-75. (rus)
16. Gorev V.V., Putilin V.M. O nesushchej sposobnosti i deformativnosti szha-tyh skvoznyh sterzhnej [On the bearing capacity and deformability of compressed through rods] *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij*. 1976. № 3. S. 34 - 37. (rus)
17. Grudev I.D., Simon N.YU. Raschyot zon plastichnosti pri szhatii pervona-chal'no iskrivlyonnogo sterzhnya [Calculation of plasticity zones under compression of a initially curved rod] *Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo i arhitektura*. 1984. №7. S.27-30. (rus)
18. Schmidt H. Stability of steel shell structures: General report . *Journal of Constructional Steel Research*. 2000. Vol. 55(1-3). P. 159-181.
19. Somodi B., Kövesdi B. Residual stress measurements on welded square box-sections using steel grades of S235-S960 . *Thin-Walled Structures*. 2018. Vol. 123. P. 142-154. DOI: 10.1016/j.tws.2017.11.028.
20. ECCS TC8, Ultimate limit state calculation of sway frames with rigid joints. Publication No. 33, 1984.
21. Rasmussen K.J.R., Hancock G.J. Plate slenderness limits for high strength steel sections . *Journal of Constructional Steel Research*. 1992. Vol. 23. P. 73–96. DOI: 10.1016/0143-974X(92)90037-F.
22. Ban H., Shi G., Shi Y., Wang Y. Overall buckling behavior of 460MPa high strength steel columns: Experimental investigation and design method . *Journal of Constructional Steel Research*. 2012. Vol. 74. P. 140–150. DOI: 10.1016/j.jcsr.2012.0.
23. Ban H., Shi G., Shi Y., Bradford M.A. Experimental investigation of the overall buckling behaviour of 960 MPa high strength steel columns . *Journal of Constructional Steel Research*. 2013. Vol. 88. P. 256–266. DOI: 10.1016/j.jcsr.2013.05.015.
24. Pavlovčič L., Froschmeier B., Kuhlmann U., Beg D. Finite element simulation of slender thin-walled box columns by implementing real initial conditions . *Advances in Engineering Software*. 2012. Vol. 44(1). P. 63–74. DOI: 10.1016/j.adv.
25. Cruise R.B., Gardner L. Residual stress analysis of structural stainless steel sections . *Journal of Constructional Steel Research*. 2008. Vol. 64(3). P. 352–366. DOI: 10.1016/j.jcsr.2007.08.001.
26. Degée H., Detzel A., Kuhlmann U. Interaction of global and local buckling in welded RHS compression members . *Journal of Constructional Steel Research*. 2008. Vol. 64(7-8). P. 755-766. DOI: 10.1016/j.jcsr.2008.01.032.
27. Arrayago I., Rasmussen K.J.R. Influence of the imperfection direction on the ultimate response of steel frames in advanced analysis . *Journal of Constructional Steel Research*. 2022. Vol. 190. Paper 107137. Doi: 10.1016/j.jcsr.2022.107.
28. Timmers R. Influence of the imperfection shapes on the collapse mechanisms of stiffened plates with class 4 trapezoidal stiffeners . *Proceedings of the 8th International Conference on Coupled Instabilities in Metal Structures, Lodz University of Technology, Poland, July 12. 14, 2021. DOI:10.2139/ssrn.3867313.*
29. Timmers R., Lener G. Collapse mechanisms and load–deflection curves of unstiffened and stiffened plated structures from bridge design . *Thin Walled Structures*. 2016. Vol. 106. P. 448–458. DOI: 10.1016/j.tws.2016.05.020.
30. Radwan M., Kövesdi B. Equivalent geometrical imperfections for local and global interaction buckling of welded square box section columns . *Structures*. 2023. Vol. 48. P. 1403-1419. DOI: 10.1016/j.istruc.2023.01.045.

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

О.А. СИМАКОВ¹, В.А. НЕЩАДИМОВ¹

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСИЛЕНИЯ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ОДНОСТОРОННИМИ АППЛИКАЦИЯМИ ИЗ ТОРКРЕТ-БЕТОНА

***Аннотация.** Несущие конструкции из каменной кладки достаточно распространены в том числе в сейсмоопасных районах и зонах, в которых проводились боевые действия. При этом имеющиеся модели кладки, а также технологии усиления в основном ориентированы либо на усиление с целью повышения несущей способности, либо восстановление поврежденных при эксплуатации, фактически статических нагрузок, конструкций. Комплексные методики восстановления, а также модели усиленной кладки, получившей повреждения в результате сейсмических или минно-взрывных воздействий, по большей части не ориентированы на массовое применение и подразумевают в основном перекладку разрушенных участков. В месте с тем имеется необходимость в адаптации существующих высокотехнологичных методик усиления конструкций из каменной кладки под массовое применение с учетом последних разработок в области материаловедения. Наиболее оптимальным вариантом усиления по мнению авторов оказалось применение односторонних аппликаций из торкрет-бетона. Для данного метода была определена и описана модель усиленной каменной кладки с целью проведения расчетного обоснования и разработана комплексная методика расчета и проектирования применительно в том числе к несущим конструкциям многоэтажных зданий. На основании лабораторных исследований было обосновано конструктивное решение по креплению аппликаций только за счет сил адгезии к поверхности базовой кладки. Указанная комплексная методика прошла адаптацию на реальных объектах многоэтажных зданиях с несущими стенами из каменной кладки.*

***Ключевые слова:** торкрет-бетон, каменная кладка, усиление, восстановление.*

O.A. SIMAKOV¹, V. A. NESHCHADIMOV¹

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

DESIGN OF MASONRY STRENGTHENING WITH ONE-SIDED SHOTCRETE APPLICATIONS

***Abstract.** Load-bearing masonry is quite widespread, including in earthquake-prone areas and zones in which military operations were carried out. At the same time, the existing masonry models, as well as reinforcement technologies, are mainly focused either on strengthening in order to increase the load-bearing capacity, or on restoring structures damaged during operation, actually static loads. Complex retrofitting methods, as well as models of reinforced masonry that have been damaged as a result of seismic or mine-explosive impacts, for the most part are not focused on mass use and imply mainly the re-laying of destroyed areas. At the same time, there is a need to adapt existing high-tech methods of strengthening masonry structures for mass use, taking into account the latest developments in the field of materials science. The most optimal variant of reinforcement, according to the authors, was the use of single-sided shotcrete applications. For this method, a model of reinforced masonry was defined and described in order to carry out a calculation justification and a comprehensive calculation and design methodology was developed, including for load-bearing multi-storey buildings structures. On the basis of laboratory studies, a constructive solution for fixing applications was justified only due to the forces of adhesion to the surface of the base masonry. The specified complex technique was adapted on real objects of multi-storey buildings with load-bearing masonry walls.*

***Keywords:** shotcrete-concrete, masonry, reinforcement, restoration.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашкенази Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов. М.: Лесная промышленность, 1978. 224 с.
2. Трошин М.Ю., Турков А.В. Влияние шага поперечных слоев на деформативность и распределение напряжений в трехслойных плитах древесины перекрестно-клееной // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: VII Международная научно-практическая конференция, приуроченная к проведению в Российской Федерации Десятилетия науки и технологий 24-25 ноября 2022 года – Омск, 2022 – С.515-519.
3. Трошин М.Ю., Турков А.В. Влияние толщины поперечных и продольных слоев на деформативность и распределение напряжений в трехслойных плитах древесины перекрестно-клееной // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 3. С. 391–400. <https://doi.org/doi:10.22227/1997-0935.2023.3.391-400>.
4. Трошин М.Ю., Турков А.В. Влияние шага поперечных слоев на деформативность и распределение напряжений в пятислойных плитах древесины перекрестно-клееной. Строительство и реконструкция. 2023;(3):35-41. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-107-3-35-41>.
5. Ржаницын А.Р. Составные стержни и пластинки. – Москва: Стройиздат, 1986. – 316 с.
6. Yinlan Shen, Schneider Johannes, Stiemeier Siegfried F., Xueyong Ren. Failure Modes and Mechanical Properties of Bracket Anchor Connections for Cross-Laminated-Timber // MATEC Web of Conferences 275. 2019. Pp. 1-7. doi:10.1051/mateconf/201927501011.
7. Ioannis P. Christovasilis, Michele Brunetti, Maurizio Follesa, Michela Nocetti, Davide Vassallo. Evaluation of the Mechanical Properties of Cross Laminated Timber with Elementary Beam Theories compression // Engineering Structures. 2016. V. 122. Pp. 202-213. <https://doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.06.082>.
8. Бубис А.А., Гизятуллин И.Р., Хворова А.Н., Петров И.Ю. Особенности поведения древесины перекрестно-клееной (ДПК/CLT) при статических и динамических нагрузках, моделирующих сейсмические воздействия // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2022. № 2. С. 62-80. <https://doi:10.37153/2618-9283-2022-2-62-80>.
9. Рогожина А.В. Расчет деформативности CLT-панели перекрытия // Инженерный вестник Дона. 2022. № 6. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_89_5_Rogozhina.pdf_10c4252bae.pdf (дата обращения: 30.11.2023).
10. Филимонов М.А., Смирнов П.Н. Исследования прочностных и упругих характеристик плит из древесины перекрестно-клееной (ДПК/CLT) Российского производства // Сейсмическое строительство. Безопасность сооружений. 2022. № 2. С. 81-97. <https://doi:10.37153/2618-9283-2022-2-81-97>.
11. Мамедов Ш.М., Шабикова Е.Г., Нижегородцев Д.В., Казакевич Т.Н. Методика расчета панелей из перекрестно-клееной древесины / Вестник гражданских инженеров. 2020. № 5(82). С. 66-71. <https://doi:10.23968/1999-5571-2020-17-5-66-71>.
12. Чебыкин А.А., Фрицлер Ю.А., Кудрявцев С.В. Определение расчетных характеристик сечений древесных клееных плит из перекрестных досок // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2017. № 2. С. 83-85. URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-raschetnyh-harakteristik-secheniy-drevesnyh-kleenyh-plit-iz-perekrestnyh-dosok/viewer> (дата обращения: 28.11.2023).
13. Погорельцев А.А., Филимонов М.А., Смирнов П.Н. Определение прочностных и упругих характеристик древесины перекрестно клееной (ДПК/CLT) и классификация по классам прочности. М.: Научно-исследовательский центр "Строительство", 2020. 175 с.
14. Погорельцев А.А., Смирнов П.Н., Филимонов М.А. Проведение исследований по определению несущей способности стеновых панелей и плит перекрытия из древесины перекрестно клееной (ДПК/CLT) и разработка методики. М.: Научно-исследовательский центр "Строительство", 2020. 268 с.
15. Филатов В.В. К расчету составных пластин по теории А.Р.Ржаницына. // Труды международной научно-технической конф. «Вычислительная механика деформируемого твердого тела». Москва: МИИТ, 2006. Том 2. С. 414-416.
16. Gagnon, S. and M. Popovski. Structural Design of Cross-Laminated Timber Elements. In: Chapter 3, CLT Handbook. FPInnovations. Québec, Québec, Canada. 2011.
17. Abejón R., Moya L. Cross-laminated timber: Perspectives from a bibliometric analysis (2006–2018) / Wood Material Science & Engineering. 2021. V.17. Issue 6. Pp. 429-450. <https://doi:10.1080/17480272.2021.1955295>.
18. Alexander Opazo-Vega, Franco Benedetti, Mario Nuñez-Decap, Nelson Maureira-Carsalade, Claudio Oyarzo-Vera. Non-Destructive Assessment of the Elastic Properties of Low-Grade CLT Panels // Forests. 2021. No. 12. <https://doi.org/10.3390/f12121734>.
19. Змеев М.В. Определение толщины перекрытия из перекрестно-клееных досок на примере CLT-плит Binderholz (Austria) из условия жесткости // Инженерный вестник Дона. 2020. № 11. URL:http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_35_10_Zmeev.pdf_91b8606af3.pdf (дата обращения: 30.11.2023).
20. Щелокова Т.Н. Современные тенденции улучшения свойств древесины и деревянных строительных конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 6. С. 39-45. URL: <http://dspace.bstu.ru/bitstream/123456789/1514/1/6.%20Щелокова.pdf> (дата обращения: 27.11.2023).

