

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

BUILDING AND RECONSTRUCTION

№4 (120) 2025



Теория инженерных сооружений.
Строительные конструкции

The theory of engineering
constructions. Construction
design

Безопасность зданий
и сооружений

Building and structure
safety

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)

Редакция:
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)

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.И., д-р техн. наук, проф. (Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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)

Исполнительный редактор:

Амелина М.А., (Россия)

Адрес редакции:

302030, Орловская обл., г. Орёл,

ул. Московская, д. 77.

Тел.: +79065704999

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

E-mail: str_and_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе

по надзору в сфере связи, информационных

технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство: ПИ №ФС 77-61769

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, 2025

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Антонов А.И., Гусев В.П., Леденев В.И., Матвеева И.В. Оценка акустической эффективности системы звукопоглощающих кулис кессонного типа.....	3
Канев Н.Г., Долгер А.Р. Снижение шума экраном в виде решетки твердых пластин.....	14
Кабанцев О.В., Крылов С.Б., Трофимов С.В. Методика экспериментальных исследований прочности толстых железобетонных плит при действии продавливающей нагрузки.....	22
Овсянников С.Н. Развитие методологии расчета звукоизоляции с использованием метода статистического энергетического анализа.....	41
Селяев В.П., Уткина В.Н., Бабушкина Д.Р., Архипов И.В. Методологические принципы построения теории разрушения бетона	52
Трошин М.Ю., Коробко А.В. Методика оценки несущей способности перекрытий из древесины перекрестно клееной с варьируемыми параметрами сечений.....	61
Фёдоров В.С., Лазуткин Ю.В., Купчикова Н.В. Планирование эксперимента по оценке влияния комплексности сочетания динамических воздействий от наземного и подземного транспорта.....	71

Безопасность зданий и сооружений

Мацевич Т.А., Андреев И.Ф. Оценка выносливости подкрановой балки при коррозии арматурных канатов.....	82
Савин С.Ю. Живучесть и техническое состояние железобетонных конструкций каркаса здания в результате особого воздействия.....	91

Архитектура и градостроительство

Федоровская А.А., Калайчева Е.С., Шеина С.Г. Методика информационного сопровождения безбарьерной среды в гостиничной недвижимости.....	103
---	-----

Строительные материалы и технологии

Федосов С.В., Пуляев И.С., Александрова О.В., Митягина А.Н. Моделирование процессов теплопереноса при бетонировании массивных железобетонных конструкций.....	120
--	-----

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)
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)
Fedorov V.S., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Fedorova N.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Schach R., doc. sc. tech., prof. (Germany)
Iakovenko I.A., doc. sc. tech., prof. (Ukraine)

Managing Editor:
Amelina M.A., (Russia)

The edition address:
302030, Oryol region., Oryol,
Moskovskaya Street, 77
+79065704999
<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Journal is registered in Russian federal service for monitoring communications, information technology and mass communications
The certificate of registration:
ПН №ФЦ 77-67169 from 16.09.2016 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii»
86294 on the websites www.pressa-ru.ru and www.akc.ru

© Orel State University, 2025

Contents

Theory of engineering structures. Building units

- Antonov A.I., Gusev V.P., Ledenev V.I., Matveeva I.V.** Evaluation of the acoustic efficiency of a sound-absorbing curtain wall system..... 3
- Kanev N.G., Dolger A.R.** Noise reduction by a barrier in the form of a solid plate grid..... 14
- Kabantsev O.V., Krylov S.B., Trofimov S.V.** Experimental research methodology for punching shear strength of thick reinforced concrete slabs.... 22
- Ovsyannikov S.N.** Development of the methodology for calculating sound insulation using the method of statistical energy analysis..... 41
- Selyaev V.P., Utkina V.N., Babushkina D.R., Arkhipov I.V.** Methodological principles of constructing the theory of concrete destruction..... 52
- Troshin M.Yu., Korobko A.V.** Method for assessing the load-bearing capacity of cross-laminated timber floor structures with variable section parameters..... 61
- Fedorov V.S., Lazutkin Yu.V., Kupchikova N.V.** Planning an evaluation experiment effect of the complexity of the combination of dynamic impacts from surface and underground..... 71

Building and structure safety

- Matseevich T.A., Andreev I.F.** Assessment of the endurance of a crane beam in corrosion of reinforcement ropes..... 82
- Savin S.Y.** Robustness and technical condition of reinforced concrete frame structures as a result of accidental action..... 91

Architecture and urban planning

- Fedorovskaya A.A., Kalaicheva E.S., Sheina S.G.** Methodology of information support of barrier-free environment in hotel real estate..... 103

Construction materials and technologies

- Fedosov S.V., Pulyaev I.S., Alexandrova O.V., Mityagina A.N.** Modeling of heat transfer processes in concreting of massive reinforced concrete structures..... 120

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ. СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 534.2

DOI: 10.33979/2073-7416-2025-120-4-3-13

А.И. АНТОНОВ¹, В.П. ГУСЕВ¹, В.И. ЛЕДЕНЕВ^{1,2}, И.В. МАТВЕЕВА²

¹ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (НИИСФ РААСН)», Москва, Россия

²ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия

ОЦЕНКА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ КУЛИС КЕССОННОГО ТИПА

Аннотация. В практике снижения шума в помещениях кроме обычных плоских звукопоглощающих облицовок применяются также конструкции кулисного типа, размещаемые на потолках помещений в виде различных систем. В настоящее время отсутствуют простые методы оценки акустической эффективности таких систем, что в значительной мере ограничивает их применение, и в частности, применение кулисных систем кессонного типа. В статье предлагается численный метод расчета акустической эффективности кессонной системы кулис, основанный на геометрическом методе прослеживания лучей при различном характере отражения звука от ограждений. Показано, что метод может использоваться при выборе размеров кессонной структуры кулис исходя из звукопоглощающих характеристик элементов кулис и звукопоглощения потолка. Метод на ранних стадиях проектирования объектов позволит производить предварительную оценку влияния различных параметров кессонных систем кулис на их акустическую и экономическую эффективность.

Ключевые слова: звукопоглощающие конструкции, звукопоглощающие кулисы, расчет акустической эффективности звукопоглощения, защита от шума.

A.I. ANTONOV¹, V.P. GUSEV¹, V.I. LEDENEV^{1,2}, I.V. MATVEEVA²

¹ Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia

² Tambov State Technical University, Tambov, Russia

EVALUATION OF THE ACOUSTIC EFFICIENCY OF A SOUND- ABSORBING CURTAIN WALL SYSTEM

Abstract. In the practice of noise reduction in rooms, in addition to conventional flat sound-absorbing linings, rocker-type structures are also used, placed on the ceilings of rooms in the form of various systems. Currently, there are no simple methods for evaluating the acoustic efficiency of such systems, which significantly limits their use, and in particular, the use of rocker systems of the caisson type. The article proposes a numerical method for calculating the acoustic efficiency of a coffered curtain wall system based on a geometric ray tracing method with different types of sound reflection from fences. It is shown that the method can be used when choosing the dimensions of the coffered structure of the wings based on the sound-absorbing characteristics of the curtain elements and the sound absorption of the ceiling. The method at the early stages of object design will allow for a preliminary assessment of the impact of various parameters of the curtain wall systems on their acoustic and economic efficiency.

Keywords: sound-absorbing structures, sound-absorbing wings, calculation of acoustic efficiency of sound absorption, noise protection.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Снижение шума в зданиях и жилых районах / Г.Л. Осипов, Е.Я. Юдин, Г. Хюбнер и др. Под ред. Г.Л. Осипова, Е.Я. Юдина. М.: Стройиздат, 1987. 558 с.
2. Beranek L.L. Noise Reduction/ New York: McGraw-Hill, 1960/
3. Борисов Л.А., Сергеев М.В., Чудинов Ю.М. Метод расчета звукопоглощающих систем кулисного типа / Труды НИИСФ: Исследования по строительной акустике. М., 1981. С.15-22.
4. Чудинов Ю.М. Определение коэффициента звукопоглощения системы акустических кулис методом геометрической акустики (высокие частоты) / Тр. НИИСФ: Проблема борьбы с промышленными и городскими шумами в зданиях и на территории застройки. М., 1982. С. 10-14.
5. Дерюгин Л.Н. О теории дифракции на отражающей решетке. ДАН СССР, 93, 6. М., 1953.
6. Антонов А.И., Бацунова А.В., Шубин И.Л. Условия, определяющие процессы формирования шумового режима в замкнутых объемах, и их учет при оценке распределения звуковой энергии в помещениях // Приволжский научный журнал. 2015. Т.3. №35. С 89-96.
7. Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В., Шубин И.Л. Расчеты шума в гражданских и промышленных зданиях при зеркально-диффузном отражении звука от ограждений. – М.: ООО «Директмедиа Паблишинг», 2022. 192 с.
8. Dai Gen-hua. Estimation of the influence of diffusion on reverberation using ray-tracing simulation // Acustica. 1983. V.54. P. 43-45.
9. Embrechts J.J. Sound field distribution using randomly traced sound ray techniques // Acustica. 1984. V.51, №6. P. 288-295.
10. Hodgson, M. On the accuracy of models for predicting sound propagation in fitted rooms // Journal of the Acoustical Society of America. 1990. Vol. 88. N. 2. P. 871–878.
11. Santon F., Dumas A. Prevision des niveaux de bruit dans les ateliers textiles // Rev d'acoustique. 1983. №65. P.109-112.
12. Hodgson M., Cousins O., Chan G., Valeau V. Ray-tracing prediction of sound-pressure and sound-intensity fields in empty and fitted rooms / J. Acoust. Soc. Am. 123, 3760 (2008). DOI.org/10.1121/1.2935343.
13. Chevret P., Chatillon J. Implementation of diffraction in a ray-tracing model for the prediction of noise in open-plan offices / J. Acoust. Soc. Am. 132, 3125-3137 (2012). DOI.org/10.1121/1.4754554.
14. Keränen J., Saarinen P., Hongisto V. Prediction accuracies of ray-tracing and regression models in open-plan offices / Building and Environment/ Vol.239, 1 July 2023, 110406. DOI.org/10.1016/j.buildenv.2023.110406.
15. Гусев В.П., Антонов А.И., Жоголева О.А., Леденев В.И. Расчеты шума при проектировании шумозащиты в производственных помещениях с перегородками неполной высоты // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 2(368). С. 260-267.
16. Gıyasov B.I., Ledenyov V.I., Matveeva I.V. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound // Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 1(77). P. 13-22. DOI 10.18720/MCE.77.2.
17. Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В., Меркушева Н.П. Цифровизация акустических расчетов при автоматизированном проектировании зданий // Приволжский научный журнал. 2019. № 4(52). С. 31-40.

REFERENCES

1. Osipov G.L., Yudin E.Ya., Hyubner G. et al. Noise reduction in buildings and residential areas / Ed. by G.L. Osipov, E.Ya. Yudin. Moscow: Strojizdat, 1987. 558 p. (rus)
2. Beranek L.L. Noise Reduction. New York: McGraw-Hill, 1960.
3. Borisov L.A., Sergeev M.V., Chudinov Yu.M. Calculation method for sound-absorbing systems of the rocker type. Trudy NIISF: Issledovaniya po stroitel'noj akustike [Proceedings of the NIISF: Research on building acoustics]. Moscow, 1981. Pp. 15-22. (rus)
4. Chudinov Yu.M. Determination of the sound absorption coefficient of the acoustic curtain system by geometric acoustics (high frequencies). Tr. NIISF: Problema bor'by s promyshlennymi i gorodskimi shumami v zdaniyah i na territorii zastrojki [Tr. NIISF: The problem of combating industrial and urban noise in buildings and on the territory of development]. Moscow, 1982. Pp. 10-14. (rus)
5. Deryugin L.N. On the theory of diffraction on a reflecting grating. DAN SSSR, 1953. Vol. 93. No. 6. (rus)
6. Antonov A.I., Bacunova A.V., Shubin I.L. The conditions determining the processes of formation of the noise regime in closed volumes, and their consideration when assessing the distribution of sound energy in rooms. Privolzhskij nauchnyj zhurnal. 2015. Vol. 3. No. 35. Pp. 89-96. (rus)
7. Antonov A.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V., Shubin I.L. Calculations of noise in civil and industrial buildings with mirror-diffuse reflection of sound from fences. Moscow: Direktmedia Publishing, 2022. 192 p. (rus)

8. Dai Gen-hua. Estimation of the influence of diffusion on reverberation using ray-tracing simulation. *Acustica*. 1983. Vol. 54. Pp. 43-45.
9. Embrechts J.J. Sound field distribution using randomly traced sound ray techniques. *Acustica*. 1984. Vol. 51. No. 6. Pp. 288-295.
10. Hodgson M. On the accuracy of models for predicting sound propagation in fitted rooms. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1990. Vol. 88. No. 2. Pp. 871–878.
11. Santon F., Daumas A. Prevision des niveaux de bruit dans les ateliers textiles. *Revue d'acoustique*. 1983. No. 65. Pp. 109-112.
12. Hodgson M., Cousins O., Chan G., Valeau V. Ray-tracing prediction of sound-pressure and sound-intensity fields in empty and fitted rooms. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2008. Vol. 123. Pp. 3760. DOI:10.1121/1.2935343.
13. Chevret P., Chatillon J. Implementation of diffraction in a ray-tracing model for the prediction of noise in open-plan offices. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2012. Vol. 132. Pp. 3125-3137. DOI:10.1121/1.4754554.
14. Keränen J., Saarinen P., Hongisto V. Prediction accuracies of ray-tracing and regression models in open-plan offices. *Building and Environment*. 2023. Vol. 239. 110406. DOI:10.1016/j.buildenv.2023.110406.
15. Gusev V.P., Antonov A.I., Zhogoleva O.A., Ledenev V.I. Noise calculations in the design of noise protection in industrial premises with partitions of incomplete height. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*. 2017. No. 2(368). Pp. 260-267. (rus)
16. Giasov B.I., Ledenyov V.I., Matveeva I.V. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. No. 1(77). Pp. 13-22. DOI:10.18720/MCE.77.2.
17. Antonov A.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V., Merkusheva N.P. Digitalization of acoustic calculations in automated building design. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal*. 2019. No. 4(52). Pp. 31-40. (rus)

Информация об авторах

Антонов Александр Иванович

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (НИИСФ РААСН), г. Москва, Россия, д-р. техн. наук, ст. науч. сотр.
E-mail: niisf@mail.ru

Гусев Владимир Петрович

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (НИИСФ РААСН), г. Москва, Россия, д-р. техн. наук, вед. науч. сотр.
E-mail: niisf@mail.ru

Леденев Владимир Иванович

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия, д-р. техн. наук, проф., проф. кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги»,
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

Матвеева Ирина Владимировна

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги»,
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

Information about authors

Antonov Alexander Iv.

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

Gusev Vladimir P.

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

Ledenev Vladimir Iv.

Tambov State Technical University, Tambov, Russia,
doctor in tech. sc., prof., prof. of the dep. «Urban development and roads»,
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

Matveeva Irina VI.

Tambov State Technical University, Tambov, Russia,
candidate in tech. sc., docent, associated prof. of the dep. «Urban development and roads»,
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

Статья поступила в редакцию 11.06.2025
Одобрена после рецензирования 09.08.2025
Принята к публикации 11.08.2025

The article was submitted 11.06.2025
Approved after reviewing 09.08.2025
Accepted for publication 11.08.2025

Н.Г. КАНЕВ^{1,2}, А.Р. ДОЛГЕР²¹Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия²Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

СНИЖЕНИЕ ШУМА ЭКРАНОМ В ВИДЕ РЕШЕТКИ ТВЕРДЫХ ПЛАСТИН

Аннотация. Вентилируемые звукоизоляционные конструкции сегодня востребованы для защиты зданий и территорий от шума технологического оборудования, для штатной работы которого требуется подача воздуха. Проектировщиками уделяется значительное внимание разработке продуваемых шумозащитных экранов, хотя стандартизованных и справочных методик по расчету их акустической эффективности практически нет. В связи с этим актуальными являются исследования экранов ламельного типа, позволяющие решить задачу шумопонижения и воздухообмена. Частным случаем ламельного экрана является решетка с параллельными прорезями, расчету прохождения звука через такую конструкцию посвящена данная статья. Снижение шума экраном в виде тонких пластин, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга, рассчитывается методом конечных элементов. В работе описана постановка численного эксперимента, введен параметр, характеризующий эффективность снижения шума экраном и представлены результаты расчета этого параметра в зависимости от геометрических размеров решетки и частоты звука. Показано, что эффективность экрана определяется соотношением между шириной пластин и зазором между ними: чем это отношение меньше, тем выше эффективность. Определены параметры решетки, при которых обеспечивается снижение шума не менее 10 дБ. Результаты работы могут непосредственно применяться для проектирования звукоизолирующих вентиляционных решеток и продуваемых шумозащитных экранов.

Ключевые слова: шумозащитный экран, звукоизоляция, метод конечных элементов, дифракция.

N.G. KANEV^{1,2}, A.R. DOLGER²¹Scientific Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Moscow, Russia²Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

NOISE REDUCTION BY A BARRIER IN THE FORM OF A SOLID PLATE GRID

Abstract. Ventilated Soundproofing Structures are widely used today to protect buildings and adjacent areas from noise generated by industrial equipment that requires air supply for normal operation. Designers pay considerable attention to the development of ventilated noise barriers, even though standardized or reference methods for calculating their acoustic performance are virtually nonexistent. In this context, research on louver-type screens, which provide both noise reduction and airflow, is highly relevant. A specific case of a louvered screen is a grille with parallel slits—this article focuses on the calculation of sound transmission through such a structure. The noise reduction provided by a screen consisting of thin plates spaced at equal intervals is calculated using the finite element method. This paper describes the numerical experiment setup, introduces a parameter characterizing the noise reduction efficiency of the screen, and presents the calculated results of this parameter depending on the grille's geometric dimensions and sound frequency.

It is shown that the screen's efficiency is determined by the ratio between the plate width and the gap between them: the smaller this ratio, the higher the efficiency. The study identifies grille parameters that ensure noise reduction of at least 10 dB. The results can be directly applied to the design of soundproof ventilation grilles and ventilated noise barriers.

Keywords: noise shield, sound insulation, finite element method, diffraction.

© Канев Н.Г., Долгер А.Р., 2025

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шубин И.Л., Цукерников И.Е., Николов Н., Писарски А. Основы проектирования транспортных шумозащитных экранов. Москва: Изд. дом «БАСТЕТ», 2015. 207 с.
2. Maekawa Z. Noise reduction by screens // Appl. Acoust. 1968. V. 1. P. 157–173.
3. Комкин А.И., Назаров Г.М. Особенности дифракции звука на звукопоглощающем экране // Акуст. журн. 2021. №3(67). С. 303–307.
4. Ekici I., Bougdah H. A review of research on environmental sound barriers // Build. Acoust. 2003. V.10. P. 289–323.
5. Урусовский И.А. Дифракция звука на экране с веерной насадкой // Акуст. журн. 2013. Т. 59. № 1. С. 86–95.
6. Вайнштейн Л.А. Теория дифракции и метод факторизации. Москва: Сов. Радио, 1966. 431 с.
7. Неведов Е.И. Асимптотическая теория дифракции электромагнитных волн на конечных структурах. Москва: Наука, 1972. 204 с.
8. Миттра Р., Ли С. Аналитические методы теории волноводов. Москва: Мир, 1974. 327 с.
9. Achenbach J.D., Li Z.L. Reflection and transmission of scalar waves by a periodic array of screens // Wave Motion. 1986. V. 8. P. 225–234.
10. Шанин А.В., Корольков А.И. Отражение волны от дифракционной решетки, составленной из поглощающих экранов. Описание в рамках метода Винера–Хопфа–Фока // Акуст. журн. 2014. № 6 (60). С. 587–595.
11. Viveiros E.B., Gibbs B.M., Gerges S.N.Y. Measurement of sound insulation of acoustic louvres by an impulse method // Appl. Acoust. 2002. V.63. P.1301–1313.
12. Strazdas E., Januševičius T. Development of louvered noise barrier with changeable sound insulation from waste tire rubber and investigation of acoustic properties // 2024. Sustainability. V.16. No.6. 2567.
13. Канев Н.Г., Маяк А.А. Оценка эффективности шума экраном ламельного типа // Конференция «Акустика среды обитания»: матер. конф. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023. С. 125–132.
14. Борьба с шумом на производстве: Справочник. Москва: Машиностроение, 1985. 400 с.
15. Naqvi S.B., Ayton L.J. Acoustic scattering by multi-layered gratings // J. Sound Vib. 2025. V.106. 119083.

REFERENCES

1. Shubin I.L., Cukernikov I.E., Nikolov N., Pisarski A. Osnovy proektirovaniya transportnyh shumozashchitnyh ekranov. Moscow: Izd. dom «BASTET», 2015. 207 p. (rus)
2. Maekawa Z. Noise reduction by screens. Applied Acoustics. 1968. Vol. 1. Pp. 157–173.
3. Komkin A.I., Nazarov G.M. Features of Sound Diffraction by a Noise Absorbing Screen. Acoustical Physics. 2021. Vol. 67. Pp. 298–301.
4. Ekici I., Bougdah H. A review of research on environmental sound barriers. Building Acoustics. 2003. Vol. 10. Pp. 289–323.
5. Urusovskii I.A. Sound diffraction by a barrier with a fan-shaped headpiece. Acoustical Physics. 2013. Vol. 59. Pp. 76–85.
6. Vajnshtejn L.A. Teoriya difrakcii i metod faktorizacii. Moscow: Sov. Radio, 1966. 431 p. (rus)
7. Nefedov E.I. Asimptoticheskaya teoriya difrakcii elektromagnitnyh voln na konechnykh strukturah. Moscow: Nauka, 1972. 204 p. (rus)
8. Mittra R., Li S. Analiticheskie metody teorii volnovodov. Moscow: Mir, 1974. 327 p. (rus)
9. Achenbach J.D., Li Z.L. Reflection and transmission of scalar waves by a periodic array of screens. Wave Motion. 1986. Vol. 8. Pp. 225–234.
10. Shanin A.V., Korol'kov A.I. Wave reflection from a diffraction grating consisting of absorbing screens: Description in terms of the Wiener-Hopf-Fock method. Acoustical Physics. 2014. Vol. 60. Pp. 624–632.
11. Viveiros E.B., Gibbs B.M., Gerges S.N.Y. Measurement of sound insulation of acoustic louvres by an impulse method. Applied Acoustics. 2002. Vol. 63. Pp. 1301–1313.
12. Strazdas E., Januševičius T. Development of louvered noise barrier with changeable sound insulation from waste tire rubber and investigation of acoustic properties. Sustainability. 2024. Vol. 16. No. 6. 2567.
13. Kanev N.G., Mayak A.A. Ocenka effektivnosti shuma ekranom lamel'nogo tipa. Konferenciya «Akustika sredy obitaniya»: mater. konf. Moscow: MGTU im. N.E. Bauman, 2023. Pp. 125–132. (rus)
14. Bor'ba s шумом на производстве: Spravochnik. Moscow: Mashinostroenie, 1985. 400 p. (rus)
15. Naqvi S.B., Ayton L.J. Acoustic scattering by multi-layered gratings. Journal of Sound and Vibration. 2025. Vol. 106. 119083.

Информация об авторах

Канев Николай Георгиевич

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук г. Москва, Россия, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией №42 «Акустика залов»
E-mail: nikolay.kanev@mail.ru

Долгер Александр Романович

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, аспирант кафедры архитектурно-строительного проектирования и физики среды
E-mail: a.dolger@yandex.ru

Information about authors

Kanev Nikolay G.

Research Institute of Building Physics, Moscow, Russia
doctor in phys.-math. sc., head of the dep. of hall acoustics
E-mail: nikolay.kanev@mail.ru

Dolger Alexandr R.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Postgraduate student of the Department of Architectural and Construction Design and Environmental Physics
E-mail: a.dolger@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 19.07.2025
Одобрена после рецензирования 09.08.2025
Принята к публикации 14.08.2025

The article was submitted 19.07.2025
Approved after reviewing 09.08.2025
Accepted for publication 14.08.2025

О.В. КАБАНЦЕВ¹, С.Б. КРЫЛОВ², С.В. ТРОФИМОВ^{1,2}¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия²Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЧНОСТИ ТОЛСТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПРОДАВЛИВАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы методики выполнения экспериментальных исследований особенностей силового сопротивления железобетонных плит увеличенной толщины («толстых» плит) без устройства поперечного армирования с различными характеристиками армирования растянутой зоны бетона. Проведен критический анализ нормативных методов (СП 63.13330, Eurocode 2, ACI 318, Model Code 2020), выявивший их расхождение с экспериментальными результатами при отношении пролета среза к рабочей высоте сечения $\leq 2,0$. На основе результатов сопоставительного анализа практики отечественных и зарубежных исследований и выполненных численных расчетов представлено обоснование характеристик экспериментальных образцов для выполнения исследований прочности, трещинообразования и механизмов разрушения железобетонных плит при продавливании. Разработана методика нагружения экспериментальных образцов, обеспечивающая создание продавливающего эффекта в опорной зоне. Разработаны методы контроля напряженно-деформированного состояния образцов при поэтапном нагружении.