REFERENCES

1. Ashkenazi E.K. Anizotropiya drevesiny i drevesnyh materialov [Anisotropy of wood and wood materials]. M.: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1978. 224 p. (rus)
2. Turkov, A. V., & Troshin, M. Y. (2022). The effect of the step of transverse layers on the deformability and stress distribution in three-layer slabs of cross-laminated timber. *Arkhitekturno-stroitel'nyy i dorozhno-transportnyy kompleksty: problemy, perspektivy, innovatsii. Sbornik materialov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, priurochennoy k provedeniyu v Rossiyskoy Federatsii Desyatiletiya nauki i tekhnologii*, November, 24-25. Omsk, Siberian state automobile and highway university Publ., 515-519 pp. (rus).
3. Troshin, M. Yu., & Turkov, A. V. (2023). The effect of thickness of transverse and longitudinal layers on deformability and stress distribution in three-layer panels made of cross-laminated timber. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*, 18(3), 391-400 pp. <https://doi.org/doi:10.22227/1997-0935.2023.3.391-400>. (rus).
4. Troshin M.Y., Turkov A.V. The effect of the step of transverse layers on the deformability and stress distribution in five-layer slabs of CLT-panels. *Building and Reconstruction*. 2023;(3):35-41. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-107-3-35-41/> (rus).
5. Rzhantsyn, A. R. (1986). *Sostavnye sterzhni i plastinki*. Moscow, Stroyizdat Publ., 316 p. (rus).
6. Yinlan Shen, Schneider Johannes, Stiemer Siegfried F., Xueyong Ren. Failure Modes and Mechanical Properties of Bracket Anchor Connections for Cross-Laminated-Timber. *MATEC Web of Conferences* 2019. 275. Pp. 1-7. doi:10.1051/mateconf/201927501011
7. Ioannis P. Christovasilis, Michele Brunetti, Maurizio Follesa, Michela Nocetti, Davide Vassallo. Evaluation of the Mechanical Properties of Cross Laminated Timber with Elementary Beam Theories compression. *Engineering Structures*. 2016. V. 122. Pp. 202-213. <https://doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.06.082>.
8. Bubis A.A., Giziatullin I.R., Hovorova A.N., Petrov I.Yu. Osobennosti povedeniya drevesiny perekryostno-kleenoj (DPK/CLT) pri staticheskikh i dinamicheskikh nagruzkah, modeliruyushchih sejsmi-cheskie vozdeystviya [Peculiarities of behavior of cross-laminated timber (CLT) under static and dynamic loads simulating seismic impacts]. *Seismicheskoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Construction safety]*. 2022. No. 2. Pp. 62-80. <https://doi:10.37153/2618-9283-2022-2-62-80>. (rus).
9. Rogozhina A.V. Raschet deformativnosti CLT-paneli perekrytiya [Calculation of the deformability of the CLT overlap panel]. *Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Journal of Don]*. 2022, No. 6. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_89_5_Rogozhina.pdf_10c4252bae.pdf (date of application: 30.11.2023). (rus).
10. Filimonov M. A., Smirnov P.N. Issledovaniya prochnostnyh i uprugih karakteristik plit iz drevesiny perekrestno-kleenoj (DPK/CLT) Rossijskogo proizvodstva [Research of strength and elastic characteristics of russian-made cross laminated timber slabs]. *Seismicheskoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Construction safety]*. 2022, No. 2. 81-97. <https://doi:10.37153/2618-9283-2022-2-81-97> (rus).
11. Mamedov S.H.M., SHabikova E.G., Nizhegorodcev D.V., Kazakevich T.N. Metodika rascheta panelej iz perekrestno-kleenoj drevesiny [Method for calculating cross laminated timber panels]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of civil engineers]*. 2020. No. 5(82). Pp. 66-71. <https://doi:10.23968/1999-5571-2020-17-5-66-71> (rus).
12. Chebykin A.A., Fricler YU.A., Kudryavcev S.V. Opredelenie raschetnyh karakteristik sechenij drevesnyh kleenyh plit iz pere-krestnyh dosok [Evaluation of cross section design properties for plates from cross laminated timber]. *Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN [Academic Bulletin of UralNIiproekt RAASN]*. 2017. No. 2. Pp. 83-85. URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-raschetnyh-harakteristik-secheniy-drevesnyh-kleenyh-plit-iz-perekrestnyh-dosok/viewer> (date of application: 28.11.2023). (rus).
13. Pogorel'cev A.A. Opredelenie prochnostnyh i uprugih karakteristik drevesiny perekrestno kleenoj (DPK/CLT) i klassifikaciya po klassam prochnosti [Determination of strength and elastic characteristics of cross-glued wood (WPC/CLT) and classification by strength classes] / A.A. Pogorel'cev, M.A. Filimonov, P.N. Smirnov – M.: Nauchno-issledovatel'skij centr "Stroitel'stvo" [Scientific Research Center "Construction"], 2020. 175 p. (rus).
14. Pogorel'cev A.A., Smirnov P.N., Filimonov M.A. Provedenie issledovanij po opredeleniyu nesushchej sposobnosti stenovyh panelej i plit perekrytiya iz drevesiny perekrestno kleenoj (DPK/CLT) i razrabotka metodiki rascheta [Conducting research to determine the bearing capacity of wall panels and floor slabs made of cross-glued wood (WPC/CLT) and developing a calculation methodology]. Moscow: Nauchno-issledovatel'skij centr "Stroitel'stvo" [Scientific Research Center "Construction"], 2020. 268 p. (rus).

15. Filatov V.V. K raschetu sostavnykh plastin po teorii A.R.Rzhanitsyna [Calculation of composite plates according to the theory of A.R.Zhanitsyn]. Trudy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konf. "Vychislitel'naya mekhanika deformiruyemogo tverdogo tela" [Proceedings of the international scientific and technical conf. "Computational mechanics of a deformable solid"]. Moscow: MIIT, 2006. Vol. 2. Pp. 414-416. (rus).
16. Gagnon S., Popovski M. Structural Design of Cross-Laminated Timber Elements. In: Chapter 3, CLT Handbook. *FPIInnovations. Québec, Québec, Canada*. 2011.
17. Abejón R., Moya L. Cross-laminated timber: Perspectives from a bibliometric analysis (2006–2018) / Wood Material Science & Engineering. 2021. V.17. Issue 6. Pp. 429-450. <https://doi.org/10.1080/17480272.2021.1955295>.
18. Alexander Opazo-Vega, Franco Benedetti, Mario Nuñez-Decap, Nelson Maureira-Carsalade, Claudio Oyarzo-Vera. Non-Destructive Assessment of the Elastic Properties of Low-Grade CLT Panels. *Forests*. 2021. No. 12. <https://doi.org/10.3390/f12121734>.
19. Zmeev M.V. Opredelenie tolshchiny perekrytiya iz perekrestno-kleenykh dosok na primere CLT-plit Binderholz (Austria) iz uslo-viya zhestkosti [Determination of the floor thickness of cross-glued boards on example of CLT-plates Binderholz (Austria)]. *Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Journal of Don]*. 2020. No. 11. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_35_10_Zmeev.pdf_91b8606af3.pdf (date of application: 30.11.2023). (rus).
20. Shchelokova T.N. Sovremennyye tendencii uluchsheniya svoystv drevesiny i derevyannykh stroitel'nykh konstrukcij [Modern trends of improvement of wood properties and wood constructions]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova [Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov]*. 2018. No.6. 39-45. URL: <http://dspace.bstu.ru/bitstream/123456789/1514/1/6.%20Щелокова.pdf> (date of application: 27.11.2023). (rus).

Информация об авторах:

Трошин Михаил Юрьевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия, аспирант кафедры строительных конструкций и материалов.

E-mail: mtr997@mail.ru

Турков Андрей Викторович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры строительных конструкций и материалов.

E-mail: aturkov@bk.ru

Заев Алексей Владимирович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия, аспирант кафедры строительных конструкций и материалов

Information about authors:

Troshin Mikhail Yr.

Oryol state University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia, postgraduate student, of the department of Building Structures and Materials

E-mail: mtr997@mail.ru

Turkov Andrey V.

Oryol state University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia, doctor of technical sciences, associate professor, professor of the department of Building Structures and Materials

E-mail: aturkov@bk.ru

Zaev Alexey V.

Oryol state University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia, postgraduate student, of the department of Building Structures and Materials

E-mail: alexvzj@yandex.ru

В.И. КОЛЧУНОВ¹, С.Ю. САВИН¹, М.А. АМЕЛИНА¹

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

УСТОЙЧИВОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ, ПОДВЕРЖЕННОЙ СЖАТИЮ С КРУЧЕНИЕМ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСОБОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Аннотация. При аварийных ситуациях, связанных с внезапными отказами отдельных несущих элементов конструктивных систем зданий, в силу особенностей объемно-планировочных решений в отдельных колоннах могут дополнительно возникать крутящие моменты. Таким образом, колонны могут оказаться в условиях сложного напряженно-деформированного состояния. Целью данного исследования являлось построение полуаналитической расчетной модели для анализа устойчивости железобетонных колонн, подверженных сжатию с кручением в результате особого воздействия. Для достижения поставленной цели были сформулированы исходные гипотезы, составлены определяющие соотношения для расчета устойчивости железобетонной колонны, подверженной сжатию с кручением. Для обоснования достоверности предложенной модели была выполнена ее валидация путем сопоставления с результатами моделирования в программном комплексе Ansys. Анализ данных показал, наибольшая разница между результатами составила 8.08% для случая $P = 0.4 \cdot P_{cr,e} = 126.6$ кН. Наименьшая разница 3.6% составила для случая $P = 0.9 \cdot P_{cr,e} = 284.85$ кН. Показано, что по мере роста крутящего момента происходит снижение значения критической силы, вызывающей потерю устойчивости. Это связано как с действием крутящей пары сил при искривлении стержня, так и со снижением механических характеристик бетона при совместном действии нормальных и касательных напряжений.

Ключевые слова: устойчивость, сжатие, кручение, железобетон, колонна, особое воздействие

V.I. KOLCHUNOV¹, S.Y. SAVIN¹, M.A. AMELINA¹

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

STABILITY OF A REINFORCED CONCRETE COLUMN UNDER COMPRESSION WITH TORSION CAUSED BY ACCIDENTAL ACTION

Abstract. Under emergency situations associated with sudden failures of the load-bearing elements of the structure, torques may additionally occur in the columns due to the specifics of the structural design of the buildings. Thus, the columns may be in a complex stress-strain state. The objective of this study was to develop a semi-analytical design model for analysis of the stability of reinforced concrete columns subjected to compression with torsion as a result of an accidental action. For achieving the objective, authors formulated the initial hypotheses, developed the determining equations for calculating the stability of a reinforced concrete column subjected to compression with torsion. To validate the reliability of the proposed model, it has been compared with the results of modeling in the software complex Ansys. Analysis of the data showed that the largest difference between the results was up to 8.08% for the case $P = 0.4 \cdot P_{cr,e} = 126.6$ kN. The smallest difference of 3.6% was for the case $P = 0.9 \cdot P_{cr,e} = 284.85$ kN. It has been shown that as the torque increases, there is a decrease in the value of the critical force causing loss of stability. This is due both to the action of the torsional pair of forces during the distortion of the rod and to the decrease in the mechanical properties of concrete under the combined action of normal and tangential stresses.

Keywords: stability, compression, torsion, reinforced concrete, column, accidental action

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bažant Z.P., Verdure M. Mechanics of Progressive Collapse: Learning from World Trade Center and Building Demolitions // *J Eng Mech.* 2007. Vol. 133, № 3. P. 308–319.
2. Pham A.T. et al. Blast-induced dynamic responses of reinforced concrete structures under progressive collapse // *Magazine of Concrete Research.* 2022. Vol. 74, № 16. P. 850–863.
3. Лалин В.В., Семенов Д.А. Задача о кручении: постановка в напряжениях и решение методом граничных элементов // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений.* - 2023. - Т. 19. - №4. - С. 339-348. doi: 10.22363/1815-5235-2023-19-4-339-348.
4. Бондаренко В. М. К вопросу об устойчивом и неустойчивом сопротивлении железобетонных конструкций, поврежденных коррозией // *Известия Орел ГТУ, науч.журнал, серия «Строительство и транспорт».* 2009. № 1/21(533). С. 9-17.
5. Фёдоров В.С., Левитский В.Е. Оценка огнестойкости внецентренно сжатых железобетонных колонн по потере устойчивости // *Строительная механика и расчет сооружений.* 2012. №2. С. 53-60.
6. Санжаровский Р.С., Веселов А.А. Теория расчета строительных конструкций на устойчивость и современные нормы. М., СПб.: АСВ, 2002. 128 с.
7. Солдатов А.Ю. Анализ устойчивости железобетонных стержневых конструкций с учетом физической нелинейности // *Строительная механика и расчет сооружений.* 2012. №1. С. 30-34.
8. Улитин В.В. Деформационный критерий при анализе устойчивости и продольного изгиба в условиях физической нелинейности // *Строительная механика и расчет сооружений.* 2012. №1. С. 34-39.
9. Manuylov G., Kosytsyn S., Begichev M. On the calculations for the stability of beams, frames, and cylindrical shells in the elasto-plastic stage // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering.* 2022. Vol. 18, № 3. P. 25–36.
10. Беглов А.Д., Санжаровский Р.С. Теория расчета железобетонных конструкций на прочность и устойчивость. Современные нормы и евростандарты. М.: АСВ, 2006. 221 с.
11. Тамразян А.Г. К устойчивости внецентренно сжатых железобетонных элементов с малым эксцентриситетом с учетом реологических свойств бетона // *Железобетонные конструкции.* 2023. №2(2). С. 48-57.
12. Savin S. et al. Experimental and Numerical Investigations of RC Frame Stability Failure under a Corner Column Removal Scenario // *Buildings.* 2023. Vol. 13, № 4. P. 908.
13. Kolchunov V.I. Deplanation Hypotheses for Angular Deformations in Reinforced Concrete Structures Under Combined Torsion and Bending // *Building and reconstruction.* 2022. Vol. 100, № 2. P. 3–12.
14. Kolchunov V.I., demyanov A.I., Protchenko M.V. Moments in reinforced concrete structures under bending with torsion // *Building and reconstruction.* 2021. Vol. 95, № 3. P. 27–46.
15. Kolchunov V., Dem'yanov A., Protchenko M. The new hypothesis angular deformation and filling of diagrams in bending with torsion in reinforced concrete structures // *Journal of Applied Engineering Science.* 2021. Vol. 19, № 4. P. 972–979.
16. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. Москва: Издательство АСВ, 2004. 472 р.
17. Lei Y. et al. Comparison of torsional damage and size effects of BFRP- and steel-reinforced concrete beams with different stirrup ratios // *Eng Struct.* 2023. Vol. 285. P. 116042.
18. Deng J., Cao S., Peng Z. Crack-based model for seismic behaviour of concrete columns under combined compression-bending and torsion // *Structures.* 2023. Vol. 56. P. 104998.
19. Chen Y. et al. Bending restoring force model of angle-steel reinforced concrete columns under combined torsion // *Structures.* 2023. Vol. 55. P. 2186–2198.