Ключевые слова: железобетонные плиты, продавливание, напряженно-деформированное состояние, методика экспериментальных исследований.

O.V. KABANTSEV¹, S.B. KRYLOV², S.V. TROFIMOV^{1,2}¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia²Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center "Construction", Moscow, Russia

EXPERIMENTAL RESEARCH METHODOLOGY FOR PUNCHING SHEAR STRENGTH OF THICK REINFORCED CONCRETE SLABS

Abstract. This article examines methodological approaches for experimental studies of load-bearing behavior in thick reinforced concrete slabs (without shear reinforcement) with varying tensile zone reinforcement characteristics. A critical analysis of regulatory standards (SP 63.13330, Eurocode 2, ACI 318, Model Code 2020) reveals their inconsistency with experimental data when the shear span-to-effective depth ratio is ≤ 2.0 . Through comparative analysis of domestic and international research practices and numerical simulations, the study establishes justification for test specimen parameters to investigate strength, crack formation, and failure mechanisms under punching shear. The developed loading methodology ensures punching effect generation in the support zone, complemented by comprehensive stress-strain monitoring techniques during incremental loading stages.

Keywords: reinforced concrete slabs, punching shear, stress-strain behavior, experimental methodology.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коровин Н.Н., Голубев А.Ю. Продавливание толстых железобетонных плит // Бетон и железобетон. 1989. №11. С. 20-23.
2. Kang S.M., Na S.J., Hwang H.J. Two-way shear strength of reinforced concrete transfer slab-column connections. *Engineering Structures*. 2021. Vol. 231. Pp. 1-11. DOI:10.1016/j.engstruct.2020.111693.
3. Трекин Н.Н., Крылов В.В., Трофимов С.В., Евстафьева Е.Б., Саркисов Д.Ю. Экспериментально-теоретическое исследование прочности плит на продавливание // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. №8. С. 1006-1014. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.16.08.1006-1014.
4. Трекин Н.Н., Саркисов Д.Ю., Крылов В.В., Евстафьева Е.Б., Андриян К.Р. Несущая способность монолитных железобетонных плит на продавливание при статическом и динамическом нагружении // Строительство и реконструкция. 2022. №5. С. 67-79. DOI: 10.33979/2073-7416-2022-103-5-67-79.
5. Алексейцев А.В., Антонов М.Д. Сопrotивляемость прогрессирующему разрушению монолитных каркасов зданий при локальных повреждениях узлов от продавливания // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. №9. С. 1454-1468.
6. Зенин А.С., Болгов А.Н., Сокуров А.З., Кудинов О.В. Прочность на продавливание плоских плит перекрытий в зонах опирания на торцы стен // Бетон и железобетон. 2022. №2 (610). С. 35-40.
7. Болгов А.Н., Иванов С.И., Сокуров А.З., Невский А.В. О расчете прочности узлов сопряжения железобетонных колонн и плит в монолитно-каркасных высотных зданиях // Бетон и железобетон. 2021. №4 (606). С. 39-44.
8. Кабанцев О.В., Песин К.О., Карлин А.В. Анализ напряженно-деформированного состояния плитных конструкций в приопорных зонах // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2017. Т. 13. №1. С. 55-62.
9. Тамразян А.Г., Манаенков И.К. К расчету плоских железобетонных перекрытий при локальном приложении нагрузки // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. 2017. №1. С. 156-161.
10. Манаенков И.К. Определение граничных значений толщины плоских железобетонных перекрытий из условия продавливания // Инженерный вестник Дона. 2025. №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2025/10162.
11. Коровин Н.Н., Ступкин А.В. Продавливание железобетонных плит колонной // Бетон и железобетон. 1978. №7. С. 36-38.
12. Руф Л.В., Викман Э.А. Преднапряжение в железобетонных перекрытиях, сооружаемых методом подъема // Бетон и железобетон. 1977. №5. С. 18-19.
13. Rizk E., Marzouk H., Hussein A. Effect of reinforcement ratio on punching capacity of RC plates // *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2011. Vol. 38. No. 7. Pp. 729-740. DOI: 10.1139/111-053.
14. Guandalini S., Burdet O.L., Muttoni A. Punching tests of slabs with low reinforcement ratios // *ACI Structural Journal*. 2009. Vol. 106. №. 1. Pp. 87-95.
15. Истомин А.Д. Экспериментальные исследования продавливания монолитных плит колоннами прямоугольного сечения // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования: Сборник докладов Первой Национальной конференции. Москва, 2020. С. 69-74.
16. Филатов В.Б., Галяутдинов З.Ш. Экспериментальное исследование и методика расчета прочности железобетонных плит при продавливании // Градостроительство и архитектура. 2021. Т. 11. №4 (45). С. 53-65.
17. Muttoni A., Fernández Ruiz M. Size effect on punching shear strength: Differences and analogies with shear in one-way slabs // *fib Bulletin. Punching shear of structural concrete slabs*. 2017. №81. Pp. 59-72. DOI: 10.35789/fib.BULL.0081.Ch04.
18. Bažant Z.P., Dönmez A. Size Effect on Punching Strength of Reinforced Concrete Slabs with and without Shear Reinforcement // *ACI Structural Journal*. 2017. Vol. 114 №4. Pp. 875-886. DOI: 10.14359/51689719.
19. Li K.K.L. Influence of Size on Punching Shear Strength of Concrete Slabs: MEng dissertation. Montreal: McGill University, 2000. 92 pp.
20. Lips S., Fernández Ruiz M., Muttoni A. Experimental Investigation on Punching Strength and Deformation Capacity of Shear-Reinforced Slabs // *ACI Structural Journal*. 2012. Vol. 109 pp. 889-900.
21. Einpaul J. Punching strength of continuous flat slabs: PhD thesis. Lausanne: EPFL, 2016. 211 pp.
22. Birkle G. Punching of Fat Slabs: The Influence of Slab Thickness and Stud Layouts: PhD dissertation. Calgary: UCalgary, 2004. 217 pp.
23. СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». Москва: Минстрой России, 2018. 143 с.
24. EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels: CEN, 2004.
25. ACI Committee 318. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19). American Concrete Institute: Farmington Hills, MI, 2019. 624 pp.
26. fib Model Code for Concrete Structures 2020. fib Lausanne: Ernst&Sohn, 2020.

27. Muttoni A., Coronelli D., Martinelli L. Testing of a full-scale flat slab building for gravity and lateral loads. *Engineering Structures*. 2021. No. 243. Pp. 1–17. DOI:10.1016/j.engstruct.2021.112551.
28. Ladner M., Schaeidt W., Gut S. Experimentelle Untersuchungen an Stahlbeton-Flachdecken. EMPA Bericht. 1977. №. 205. 96 pp.
29. Болгов А.Н. Работа узлов сопряжения колонн из высокопрочного бетона с перекрытием в монолитных зданиях с рамно-связевой системой: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.01. Москва, 2005. 152 с.
30. EAD 160057-00-0301 L- or Z-shaped metal sheets for the increase of punching shear resistance of flat slabs or footings and ground slabs. EOTA. 2021.

REFERENCES

1. Korovin N.N., Golubev A.Yu. Punching of thick reinforced concrete slabs. *Beton i zhelezobeton*. 1989. No. 11. Pp. 20-23. (rus)
2. Kang S.M., Na S.J., Hwang H.J. Two-way shear strength of reinforced concrete transfer slab-column connections. *Engineering Structures*. 2021. Vol. 231. Pp. 1-11.
3. Trekin N.N., Krylov V.V., Trofimov S.V., Evstaf'eva E.B., Sarkisov D.Yu. Experimental-theoretical study of punching shear strength of slabs. *Vestnik MGSU*. 2021. Vol. 16. No. 8. Pp. 1006-1014. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.16.08.1006-1014. (rus)
4. Trekin N.N., Sarkisov D.Yu., Krylov V.V., Evstaf'eva E.B., Andryan K.R. Bearing capacity of monolithic reinforced concrete slabs under punching shear under static and dynamic loading. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2022. No. 5. Pp. 67-79. DOI: 10.33979/2073-7416-2022-103-5-67-79. (rus)
5. Alekseytsev A.V., Antonov M.D. Resistance to progressive collapse of monolithic building frames under local damage of nodes from punching. *Vestnik MGSU*. 2024. Vol. 19. No. 9. Pp. 1454-1468. (rus)
6. Zenin A.S., Bolgov A.N., Sokurov A.Z., Kudinov O.V. Punching shear strength of flat slabs in wall support zones. *Beton i zhelezobeton*. 2022. No. 2 (610). Pp. 35-40. (rus)
7. Bolgov A.N., Ivanov S.I., Sokurov A.Z., Nevskiy A.V. On calculation of strength of joints between reinforced concrete columns and slabs in monolithic-frame high-rise buildings. *Beton i zhelezobeton*. 2021. No. 4 (606). Pp. 39-44. (rus)
8. Kabantsev O.V., Pesin K.O., Karlin A.V. Analysis of stress-strain state of slab structures in support zones. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2017. Vol. 13. No. 1. Pp. 55-62. (rus)
9. Tamrazyan A.G., Manaenkov I.K. On calculation of flat reinforced concrete slabs under local load application. *Bezopasnost' stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i resheniya*. 2017. No. 1. Pp. 156-161. (rus)
10. Manaenkov I.K. Determination of limiting values of flat reinforced concrete slab thickness from punching condition. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2025. No. 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2025/10162. (rus)
11. Korovin N.N., Stupkin A.V. Punching of reinforced concrete slabs by column. *Beton i zhelezobeton*. 1978. No. 7. Pp. 36-38. (rus)
12. Ruf L.V., Vikman E.A. Prestressing in reinforced concrete floors constructed by lift-slab method. *Beton i zhelezobeton*. 1977. No. 5. Pp. 18-19. (rus)
13. Rizk E., Marzouk H., Hussein A. Effect of reinforcement ratio on punching capacity of RC plates. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2011. Vol. 38. No. 7. Pp. 729-740. DOI: 10.1139/l11-053.
14. Guandalini S., Burdet O.L., Muttoni A. Punching tests of slabs with low reinforcement ratios. *ACI Structural Journal*. 2009. Vol. 106. No. 1. Pp. 87-95.
15. Istomin A.D. Experimental studies of punching of monolithic slabs by rectangular columns. Aktual'nye problemy stroitel'noy otrasli i obrazovaniya: Sbornik dokladov Pervoy Natsional'noy konferentsii. Moscow, 2020. Pp. 69-74. (rus)
16. Filatov V.B., Galyautdinov Z.Sh. Experimental study and calculation method of strength of reinforced concrete slabs under punching. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura*. 2021. Vol. 11. No. 4 (45). Pp. 53-65. (rus)
17. Muttoni A., Fernández Ruiz M. Size effect on punching shear strength: Differences and analogies with shear in one-way slabs. *fib Bulletin*. Punching shear of structural concrete slabs. 2017. No. 81. Pp. 59-72. DOI: 10.35789/fib.BULL.0081.Ch04.
18. Bažant Z.P., Dönmez A. Size effect on punching strength of reinforced concrete slabs with and without shear reinforcement. *ACI Structural Journal*. 2017. Vol. 114. No. 4. Pp. 875-886. DOI: 10.14359/51689719.
19. Li K.K.L. Influence of Size on Punching Shear Strength of Concrete Slabs: MEng dissertation. Montreal: McGill University, 2000. 92 p.
20. Lips S., Fernández Ruiz M., Muttoni A. Experimental Investigation on Punching Strength and Deformation Capacity of Shear-Reinforced Slabs. *ACI Structural Journal*. 2012. Vol. 109. Pp. 889-900.
21. Einpaul J. Punching strength of continuous flat slabs: PhD thesis. Lausanne: EPFL, 2016. 211 p.
22. Birkle G. Punching of Fat Slabs: The Influence of Slab Thickness and Stud Layouts: PhD dissertation. Calgary: UCalgary, 2004. 217 p.

23. SP 63.13330.2018 "SNiP 52-01-2003 Concrete and reinforced concrete structures. Main provisions". Moscow: Minstroy Rossii, 2018. 143 p. (rus)
24. EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels: CEN, 2004.
25. ACI Committee 318. *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19). American Concrete Institute: Farmington Hills, MI, 2019. 624 p.
26. fib Model Code for Concrete Structures 2020. fib Lausanne: Ernst & Sohn, 2020.
27. Muttoni A., Coronelli D., Martinelli L. Testing of a full-scale flat slab building for gravity and lateral loads. *Engineering Structures*. 2021. No. 243. Pp. 1-17. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.112551.
28. Ladner M., Schaeidt W., Gut S. Experimentelle Untersuchungen an Stahlbeton-Flachdecken. *EMPA Bericht*. 1977. No. 205. 96 p.
29. Bolgov A.N. Behavior of joints between high-strength concrete columns and slabs in monolithic buildings with frame-bracing system: PhD thesis. Moscow, 2005. 152 p. (rus)
30. EAD 160057-00-0301 L- or Z-shaped metal sheets for the increase of punching shear resistance of flat slabs or footings and ground slabs. EOTA. 2021.

Информация об авторах

Кабанцев Олег Васильевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
д-р техн. наук, директор научно-технических проектов, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций,
E-mail: ovk531@gmail.com

Крылов Сергей Борисович

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева АО «Научно-исследовательский центр «Строительство» г. Москва, Россия,
д-р техн. наук, академик РААСН, заведующий лабораторией механики железобетона,
E-mail: niizhb_lab8@mail.ru

Трофимов Сергей Владиславович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия, аспирант кафедры Железобетонные и каменные конструкции
Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева АО «Научно-исследовательский центр «Строительство» г. Москва, Россия,
научный сотрудник лаборатории механики железобетона,
E-mail: niizhb_lab8@mail.ru

Information about authors

Kabantsev Oleg V.

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Moscow State University of Civil Engineering», Moscow, Russia,
Dr. Sci. (Engineering), Director of Scientific and Technical Projects, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures,
E-mail: ovk531@gmail.com

Krylov Sergey B.

Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev JSC Research Center "Construction", Moscow, Russia,
Dr. Sci. (Engineering), Academician of the RAACS, Head of the Laboratory of Reinforced Concrete Mechanics,
E-mail: niizhb_lab8@mail.ru

Trofimov Sergey V.

National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia, Postgraduate Student of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures,

A.A. Gvozdev Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete, JSC Research Center "Construction", Moscow, Russia,
Researcher at the Laboratory of Reinforced Concrete Mechanics,
E-mail: niizhb_lab8@mail.ru

Статья поступила в редакцию 26.07.2025
Одобрена после рецензирования 09.08.2025
Принята к публикации 11.08.2025

The article was submitted 26.07.2025
Approved after reviewing 09.08.2025
Accepted for publication 11.08.2025

С.Н. ОВСЯННИКОВ^{1,2}¹Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия²Научно-исследовательский институт строительной физики, Москва, Россия

РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ РАСЧЕТА ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА СТАТИСТИЧЕСКОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Аннотация. Исследовалась нерезонансная и резонансная звукопередача через ограждающую конструкцию. Использовался метод статистического энергетического анализа, в систему уравнений энергетического баланса добавлены нерезонансные энергетические связи. Рассмотрен известный вариант представления нерезонансной звукопередачи непосредственно из помещения в помещение, минуя ограждающую конструкцию. Предложена схема энергетических связей между элементами, в которой показана нерезонансная звукопередача от помещения к панели, предложены формулы расчета коэффициентов нерезонансной энергетической связи от помещения к панели через вычисление импеданса поперечных колебаний панели с учетом импеданса массы, изгибной жесткости и потерь в панели. Представлены результаты расчета и измерения уровней звука в реверберационных камерах и виброускорения на стеклянной пластине между ними. Показана удовлетворительная сходимость между результатами расчета и измерения, что позволяет использовать приложенную методику расчета параметров звука и вибрации в более сложных виброакустических системах.

Ключевые слова: звукоизоляция, нерезонансная звукопередача, метод статистического энергетического анализа, импеданс.

S.N. OVSYANNIKOV^{1,2}¹Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia²Research Institute of building physics, Moscow, Russia

DEVELOPMENT OF THE METHODOLOGY FOR CALCULATING SOUND INSULATION USING THE METHOD OF STATISTICAL ENERGY ANALYSIS

Abstract. Non-resonant and resonant sound transmission through the enclosing structure was investigated. The method of statistical energy analysis was used, non-resonant energy links were added to the system of energy balance equations. A well-known variant of representing non-resonant sound transmission directly from room to room, bypassing the enclosing structure, is considered. A scheme of energy connections between the elements is proposed, which shows non-resonant sound transmission from room to panel, formulas for calculating the coefficients of non-resonant energy connection from room to panel are proposed by calculating the impedance of transverse vibrations of the panel, taking into account the impedance of mass, bending stiffness and losses in the panel. The results of calculating and measuring sound levels in reverberation chambers and vibration acceleration on a glass plate between them are presented. A satisfactory convergence has been shown between the calculation and measurement results, which makes it possible to use the applied methodology for calculating sound and vibration parameters in more complex vibroacoustic systems.

Keywords: Sound insulation, non-resonant sound transmission, statistical energy analysis method, impedance.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипов Г.Л. Звукоизоляция ограждений с оконными и дверными проемами // В кн.: Вопросы звукоизоляции и архитектурной акустики. По ред. В.Н. Никольского. М. 1959. С.49–87.
2. Заборов В.И. Теория звукоизоляции ограждающих конструкций // 2-е издание переработанное и дополненное. – М.: Стройиздат, 1969. – 185 с.
3. Седов М.С. Звукоизоляция тонких однослойных пластин ограниченных размеров // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура, 1964. № 5. С 130-134
4. Седов М.С. Звукоизоляция. Справочник «Техническая акустика транспортных машин»: Под ред. д-ра техн. наук профессора Н. И. Иванова. СПб: Политехника, 1992. Глава 4. С. 68–106.
5. Винокур Р.Ю., Лалаев Э.М. Теоретические и экспериментальные исследования звукоизоляционных стеклопакетов // В книге: Борьба с шумом и звуковой вибрацией. М.: МДНТП. 1982. с. 62-67.
6. Vinokur R. Transmission loss of triple partitions at low frequencies // Appl. Acoust., 1990, 29 (1), pp. 15-24.
7. Tadeu A.J.B., Mateus D.M.R. Sound transmission through single, double and triple glazing. Experimental evaluation // Applied Acoustics. 2001. Vol.62, pp. 307–325. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(00\)0032-3](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(00)0032-3).
8. Xin F.X., Lu T.J. Analytical modeling of sound transmission through clamped triple-panel partition separated by enclosed air cavities // European Journal of Mechanics A/Solids. 2011. Vol. 30, pp. 770–782. <https://doi.org/10.1016/euromechsol.2011.14.013>
9. Kurra S. Comparison of the models predicting sound insulation values of multilayered building elements // Applied Acoustics. 2012. Vol.73, pp. 575–589. <https://doi.org/10.1016/apacoust.2011.11.008>
10. Alonso A., Suarez R., Patricio J., Escandon R., Sendra J. J. Acoustic retrofit strategies of windows in facades of residential buildings: Requirements and recommendations to reduce exposure to environmental noise // Journal of Building Engineering. 2021.102773. pp. 1-10.
11. Овсянников С.Н., Самохвалов А.С. Окна в раздельных переплетах с высокой тепло-звукоизоляцией // Строительные материалы. 2012. № 6. С. 42–43.
12. Овсянников С.Н., Самохвалов А.С. Звукоизоляция однослойных остеклений, одно и двухкамерных стеклопакетов // Жилищное строительство. – 2023. – № 12. – С. 12 – 17.
13. Овсянников С.Н., Самохвалов А.С. Шубин И.Л. Звукоизоляция многослойных остеклений в раздельных переплетах // Жилищное строительство – М., 2024. – № 12. – с. 20-28.
14. Овсянников С.Н., Самохвалов А.С. Звукопередача через ограждения с малыми техническими элементами, включая воздухообменные устройства // Строительство и реконструкция. 2024. № 5. С. 31-43.
15. Caniato M., Bettarello F., Ferluga A., Marsicha L., Schmida C., Faustic P. Acoustic of lightweight timber buildings: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 80. С. 585–596. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.110>
16. Caniato M., Bettarello F., Granzotto N., Marzi A., Gasparella A. A comprehensive vibroacoustic investigation of a cross laminated timber floor // Construction and Building Materials. 2022. Vol. 322. 126303. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126303>
17. Hongisto V., Alakoivu R., Vitranen J. et al. Sound insulation dataset of 30 wooden and 8 concrete floors tested in laboratory conditions // Data in Brief. 2023. Vol. 49. 109393. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109393>
18. Churchill C., Hopkins C. Prediction of airborne sound transmission across a timber–concrete composite floor using Statistical Energy Analysis // Applied Acoustics. 2016. Vol. 110. С. 145–159. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.03.031>
19. Martins C., Santos P., Almeida P., Godinho L., Dias A. Acoustic performance of timber and timber-concrete floors // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 101. С. 684–691. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.142>
20. Westphal W. Ausbreitung vor Körperschall in Gebäuden // Acustica. 1957. Vol. 7. С. 335-348.
21. Crocker M.J., Price A.J. Sound transmission through double panels using SEA // Journal of the Acoustical Society of America. 1970. Vol. 47. № 3. Pp. 688-693.
22. Craik R.J.M. Non-resonant sound transmission through double walls using statistical energy analysis // Applied Acoustics. 2003. № 64. Pp. 325–341.
23. Овсянников С.Н. Расчет распространения звука методом СЭА с учетом нерезонансной звукопередачи // Инвестиции, градостроительство, технологии как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения: материалы XV Международной научно-практической конференции, 12–14 марта 2025 г. Часть 2 / под ред. Т.Ю. Овсянниковой. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2025.– с. 48-56.
24. Rindel J.H. Sound Insulation in Buildings. Taylor & Francis Group, LLC. – 2018.– 476 P. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781351228206>
25. Cremer L., Heckl M., Ungar E. Structure-borne sound. – Springer Verlag, 1973. – 528 p.