20. Selmy Y.M., El-Salakawy E.F. Behaviour of circular concrete bridge columns internally reinforced with GFRP under reversed-cyclic loading including torsion // *Structures*. 2024. Vol. 59. P. 105680.
21. Savin S.Y., Fedorova N. V., Kolchunov V.I. Dynamic Forces in the Eccentrically Compressed Members of Reinforced Concrete Frames Under Accidental Impacts // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. ASV Publishing House, 2022. Vol. 18, № 4. P. 111–123.
22. Алмазов В.О., Плотников А.И., Расторгуев Б.С. Проблемы сопротивления зданий прогрессирующему разрушению // *Вестник МГСУ*. 2011. № 2–1. P. 16–20.
23. Алмазов В.О., Као З.К. Динамика прогрессирующего разрушения монолитных многоэтажных каркасов. Москва: Издательство АСВ, 2014. 128 p.
24. Adam J.M. et al. Dynamic performance of a real-scale reinforced concrete building test under a corner-column failure scenario // *Eng Struct*. Elsevier Ltd, 2020. Vol. 210. P. 110414.
25. Geniyev G.A., Kisyuk V.N., Tyupin G.A. Teoriya plastichnosti betona i zhelezobetona [Plasticity theory of concrete and reinforced concrete]. Moscow: Stroyizdat, 1974. 316 p.
26. FIB Model Code 2010. CEB and FIP, 2011.
27. Старовойтов Э. И. Сопротивление материалов. М.: Физматлит, 2008
28. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов: Учебник для вузов. 10-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999.
29. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. Москва: Издательство “Наука,” 1967. 984 с.

REFERENCES

1. Bažant Z.P., Verdure M. Mechanics of Progressive Collapse: Learning from World Trade Center and Building Demolitions. *J Eng Mech*. 2007. Vol. 133, № 3. P. 308–319.
2. Pham A.T. et al. Blast-induced dynamic responses of reinforced concrete structures under progressive collapse. *Magazine of Concrete Research*. 2022. Vol. 74, № 16. P. 850–863.
3. Lalin V.V., Semenov D.A. Torsion problem: stress statement and solution by the boundary element method. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2023. Vol. 19. No. 4. Pp. 339-348. doi: 10.22363/1815-5235-2023-19-4-339-348.
4. Bondarenko V. M. To the question of stable and unstable resistance of reinforced concrete structures damaged by corrosion. *Izvestiya Orel GTU, scientific journal, series "Construction and transport"*. 2009. no 1/21(533). Pp. 9-17.
5. Fedorov V.S. Levitsky V.E. Fire resistance assessment of the off-centered compressed reinforced concrete columns by stability loss. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy [Structural mechanics and calculation of structures]*. 2012. №2. С. 53-60. (in Russian)
6. Sanzharovsky R.S., Veselov A.A. Theory of calculation of building structures for stability and modern norms. Moscow, SPb.: ASV, 2002. 128 p.
7. Soldatov A.Yu. Stability analysis of the reinforced concrete rod structures taking into account the physical nonlinearity. / *Stroitel'naya mekhanika i calculatel'naya stroitel'nosti*. 2012. No. 1. Pp. 30-34. (in Russian)
8. Ulitin V.V. Deformation criterion in the analysis of stability and longitudinal bending in the conditions of physical nonlinearity. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy [Structural mechanics and calculation of structures]*. 2012. No. 1. Pp. 34-39.
9. Manuylov G., Kosytsyn S., Begichev M. On the calculations for the stability of beams, frames, and cylindrical shells in the elasto-plastic stage. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2022. Vol. 18, № 3. P. 25–36.
10. Beglov A.D., Sanzharovsky R.S. Theory of calculation of the reinforced concrete structures for strength and stability. *Modern Norms and Eurostandards*. Moscow: ASV, 2006. 221 p.
11. Tamrazyan A.G. To stability of the off-centered compressed reinforced concrete elements with a small eccentricity taking into account the rheological properties of concrete. *Reinforced Concrete Structures*. 2023. No. 2(2). Pp. 48-57.
12. Savin S. et al. Experimental and Numerical Investigations of RC Frame Stability Failure under a Corner Column Removal Scenario. *Buildings*. 2023. Vol. 13, № 4. P. 908.
13. Kolchunov V.I. Deplanation Hypotheses for Angular Deformations in Reinforced Concrete Structures Under Combined Torsion and Bending. *Building and reconstruction*. 2022. Vol. 100, № 2. P. 3–12.
14. Kolchunov V.I., demyanov A.I., Protchenko M.V. Moments in reinforced concrete structures under bending with torsion. *Building and reconstruction*. 2021. Vol. 95, № 3. P. 27–46.
15. Kolchunov V., Dem'yanov A., Protchenko M. The new hypothesis angular deformation and filling of diagrams in bending with torsion in reinforced concrete structures. *Journal of Applied Engineering Science*. 2021. Vol. 19, № 4. P. 972–979.
16. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Raschetnye modelov silovogo resistenzii zhelezotona [Calculating models of force resistance of reinforced concrete]. Moscow: ASV Publishing House, 2004. 472 p.

17. Lei Y. et al. Comparison of torsional damage and size effects of BFRP- and steel-reinforced concrete beams with different stirrup ratios. *Eng Struct.* 2023. Vol. 285. P. 116042.
18. Deng J., Cao S., Peng Z. Crack-based model for seismic behaviour of concrete columns under combined compression-bending and torsion. *Structures.* 2023. Vol. 56. P. 104998.
19. Chen Y. et al. Bending restoring force model of angle-steel reinforced concrete columns under combined torsion. *Structures.* 2023. Vol. 55. P. 2186–2198.
20. Selmy Y.M., El-Salakawy E.F. Behaviour of circular concrete bridge columns internally reinforced with GFRP under reversed-cyclic loading including torsion. *Structures.* 2024. Vol. 59. P. 105680.
21. Savin S.Y., Fedorova N. V., Kolchunov V.I. Dynamic Forces in the Eccentrically Compressed Members of Reinforced Concrete Frames Under Accidental Impacts. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering.* 2022. Vol. 18, № 4. P. 111–123.
22. Almazov, V.O.; Plotnikov, A.I.; Rastorguev, B.S. Problems of building resistance to progressive destruction. *Vestnik MSCU.* 2011. № 2-1. P. 16-20.
23. Almazov V.O., Kao Z.K. Dynamics of progressive destruction of monolithic multistorey frames. Moscow: ASV Publishing House, 2014. 128 p.
24. Adam J.M. et al. Dynamic performance of a real-scale reinforced concrete building test under a corner-column failure scenario. *Eng Struct.* 2020. Vol. 210. P. 110414.
25. Geniyev G.A., Kisyuk V.N., Tyupin G.A. Teoriya plastichnosti betona i zhelezobetona [Plasticity theory of concrete and reinforced concrete]. Moscow: Stroyizdat, 1974. 316 p.
26. FIB Model Code 2010. CEB and FIP, 2011.
27. Starovoitov E. I. Mechanics of Materials. Moscow: Fizmatlit, 2008
28. Feodosiev V. I. Mechanics of Materials: Textbook for Universities. 10th edition, revised and added. Moscow: Bauman MSTU Publishing House, 1999.
29. Volmir A.S. Stability of deformable systems. Moscow: Nauka Publishing House, 1967. 984 p.

Информация об авторах

Колчунов Виталий Иванович

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

Савин Сергей Юрьевич

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

Амелина Маргарита Андреевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций
E-mail: margo.dremova@mail.ru

Information about authors:

Kolchunov Vitaly Iv.

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

Savin Sergey Yu.

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

Amelina Margarita A.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Post graduate student of the department of Reinforced Concrete and Masonry Structures.
E-mail: margo.dremova@mail.ru

А.А. СОЛОВЬЕВА¹, С.А. СОЛОВЬЕВ¹

¹ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда, Россия

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СТЕРЖНЕЙ СТАЛЬНЫХ ФЕРМ ПРИ НЕПОЛНОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

***Аннотация.** В статье представлен вероятностный подход к анализу надежности стержней стальных ферм при неполной статистической информации. Проиллюстрирован подход к восстановлению плотности вероятностей случайной величины методом ядерной оценки плотности при малом количестве испытаний/измерений случайной величины. Для повышения достоверности расчета оценка параметров плотности распределения представлена в интервальной форме, что позволяет сформировать р-блок для моделируемой случайной величины. Оценка вероятности безотказной работы позволяет в количественной форме получить представление об уровне безопасности стальных ферм, выявить наиболее ненадежные фермы для мониторинга их технического состояния или рассчитать эффект от усиления фермы по критерию надежности. В представленном подходе вероятность безотказной работы оценивается в виде интервала значений. Если нижняя граница интервала не позволяет сделать вывод об уровне безопасности эксплуатации фермы, то он может быть повышен путем получения дополнительной статистической информации или путем усиления фермы или снижения допустимой нагрузки на нее.*

***Ключевые слова:** надежность, вероятностное проектирование, вероятность отказа, ферма, неопределенность, безопасность, ядерная оценка плотности.*

A.A. SOLOVEVA¹, S.A. SOLOVEV¹

¹Vologda State University, Vologda, Russia

RELIABILITY ANALYSIS OF STEEL TRUSS BARS WITH IMPRECISE STATISTICAL DATA

***Abstract.** The article describes the probabilistic approach of reliability analysis for steel truss bars with imprecise statistical data. An approach to recovery the probability density of a random variable by the kernel density estimation method is illustrated for a small number of tests/measurements cases. The estimation of the distribution density parameters is presented in an interval form, which makes it possible to form a p-box for the random variable. Evaluation of the probability of non-failure allow to get a quantitative assessment for the safety of steel trusses, to identify the most unreliable trusses for monitoring their technical condition or to calculate the effect of strengthening the truss according to the reliability criterion. The probability of non-failure is estimated in the interval form. If the lower limit of the interval does not allow to get a conclusion about the truss safety level, then it can be increased by obtaining additional statistical data or by strengthening the truss or reducing the permissible load.*

***Keywords:** reliability, probabilistic design, probability of failure, truss, uncertainty, safety, kernel density estimate.*

нормативными документами для расчетной ситуации (расчетная ситуация - учитываемый при расчете сооружений комплекс наиболее неблагоприятных условий, которые могут возникнуть при его возведении и эксплуатации, в соответствии с ГОСТ 27751-2014). Для центрально-сжатого элемента это прочность, устойчивость элемента в плоскости и из плоскости, гибкость. В результате будем иметь несколько интервалов надежности элемента по различным критериям предельных состояний. Т.к. наступление любого предельного состояния в элементе фермы можно считать критерием отказа всей фермы, то стержень фермы можно представить в виде условной последовательной системы, состоящей из элементов – значений надежности стержня по отдельным критериям предельного состояния $[P_i; \bar{P}_i]$. В соответствии с [17], надежность такой системы можно вычислить по формуле:

$$\left\{ \underline{P} = \max \left(0, \sum_{i=1}^n \underline{P}_i - (n-1) \right) \right., \quad (14)$$

где \underline{P}_i и P_i – нижняя и верхняя граница вероятности безотказной работы стержня фермы по i -му критерию работоспособности; n – число элементов (критериев) в последовательной системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pidong W., Zhang J., Hao Z., Jiwei Q. A new structural reliability index based on uncertainty theory // Chinese Journal of Aeronautics. 2017. No. 30(4). Pp. 1451-1458.
2. Savoia M. Structural reliability analysis through fuzzy number approach, with application to stability // Computers & Structures. 2002. Vol. 80. No. 12. Pp. 1087-1102.
3. Li H., Nie X. Structural reliability analysis with fuzzy random variables using error principle // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2018. Vol. 67. Pp. 91-99.
4. Ni Z., Qiu Z. Hybrid probabilistic fuzzy and non-probabilistic model of structural reliability // Computers & Industrial Engineering. 2010. Vol. 58. No. 3. Pp. 463-467.
5. Yang X., Liu Y., Ma P. Structural reliability analysis under evidence theory using the active learning kriging model // Engineering Optimization. 2017. Vol. 49. No. 11. Pp. 1922-1938.
6. Соколов В. А. Диагностика технического состояния конструкций зданий и сооружений с использованием методов теории нечетких множеств // Инженерно-строительный журнал. 2010. №.5. С. 31-37.
7. Rosenblatt M. Remarks on Some Nonparametric Estimates of a Density Function // Annals of Mathematical Statistics. 1956. No. 27. Pp. 832–837.
8. Parzen E. On Estimation of a Probability Density Function and Mode // Annals of Mathematical Statistics. 1962. No. 33. Pp. 1065–1076.
9. Węglarczyk S. Kernel density estimation and its application // ITM Web of Conferences. EDP Sciences. 2018. Vol. 23. Pp. 00037.
10. Silverman B.W. Density Estimation for Statistics and Data Analysis. London: Chapman & Hall/CRC, 1986. 45 p.
11. Pradlwater H.J, Schueller G.I. The use of Kernel densities and confidence intervals to cope with insufficient data in validation experiments // Computer Methods and Applied Mechanics and Engineering. 2008. No. 197. Pp. 2550-2560.
12. Соловьева А. А., Соловьев С. А. Исследование развития моделей случайных величин в расчетах надежности строительных конструкций при неполной статистической информации // Вестник МГСУ. 2021. Т.

16. №. 5. С. 587-607.

13. Saad A., Fruehwirth T., Gervet C. The p-box cdf-intervals: A reliable constraint reasoning with quantifiable information // *Theory and Practice of Logic Programming*. 2014. Vol. 14. No. 4-5. Pp. 461-475.

14. Уткин В. С., Уткин Л. В. Расчет надежности строительных конструкций при различных способах описания неполноты информации. Вологда: ВоГТУ, 2009. 126 с.

15. Paulpandian M. K. S. Application of reliability index in statistical model to assess durability of concrete made with plastic waste aggregates subjected to carbonation // *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29. No. 12. Pp. 17456-17463.

16. 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. С. 81-91.

17. Гуров С.В., Уткин Л.В. Надежность систем при неполной информации. СПб: Любович, 1999. 166

REFERENCES

1. Pidong W., Zhang J., Hao Z., Jiwei Q. A new structural reliability index based on uncertainty theory. *Chinese Journal of Aeronautics*. 2017. No. 30(4). Pp. 1451-1458.

2. Savoia M. Structural reliability analysis through fuzzy number approach, with application to stability. *Computers & Structures*. 2002. Vol. 80. No. 12. Pp. 1087-1102.

3. Li H., Nie X. Structural reliability analysis with fuzzy random variables using error principle. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2018. Vol. 67. Pp. 91-99.

4. Ni Z., Qiu Z. Hybrid probabilistic fuzzy and non-probabilistic model of structural reliability. *Computers & Industrial Engineering*. 2010. Vol. 58. No. 3. Pp. 463-467.

5. Yang X., Liu Y., Ma P. Structural reliability analysis under evidence theory using the active learning kriging model. *Engineering Optimization*. 2017. Vol. 49. No. 11. Pp. 1922-1938.

6. Sokolov V.A. Diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya konstrukcij zdaniy i sooruzhenij s ispol'zovaniem metodov teorii nechetkih mnozhestv [Diagnostics of the technical condition of buildings and structures constructions using methods of the fuzzy sets theory]. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No.5. Pp. 31-37. (rus.)

7. Rosenblatt M. Remarks on Some Nonparametric Estimates of a Density Function. *Annals of Mathematical Statistics*. 1956. No. 27. Pp. 832-837.

8. Parzen E. On Estimation of a Probability Density Function and Mode. *Annals of Mathematical Statistics*. 1962. No. 33. Pp. 1065-1076.

9. Węglarczyk S. Kernel density estimation and its application. *ITM Web of Conferences. EDP Sciences*. 2018. Vol. 23. Pp. 00037.

10. Silverman B.W. Density Estimation for Statistics and Data Analysis. London: Chapman & Hall/CRC, 1986. 45 p.

11. Pradlwater H.J, Schueller G.I. The use of Kernel densities and confidence intervals to cope with insufficient data in validation experiments. *Computer Methods and Applied Mechanics and Engineering*. 2008. No. 197. Pp. 2550-2560.

12. Soloveva A.A., Solovev S.A. Issledovanie razvitiya modelej sluchajnyh velichin v raschetah nadezhnosti stroitel'nyh konstrukcij pri nepolnoj statisticheskoj informacii [A research into the development of models of random variables as part of the structural reliability analysis performed in the absence of some statistical information]. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2021. No. 16(5). Pp. 587-607. (rus.).

13. Saad A., Fruehwirth T., Gervet C. The p-box cdf-intervals: A reliable constraint reasoning with quantifiable information. *Theory and Practice of Logic Programming*. 2014. Vol. 14. No. 4-5. Pp. 461-475.

14. Utkin V. S., Utkin L. V. Raschet nadezhnosti stroitel'nyh konstrukcij pri razlichnyh sposobah opisaniya nepolnoty informacii [Structural reliability analysis with different approaches to describing the incompleteness of data]. Вологда: ВоГТУ, 2009. 126 p. (rus.).

15. Paulpandian M. K. S. Application of reliability index in statistical model to assess durability of concrete made with plastic waste aggregates subjected to carbonation // *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29. No. 12. Pp. 17456-17463.

16. Utkin V.S., Solovyev S.A., Yarigina O.V. Structural elements design on reliability level in case limited statistical data. *Building and Reconstruction*. 2020. No. (1). Pp. 81-91. (rus.)

17. Gurov S.V., Utkin L.V. Nadezhnost' sistem pri nepolnoj informacii [Reliability of systems with limited information]. Saint-Petersburg: Lyubovich, 1999. 166 p. (rus.).

Информация об авторах:

Соловьева Анастасия Андреевна

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда, Россия,
аспирант, преподаватель кафедры промышленного и гражданского строительства.
E-mail: solovevaaa@vogu35.ru

Соловьев Сергей Александрович

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства.
E-mail: solovevsa@vogu35.ru

Information about authors:

Soloveva Anastasia A.

Vologda State University, Vologda, Russia,
post-graduate student, lecturer the industrial and civil engineering department.
E-mail: solovevaaa@vogu35.ru

Solovev Sergey A.

Vologda State University, Vologda, Russia,
candidate of technical science, associated professor of the industrial and civil engineering department.
E-mail: solovevsa@vogu35.ru

Е.В. МИХАЙЛОВА¹

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

АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННО-ТОРГОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ СОВЕТСКИХ КИНОТЕАТРОВ

***Аннотация.** В профессиональной среде архитекторов наблюдается озабоченность в связи с формированием тенденции реконструкции и реновации зданий и сооружений в крупных и крупнейших городах с целью развития городской инфраструктуры. Отмечается недооценённость вклада советской архитектуры в культурное наследие постсоветских стран и стран социалистического лагеря. При этом "новая архитектура" формирует городскую среду под стереотипы омологации, что не соответствует социокультурному запросу глокализации «цифровых кочевников», стремящихся жить в эко-цифровых городах. Устаревание "новой архитектуры" наблюдается уже на стадии проекта либо за пять лет. В Москве в программу реконструкции включены 39 советских кинотеатров в периферийной зоне города. На месте этих кинотеатров возводятся общественно-торговые комплексы (ОТК) с подземными уровнями. В статье проведена классификация типов проектов советских кинотеатров и торговых центров, а также сформированы диаграммы для их качественного сравнения. Это в итоге позволило оценить архитектурно-художественный вклад в московскую застройку как советских кинотеатров, так и новых торговых комплексов, преемственность между ними и отличия в принципах проектирования.*

***Ключевые слова:** реконструкция, реновация, советский кинотеатр, общественно-торговый комплекс, архитектурно-художественное решение.*

E. V. MIKHAYLOVA¹

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

ARCHITECTURAL AND ARTISTIC SOLUTIONS OF THE OTC DURING THE GENTRIFICATION OF SOVIET CINEMAS

***Abstract.** In the professional environment of architects, there is concern about the formation of a trend of reconstruction and renovation of buildings and structures in large and major cities in order to develop urban infrastructure. The underestimation of the contribution of Soviet architecture to the cultural heritage of post-Soviet countries and countries of the socialist camp is noted. At the same time, the "new architecture" forms the urban environment under the stereotypes of homologation, which does not correspond to the socio-cultural demand of the glocalization of "digital nomads" seeking to live in eco-digital cities. The obsolescence of the "new architecture" is observed already at the project stage or in five years. In Moscow, the reconstruction program includes 39 Soviet cinemas in the peripheral zone of the city. Public and shopping complexes with underground levels are being built on the site of these cinemas. The article classifies the types of projects of Soviet cinemas and shopping centers, and also forms diagrams for their qualitative comparison. This eventually made it possible to evaluate the architectural and artistic contribution to the Moscow development of both Soviet cinemas and new shopping complexes, the continuity between them and differences in design principles.*

***Key words:** reconstruction, gentrification, Soviet cinema, public and shopping complex, architectural and artistic solution.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воличенко О., Цурик Т. Двойственность отношения к исторической городской застройке // Проект байкал. 2023. № 20(75). С. 68-73. <https://doi.org/10.51461/pb.75.16> [Электронный ресурс]. URL: <https://projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/2033/2748> (дата обращения: 11.08.2023).
2. Meerovich M. Сносить нельзя реконструировать // Проект Байкал. 2017. № 14(53). С. 78–84. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.53.1221> [Электронный ресурс]. URL: <https://projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/1221/1211> (дата обращения: 10.06.2023).
3. Havel M.B.. Neoliberalization of urban policy-making and planning in post-socialist Poland – A distinctive path from the perspective of varieties of capitalism. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103766> [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275122002050> (дата обращения: 21.10.2023).
4. Bolzoni M., Semi G. Adaptive urbanism in ordinary cities: Gentrification and temporalities in Turin (1993–2021). <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.104144> [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275122005832> (дата обращения: 05.09.2023).
5. Прокофьева И.А. Общественно-торговые сооружения в структуре исторического центра Москвы и Парижа. Принципы преемственности и развития // Жилищное строительство. 2021. № 3. С. 25–32. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-3-25-32>.
6. Anisimov A. Послевоенная реконструкция театральных зданий: 1945–2020 // Проект Байкал. 2020. Т. 66. С. 105-113. <https://doi.org/10.51461/projectbaikal.66.1726> [Электронный ресурс]. URL: <https://projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/1726> (дата обращения: 23.06.2023).
7. Агеева Е.Ю., Гоголева Н.А. Реновация водонапорных башен: типологический анализ // Жилищное строительство. 2019. № 1–2. С. 19–29. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-19-29> [Электронный ресурс]. URL: <https://journal-hc.ru/index.php/ru/zhurnaly/2019/vse-stati-za-2019/renovatsiya-vodonapornykh-bashen-tipologicheskij-analiz> URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/renovatsiya-vodonapornykh-bashen-tipologicheskij-analiz/viewer> (дата обращения: 05.07.2023).
8. Нашокина М. Старый пром - XXI: два подхода // Проект Байкал. 2022. № 19(73). С. 68-79. <https://doi.org/10.51461/pb.7312> [Электронный ресурс]. URL: <https://projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/1946> (дата обращения: 25.07.2023).
9. Zhan Y. Beyond neoliberal urbanism: Assembling fluid gentrification through informal housing upgrading programs in Shenzhen, China. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103111> [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275121000093> (дата обращения: 15.10.2023).
10. Grigoryeva E. (2017). Реновации // Проект Байкал. 2017. № 14(53). С. 71-71. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.53.1218> [Электронный ресурс]. URL: <https://projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/1218> (дата обращения: 29.07.2023).
11. Krivý M. “Post-Apocalyptic Wasteland” or “Digital Ecosystem”? Postsocialist Ecological Imaginaries in Tallinn, Estonia. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2021.07.007> [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016718521002037> (дата обращения: 09.10.2023).
12. Московские кинотеатры советского времени, 2020 [Электронный ресурс]. <https://www.calameo.com/read/0055263808ffb36a763d1> (дата обращения: 23.06.2023).
13. Мериджи М. Клише, неудачи и перспективы "новой архитектуры"// Архитектура и строительство России. 2021. Март. С. 53-60 [Электронный ресурс]. URL: http://www.asrmag.ru/1-2021/ASR-1-2021_Meriggi.pdf (дата обращения: 29.09.2023).
14. Насирдинова А. Глокализации цифровых кочевников // Проект байкал. 2022. №19 (71), 100-103. DOI: [10.51461/projectbaikal.71.1947](https://doi.org/10.51461/projectbaikal.71.1947) [Электронный ресурс]. URL: <https://projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/2079> (дата обращения: 24.05.2023).
15. Мякота А. Концепция реновации Норильска // Проект Байкал. 2022. 19(72). С. 86-95 [Электронный ресурс]. URL: <https://projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/2115> (дата обращения: 22.05.2023).
16. Михайлова Е.В. Влияние цифровизации экономики на социально-экономические аспекты развития общественно-торговых центров с многоуровневыми подземными структурам в крупных и крупнейших городах // Инновации и инвестиции. 2022. N4. С. 120-124 [Электронный ресурс]. URL: http://innovazia.ru/archive/?ELEMENT_ID=33904 (дата обращения: 01.07.2023).

17. Михайлова Е.В. Перспективы внедрение VR/AR-технологий в архитектурную среду общественно-торговых комплексов с подземными ярусами в крупных и крупнейших городах в условиях активного развития иммерсионных пространств / Е.В. Михайлова // *Инновации и инвестиции*. 2022. №7. С. 94-97. [Электронный ресурс]. URL: http://innovazia.ru/archive/?ELEMENT_ID=35387 (дата обращения: 13.06.2023).
18. Thackway W., Ng M., Lee C.-L., Pettit C.. Implementing a deep-learning model using Google street view to combine social and physical indicators of gentrification. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2023.101970> [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0198971523000339> (дата обращения: 22.07.2023).
19. Енин А.Е., Грошева Т.И. Системный подход к реконструкции ландшафтно-рекреационных пространств // *Строительство и реконструкция*. 2017. №4. С. 101-109.
20. Иванова Д.Е. Типовые кинотеатры советского модернизма. Визуальное исследование, 2017 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.calameo.com/read/005425639a0bc64051072> (дата обращения: 05.08.2023).
21. Место встречи бизнеса и покупателей [Электронный ресурс]. URL: <https://www.adggroup.ru> (дата обращения: 18.06.2023).
22. Место встречи бизнеса и покупателей [Электронный ресурс]. URL: <https://adg-leasing.ru> (дата обращения: 18.06.2023).

REFERENCES

1. Volichenko O., Tsurik T. Duality of attitude to historical urban development. *Baikal Project*. 2023. 20(75) Pp. 68-73. <https://doi.org/10.51461/pb.75.16> [Electronic resource]. URL: <https://projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/2033/2748> (accessed: 08/11/2023).
2. Meerovich M. Demolish cannot be reconstructed. *Baikal Project*. 2017. 14(53). Pp. 78-84. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.53.1221> [Electronic resource]. URL: <https://projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/1221/1211> (accessed: 10.06.2023).
3. Havel M.B. Neoliberalization of urban policy-making and planning in post-socialist Poland – A distinctive path from the perspective of varieties of capitalism. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103766> [Electronic resource]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275122002050> (accessed: 10/21/2023).
4. Bolzoni M., Semi G.. Adaptive urbanism in ordinary cities: Gentrification and temporalities in Turin (1993–2021). <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.104144> [Electronic resource]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275122005832> (date of reference: 05.09.2023).
5. Prokofieva I.A. Public and commercial buildings in the structure of the historical center of Moscow and Paris. Principles of continuity and development. *Housing construction*. 2021. No. 3. Pp. 25-32. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-3-25-32>.
6. Anisimov A. Post-war reconstruction of theater buildings: 1945-2020. *Baikal Project*. 2020. (66). Pp. 105-113. <https://doi.org/10.51461/projectbaikal.66.1726> [Electronic resource]. URL: <https://projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/1726> (accessed: 06/23/2023).
7. Ageeva E.Yu., Gogoleva N.A. Renovation of water towers: typological analysis. *Housing construction*. 2019. No. 1-2. Pp. 19-29. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-19-29> [Electronic resource]. URL: <https://journal-hc.ru/index.php/ru/zhurnaly/2019/vse-stati-za-2019/renovatsiya-vodonapornykh-bashen-tipologicheskij-analiz> URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/renovatsiya-vodonapornykh-bashen-tipologicheskij-analiz/viewer> (accessed: 05.07.2023).
8. Nashchokina M. Old prom - XXI: two approaches. *Baikal Project*. 2022. 19(73). Pp. 68-79. <https://doi.org/10.51461/pb.7312> [Electronic resource]. URL: <https://projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/1946> (accessed: 07/25/2023).
9. Zhan Y. Beyond neoliberal urbanism: Assembling fluid gentrification through informal housing upgrading programs in Shenzhen, China. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103111> [Electronic resource]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275121000093> (accessed: 10/15/2023).
10. Grigoryeva E. Renovation. *Baikal Project*. 2017. 14(53). Pp. 71-71. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.53.1218> [Electronic resource]. URL: <https://projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/1218> (accessed: 29.07.2023).
11. Krivý M. “Post-Apocalyptic Wasteland” or “Digital Ecosystem”? Postsocialist Ecological Imaginaries in Tallinn, Estonia. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2021.07.007> [Electronic resource]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016718521002037> (accessed: 09.10.2023).
12. Moscow cinemas of the Soviet era, 2020 [Electronic resource]. URL: <https://www.calameo.com/read/0055263808ffb36a763d1> (accessed: 06/23/2023).