REFERENCES

1. Osipov G.L. Sound insulation of fences with window and door openings. In: Nikolsky V.N. (ed.) Issues of sound insulation and architectural acoustics. Moscow, 1959. Pp. 49-87. (rus)
2. Zaborov V.I. Theory of sound insulation of enclosing structures. 2nd ed. Moscow: Stroyizdat, 1969. 185 p. (rus)
3. Sedov M.S. Sound insulation of thin single-layer plates of limited dimensions. *Izvestiya VUZov. Stroitelstvo i Arkhitektura*. 1964. No. 5. Pp. 130-134. (rus)
4. Sedov M.S. Sound insulation. In: Ivanov N.I. (ed.) Technical acoustics of transport vehicles. St. Petersburg: Polytechnic, 1992. Ch. 4. Pp. 68-106. (rus)
5. Vinokur R.Yu., Lalaev E.M. Theoretical and experimental studies of soundproof double-glazed windows. In: Combating noise and sound vibration. Moscow: MDNTP, 1982. Pp. 62-67. (rus)
6. Vinokur R. Transmission loss of triple partitions at low frequencies. *Applied Acoustics*. 1990. Vol. 29. No. 1. Pp. 15-24. DOI: 10.1016/0003-682X(90)90003-4
7. Tadeu A.J.B., Mateus D.M.R. Sound transmission through single, double and triple glazing. Experimental evaluation. *Applied Acoustics*. 2001. Vol. 62. Pp. 307-325. DOI: 10.1016/S0003-682X(00)00032-3
8. Xin F.X., Lu T.J. Analytical modeling of sound transmission through clamped triple-panel partition separated by enclosed air cavities. *European Journal of Mechanics A/Solids*. 2011. Vol. 30. Pp. 770-782. DOI: 10.1016/j.euromechsol.2011.04.013
9. Kurra S. Comparison of the models predicting sound insulation values of multilayered building elements. *Applied Acoustics*. 2012. Vol. 73. Pp. 575-589. DOI: 10.1016/j.apacoust.2011.11.008
10. Alonso A., Suarez R., Patricio J., Escandon R., Sendra J.J. Acoustic retrofit strategies of windows in facades of residential buildings: Requirements and recommendations to reduce exposure to environmental noise. *Journal of Building Engineering*. 2021. 102773. Pp. 1-10. DOI: 10.1016/j.job.2021.102773
11. Ovsyannikov S.N., Samokhvalov A.S. Windows in separate bindings with high thermal insulation. *Stroitelnye Materialy*. 2012. No. 6. Pp. 42-43. (rus)
12. Ovsyannikov S.N., Samokhvalov A.S. Sound insulation of single-layer glazing, single and double-glazed windows. *Zhilishchnoe Stroitelstvo*. 2023. No. 12. Pp. 12-17. (rus)
13. Ovsyannikov S.N., Samokhvalov A.S., Shubin I.L. Sound insulation of multilayer glazing in separate bindings. *Zhilishchnoe Stroitelstvo*. 2024. No. 12. Pp. 20-28. (rus)
14. Ovsyannikov S.N., Samokhvalov A.S. Sound transmission through fences with small technical elements, including air exchange devices. *Stroitelstvo i Rekonstruktsiya*. 2024. No. 5. Pp. 31-43. (rus)
15. Caniato M., Bettarello F., Ferluga A., Marsich L., Schmid C., Fausti P. Acoustic of lightweight timber buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 80. Pp. 585-596. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.110
16. Caniato M., Bettarello F., Granzotto N., Marzi A., Gasparella A. A comprehensive vibroacoustic investigation of a cross laminated timber floor. *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 322. 126303. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.126303
17. Hongisto V., Alakoivu R., Vitranen J. et al. Sound insulation dataset of 30 wooden and 8 concrete floors tested in laboratory conditions. *Data in Brief*. 2023. Vol. 49. 109393. DOI: 10.1016/j.dib.2023.109393
18. Churchill C., Hopkins C. Prediction of airborne sound transmission across a timber-concrete composite floor using Statistical Energy Analysis. *Applied Acoustics*. 2016. Vol. 110. Pp. 145-159. DOI: 10.1016/j.apacoust.2016.03.031
19. Martins C., Santos P., Almeida P., Godinho L., Dias A. Acoustic performance of timber and timber-concrete floors. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 101. Pp. 684-691. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.142
20. Westphal W. Ausbreitung vor Körperschall in Gebäuden. *Acustica*. 1957. Vol. 7. Pp. 335-348.
21. Crocker M.J., Price A.J. Sound transmission through double panels using SEA. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1970. Vol. 47. No. 3. Pp. 688-693. DOI: 10.1121/1.1911939
22. Craik R.J.M. Non-resonant sound transmission through double walls using statistical energy analysis. *Applied Acoustics*. 2003. Vol. 64. Pp. 325-341. DOI: 10.1016/S0003-682X(02)00110-0
23. Ovsyannikov S.N. Calculation of sound propagation by the SEA method, taking into account non-resonant sound transmission. In: Ovsyannikova T.Y. (ed.) Investments, urban planning, technologies as drivers of socio-economic development of the territory and improving the quality of life of the population: Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference, March 12-14, 2025, Part 2*. Tomsk: Publishing House of Tomsk State University of Architecture and Building, 2025. Pp. 48-56. (rus)
24. Rindel J.H. Sound Insulation in Buildings. Taylor & Francis, 2018. 476 p. DOI: 10.1201/9781351228206
25. Cremer L., Heckl M., Ungar E. Structure-borne sound. Springer, 1973. 528 p.

Информация об авторах

Овсянников Сергей Николаевич

ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», г. Томск, Россия,
д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Архитектура гражданских и промышленных зданий»
ФГБУ НИИСФ РААСН, главный научный сотрудник.

E-mail: ovssn@tsuab.ru,

Information about authors

Ovsyannikov Sergey N.

Tomsk State University of Architecture and Building (TSUAB), Tomsk, Russia,
Research Institute of Building Physics (NIISF RAASN), Moscow, Russia,
Dr. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department "Architecture of Civil and Industrial Buildings",
Chief Research Scientist,

E-mail: ovssn@tsuab.ru

Статья поступила в редакцию 15.07.2025

Одобрена после рецензирования 09.08.2025

Принята к публикации 11.08.2025

The article was submitted 15.07.2025

Approved after reviewing 09.08.2025

Accepted for publication 11.08.2025

В.П. СЕЛЯЕВ¹, В.Н. УТКИНА¹, Д.Р. БАБУШКИНА¹, И.В. АРХИПОВ¹¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»,
г. Саранск, Россия

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕОРИИ РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА

Аннотация. В представленной статье излагаются результаты экспериментальных исследований, которые служат веским подтверждением выдвинутой гипотезы о фрактальной природе структуры бетона. Авторами работы было установлено, что традиционные методы анализа не в полной мере отражают сложность строения этого композитного материала. Для адекватной и комплексной оценки его структурной неоднородности и присущей ему многомасштабности настоятельно рекомендуется применять математический аппарат фрактальной геометрии. В ходе экспериментов было наглядно продемонстрировано ключевое влияние выявленной структурной неоднородности на механизм разрушения бетонных образцов. Было установлено, что процесс деструкции не является локализованным и одноуровневым; напротив, он носит ярко выраженный многомасштабный характер, что означает его способность развиваться и протекать одновременно на различных структурных уровнях — от макроскопических трещин до микродефектов. В качестве теоретической основы для описания данного сложного процесса в статье предлагаются новые методологические принципы. Эти принципы синтезируют в себе фундаментальные положения механики разрушения и современные подходы фрактальной геометрии, что позволяет создать более полную и адекватную модель прогнозирования поведения бетона под нагрузкой.

Ключевые слова: бетон, фрактал, многомасштабность, инвариантность, разрушение, структура.

V.P. SELYAEV¹, V.N. UTKINA¹, D.R. BABUSHKINA¹, I.V. ARKHIPOV¹¹National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF CONSTRUCTING THE THEORY OF CONCRETE DESTRUCTION

Abstract. This paper presents the results of experimental studies that provide strong confirmation for the proposed hypothesis on the fractal nature of concrete's structure. The authors established that traditional analysis methods fail to fully capture the complexity of this composite material's architecture. For an adequate and comprehensive assessment of its structural heterogeneity and inherent multi-scale nature, the application of fractal geometry's mathematical framework is strongly recommended. The experiments clearly demonstrated the critical influence of the identified structural heterogeneity on the failure mechanism of concrete specimens. It was found that the fracture process is not localized or single-scale; on the contrary, it is distinctly multi-scale. This means it develops and propagates simultaneously across different structural levels—from macroscopic cracks to micro-defects. As a theoretical basis for describing this complex process, the article proposes new methodological principles. These principles synthesize the fundamental tenets of fracture mechanics with modern approaches of fractal geometry, enabling the development of a completer and more adequate model for predicting the behavior of concrete under load.

Keywords: concrete, fractal, multiscales, invariance, fracture, structure.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, В.М. Диалектика механики железобетона / В.М. Бондаренко // Бетон и железобетон. – 2002. – №1. – С. 24-27.
2. Карпенко, Н.И. Общие модели механики железобетона / Н.И. Карпенко. – Москва: Стройиздат, 1996. – 412 с.
3. Берг, О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона / О. Я. Берг. – Москва: Стройиздат, 1961. – 96 с.
4. Чанышев, А.И. Блочно-иерархическая модель деформирования и разрушения горных пород. Экспериментальная проверка и теоретический анализ / А.И. Чанышев, О.Е. Белоусова // ФТПРПИ. – 2003. – №3. – С. 73-84.
5. Скоробогатов, С.М. Катастрофы и живучесть железобетонных сооружений (классификация и элементы теории) / С.М. Скоробогатов. – Екатеринбург: Уральский ГУПС, 2009. – 511 с.
6. Селяев, В.П. Физико-химические основы механики разрушения цементных композитов / В.П. Селяев, П.В. Селяев. – Саранск: Издательство Мордовского университета, 2018. – 220 с.
7. Чернышев, Е.М. Неоднородность структуры и сопротивление разрушению конгломератных строительных композитов / Е.М. Чернышев, Е.И. Дьяченко, А.И. Макеев. – Воронеж: ГАСУ, 2012. – 224 с.
8. Соломатов, В.И. Теоретические основы создания композитов по принципу образования «Структуры в структуре». В книге Современные строительные композиты и их технология: Проблемы и перспективы развития / В.И. Соломатов, В.П. Селяев и др.; Под ред. В.П. Селяева. – Саранск: Издательство Мордовского университета, 1994. – 175 с.
9. Садовский, М.А. О свойстве дискретности горных пород / М.А. Садовский, Л.Г. Болховитинов, В.Ф. Писаренко // Физика земли. – 1982. – №12. – С. 3-18.
10. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы / Бенуа Б. Мандельброт; Пер. с англ. А.Р. Логунова. – Москва: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
11. Курленя, М.В. О масштабном факторе явления зональной дезинтеграции горных пород и канонических рядов атомно-ионных радиусов / М.В. Курленя, В.Н. Опарин // ФТПРПИ. – 1996. – №12. – С. 3-14.
12. Селяев, В.П. Химическое сопротивление наполненных цементных композитов / В.П. Селяев, В.И. Соломатов, Л.М. Ошкина. – Саранск: Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, 2001. – 150 с.
13. Куприяшкина, Л.И. Наполненные цементные композиты: монография / Л.И. Куприяшкина. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2007. – 180 с.
14. Griffith, A.A. The theory of rupture // In: Proc., Ist., Int., Congr., Appl., Mech. – Delft. 1924. – P. 55-63.
15. Фелтам, П. Деформация и прочность материалов / Пер. с англ. Н. З. Перцовского ; Под ред. М. Г. Лозинского. – Москва : Металлургия, 1968. – 120 с.
16. Балханов, В. К. Основы фрактальной геометрии и фрактального исчисления / В. К. Балханов ; Ин-т физического материаловедения СО РАН. – Улан-Удэ : Изд-во БГУ, 2013. – 223 с.

REFERENCES

1. Bondarenko V.M. Dialectics of reinforced concrete mechanics. *Concrete and Reinforced Concrete*. 2002. No. 1. Pp. 24-27.
2. Karpenko N.I. General models of reinforced concrete mechanics. Moscow: Stroyizdat, 1996. 412 p.
3. Berg O.Ya. Physical foundations of the theory of strength of concrete and reinforced concrete. Moscow: Stroyizdat, 1961. 96 p.
4. Chanyshev A.I., Belousova O.E. Block-hierarchical model of deformation and destruction of rocks. Experimental verification and theoretical analysis. *FTPRPI*. 2003. No. 3. Pp. 73-84.
5. Skorobogatov S.M. Disasters and survivability of reinforced concrete structures (classification and elements of theory). Yekaterinburg: Uralsky GUPS, 2009. 511 p.
6. Selyaev V.P., Selyaev P.V. Physico-chemical foundations of the mechanics of destruction of cement composites. Saransk: Mordovian University Press, 2018. 220 p.
7. Chernyshev E.M., Dyachenko E.I., Makeev A.I. Heterogeneity of structure and resistance to destruction of conglomerate building composites. Voronezh: GASU Publ., 2012. 224 p.
8. Solomатов V.I., Selyaev V.P. et al. Theoretical foundations of the creation of composites based on the principle of "Structure within structure" formation. In: *Modern building composites and their technology: Problems and prospects of development*. Ed. by V.P. Selyaev. Saransk: Mordovian University Press, 1994. 175 p.
9. Sadovsky M.A., Bolkhovitinov L.G., Pisarenko V.F. On the discreteness property of rocks. *Physics of the earth*. 1982. No. 12. Pp. 3-18.
10. Mandelbrot B. Fractal geometry of nature. Moscow: Institute of Computer Research, 2002. 656 p.

11. Kurlenya M.V., Oparin V.N. On the large-scale factor of the phenomenon of zonal disintegration of rocks and canonical series of atomic-ion radii. *FTPPI*. 1996. No. 12. Pp. 3-14.
12. Selyaev V.P., Solomatov V.I., Oshkina L.M. Chemical resistance of filled cement composites. Saransk: Ogarev Mordovian State University, 2001. 150 p.
13. Kupriyashkina L.I. Filled cement composites: a monograph. Saransk: Ogarev National Research Mordovian State University, 2007. 180 p.
14. Griffith A.A. The theory of rupture. *Proc., Ist., Int., Congr., Appl., Mech.* Delft, 1924. Pp. 55-63.
15. Feltam P. Deformation and strength of materials. Moscow: Metallurgiya Publ., 1968. 120 p.
16. Balkhanov V.K. Fundamentals of fractal geometry and fractal calculus. Ulan-Ude: Publishing House of BSU, 2013. 223 p.

Информация об авторах:

Селяев Владимир Павлович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия,
доктор технических наук, профессор, академик РААСН, заведующий кафедры строительных конструкций.
E-mail: ntorm80@mail.ru

Уткина Вера Николаевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций.
E-mail: uvn27@mail.ru

Бабушкина Дельмира Рафиковна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия, аспирант.
E-mail: delmira2009@yandex.ru

Архипов Игорь Владимирович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия, аспирант.
E-mail: arhipov_igor2000@list.ru

Information about authors:

Selyaev Vladimir P.

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,
doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Architectural and Construction Sciences, Head of the Department "Building Structures".
E-mail: ntorm80@mail.ru

Utkina Vera N.

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Building Structures".
E-mail: uvn27@mail.ru

Babushkina Delmira R.

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,
postgraduate student of the Department of "Building Structures".
E-mail: delmira2009@yandex.ru

Arkhipov Igor V.

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,
postgraduate student of the Department of "Building Structures".
E-mail: arhipov_igor2000@list.ru

Статья поступила в редакцию 19.07.2025
Одобрена после рецензирования 09.08.2025
Принята к публикации 11.08.2025

The article was submitted 19.07.2025
Approved after reviewing 09.08.2025
Accepted for publication 11.08.2025

М.Ю. ТРОШИН¹, А.В. КОРОБКО¹¹ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел, Россия

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПЕРЕКРЫТИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ПЕРЕКРЕСТНО КЛЕЕНОЙ С ВАРИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ СЕЧЕНИЙ

Аннотация. В статье представлена методика оценки реальной несущей способности перекрытий из древесины перекрёстно клеёной (ДПК) с варьируемыми параметрами сечений. Метод основан на функциональной зависимости между частотой собственных колебаний и максимальным прогибом конструкции, связанной коэффициентом пропорциональности K . Для исследования были испытаны пять типов образцов ДПК плит с различными геометрическими параметрами слоёв: трёхслойные сплошные, с утолщёнными продольными и поперечными слоями, с зазорами в поперечных слоях, а также пятислойная плита. Многослойные плиты были приведены к эквивалентной однослойной ортотропной пластине с использованием эффективных цилиндрических жёсткостей. Расчёт максимального прогиба и нормальных напряжений выполнен по формулам теории пластин и проверен экспериментально. Отклонения расчётных значений прогиба от экспериментальных составили не более 10%, напряжений — не более 13%, что подтверждает высокую точность предложенного метода. Особенностью методики является возможность оценки несущей способности конструкции без знания фактической жёсткости, используя только одну динамическую характеристику — основную частоту собственных колебаний. Это делает метод быстрым, безопасным и экономически эффективным для натурных испытаний. Предложенный подход может быть применён при оценке конструкций по второй группе предельных состояний и в ряде типовых случаев — по первой группе, при условии пренебрежения касательными напряжениями и концентрациями напряжений. Перспективным направлением дальнейших исследований является расширение области применения методики на другие условия опирания и соотношения сторон плит.

Ключевые слова: деревянные конструкции, древесина перекрёстно клеёная, напряженно-деформированное состояние, несущая способность.

M.YU. TROSHIN¹, A.V. KOROBKO¹¹Oryol State University named after I.S. Turgenev, Oryol, Russia

METHOD FOR ASSESSING THE LOAD-BEARING CAPACITY OF CROSS-LAMINATED TIMBER FLOOR STRUCTURES WITH VARIABLE SECTION PARAMETERS

Abstract. This paper presents a method for assessing the actual load-bearing capacity and stress-strain state (SSS) of cross-laminated timber (CLT) floor structures with variable section parameters. The method is based on a functional relationship between the natural frequency of oscillations and the maximum deflection of plates, expressed through a proportionality coefficient K . This coefficient remains constant for a given type of support conditions and has been numerically validated for multi-layer orthotropic CLT plates with various geometric configurations. Five different CLT panel types were tested in the study, each with varying layer geometries: three-layer solid sections, thickened longitudinal layers, thickened transverse layers, panels with gaps in transverse layers, and five-layer solid panels. All samples were simply supported along two sides. Natural frequencies, maximum deflections at the center of the structure, and normal stresses along the span under uniformly distributed loads were recorded experimentally. The multi-layer CLT structures were converted into an equivalent single-layer orthotropic plate using effective cylindrical stiffness values.

Calculations of maximum deflection and bending moments were performed using classical plate theory and verified against experimental data. Deflection deviations did not exceed 10%, while normal stress deviations remained within 13% for most cases, confirming high accuracy of the proposed method. A key feature of the method is its ability to assess structural performance without requiring precise knowledge of actual stiffness, relying solely on one dynamic parameter — the fundamental frequency of natural oscillations. This makes the method fast, safe, and cost-effective for field testing. It is particularly suitable for evaluating structures under the second group of limit states and, under certain conditions (e.g., neglecting shear stresses and stress concentrations), can be applied to the first group as well. Further research is recommended to expand the applicability of the method to different support conditions and aspect ratios of CLT panels.

Keywords: timber structures, cross-laminated timber, stress-strain state, load-bearing capacity.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 56706-2022. Плиты из перекрестноклееной древесины. Общие технические условия.
2. Brandner R., Flatscher G., Ringhofer A., Schickhofer G., Thiel A. Cross laminated timber (CLT): overview and development // European Journal of Wood and Wood Products. – 2016. – Vol. 74. – № 3. – P. 331–351.
3. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года : утв. распоряжением Правительства РФ от 11 февраля 2021 г. № 312-р // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400235155/> (дата обращения: 26.06.2025)
4. 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 защемленной с двух сторон. // Строительство и реконструкция. — 2024. — № 2. — С. 50-58. DOI: 10.33979/2073-7416-2024-112-2-50-58.
5. 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. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.3.391-400.
6. 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. — С. 35-41. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-107-3-35-41.
7. Karacabeyli E., Gagnon S. Canadian CLT Handbook. Quebec: FPInnovations, 2019. 812 p.
8. Borgström E., Fröbel J. The CLT Handbook. CLT structures — facts and planning. Stockholm: Swedish Wood, 2019. 188 p.
9. Karacabeyli E., Douglas B. CLT Handbook: Cross-laminated timber. US Edition. Quebec: FPInnovations, 2013. 572 p.
10. Коробко В. И. Об одной "замечательной" закономерности в теории упругих пластинок // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1989. – № 11. – С. 32–36.
11. Трошин М.Ю., Турков А.В. Взаимосвязь максимального прогиба и частоты собственных колебаний в 3-хслойной плите из ДПК при переменной величине зазоров в поперечном слое при различных граничных условиях // Строительство и реконструкция. — 2024. — № 4. — С. 56-63. DOI: 10.33979/2073-7416-2024-114-4-56-63.
12. Трошин М.Ю., Коробко А.В. Взаимосвязь максимального прогиба и частоты собственных колебаний в пятислойной плите из ДПК при изменении шага ламелей в поперечных слоях // Эксперт: теория и практика. — 2024. — № 4 (27). — С. 105-109.
13. Коробко В.И., Коробко А.В. Строительная механика пластинок: Техническая теория. – М. : Спектр, 2010. – 409 с.
14. Лехницкий С. Г. Анизотропные пластинки. – М., Л. : Гостехиздат, 1947. – 355 с.
15. Глухих В. Н., Кондратьева Л. Н., Корсун В. И., Коваль П. С., Тихомиров Д. В. Исследование экспериментальных данных по изгибу CLT-плит, опертых по четырем сторонам // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15, № 6.
16. Тихомиров Д. В. Расчёт перекрытия из ДПК, опирающегося по четырём сторонам, с применением теории изгиба пластин // Инновации в деревянном строительстве : материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. — Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2023. — С. 68–80.
17. 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.
18. 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. – DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-5-66-71.
19. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80.
20. Тимошенко С. П., Войновский-Кригер С. Пластины и оболочки. – М. : Наука, 1966. – 636 с.

REFERENCES

1. Cross-laminated timber panels. General technical specifications. GOST R 56706-2022. (rus)
2. Brandner R., Flatscher G., Ringhofer A., Schickhofer G., Thiel A. Cross laminated timber (CLT): overview and development. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2016. Vol. 74. No. 3. Pp. 331-351. DOI: 10.1007/s00107-016-1072-8
3. Strategy for the development of the forestry complex of the Russian Federation until 2030. Approved by Government Decree No. 312-r dated February 11, 2021. Official internet portal of legal information. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400235155/> (accessed: 26.06.2025). (rus)
4. Troshin M.Yu., Turkov A.V., Zaev A.V. Effect of board spacing in the transverse layer on deformability and stress distribution in a three-layer CLT panel rigidly clamped on both sides. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2024. No. 2. Pp. 50-58. DOI: 10.33979/2073-7416-2024-112-2-50-58. (rus)
5. Troshin M.Yu., Turkov A.V. Influence of thickness of cross and longitudinal layers on deformability and stress distribution in three-layer cross-laminated timber boards. *Vestnik MGSU*. 2023. Vol. 18. Issue 3. Pp. 391-400. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.3.391-400. (rus)
6. Troshin M.Yu., Turkov A.V. Effect of spacing of cross layers on deformability and stress distribution in five-layer cross-laminated timber boards. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2023. No. 3. Pp. 35-41. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-107-3-35-41. (rus)
7. Karacabeyli E., Gagnon S. Canadian CLT Handbook. Quebec: FPInnovations, 2019. 812 p.
8. Borgström E., Fröbel J. The CLT Handbook. CLT structures - facts and planning. Stockholm: Swedish Wood, 2019. 188 p.
9. Karacabeyli E., Douglas B. CLT Handbook: Cross-laminated timber. US Edition. Quebec: FPInnovations, 2013. 572 p.
10. Korobko V.I. On a "remarkable" regularity in the theory of elastic plates. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 1989. No. 11. Pp. 32-36. (rus)
11. Troshin M.Yu., Turkov A.V. Relationship between maximum deflection and natural frequency in a three-layer CLT plate with variable gaps in the transverse layer under different boundary conditions. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2024. No. 4. Pp. 56-63. DOI: 10.33979/2073-7416-2024-114-4-56-63. (rus)
12. Troshin M.Yu., Korobko A.V. Relationship between maximum deflection and natural frequency in a five-layer CLT plate with varying spacing of lamellas in transverse layers. *Ekspert: teoriya i praktika*. 2024. No. 4 (27). Pp. 105-109. (rus)
13. Korobko V.I., Korobko A.V. Structural mechanics of plates: Technical theory. Moscow: Spektr, 2010. 409 p. (rus)
14. Lekhnitsky S.G. Anisotropic Plates. Moscow, Leningrad: Gostekhizdat, 1947. 355 p. (rus)
15. Glukhikh V.N., Kondratyeva L.N., Korsun V.I., Koval' P.S., Tikhomirov D.V. Study of experimental data on bending of CLT panels supported on four sides. *Vestnik evraziyskoy nauki*. 2023. Vol. 15. No. 6. (rus)
16. Tikhomirov D.V. Calculation of CLT floor slab supported on four sides using plate bending theory. *Innovatsii v dereviannom stroitel'stve: Materialy XII Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii*. Saint Petersburg: SPbGASU, 2023. Pp. 68-80. (rus)
17. Chebykin A.A., Fritsler Yu.A., Kudriavtsev S.V. Determination of design characteristics of cross-laminated timber panel sections made of crossed boards. *Akademicheskii vestnik UralNIIproekt RAASN*. 2017. No. 2. Pp. 83-85. (rus)
18. Mamedov Sh.M., Shabikova E.G., Nizhegorodtsev D.V., Kazakevich T.N. Methodology for calculating cross-laminated timber panels. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2020. No. 5(82). Pp. 66-71. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-5-66-71. (rus)
19. SP 64.13330.2017 Timber Structures. Updated version of SNiP II-25-80. SP 64.13330.2017. (rus)
20. Timoshenko S.P., Voinovsky-Kriger S. Plates and shells. Moscow: Nauka, 1966. 636 p. (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

Коробко 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: ankor.66@mail.ru

Information about authors:

Troshin Mikhail Yu.

Oryol state University named after I.S. Turgenev, Oryol, Russia,
postgraduate student, of the department of Building Structures and Materials.
E-mail: mtr997@mail.ru

Korobko Andrey V.