13. Merigi M. Cliché failures and prospects of the "new architecture". *Architecture and Construction of Russia*. 2021. March. Pp. 53-60 [Electronic resource]. URL: http://www.asrmag.ru/1-2021/ASR-1-2021_Meriggi.pdf (accessed: 09/29/2023).
14. Nasirdinova A. Glocalization of digital nomads. *Project Baikal*. 2022. (71), 100-103. DOI: 10.51461/projectbaikal.71.1947 [Electronic resource]. URL: <https://projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/2079> (date of application: 24.05.2023).
15. Myakota A. The concept of renovation of Norilsk. *Baikal project*. 2022. 19(72), 86-95 [Electronic resource]. URL: <https://projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/2115> (accessed: 05/22/2023).
16. Mikhailova E.V. The impact of digitalization of the economy on the socio-economic aspects of the development of public shopping centers with multi-level underground structures in large and major cities. *Innovation and investment*. 2022. No. 4. Pp. 120-124 [Electronic resource]. URL: http://innovazia.ru/archive/?ELEMENT_ID=33904 (accessed 01.07.2023).
17. Mikhailova E.V. Prospects for the introduction of VR/AR technologies into the architectural environment of public and commercial complexes with underground tiers in large and major cities in the conditions of active development of immersion spaces. *Innovation and investment*. 2022. No. 7. pp. 94-97. [electronic resource]. URL: http://innovazia.ru/archive/?ELEMENT_ID=35387 (accessed: 06/13/2023).
18. Thackway W., Ng M., Lee C.-L., Pettit C. Implementing a deep-learning model using Google street view to combine social and physical indicators of gentrification. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2023.101970> [Electronic resource]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0198971523000339> (accessed: 07/22/2023).
19. Enin A.E., Grosheva T.I. A Systematic Approach To The Reconstruction Of Landscape And Recreational Spaces. *Building and reconstruction*. 2017. No. 4. Pp. 101-109.
20. Ivanova D.E. Typical cinemas of Soviet modernism. *Visual Research*, 2017 [Electronic resource]. URL: <https://www.calameo.com/read/005425639a0bc64051072> (date of address: 05.08.2023).
21. Meeting place of business and buyers [Electronic resource]. URL: <https://www.adggroup.ru> (accessed: 06/18/2023).
22. Meeting place of business and buyers [Electronic resource]. URL: <https://adg-leasing.ru> (accessed: 06/18/2023).

Информация об авторе:

Михайлова Елена Владимировна

Национальный Московский государственный строительный университет НИУ МГСУ, г. Москва, Россия, кандидат архитектуры, доцент кафедры "Основы архитектуры и художественных коммуникаций"
E-mail: MikhaylovaEV@inbox.ru

Information about author:

Mikhaylova Elena V.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) MGSU, Moscow, Russia, Phd of Architecture, Associate Professor of the Department of Fundamentals of Architecture and Artistic Communications
E-mail: MikhaylovaEV@inbox.ru

В.А. АЛЕКСЕЕВ¹, С.И. БАЖЕНОВА¹, А.А. МОНАХИНА¹

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

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОБЕТОННЫХ МАССИВОВ, СОЗДАВАЕМЫХ ИНЪЕКТИРОВАНИЕМ ОСОБОТОНКОДИСПЕРСНЫХ ВЯЖУЩИХ (МИКРОЦЕМЕНТОВ) ПО МАНЖЕТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Аннотация. Обоснована актуальность проблемы, связанная с применением инъекционной манжетной технологии цементации грунтов в различных инженерно-геологических условиях. Ввиду особенностей технологий цементации при различных режимах инъекционной пропитки и возможности применения определенных технических показателей нагнетания для разных типов грунтов при реализации технологии возможно улучшение различных деформационных характеристик грунтового массива. Приведены некоторые результаты анализа работ инъекционной цементации грунтов в дисперсных грунтах и установлены общие закономерности, при которых необходимо корректировать параметры цементации. Рассмотрены теоретические предпосылки в корреляции с экспериментальными данными, доказана эффективность применения технологии цементации в режиме инъекционной пропитки и установлена общая применимость использования данных методов цементации с повышением технических показателей закрепляемых грунтов.

Ключевые слова: инъекционное закрепление грунтов, цементация грунтов, грунтобетон, сложные инженерно-геологические условия, манжетная технология.

V.A. ALEKSEEV¹, S.I. BAZHENOVA¹, A.A. MONAKHINA¹

¹National Research University Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

PREDICTION OF CHARACTERISTICS OF SOIL-CONCRETE MASSIFS CREATED BY INJECTION OF EXTREMELY FINE-DISPERSED BINDERS (MICROCEMENTS)

Abstract. The urgency of the problem associated with the use of injection erection technology of soil cementation in various engineering and geological conditions is substantiated. Due to the peculiarities of cementation technologies under various modes of injection impregnation and the possibility of applying certain technical injection parameters for different types of soils, it is possible to improve various deformation characteristics of the soil mass when implementing the technology. Some results of the analysis of the work of injection cementation of soils in dispersed soils are presented and general patterns are established under which it is necessary to adjust the parameters of cementation. The theoretical prerequisites are considered in relation to experimental data, the effectiveness of the application of cementing technology in the injection impregnation mode is proved and the general applicability of the application of these cementing methods with an increase in the technical indicators of the fixed soils is established.

Key words: injection consolidation of soils, soil cementation, soil concrete, complex engineering-geological conditions, mounting technology.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Butchibabu B., Khan P.K., Jha P. C. Foundation evaluation of underground metro rail station using geophysical and geotechnical investigations// *Engineering Geology*. 2019. Volume 248. Pp. 140-154. DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.12.001.
2. Belyi J.A., Karapetov E., Efimenko Y. Structural Health and Geotechnical Monitoring During Transport Objects Construction and Maintenance (Saint-Petersburg Example) // *Procedia Engineering*. 2017. Volume 189. Pp. 145-151. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.024.
3. Nezhnikova E. The Use of Underground City Space for the Construction of Civil Residential Buildings // *Procedia Engineering*. 2016. Volume 165. Pp. 1300-1304. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.854.
4. Волков М.А., Петленко С.А., Волкова Д.О., Баженова И.С. Сравнительный анализ составов, применяемых для усиления грунтов оснований и фундаментов при реконструкции // Сборник «Проблемы и перспективы в международном трансфере инновационных технологий. сборник статей Международной научно-практической конференции». Уфа, 2021. С. 40-44.
5. Farfan J., Fasihi M., Breyer C. Trends in the global cement industry and opportunities for long-term sustainable CCU potential for Power-to-X // *Journal of Cleaner Production*. 2019. Volume 217. Pp. 821-835. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.01.226.
6. Song D., Lin L., Bao W. Exergy conversion efficiency analysis of a cement production chain // *Energy Procedia*. 2019. Volume 158. Pp. 3814-3820. DOI: 10.1016/j.egypro.2019.01.867.
7. Elfaham M.M., Eldemerdas U. Advanced analyses of solid waste raw materials from cement plant using dual spectroscopy techniques towards co-processing // *Optics & Laser Technology*. 2019. Volume 111. Pp. 338-346. DOI: 10.1016/j.optlastec.2018.10.009.
8. Shlyakhova E., Serebryanaya I., Egorochkina, I., Matrosov A., Odinets M., Knyazhichenko M. Repair compositions for restoration of operated reinforced concrete structures // *E3S Web of Conferences*. 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021. Rostov-on-Don, 2021. 04017.
9. Баженова С.И., Алексеев В.А. Особенности подбора состава тонкодисперсных вяжущих для инъектирования // *Строительство и реконструкция*. 2020. № 3 (89). С. 99-108. DOI: 10.33979/2073-7416-2020-89-3-99-108
10. Thomas R. J., Gebregziabihe B.S., Giffin A., Peethamparan S. Micromechanical properties of alkali-activated slag cement binders // *Cement and Concrete Composites*. 2018. Volume 90. Pp. 241-256. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2018.04.003.
11. Гришина А.Н., Королев Е.В. Жидкостекольные строительные материалы специального назначения [Электронный ресурс]: монография. Электрон. текстовые данные. М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2015. — 224 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/32221>. — ЭБС «IPRbooks».
12. Alekseev V. Combined permeation grouting technologies using ultra microfine cement // *The Scientific Heritage*. 2020. № 48-1 (48). p. 3-4.
13. Кочев Д.З., Алексеев С.В., Алексеев В.А. Особенности инженерно-геологических изысканий и опыт повышения несущей способности загрязненных грунтов в городских условиях Московской области// Сборник: Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи Юбилейная конференция, посвященная 25-летию образования ИГЭ РАН. 2016. С. 305-309.
14. Wang Z.-F., Shen S.-L., Modoni G. Enhancing discharge of spoil to mitigate disturbance induced by horizontal jet grouting in clayey soil: Theoretical model and application // *Computers and Geotechnics*. 2019. Volume 111. Pp. 222-228. DOI: 10.1016/j.compgeo.2019.03.012.
15. Heidari M., Tonon F. Ground reaction curve for tunnels with jet grouting umbrellas considering jet grouting hardening // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2015. Volume 76. Pp. 200-208. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2015.03.021.
16. Makovetskiy O.A. Application of “Jet Grouting” for Installation of Substructures of Estates // *Procedia Engineering*. 2016. Volume 150. Pp. 2228-2231. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.269.
17. Kashevarova G.G., Makovetskiy O.A. Analysis of Experimental and Estimated Jet-grouted Soil Mass Deformations // *Procedia Engineering*. 2016. Volume 150. Pp. 2223-2227. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.268.

18. Güllü H. On the viscous behavior of cement mixtures with clay, sand, lime and bottom ash for jet grouting // *Construction and Building Materials*. 2015. Volume 93. Pp. 891-910. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.05.072.
19. Güllü H. A new prediction method for the rheological behavior of grout with bottom ash for jet grouting columns // *Soils and Foundations*. 2017. Volume 57. Issue 3. Pp. 384-396. DOI: 10.1016/j.sandf.2017.05.006.
20. Cristelo N., Soares E., Rosa I., Miranda T., Chaves A. Rheological properties of alkaline activated fly ash used in jet grouting applications // *Construction and Building Materials*. 2013. Volume 48. Pp. 925-933. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.07.063.
21. Малинин А.Г. Влияние режимов струйной цементации на диаметр грунтоцементных колонн // *Метро и тоннели*. 2013. № 4. С. 30.
22. Бройд И.И. Струйная геотехнология. Москва: АСВ, 2004. 440 с.
23. Güllü H., Cevik A., Al-Ezzi K.M.A., Gülsan M.E. On the rheology of using geopolymers for grouting: A comparative study with cement-based grout included fly ash and cold bonded fly ash // *Construction and Building Materials*. 2019. Volume 196. Pp. 594-610. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.140.
24. Тер-Мартirosян З.Г., Струнин П.В. Усиление слабых грунтов в основании фундаментных плит с использованием технологии струйной цементации грунтов // *Вестник МГСУ*. 2010. № 4-2. С. 310-31.
25. Makovetskiy O.A. Application of "Jet Grouting" for Installation of Substructures of Estates // *Procedia Engineering*. 2016. Volume 150. Pp. 2228-2231. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.269.
26. Ochmański M., Modoni G., Bzówka J. Prediction of the diameter of jet grouting columns with artificial neural networks // *Soils and Foundations*. 2015. Volume 55. Issue 2. Pp. 425-436. DOI: 10.1016/j.sandf.2015.02.016.
27. Муртазаев С.А.Ю., Сайдумов М.С., Муртазаева Т.С.А., Абумуслимов А.С. Влияние тонкомолотых минеральных наполнителей техногенной природы (МНТП) на седиментацию цементных суспензий // В сборнике: *Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции*. Белгород, 2020. С. 372-379.
28. Ibragimov M.N., Semkin V.V., Shaposhnikov A.V. Soil Solidification by Micro-Cements // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2017. Vol. 53. No. 6. Pp. 412-419. – DOI 10.1007/s11204-017-9421-0. – EDN YVHFYN.
29. Алексеев В. А., Харченко А. И., Соловьев В. Г., Никоноров Р. Н. Набрызгбетон в шахтном строительстве // *Вестник МГСУ*. 2017. Т. 12, № 7(106). С. 780-787. – DOI 10.22227/1997-0935.2017.7.780-787. – EDN ZATDKR.
30. Jeong Y., Kang S.H., Du Y., Moon J. Local Ca-structure variation and microstructural characteristics on one-part activated slag system with various activators // *Cement and Concrete Composites*. 2019. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2019.04.009.
31. Shi Z., Shi C., Wan S., Li N., Zhang Z. Effect of alkali dosage and silicate modulus on carbonation of alkali-activated slag mortars // *Cement and Concrete Research*. 2018. Volume 113. Pp. 55-64. DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.07.005.
32. Муртазаев С.А.Ю., Саламанова М.Ш., Сайдумов М.С., Хубаев М.С.М. Роль тонкомолотого наполнителя техногенной природы в рецептуре наполненных вяжущих для высококачественных бетонов // В сборнике: *Миллионщиков-2020. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 100-летию ФГБОУ ВО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова»*. Грозный, 2020. С. 226-233.
33. Rumyantseva V. E. Changes in the structural and phase composition and strength characteristics of concrete during liquid corrosion in chloride-containing media // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1926. 012057. – DOI 10.1088/1742-6596/1926/1/012057. – EDN VWVEAV.
34. Рахимова Н.Р., Рахимов Р.З. Развитие и перспективные возможности получения и применения активированных щелочами гидравлических вяжущих и материалов на их основе // *Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук*. 2011. № 14. С. 151-167.
35. Сальникова А.С., Шермет А.А., Сальников Д.А. Композиционное вяжущее в строительстве // *Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Материалы конференции*, Белгород, 30 апреля 2021 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 1031-1034. – EDN YGKMNS.