Oryol state University named after I.S. Turgenev, Oryol, Russia,
doctor of technical sciences, associate professor, professor of the department of Building Structures and Materials.
E-mail: ankor.66@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11.07.2025
Одобрена после рецензирования 09.08.2025
Принята к публикации 11.08.2025

The article was submitted 11.07.2025
Approved after reviewing 09.08.2025
Accepted for publication 11.08.2025

ФЁДОРОВ В.С.¹, ЛАЗУТКИН Ю.В.¹, КУПЧИКОВА Н.В.^{1,2}¹ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», Москва, Россия²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Россия

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНОСТИ СОЧЕТАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОТ НАЗЕМНОГО И ПОДЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА

Аннотация. В статье представлено планирование и разработка программы по проведению натурных исследований влияния вибрации на здания и сооружения, возникающие от комплекса динамических воздействий наземного и подземного городского транспорта. Рассмотрена действующая нормативно-правовая база в области транспортной вибрации, проанализированы имеющиеся в практике результаты влияния вибрации от каждого источника воздействия по отдельности (трамвай, автобус, метро) и с комплексным воздействием вибрации (одновременно) от трех видов транспорта. Выявлена закономерность при анализе комплекса динамических воздействий для прогнозирования будущих событий в части раскрытия трещин зданий, находящихся в непосредственной близости к источникам техногенного воздействия. Источниками вибрационного воздействия являются вагоны метро, трамваи и автобусы, расположенные в непосредственной близости от зданий. Для замеров вибрации подобрано специализированное оборудование: анализатор шума и вибрации, регистратор и вибротест. Для выбора натурной площадки и проведения эксперимента проведён анализ загруженности транспортных магистралей наземного и подземного транспорта в Москве. Выбраны три наиболее загруженные территории для одновременного замера вибрации от метро, трамвая и автотранспорта по улицам Краснопрудная, Павелецкая и Бауманская.

Ключевые слова: транспортная вибрация, виды транспорта, метро, трамваи, автотранспорт, план проведения эксперимента, средства механизации, подбор оборудования, трещины в строительных конструкциях.

FEDOROV V.S.¹, LAZUTKIN Yu.V.¹, KUPCHIKOVA N.V.^{1,2}¹Russian University of Transport, Moscow, Russia²National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

PLANNING AN EVALUATION EXPERIMENT EFFECTS OF THE COMPLEXITY OF THE COMBINATION OF DYNAMIC IMPACTS FROM SURFACE AND UNDERGROUND TRANSPORT

Abstract. This article outlines the planning and development of a program for conducting field studies to investigate the impact of vibration on buildings and structures caused by the combined dynamic loads from surface and underground urban transport systems. The existing regulatory framework concerning transportation-induced vibration is reviewed. The paper analyzes available practical data on the vibrational impact from individual sources (tram, bus, metro) as well as the combined effect of simultaneous vibration from all three transport types. An identified correlation from the analysis of the complex dynamic loads allows for predicting future events related to crack propagation in buildings located in immediate proximity to the sources of man-made impact. The sources of vibrational impact are metro trains, trams, and buses operating in close vicinity to the structures. Specialized equipment was selected for vibration measurements: a noise and vibration analyzer, a data recorder, and a vibration test system. To select the field site and conduct the experiment, an analysis of traffic load on surface and underground transport arteries in Moscow was performed. Three areas with the highest traffic load were chosen for simultaneous vibration measurements from the metro, trams, and road transport along Krasnoprudnaya, Paveletskaya, and Baumanskaya streets.

Keywords: transport vibration, modes of transport, metro, trams, motor transport, experimental plan, means of mechanization, selection of equipment, cracks in building structures.

© Федоров В.С., Лазуткин Ю.В., Купчикова Н.В., 2025

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золина Т. В. Исследование влияния вибрационных воздействий от автотранспорта на состояние конструкций фундамента жилого здания / Т. В. Золина, Н. В. Купчикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 3(29). – С. 24-29.
2. Территориально-пространственное развитие трамвайной транспортной инфраструктуры Москвы и ее влияние на существующую застройку / В. П. Титов, В. И. Гришин, Н. В. Купчикова, Ю. В. Лазуткин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 3(49). – С. 40-49.
3. Экспериментальная динамика сооружений. Мониторинг транспортной вибрации: монография / Е. К. Борисов [и др.]; Камчатский гос. технический ун-т, Профессорский клуб ЮНЕСКО (г. Владивосток). – Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2007.
4. Купчикова Н. В. Проектирование радиальных коммуникационных тоннелей при редевелопменте территорий / Н. В. Купчикова, Ю. В. Лазуткин, Е. Е. Купчиков // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования: Материалы VII Национальной научно-практической конференции с международным участием, приуроченной ко Дню российской науки, Астрахань, 09 февраля 2024 года. – Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. – С. 70-78.
5. Федоров В. С. Об организации опытно-экспериментальной работы в ходе исследования влияния комплексности вибровоздействий наземного и подземного транспорта на здания и сооружения / В. С. Федоров, Н. В. Купчикова, Ю. В. Лазуткин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 1(47). – С. 95-100.
6. Кузнецов А. Н. Снижение уровня транспортной вибрации в кабинах автотракторных средств за счёт применения инерционных компонентов в подвеске / А. Н. Кузнецов, О. И. Поливаев // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения для АПК: Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 30 ноября 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023. – С. 61-67.
7. Ванин В. С. Метод использования переходных функций при оценке транспортной вибрации / В. С. Ванин, Т. Е. Галаган // Строительные и дорожные машины. – 2007. – № 3. – С. 32-35.
8. Локтев А. А. Моделирование воздействия городского рельсового транспорта на окружающую застройку / А. А. Локтев, Д. А. Локтев, Л. А. Илларионова // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023. – № 1. – С. 52-60.
9. Купчикова Н. В. Экспертиза геоподосновы, оснований и фундаментов: современные приборы и оборудование при проведении экспериментальных исследований и геотехнического мониторинга / Н. В. Купчикова, А. С. Таркин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 4(38). – С. 47-55.
10. Ашпиз, Е. С. Применение эластомерных подбалластных матов в тоннеле / Е. С. Ашпиз, Е. Ю. Титов, А. В. Гордеев // Путь и путевое хозяйство. – 2023. – № 5. – С. 22-25.
11. Купчикова Н. В. Технология реконструкции, санации и капитального ремонта зданий, включая экспертизу геоподосновы, оснований и фундаментов / Н. В. Купчикова. – Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – 105 с.
12. Kupchikova N. V. Numerical researches of the work of the pile with end spherical broadening as part of the pile group / N. V. Kupchikova // Building and Reconstruction. – 2019. – No. 6(86). – P. 3-9
13. Фильтрационная устойчивость грунтовых перемычек плотин как временных гидротехнических сооружений / В. С. Федоров, Н. В. Купчикова, С. С. Рекунов, И. В. Федосюк // Строительство и реконструкция. – 2024. – № 5(115). – С. 44-60.
14. Задачи и перспективы развития научных исследований в рамках сотрудничества между ОАО "РЖД" и Российской академией наук / Н. А. Махутов, Б. М. Лапидус, М. М. Гаденин, Е. Ю. Титов // Железнодорожный транспорт. – 2023. – № 7. – С. 6-11.
15. Сычева А. В. Снижение динамического воздействия колеса на рельс применением новой технологии выравнивания рельсовых нитей / А. В. Сычева, А. А. Локтев, В. П. Сычев // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта: Межвузовский сборник научных трудов. – Москва: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет транспорта", 2024. – С. 376-382.
16. Ашпиз Е. С. Применение эластомерных подбалластных матов в тоннеле / Е. С. Ашпиз, Е. Ю. Титов, А. В. Гордеев // Путь и путевое хозяйство. – 2023. – № 5. – С. 22-25.
17. Метод сейсмоизоляции и виброизоляции, основанный на свойствах изображений Фурье финитных функций / Е. Н. Курбацкий, Е. Ю. Титов, О. А. Голосова, С. С. Харитонов // Academia. Архитектура и строительство. – 2020. – № 1. – С. 102-110.
18. Курбацкий Е. Н. Оценка влияния поверхностных слоев грунта на параметры спектров максимальных реакций / Е. Н. Курбацкий, А. Ш. Хуссейн // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2024. – № 1(68). – С. 47-48.
19. Патент № 2696175 С2 Российская Федерация, МПК В60W 10/02, В60W 10/06, В60W 10/11. Способ и система для регулирования шума, вибрации и резкости работы силового агрегата транспортного средства: № 2017143451: заявл. 12.12.2017: опубл. 31.07.2019 / А. Д. Ричардс, А. Н. Бэнкер, А. Й. Карник, Д. Э. Роллингер; заявитель Форд Глобал Текнолоджиз, ЛЛК.
20. Авторское свидетельство № 653146 А1 СССР, МПК В60G 25/00. Устройство для защиты от вибрации пользователя транспортным средством: № 2485281: заявл. 12.05.1977: опубл. 25.03.1979 / Б. Д. Цвик, Е. Я. Улицкий, Т. Г. Цвик; заявитель Всесоюзный ордена трудового красного знамени научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства.

REFERENCES

1. Zolina T.V., Kupchikova N.V. Research of the Influence of Vibration Effects from Motor Vehicles on the Condition of the Foundation Structures of a Residential Building. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*. 2019. No. 3(29). Pp. 24-29.
2. Titov V.P., Grishin V.I., Kupchikova N.V., Lazutkin Yu.V. Territorial and spatial development of the tram transport infrastructure of Moscow and its influence on the existing development. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea*. 2024. No. 3(49). Pp. 40-49.
3. Borisov E.K. [et al.] Experimental dynamics of structures. Monitoring of transport vibration: monograph. Petropavlovsk-Kamchatsky: Publishing House of KamchatSTU, 2007.
4. Kupchikova N.V., Lazutkin Yu.V., Kupchikov E.E. Design of Radial Communication Tunnels for Territorial Redevelopment. *Innovative Development of Regions: The Potential of Science and Modern Education: Proceedings of the 7th National Scientific and Practical Conference with International Participation, Dedicated to the Day of Russian Science, Astrakhan, February 9, 2024*. Astrakhan: Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, 2024. Pp. 70-78.
5. Fedorov V.S., Kupchikova N.V., Lazutkin Yu.V. On the organization of experimental work in the course of the study of the influence of the complexity of vibration effects of ground and underground transport on buildings and structures. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea*. 2024. No. 1(47). Pp. 95-100.
6. Kuznetsov A.N., Polivayev O.I. Reducing the level of transport vibration in the cabins of motor vehicles and tractors by using inertial components in the suspension. *Science and Education at the Present Stage of Development: Experience, Problems, and Solutions for the Agro-Industrial Complex: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Voronezh, November 30, 2023*. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2023. Pp. 61-67.
7. Vanin B.S., Galagan T.E. The method of using transition functions in the assessment of transport vibration. *Construction and Road Machinery*. 2007. No. 3. Pp. 32-35.
8. Loktev A.A., Loktev D.A., Illarionova L.A. Modeling the impact of urban rail transport on the surrounding development. *Transport. Transport Facilities. Ecology*. 2023. No. 1. Pp. 52-60.
9. Kupchikova N.V., Tarkin A.S. Expertise of Geological Base, Foundations, and Substrates: Modern Instruments and Equipment for Experimental Research and Geotechnical Monitoring. *Engineering Bulletin of the Caspian Region*. 2021. No. 4(38). Pp. 47-55.
10. Ashpiz E.S., Titov E.Yu., Gordeev A.V. Application of elastomeric sub-ballast mats in a tunnel. *Way and Track Maintenance*. 2023. No. 5. Pp. 22-25.
11. Kupchikova N.V. Technology of reconstruction, sanitation and major repairs of buildings, including expertise of geological basis, bases and foundations. Astrakhan: Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, 2019. 105 p.
12. Kupchikova N.V. Numerical researches of the work of the pile with end spherical broadening as part of the pile group. *Building and Reconstruction*. 2019. No. 6(86). P. 3-9.
13. Fedorov V.S., Kupchikova N.V., Rekunov S.S., Fedosyuk I.V. Filtration stability of dam soil barriers as temporary hydraulic structures. *Construction and Reconstruction*. 2024. No. 5(115). Pp. 44-60.
14. Makhutov N.A., Lapidus B.M., Gadenin M.M., Titov E.Yu. Tasks and Prospects for the Development of Scientific Research within the Framework of Cooperation between Russian Railways and the Russian Academy of Sciences. *Railway Transport*. 2023. No. 7. Pp. 6-11.
15. Sycheva A.V., Loktev A.A., Sychev V.P. Reducing the Dynamic Impact of the Wheel on the Rail by Using a New Technology for Aligning Rail Threads. *Modern Problems of Improving Railway Transport: Interuniversity Collection of Scientific Papers*. Moscow: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Russian University of Transport", 2024. Pp. 376-382.
16. Ashpiz E.S., Titov E.Yu., Gordeev A.V. Application of Elastomeric Sub-Ballast Mats in a Tunnel. *Way and Track Maintenance*. 2023. No. 5. Pp. 22-25.
17. Kurbatsky E.N., Titov E.Y., Golosova O.A., Kharitonov S.S. The method of seismic isolation and vibration isolation based on the properties of Fourier images of finite functions. *Academia. Architecture and Construction*. 2020. No. 1. Pp. 102-110.
18. Kurbatsky E.N., Khussein A.Sh. Assessment of the Influence of Surface Soil Layers on the Parameters of Maximum Reaction Spectra. *Natural and Technogenic Risks. Safety of structures*. 2024. No. 1(68). Pp. 47-48.
19. Patent No. 2696175 C2 Russian Federation, IPC B60W 10/02, B60W 10/06, B60W 10/11. Method and system for regulating noise, vibration, and harshness of operation of a vehicle power unit: No. 2017143451: filed on 12.12.2017: published on 31.07.2019 / Richards A.D., Bunker A.N., Karnik A.Y., Rollinger D.E.; applicant: Ford Global Technologies, LLC.
20. USSR Patent No. 653146 A1, IPC B60G 25/00. Device for protecting a vehicle user from vibration: No. 2485281: filed on May 12, 1977: published on March 25, 1979 / Tsvik B.D., Ulitsky E.Ya., Tsvik T.G.; applicant: All-Union Research Institute of Agricultural Mechanization.