REFERENCES

1. Butchibabu B., Khan P.K., Jha P. C. Foundation evaluation of underground metro rail station using geophysical and geotechnical investigations. *Engineering Geology*. 2019. Volume 248. Pp. 140-154. DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.12.001.
2. Belyi J.A., Karapetov E., Efimenko Y. Structural Health and Geotechnical Monitoring During Transport Objects Construction and Maintenance (Saint-Petersburg Example). *Procedia Engineering*. 2017. Volume 189. Pp. 145-151. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.024.
3. Nezhnikova E. The Use of Underground City Space for the Construction of Civil Residential Buildings. *Procedia Engineering*. 2016. Volume 165. Pp. 1300-1304. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.854.
4. Volkov M.A., Petlenko S.A., Volkova D.O., Bazhenova I.S. Sravnitel'niy analiz sostavov, primenyaemih dlya usileniya osnovaniy i fundamentov pri rekonstrukcii [Comparative analysis of compounds used to strengthen the soils of foundations and foundations during reconstruction] Mezhdunarodnoy nauchno-technicheskoy konferencii Problemi i perspektivi v mezhdunrodnom transfere innovacionnih tehnologiy [Proceeding of the Problems and prospects in the international transfer of innovative technologies. collection of articles of the International Scientific and Practical Conference]. Ufa, 2021. Pp. 40-44.
5. Farfan J., Fasihi M., Breyer C. Trends in the global cement industry and opportunities for long-term sustainable CCU potential for Power-to-X. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Volume 217. Pp. 821-835. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.01.226.
6. Song D., Lin L., Bao W. Exergy conversion efficiency analysis of a cement production chain. *Energy Procedia*. 2019. Volume 158. Pp. 3814-3820. DOI: 10.1016/j.egypro.2019.01.867.
7. Elfaham M.M., Eldemerdas U. Advanced analyses of solid waste raw materials from cement plant using dual spectroscopy techniques towards co-processing. *Optics & Laser Technology*. 2019. Volume 111. Pp. 338-346. DOI: 10.1016/j.optlastec.2018.10.009.
8. Shlyakhova E., Serebryanaya I., Egorochkina, I., Matrosov A., Odnets M., Knyazhichenko M. Repair compositions for restoration of operated reinforced concrete structures. E3S Web of Conferences. 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021. Rostov-on-Don, 2021. 04017.
9. Bazhenova S.I., Alekseev V.A. Features of the selection of the composition of fine-dispersed binders for injection. *Building and reconstruction*. 2020. No. 3 (89). Pp. 99-108. DOI: 10.33979/2073-7416-2020-89-3-99-108
10. Thomas R. J., Gebregziabihe B.S., Giffin A., Peethamparan S. Micromechanical properties of alkali-activated slag cement binders. *Cement and Concrete Composites*. 2018. Volume 90. Pp. 241-256. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2018.04.003.
11. Grishina A.N., Korolev E.V. Liquid glass building materials for special purposes [Electronic resource]: monograph. Moscow: Moscow State University of Civil Engineering, AI Pi Er Media, EBS DIA, 2015. — 224 p. [Online]. System requirements: AdobeAcrobatReader.— URL: <http://www.iprbookshop.ru/32221> . — EBS "IPRbooks".
12. Alekseev V. Combined permeation grouting technologies using ultra microfine cement. *The Scientific Heritage*. 2020. No. 48-1 (48). Pp. 3-4.
13. Kochev D.Z., Alekseev S.V., Alekseev V.A. Osobennosti inzhenerno-geologicheskikh iziskaniy I opit povisheniya nesuschey sposobnosti zagryznennih gruntov v gorodskih usloviyah Moskovskoy oblasti [Features of engineering-geological research and experience of increasing the bearing capacity of contaminated soils in urban conditions of the Moscow region] Jubileynoy konferencii, posvyaschennoy 25-letiyu obrazovaniya IGE RAN. Sergeevskie chteniya, Inzhenernaya geologiya i geocologiya. Fundamental'niye problem i prikladnie zadachi [Sergeyev's readings. Engineering geology and geocology. Fundamental problems and applied tasks Anniversary conference dedicated to the 25th anniversary of the IGE RAS]. 2016. pp. 305-309.
14. Wang Z.-F., Shen S.-L., Modoni G. Enhancing discharge of spoil to mitigate disturbance induced by horizontal jet grouting in clayey soil: Theoretical model and application. *Computers and Geotechnics*. 2019. Volume 111. Pp. 222-228. DOI: 10.1016/j.compgeo.2019.03.012.
15. Heidari M., Tonon F. Ground reaction curve for tunnels with jet grouting umbrellas considering jet grouting hardening. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2015. Volume 76. Pp. 200-208. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2015.03.021.
16. Makovetskiy O. A. Application of "Jet Grouting" for Installation of Substructures of Estates. *Procedia Engineering*. 2016. Volume 150. Pp. 2228-2231. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.269.
17. Kashevarova G.G., Makovetskiy O.A. Analysis of Experimental and Estimated Jet-grouted Soil Mass Deformations. *Procedia Engineering*. 2016. Volume 150. Pp. 2223-2227. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.268.
18. Güllü H. On the viscous behavior of cement mixtures with clay, sand, lime and bottom ash for jet grouting. *Construction and Building Materials*. 2015. Volume 93. Pp. 891-910. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.05.072.

19. Güllü H. A new prediction method for the rheological behavior of grout with bottom ash for jet grouting columns. *Soils and Foundations*. 2017. Volume 57. Issue 3. Pp. 384-396. DOI: 10.1016/j.sandf.2017.05.006.
20. Cristelo N., Soares E., Rosa I., Miranda T., Chaves A. Rheological properties of alkaline activated fly ash used in jet grouting applications. *Construction and Building Materials*. 2013. Volume 48. Pp. 925-933. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.07.063.
21. Malinin A.G. Influence of Jet cementation modes on the diameter of soil-cement columns. *Metro and tunnels*. 2013. No. 4. Pp. 30.
22. Broyd I.I. *Struynaya geotekhnologiya [Jet geotechnology]*. Moscow: ASV, 2004. 440p.
23. Güllü H., Cevik A., Al-Ezzi K.M.A., M. Gülsan M.E. On the rheology of using geopolymers for grouting: A comparative study with cement-based grout included fly ash and cold bonded fly ash. *Construction and Building Materials*. 2019. Volume 196. Pp. 594-610. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.140.
24. Ter-Martirosyan Z. G., Strunin P.V. Usilenie slabih gruntov v osnovanii fundamentnih plit s ispol'zovaniem tehnologii struynoy cementatsii [Strengthening weak soils in the basis of foundation slabs with use of technology of jet cementation of soils]. *Vestnik MGSU*. 2010. No. 4-2. Pp. 310-315.
25. Makovetskiy O.A. Application of "Jet Grouting" for Installation of Substructures of Estates. *Procedia Engineering*. 2016. Volume 150. Pp. 2228-2231. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.269.
26. Ochmański M., Modoni G., Bzówka J. Prediction of the diameter of jet grouting columns with artificial neural networks. *Soils and Foundations*. 2015. Volume 55. Issue 2. Pp. 425-436. DOI: 10.1016/j.sandf.2015.02.016.
27. Murtazaev S.A.Yu., Saidumov M.S., Murtazaeva T.S.A., Abumuslimov A.S. Vliyanie tonkomolotih mineral'nykh napolniteley tehnogennoy prirodi na sedimentatsiyu cementnykh suspenziy [Influence of finely ground mineral fillers of technogenic nature on sedimentation of cement suspensions] IV Mezhdunarodnoy nauchno-technicheskoy konferencii Nauka i innovatsii v stroitel'stve [Proceeding of the Science and Innovation in . Collection of reports of the IV International Scientific and Practical Conference]. Belgorod, 2020. Pp. 372-379.
28. Ibragimov M.N., Semkin V.V., Shaposhnikov A.V. Soil Solidification by Micro-Cements. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2017. Vol. 53, No. 6. P. 412-419. DOI 10.1007/s11204-017-9421-0. – EDN YVHFYN.
29. Alekseev V. A., Kharcenko A. I., Soloviev V. D., Nikonov R. N. Nabrizhbeton v shhtnom stroitel'stve [Sprayed concrete in the mine construction]. *Vestnik MGSU*. 2017. Vol. 12, No. 7(106). Pp 780-787. DOI 10.22227/1997-0935.2017.7.780-787. – EDN ZATDKR
30. Jeong Y., Kang S.-H., Du Y., Moon J. Local Ca-structure variation and microstructural characteristics on one-part activated slag system with various activators. *Cement and Concrete Composites*. 2019. 15 April. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2019.04.009.
31. Shi Z., Shi C., Wan S., Li N., Zhang Z. Effect of alkali dosage and silicate modulus on carbonation of alkali-activated slag mortars. *Cement and Concrete Research*. 2018. Volume 113. Pp. 55-64. DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.07.005.
32. Murtazaev S.A.Yu., Salamanova M.Sh., Saidumov M.S., Hubaev M.S.M. Rol' tonkomolotogo napolnitelya tehnogennoy prirodi v recapture napolnennykh vyazhushchih dlya visokokachestvennykh betonov [The role of finely ground filler of technogenic nature in the formulation of filled binders for high-quality concrete] III Vserossiyskoy nauchno-prkticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodih uchenih s mezhdunrodnim uchastiem, posvyaschennaya 100-letiyu FGBOU VO GGNTU imeni akdemika M.D. Millionschikova [Proceeding of the III All-Russian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists with international participation, dedicated to the 100th anniversary of the FSBEI HE "GGNTU named after M.D. Millionschikov"]. Grozny, 2020. pp. 226-233.
33. Rumyantseva V. E. Changes in the structural and phase composition and strength characteristics of concrete during liquid corrosion in chloride-containing media. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1926. 012057. DOI 10.1088/1742-6596/1926/1/012057. EDN VWVEAV.
34. Rakhimova N.R., Rakhimov R.Z. Razvitie i perspektivnie vozmozhnosti polucheniya i primeneniya aktivirovannogo scheloschami gidravlicheskih vyazhushchih i materialov na ih osnove [Development and promising possibilities of obtaining and using alkali-activated hydraulic binders and materials based on them]. *Bulletin of the Volga Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences*. 2011. No. 14. pp. 151-16
35. Salnikova A.S. Kompozitsionnoe vyazhushchee v stroitel'stve [Composite binder in construction] Mezhdunarodnoy nauchno-technicheskoy konferencii molodih uchenih BGTU imeni V.G. Shuhova [Proceeding of International Scientific and Technical Conference of young scientists of V.G. Shukhov BSTU: Conference materials], Belgorod, April 30 – 20, 2021. Pp. 1031-1034.

Информация об авторах:

Алексеев Вячеслав Александрович

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
г. Москва, Россия,
Директор НОЦ «Подземное строительство»
E-mail: 634586@mail.ru

Баженова Софья Ильдаровна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
г. Москва, Россия,
канд. техн. наук, доц., доцент кафедры строительного материаловедения (СМ)

Монахина Анастасия Андреевна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
г. Москва, Россия,
студентка 4 курса бакалавриата
E-mail: monaxina03@mail.ru

Information about authors:

Alekseev Vyacheslav A.

National Research Moscow State University of Civil Engineering - Design Institute (NRU MGSU), Moscow, Russia
Head of the scientific and educational center «Underground construction»
E-mail: 634586@mail.ru

Bazhenova Sofya I.

National Research Moscow State University of Civil Engineering - Design Institute (NRU MGSU), Moscow, Russia
candidate in tech. sc., docent, associated prof. of the dep. of Building materials science
E-mail: BazhenovaSI@mgsu.ru

Monakhina Anastasia A.

National Research Moscow State University of Civil Engineering - Design Institute (NRU MGSU), Moscow, Russia
4th year undergraduate student
E-mail: monaxina03@mail.ru

В.Д. ЧЕРКАСОВ¹, Ю.П. ЩЕРБАК², Д.В. ЧЕРКАСОВ¹¹Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарева, г. Саранск, Россия²Саровский физико-технический институт Национальный исследовательский
ядерный университет МИФИ, г. Саров, Россия

ЭЛАСТИЧНЫЕ САМОКЛЕЯЩИЕСЯ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Аннотация. В статье рассматривается создание эластичных самоклеящихся радиопоглощающих материалов для защиты от СВЧ излучения. В производстве радиопоглощающих материалов широко используют карбонильное железо. Материалы с этим наполнителем имеют низкое поглощение электромагнитного излучения, а в большей степени отражают его. Основное достоинство этого наполнителя в том, что он выпускается отечественными производителями в промышленных объемах. Другой наполнитель, используемый для производства радиопоглощающих материалов – углеродное волокно. Материалы на этом наполнителе имеют высокий коэффициент поглощения электромагнитного излучения, но работают в очень узком диапазоне частот. В связи с этим для повышения поглощения электромагнитного излучения и расширения диапазона частот в состав радиопоглощающего материала, содержащего карбонильное железо, вводится определенное количество углеродного волокна. Показано, что при этом поглощение электромагнитного излучения достигает 80 %, а частотный диапазон работы составляет 6,2 – 7,7 ГГц. Материал предназначен для защиты помещений и оборудования от электромагнитного излучения.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, СВЧ-диапазон, каучук, углеродное волокно, карбонильное железо, радиопоглощающий материал, исследования.

V.D. CHERKASOV¹, Y.P. SHCHERBAK², D.V. CHERKASOV¹¹National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia²Sarov Institute of Physics and Technology National Research
Nuclear University MEPhI, Sarov, Russia

ELASTIC SELF-ADHESIVE RADIOABSORBING MATERIALS

Abstract. The article considers creation of elastic self-adhesive radio absorbing materials for frequency range of 2-7 GHz. Carbonyl iron is widely used in the production of radioabsorbing materials. Materials with this filler have a low absorption of electromagnetic radiation, and more reflect it. The main advantage of this filler is that it is produced by domestic manufacturers in industrial volumes. Another filler used for the production of radioabsorbing materials is carbon fibre. Materials on this filler have a high absorption coefficient of electromagnetic radiation, but operate in a very narrow frequency range. Therefore, in order to increase electromagnetic absorption and extend the frequency range, a certain amount of carbon fibre is introduced into the composition of the radioabsorbing material containing carbonyl iron. It is shown that in this case absorption of electromagnetic radiation reaches 93%. The material is intended for protection of premises and equipment against electromagnetic radiation.

Keywords: electromagnetic radiation, microwave range, rubber, carbon fiber, carbonyl iron, radio absorbing material, research.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимин Б.Ф. Современные разработки поглотителей электромагнитных волн и радиопоглощающих материалов. – Зарубежная радиоэлектроника, 1989, №2, с. 75 – 82.
2. Ковалева Т.Ю., Безъязыкова Т.Г., Шафпанский В.С. Магнитодиэлектрики для СВЧ – поглощающих экранов. – Радиоэлектроника и связь, 1991, №2, с. 84 – 86.
3. Казанцева Н. Е., Рыбкина Н.Г., Чмутин И.А. Перспективные материалы для поглотителей электромагнитных волн сверхвысокочастотного диапазона. – Радиотехника и электроника, 2003, т. 1, с. 161 – 163.
4. Островский О.С., Одаренко Е.Н., Шматько А.А. Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн - Физическая инженерия поверхности, 2003, т. 1, с. 161 – 163.
5. Лыньков Л.М., Богут В.Н., Боротько Т.В., Украинец Е.А., Колбун Н.В. Новые материалы для экранов электромагнитного излучения. Доклады Бгуйр. - №3 – 2004, с. 152 – 167.
6. Abdolali Ali, Oraizi Homaeoon, Tavakoli Ahad. Ultra Wide Band Radar Absorbing Materials. Elektromagnetics Research Symposium Proceedings, Moscow, Russia, August 18–21, 2009, 351 с.
7. Wallace J.L. Broadband Magnetic Microwave Absorbers: Fundamental Limitations // IEEE Trans. Magn. - 1993. - 29, №6, Pt 3. - P. 4209-4214.
8. Лопатин А.В., Казанцев Ю. Н. и др. Радиопоглотители на основе магнитных полимерных композитов и частотно-селективных поверхностей – Радиотехника и электроника, 2008, т.53, № 9, с. 1176-1184.
9. Антонов А.С., Панина Л.В., Сарычев А.К. Высокочастотная магнитная проницаемость композитных материалов, содержащих карбонильное железо. – Журнал технической физики, 1989, т. 59, №6, с. 88 – 94.
10. Михайлин Ю.А. Специальные полимерные композиционные материалы. СПб.: Научные основы и технологии, 2008. 660.
11. Колесов В.В., Петрова Н.Г., Фионов А.С. Радиопоглощающие материалы на основе наполненных полимеров // 16-я международная крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Севастополь. Украина. 2006. с. 594 – 595.
12. Лопатин А.В., Казанцева Е.Н., Казанцев Ю.Н. Эффективность использования магнитных полимерных композитов в качестве радиопоглощающих материалов. Радиотехника и электроника – 2008 – т. 53, №5, с. 517 – 526.
13. Петров В.М., Гагулин В.В. Радиопоглощающие материалы. – Неорганические материалы, 2001, т.37, №2, с. 135 – 141.
14. Хачатуров А.А., Фионов А.С., Колесов В.В., Потапов Е.Э., Ильин Е.М. Функциональные эластомерные композиционные материалы на основе бутадиен-стирольного каучука и магнетита. РЭНСИТ, 2019, том 11, №2., с.189-199.
15. Крюков А.В., Еремеев А.С. Новые радиопоглощающие гибкие материалы на основе углеродной матрицы с различными синтетическими наполнителями и оценка их поглощающих свойств в СВЧ диапазоне. РЭНСИТ, 2020, 12(3):335-340. DOI: 10.17725/rensit.2020.12.335.
16. Xiangyu Zheng, Haiwei Zhang, Zhihao Liu, Rijia Jiang, Xing Zhou, Functional composite electromagnetic shielding materials for aerospace, electronics and wearable fields, Materials Today Communications, Volume 33, 2022, 104498, ISSN 2352-4928, <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104498>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492822013393>)
17. C. Retailleau, J. Alaa Eddine, F. Ndagijimana, F. Haddad, B. Bayard, B. Sauviac, P. Alcouffe, M. Fumagalli, V. Bounor-Legaré, A. Serghei, Universal behavior for electromagnetic interference shielding effectiveness of polymer based composite materials, Composites Science and Technology, Volume 221, 2022, 109351, ISSN 0266-3538, <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2022.109351>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353822000938>)
18. Yingjie Chang, Ruixing Hao, Yaqi Yang, Guizhe Zhao, Yaqing Liu, Hongji Duan, Progressive conductivity modular assembled fiber reinforced polymer composites for absorption dominated ultraefficient electromagnetic interference shielding, Composites Part B: Engineering, Volume 260, 2023, 110766, ISSN 1359-8368, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.110766>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135983682300269X>)
19. Влияние формы, химического и фазового состава частиц на основе Fe на СВЧ-характеристики композитов с диэлектрической матрицей / Елсуков Е.П., Розанов К.Н. и др. // Журнал технической физики – 2009 – т.79, вып. 4 – с. 125-130.

20. Петров В., Николайчук Г. и др. Многоцелевые радиопоглощающие материалы на основе магнитных нано структур: получение, свойства, применение. – Компоненты и технологии, 2008, №10, с. 147 – 150.
21. Журавлев В.А., Сусяев В.И. и др. Радиопоглощающие свойства содержащих карбонильное железо композитов на СВЧ и КВЧ – Исследовано в России, 2010, 035/100608, с. 404 – 411.
22. Серебрянников С.П., Чепарин В.П., Румянцев П.А., Еремцова Л.Л. Электродинамические свойства диспергированных гексафферритовых наполнителей и радиопоглощающих покрытий. – Элек-тричество, 2013, №5, с. 37 – 40.
23. Серебрянников С.П., Чепарин В.П., Китайцев А.А., Смирнов Д.О. Влияние толщины покры-тия с наполнителем в виде высокоанизотропного феррита на величину поглощения электромагнитного излучения. Магнетизм, дальнее и ближнее спин-спиновое взаимодействие. – Сб. трудов XVII Междунар. Конф., (Москва – Фирсановка, 20 -22 ноября 2009 г.), с. 223 – 229.
24. Серебрянников С.В., Чепарин В.П., Смирнов Д.О., Румянцев П.А., Китайцев А.А., Еремцов Л.Л. Свойства композиционных материалов на основе ультрадисперсных ферритмагнитных наполните-лей. – Электричество, 2011, №3, с. 78 – 80.
25. Taleghani H.G., Aleahmad M., Eisazadeh H. Preparation and Characterization of Polyaniline Na-noparticles Using Various Solutions. – World Applied Seiences Journal, 2009, No. 6 (12), pp. 1607–1611.
26. Журавлев В.А., Сусяев В.И., Доценко О.А., Бабинович А.Н. Композиционный радиомате-риал на основе карбонильного железа для миллиметрового диапазона длин волн // Известия высших учебных заведений. Физика. 2010, №8, с. 96 – 97.
27. Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч.тр. [Электронный ресурс] /науч. ред. В.Н. Бондаренко; отв. за вып. А.А. Левицкий. Электрон. дан. (31 мб). Красноярск: Сиб. федер.ун-т, 2016.
28. ГОСТ 30381-95 / ГОСТ Р 50011-92. Совместимость технических средств электромагнитная. Поглотители электромагнитных волн для экранированных камер. Общие технические условия.

REFERENCES

1. Alimin B.F. Modern development of electromagnetic wave scavengers and radio absorption materials. - Foreign radio electronics, 1989, 2, p. 75 - 82.
2. Kovaleva T.Y., Besyazykova T.G., Shafpansky V.S. Magnetodielectric for microwave - absorbing screens. - Radioelectronics and communication, 1991, 2, p. 84 - 86.
3. Kazantseva N. Y., Rybkina N.G., Chmutin I.A. Perspective materials for electromagnetic wave absorbers of ultra-high frequency range. - Radio and Electronics, 2003, t. 1, p. 161 - 163.
4. Ostrovsky O.S., Odarenko E.N., Shmatko A.A.. Protective shields and absorbers of electromagnetic waves - Physical Surface Engineering, 2003, t. 1, p. 161 - 163.
5. Lynkov L.M., Bogut V.N., Borotko T.V., Ukrainian E.A., Kolbun N.V. New materials for screens of electromagnetic radiation. Bhuir Reports. - 3 - 2004, p. 152 - 167.
6. Abdolali Ali, Oraizi Homaeoon, Tavakoli Ahad. Ultra Wide Band Radar Absorbing Materials. Elektromagnetics Research Symposium Proceedings, Moscow, Russia, August 18–21, 2009, 351 с.
7. Wallace J.L. Broadband Magnetic Microwave Absorbers: Fundamental Limitations // IEEE Trans. Magn. - 1993. - 29, №6, Pt 3. - P. 4209-4214.
8. Lopatin A.V., Kazantsev Y. N. etc. Radioadsorbents based on magnetic polymer composites and frequency-selective surfaces - Radioengineering and electronics, 2008, vol. 53, 9, pp. 1176-1184.
9. Antonov A.S., Panina L.V., Sarychev A.K. High-frequency magnetic permeability of composite materials containing carbonyl iron. - Journal of Technical Physics, 1989, vol. 59, 6, p. 88 - 94.
10. Mikhailin Y.A. Special polymer composite materials. SPb.: Scientific bases and technologies, 2008. 660.
11. Wheels V.V., Petrova N.G., Fionov A.S. Radio absorbing materials based on filled polymers // 16th International Crimean conference «VHF-technology and telecommunications technologies». Sevastopol. Ukraine. 2006. p. 594 - 595.
12. Lopatin A.V., Kazantseva E.N., Kazantsev Y.N. Efficiency of use of magnetic polymer composites as radio absorbing materials. Radio and Electronics - 2008 - t. 53, 5, p. 517 - 526.
13. Petrov V.M., Gagulin V.V. Radio absorbing materials. - Inorganic materials, 2001, vol. 37, 2, pp. 135 - 141.
14. Khachaturov A.A., Fionov A.S., Kolesov V.V., Potapov E.E., Ilyin E.M. Functional elastomeric composite materials based on styrene-butadiene rubber and magnetite. RENSIT, 2019, volume 11, no. 2., pp. 189-199.
15. Kryukov A.V., Eremeev A.S. New radio-absorbing flexible materials based on a carbon matrix with various synthetic fillers and evaluation of their absorbing properties in the microwave range. RENSIT, 2020, 12(3):335-340. DOI: 10.17725/rensit.2020.12.335.
16. Xiangyu Zheng, Haiwei Zhang, Zhihao Liu, Rijia Jiang, Xing Zhou, Functional composite

electromagnetic shielding materials for aerospace, electronics and wearable fields, *Materials Today Communications*, Volume 33, 2022, 104498, ISSN 2352-4928, <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104498>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492822013393>)

17. C. Retailleau, J. Alaa Eddine, F. Ndagijimana, F. Haddad, B. Bayard, B. Sauviac, P. Alcouffe, M. Fumagalli, V. Bounor-Legaré, A. Serghei, Universal behavior for electromagnetic interference shielding effectiveness of polymer based composite materials, *Composites Science and Technology*, Volume 221, 2022, 109351, ISSN 0266-3538, <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2022.109351>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353822000938>)

18. Yingjie Chang, Ruixing Hao, Yaqi Yang, Guizhe Zhao, Yaqing Liu, Hongji Duan, Progressive conductivity modular assembled fiber reinforced polymer composites for absorption dominated ultraefficient electromagnetic interference shielding, *Composites Part B: Engineering*, Volume 260, 2023, 110766, ISSN 1359-8368, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.110766>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135983682300269X>

19. The influence of the form, chemical and phase composition of Fe-based particles on the VHF characteristic of composites with dielectric matrix / Elsukov H.P., Rozanov K.N. etc. // *Journal of Technical Physics* - 2009 - vol. 79, vol. - pp. 125-130.

20. Petrov V., Nikolaychuk G. et al. Multi-purpose radio absorbing materials based on magnetic nano structures: receiving, properties, applications. - *Components and Technologies*, 2008, 10, p. 147 – 150.

21. Zhuravlev V.A., Suslyayev V.I. etc. Radio absorbing properties of carbonyl iron-containing composites on microwave and microwave surface - Studied in Russia, 2010, 035/100608, p. 404 - 411.

22. Serebrennikov S.P., Cheparin V.P., Rummyantsev P.A., Eremsova L.L. Electrodynamic properties of dispersed hexaferrite fillers and radio-absorbing coatings. - *Electricity*, 2013, 5, p. 37 - 40.

23. Serebrennikov S.P., Cheparin V.P., Chinese A.A., Smirnov D.O. Influence of thickness of coating with filler in the form of high anisotropic ferrite on the amount of absorption of electromagnetic radiation. Magnetism, distant and near spin-spin interaction. - *Sat. works of XVII Mezunar. Conf.*, (Moscow - Firsanovka, 20 - 22 November 2009), pp. 223 - 229.

24. Serebrennikov S.V., Cheparin V.P., Smirnov D.O., Rummyantsev P.A., Chinese A.A., Eremsov L.L. Properties of compositions based on ultradispersed ferrymagnetic fillers. - *Electricity*, 2011, 3, p. 78 - 80.

25. Taleghani H.G., Aleahmad M., Eisazadeh H. Preparation and Characterization of Polyaniline Nanoparticles Using Various Solutions. – *World Applied Sciences Journal*, 2009, No. 6 (12), pp. 1607–1611.

26. Zhuravlev V.A., Suslyayev V.I., Dotsenko O.A., Babinovich A.N. Carbonyl iron composite radio material for millimeter wavelength range // *Izvestia of higher educational institutions. Physics*. 2010, 8, p. 96 - 97.

27. Modern problems of radio electronics: collection of scientific tr. [Electronic resource] /scientific ed. V.N. Bondarenko; rev. for issue A.A. Levitsky. *Electron. dan.* (31 MB). Krasnoyarsk: Sib. feder.Univ., 2016.

28. GOST 30381-95 / GOST R 50011-92. Electromagnetic compatibility of technical means. Electromagnetic wave absorbers for shielded cameras. General technical conditions.

Информация об авторах:

Черкасов Василий Дмитриевич

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск, Россия,

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная механика»

E-mail: vd-cherkasov@yandex.ru

Щербак Юрий Петрович

Саровский физико-технический институт Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, г. Саров, Россия,

кандидат технических наук, доцент, советник руководителя Саровского физико-технического института Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ.

E-mail: ypscherbak@gmail.com

Черкасов Дмитрий Васильевич

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск, Россия,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная механика».

E-mail: dv-cherkasov@yandex.ru

Information about authors:

Cherkasov Vasilii D.

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Applied Mechanics».
E-mail: vd-cherkasov@yandex.ru

Shcherbak Yuri P.

Sarov Institute of Physics and Technology National Research Nuclear University MEPhI, Advisor to the Head,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.
E-mail: ypscherbak@gmail.com

Cherkasov Dmitry V.

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor «Applied Mechanics».
E-mail: dv-cherkasov@yandex.ru

Н.И. ШЕСТАКОВ¹, Н.Д. АЛЕШИН¹, А.Д. МАКАРОВ¹

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

РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПЫЛИ УНОСА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ЗАВОДОВ

Аннотация. В современной строительной отрасли актуальна проблема поиска материалов с повышенной устойчивостью, которые обеспечивали бы минимальное экологическое воздействие при оптимальной экономической эффективности. С учетом глобальных трендов в области экологии и устойчивого развития акцентируется внимание на рециклинге и повторном использовании производственных отходов. Особый интерес представляет пылевидный материал, образующийся в процессе работы асфальтобетонных заводов. В рассматриваемой работе изучается потенциал интеграции такого типа отходов в качестве альтернативного строительного ресурса. Данная статья акцентирует внимание на неотложной необходимости адаптации принципов устойчивости в строительной практике, в частности, через интеграцию материалов, обладающих минимальным экологическим следом. Ключевым аспектом исследования является концепция рециклинга пылевидных отходов асфальтобетонного производства, что может способствовать оптимизации ресурсного потенциала и снижению экологической нагрузки на экосистему. В работе рассматриваются различные составы пыли, полученные на асфальтобетонных заводах разного принципа действия. Исследована морфология частиц и параметр битумоемкости. Установлено, что при замещении минерального порошка до 50% пылью уноса возможен существенный экологический и экономический эффект для дорожно-строительной отрасли.

Ключевые слова: пыль-уноса, асфальтобетонные смеси, минеральный порошок, экологическая безопасность, биопозитивность, дорожное строительство.

N.I. SHESTAKOV, N.D. ALESHIN, A.D. MAKAROV

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

RESOURCE POTENTIAL OF DUST ENTRAINMENT OF ASPHALT-CONCRETE PLANTS

Abstract. In the modern construction industry, the problem of finding materials with increased stability that would provide minimal environmental impact with optimal economic efficiency is urgent. Considering global trends in the field of ecology and sustainable development, attention is focused on recycling and reuse of industrial waste. Of particular interest is the pulverized material formed during the operation of asphalt concrete plants. In this paper, the potential of integrating this type of waste as an alternative construction resource is studied. This article focuses on the urgent need to adapt the principles of sustainability in construction practice through the integration of materials with minimal environmental footprint. The key aspect of the study is the concept of recycling of pulverized waste from asphalt concrete production, which can help optimize the resource potential and reduce the environmental burden on the ecosystem. The study examines various dust compositions obtained from asphalt plants of different operating principles. The morphology of particles and the bitumen capacity parameter were investigated. It was found that by replacing up to 50% of mineral powder with carry-over dust, there can be a significant environmental and economic impact for the road construction industry.

Keywords: entrainment dust, asphalt concrete mixtures, mineral powder, environmental safety, biopositivity, road construction.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакаева Н.В., Черняева И.В. Принципы оценки эффективности градостроительной деятельности в России // Экономика строительства и природопользования. 2022. № 1-2 (82-83). С. 134-144.
2. Воеводин Е.С., Акулов К.А., Катаев С.А., Асхабов А.М., Кашура А.С. Роль автомобилизации в экологии городской среды // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2021. № 3. С. 5-13.
3. Голенков В.А., Бакаева Н.В., Шишкина И.В. Основные направления обеспечения экологической безопасности автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства на основе биосферосовместимых технологий // Строительство и реконструкция. 2012. № 2 (40). С. 55-62.
4. Борисевич Ю. А., Абдрахманова К. А., Саморай Д. Н., Алиханова А. Н. Устойчивое развитие как основа модернизации жилой застройки // Строительство и реконструкция. 2022. № 4(102). С. 87-111. DOI 10.33979/2073-7416-2022-102-4-87-111. EDN OFXYTR.
5. Kapucu N., Ge Y., Martin Y. et al. Urban resilience for building a sustainable and safe environment // Urban Governance. 2021. Pp. 1-7.
6. Королев Е.В., Иноземцев С.С., Шеховцова С.Ю., Шестаков Н.И., Иноземцев А.С. Технология дорожных бетонов: учебное пособие для обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 и 08.04.01 Строительство в 2 частях / Том 1. Москва, 2020.
7. Прилуцкая В.А. Проблемы экологии при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2017. № 4. С. 27.
8. Traxler, L. N., et al. Asphalt fume condensates produce a multiplicity of tumors in the A/J mouse // Journal of Applied Toxicology. 1995. 15(3), 197-204.
9. Манохин В.Я., Иванова И.А. Разработка методов повышения промышленной безопасности технологических процессов в смесителях асфальтобетонных заводов // Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2008. Выпуск №3 (11).
10. Горохов С.С. Очистка пыли и отходящих газов на АБЗ // Мир дорог. 2019. № 118. С. 62-63.
11. Dungan R. S. Board-invited review: Fate and transport of bioaerosols associated with livestock operations and manures // Journal of Animal Science. 2010. 88(11), 3693-3706.
12. Menzie C. A. et al. The importance of considering soil ingestion exposure for wildlife: An example from the asphalt industry // Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2007. 13(2), 311-327.
13. Fulcher K. N. et al. Assessing the airborne particulate matter (PM2.5) generated by two types of asphalt processes // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. 2009. 6(11), 678-687.
14. Ghosh R. et al. Occupational exposures among construction workers: Variations by work tasks, trades, and sites // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. 2013. 10(7), 366-375.
15. Wang C. et al. Emissions from asphalt pavement during construction: A predictive model // Atmospheric Environment. 2012. 55, 178-186.
16. Силкин В.В., Лупанов А.П., Рудакова В.В., Горохов С.С., Силкин А.В. Повышение экологической безопасности асфальтобетонных заводов // Дороги и мосты. 2019. № 1 (41). С. 273-292.
17. Лупанов А.П., Моисеева Н.Г., Гладышев Н.В. Выбросы загрязняющих веществ при производстве асфальтобетонных смесей и пути их снижения // Наука и техника в дорожной отрасли. 2013. № 4. С. 37-38.
18. Манохин В.Я., Иванова И.А., Головина Е.И. Безопасность технологических процессов просушивания и нагрева нерудных материалов асфальтобетона // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2022. № 1 (27). С. 138-143.
19. Манохин В.Я., Иванова И.А., Сазонова С.А. Разработка методов определения параметров рассеивания твердых атмосферных примесей // Комплексная безопасность. 2017. Т. 1. № 1. С. 27-30.
20. Чех Р.И., Куров Л.Н. Пути снижения пылевых выбросов на асфальтобетонных заводах // Успехи современного естествознания. 2011. № 7. С. 234-234

REFERENCES

1. Bakaeva N.V., CHernyaeva I.V. Principy ocenki effektivnosti gradostroitel'noj deyatel'nosti v Rossii. *Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya*. 2022. No. 1-2 (82-83). Pp. 134-144.
2. Voevodin E.S., Akulov K.A., Kataev S.A., Askhabov A.M., Kashura A.S. Rol' avtomobilizacii v ekologii gorodskoj sredy. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*. 2021. No. 3. Pp. 5-13.
3. Golenkov V.A., Bakaeva N.V., SHishkina I.V. Osnovnye napravleniya obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti avtotransportnoj infrastruktury gorodskogo hozyajstva na osnove biosferosovmestimyh tekhnologij. *Building and Reconstruction*. 2012. No. 2 (40). Pp. 55-62.
4. Borisevich YU. A., Abdrahmanova K. A., Samoraj D. N., Alihanova A. N. Ustojchivoe razvitie kak osnova modernizacii zhiloy zastrojki. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2022. No. 4(102). Pp. 87-111. DOI 10.33979/2073-7416-2022-102-4-87-111. EDN OFXYTR.
5. Kapucu N., Ge Y., Martin Y. Urban resilience for building a sustainable and safe environment. *Urban Governance*. 2021. Pp. 1-7.
6. Korolev E.V., Inozemcev S.S., SHekhovcova S.YU., SHestakov N.I., Inozemcev A.S. Tekhnologiya dorozhnyh betonov. uchebnoe posobie dlya obuchayushchihhsya po napravleniyam podgotovki 08.03.01 i 08.04.01 Stroitel'stvo v 2 chastyah / Tom 1. Moskva, 2020.
7. Priluckaya V.A. Problemy ekologii pri stroitel'stve i ekspluatatsii avtomobil'nyh dorog. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh nauk i tekhnologij Integral*. 2017. No. 4. Pp. 27.
8. Traxler L. N. et al. Asphalt fume condensates produce a multiplicity of tumors in the A/J mouse. *Journal of Applied Toxicology*. 1995. 15(3), 197-204.
9. Manohin V.YA., Ivanova I.A. Razrabotka metodov povysheniya promyshlennoj bezopasnosti tekhnologicheskikh processov v smesitelyah asfal'tobetonnyh zavodov. *Nauchnyj Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2008. Vypusk №3 (11).
10. Gorohov S.S. Ochistka pyli i othodyashchih gazov na ABZ. *Mir dorog*. 2019. No. 118. Pp. 62-63.
11. Dungan R. S. Board-invited review: Fate and transport of bioaerosols associated with livestock operations and manures. *Journal of Animal Science*. 2010. 88(11). Pp. 3693-3706.
12. Menzie C. A. et al. The importance of considering soil ingestion exposure for wildlife: An example from the asphalt industry. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2007. 13(2), 311-327.
13. Fulcher K. N., et al. (2009). Assessing the airborne particulate matter (PM_{2.5}) generated by two types of asphalt processes. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2009. 6(11). Pp. 678-687.
14. Ghosh R. et al. (2013). Occupational exposures among construction workers: Variations by work tasks, trades, and sites. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2013. 10(7), 366-375.
15. Wang C. et al. Emissions from asphalt pavement during construction: A predictive model. *Atmospheric Environment*. 2012. 55. Pp. 178-186.
16. Silkin V.V., Lupanov A.P., Rudakova V.V., Gorohov S.S., Silkin A.V. Povysenie ekologicheskoy bezopasnosti asfal'tobetonnyh zavodov. *Dorogi i mosty*. 2019. No. 1 (41). Pp. 273-292.
17. Lupanov A.P., Moiseeva N.G., Gladyshev N.V. Vybrosoy zagryaznyayushchih veshchestv pri proizvodstve asfal'tobetonnyh smesej i puti ih snizheniya. *Nauka i tekhnika v dorozhnoj otrasli*. 2013. № 4. Pp. 37-38.
18. Manohin V.YA., Ivanova I.A., Golovina E.I. Bezopasnost' tekhnologicheskikh processov prosushivaniya i nagreva nerudnyh materialov asfal'tobetona. *Informacionnye tekhnologii v stroitel'nyh, social'nyh i ekonomicheskikh sistemah*. 2022. No. 1 (27). Pp. 138-143.
19. Manohin V.YA., Ivanova I.A., Sazonova S.A. Razrabotka metodov opredeleniya parametrov rasseivaniya tverdyh atmosferynyh primesej. *Kompleksnaya bezopasnost'*. 2017. T. 1. No. 1. Pp. 27-30.
20. CHEkh R.I., Kurov L.N. Puti snizheniya pylevyh vybrosov na asfal'tobetonnyh zavodah. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2011. No. 7. Pp. 234-234

Информация об авторах:

Шестаков Николай Игоревич

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

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Градостроительства.

E-mail: SHestakovNI@mgsu.ru

Алешин Никита Дмитриевич

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

Студент института архитектуры и градостроительства.

E-mail: nik.aleshin.03@mail.ru

Макаров Алексей Денисович

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

Студент института архитектуры и градостроительства.

E-mail: Lesh-makarov-90@mail.ru

Information about authors:

Shestakov Nikolay I.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Urban Planning

E-mail: SHestakovNI@mgsu.ru

Aleshin Nikita D.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

Student of the Faculty of Construction

E-mail: nik.aleshin.03@mail.ru

Makarov Aleksei D.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

Student of the Faculty of Construction

E-mail: Lesh-makarov-90@mail.ru

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

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

В тексте статьи не рекомендуется применять:

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

Обязательные элементы:

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

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

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

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

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

Адрес издателя:

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

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

Адрес редакции

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

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

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

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

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

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