Информация об авторах

Фёдоров Виктор Сергеевич

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ МИИТ), академик РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции, здания и сооружения».

E-mail: fvs_skzs@mail.ru.

Лазуткин Юрий Викторович

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ МИИТ), аспирант кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения»;

E-mail: lazutkinyv@mtp.mos.ru

Купчикова Наталья Викторовна

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ МИИТ), кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения»;

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» Мытищинский филиал, г. Москва, Россия, кандидат технических наук, профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство».

E-mail: kupchikova79@mail.ru

Information about authors

Fedorov Viktor S.

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

Academician of RAACS, Dr. Sci. (Eng.), Prof.,

Head of the Department "Building Structures, Buildings and Facilities"

E-mail: fvs_skzs@mail.ru.

Lazutkin Yuri V.

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

Postgraduate student of the Department "Building Structures, Buildings and Facilities"

E-mail: lazutkinyv@mtp.mos.ru

Kupchikova Natalia V.

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

Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof. of the Department "Building Structures, Buildings and Facilities";

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

Cand. Sci. (Eng.), Prof. of the Department "Industrial and Civil Engineering"

E-mail: kupchikova79@mail.ru

Статья поступила в редакцию 19.04.2025

Одобрена после рецензирования 09.08.2025

Принята к публикации 11.08.2025

The article was submitted 19.04.2025

Approved after reviewing 09.08.2025

Accepted for publication 11.08.2025

Т.А. МАЦЕЕВИЧ¹, И.Ф. АНДРЕЕВ¹

¹Национальный исследовательский московский государственный строительный университет,
Москва, Россия

ОЦЕНКА ВЫНОСЛИВОСТИ ПОДКРАНОВОЙ БАЛКИ ПРИ КОРРОЗИИ АРМАТУРНЫХ КАНАТОВ

Аннотация. В статье исследуется влияние коррозии арматурных канатов на усталостную выносливость железобетонных подкрановых балок типа БК 12-7 К7Т. Рассмотрены основные механизмы коррозии, включая хлоридную, карбонизацию бетона и гальваническую коррозию, которые наиболее актуальны для промышленных сооружений. Предложена методика оценки остаточного ресурса балок с учетом потери сечения арматурных канатов, дополненная вероятностной моделью плотности тока коррозии, что повышает точность прогнозирования. Проведены расчеты числа циклов до разрушения для различных степеней коррозии (5%, 10%, 20%), показавшие, что при 20% коррозии ресурс балки сокращается в 2,5 раза. Результаты исследования демонстрируют значительное снижение усталостной долговечности конструкции при увеличении степени коррозии, что подчеркивает необходимость учета коррозионных факторов при проектировании и эксплуатации подкрановых балок. Методика может быть полезна для инженеров и специалистов, занимающихся оценкой состояния и ремонтом промышленных сооружений.

Ключевые слова: подкрановая балка, коррозия, арматурный канат, выносливость, железобетонные конструкции.

T.A. MATSEEVICH¹, I.F. ANDREEV¹

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

ASSESSMENT OF THE ENDURANCE OF A CRANE BEAM IN CORROSION OF REINFORCEMENT ROPES

Abstract. The article examines the effect of corrosion in prestressing strands on the fatigue endurance of reinforced concrete crane beams of type BK 12-7 K7T. The main corrosion mechanisms are discussed, including chloride-induced corrosion, carbonation of concrete, and galvanic corrosion, which are most relevant for industrial structures. A methodology is proposed for assessing the residual service life of beams, taking into account the loss of cross-sectional area in the prestressing strands, supplemented by a probabilistic model of corrosion current density, which improves prediction accuracy. Calculations of the number of cycles to failure were performed for different degrees of corrosion (5%, 10%, 20%), showing that at 20% corrosion, the beam's service life decreases by 2.5 times. The study results demonstrate a significant reduction in fatigue durability with increasing corrosion levels, highlighting the need to account for corrosion factors in the design and operation of crane beams. The proposed methodology can be useful for engineers and specialists involved in condition assessment and repair of industrial structures.

Keywords: overhead crane beam, corrosion, reinforcing rope, endurance, reinforced concrete structures.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамразян А.Г., Мацеевич Т.А. Анализ надежности железобетонной плиты с корродированной арматурой // Строительство и реконструкция. 2022. № 1 (99). С. 89-98.
2. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Красильникова И.А. Развитие математических моделей, описывающих процессы коррозии в бетонных и железобетонных конструкциях // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2020. №3. С. 85-93.
3. Stewart M. G., & Mullard J. A. Spatial time-dependent reliability analysis of corrosion damage and the timing of first repair for RC structures // *Engineering Structures*. 2007. 29(7), 1457-1464.
4. Тамразян А.Г. Методология анализа и оценки надежности состояния и прогнозирование срока службы железобетонных конструкций // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 1. № 1. С. 5-18.
5. Андреев И.Ф., Мацеевич Т.А. Надежность арматурного каната К-7 при корреляции коррозии между проволоками. В сборнике: Инновации в строительстве. материалы международной научно-практической конференции. Брянск, 2024. С. 213-216.
6. Bertolini L., Elsener B., Pedferri P., Polder R. Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair (2nd ed.). Wiley-VCH. 2013.
7. Tuutti K. Corrosion of Steel in Concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institute (CBI). 1982.
8. Селяев В.П., Селяев П.В., Кечуткина Е.Л., Бабушкина Д.Р., Грязнов С.Ю. Моделирование работы железобетонных конструкций с учетом совместного действия механических нагрузок и агрессивных сред // Эксперт: теория и практика. 2021. № 1(10). С. 19-24.
9. Смоляго Г.А., Демин В.О., Фролов Н.В., Дрокин С.В. Оценка остаточного срока службы железобетонных перекрытий с коррозионными повреждениями // Строительство и архитектура. 2023. Т. 11. №3. С. 17.
10. Melchers R. E. Structural Reliability Analysis and Prediction (3rd ed.). Wiley. 2018.
11. Колчунов В.И., Андросова Н.Б. Прочность корродирующего бетона при одновременном проявлении силовых и средовых воздействий // Строительство и реконструкция. 2013. № 5 (49). С. 3-9.
12. Тамразян А.Г., Попов Д.С. Напряженно-деформированное состояние коррозионно-поврежденных железобетонных элементов при динамическом нагружении // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 2. С.19-26.
13. Овчинников И.И., Чэнь Т., Овчинников И.Г. Вероятностное моделирование поведения армированных мостовых конструкций в агрессивных условиях // Транспортные сооружения. 2017. Т. 4. № 4. С. 3.
14. СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».
15. Травуш В.И., Волков Ю.С. Вопросы применения Еврокодов в строительном проектировании в РФ // Вестник НИЦ «Строительство». 2021;30(3):117-123.
16. Eurocode 2: Design of Concrete Structures - Part 1: General Rules and Rules for Buildings, CEN.

REFERENCES

1. Tamrazyan A.G., Matseevich T.A. Reliability Analysis of Reinforced Concrete Slabs with Corroded Reinforcement. *Building and Reconstruction*. 2022. 1(99), 89-98. (in Russian)
2. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Krasilnikova I.A. (2020). Development of Mathematical Models Describing Corrosion Processes in Concrete and Reinforced Concrete Structures. *Bulletin of Volga State Technological University. Series: Materials. Structures. Technologies*. 2020. 3, 85-93. (in Russian)
3. Stewart, M. G., & Mullard, J. A. (2007). Spatial time-dependent reliability analysis of corrosion damage and the timing of first repair for RC structures. *Engineering Structures*. 2007. 29(7), 1457-1464.
4. Tamrazyan A.G. Methodology for Analysis and Reliability Assessment of Reinforced Concrete Structures' Condition and Service Life Prediction. *Reinforced Concrete Structures*. 2023. 1(1), 5-18. (in Russian)
5. Andreev I.F., Matseevich T.A. Reliability of K-7 Reinforcement Rope with Corrosion Correlation Between Wires. In: *Innovations in Construction: Proceedings of International Scientific-Practical Conference*. Bryansk, 2024. pp. 213-216. (in Russian)
6. Bertolini L., Elsener B., Pedferri P., Polder R. Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair (2nd ed.). Wiley-VCH. 2013.
7. Tuutti K. Corrosion of Steel in Concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institute (CBI). 1982.
8. Selyaev V.P., Selyaev P.V., Kechutkina E.L., Babushkina D.R., Gryaznov S.Yu. Modeling of Reinforced Concrete Structures Performance Considering Combined Mechanical Loads and Aggressive Environments. *Expert: Theory and Practice*. 2021. 1(10), 19-24. (in Russian)

9. Smolyago G.A., Demin V.O., Frolov N.V., Drokin S.V. Residual Service Life Assessment of Reinforced Concrete Floors with Corrosion Damage. *Construction and Architecture*. 2023. 11(3), Pp. 17. (in Russian)
10. Melchers R. E. Structural Reliability Analysis and Prediction (3rd ed.). Wiley. 2018.
11. Kolchunov V.I., Androsova N.B. Strength of Corroding Concrete Under Simultaneous Mechanical and Environmental Impacts. *Building and Reconstruction*. 2013. 5(49), Pp. 3-9. (in Russian)
12. Tamrazyan A.G., Popov D.S. Stress-strain state of corrosion-damaged reinforced concrete elements under dynamic loading. *Industrial and civil engineering*. 2019. No. 2. P. 19-26.
13. Ovchinnikov I.I., Chen T., Ovchinnikov I.G. Probabilistic Modeling of Reinforced Bridge Structures Behavior in Aggressive Conditions. *Transport Structures*. 2017. 4(4), Pp. 3. (in Russian)
14. Russian Federation. (2018). SP 63.13330.2018 "SNIIP 52-01-2003 Concrete and Reinforced Concrete Structures. Basic Provisions". (in Russian)
15. Travush V.I., Volkov Yu.S. Issues of Eurocodes Application in Construction Design in Russian Federation. *Bulletin of Scientific Research Center "Construction"*. 2021. 30(3), Pp. 117-123. (in Russian)
16. European Committee for Standardization. (2004). Eurocode 2: Design of Concrete Structures - Part 1: General Rules and Rules for Buildings.

Информация об авторах

Мацевич Татьяна Анатольевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»: г. Москва, Россия, д-р ф.-м. наук, профессор.

E-mail: MatseevichTA@mgsu.ru

Андреев Илья Федорович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»: г. Москва, Россия, аспирант.

E-mail: yfyfyt@gmail.com

Information about authors

Matseevich Tatiana A.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor.

E-mail: MatseevichTA@mgsu.ru

Andreev Ilia F.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Postgraduate Student.

E-mail: yfyfyt@gmail.com

Статья поступила в редакцию 21.06.2025
Одобрена после рецензирования 01.07.2025
Принята к публикации 11.08.2025

The article was submitted 21.06.2025
Approved after reviewing 01.07.2025
Accepted for publication 11.08.2025

С.Ю. САВИН¹¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия

ЖИВУЧЕСТЬ И ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КАРКАСА ЗДАНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСОБОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Аннотация: Риски, связанные с особыми, в том числе аварийными, воздействиями на здания и сооружения, приводят к необходимости предусматривать при проектировании мероприятия по защите от прогрессирующего обрушения. При этом актуальной задачей является оценка достаточности и эффективности конструктивных мероприятий по защите как вновь проектируемых, так и реконструируемых зданий и сооружений для предотвращения их обрушения в аварийной ситуации. Решение этой задачи возможно с использованием критериев и мер живучести. Предложен вариант относительного индекса живучести, учитывающего степень повреждения элементов конструктивной системы здания в процессе длительной эксплуатации и уровень действующей нагрузки. Рассмотрена связь между относительной мерой живучести и техническим состоянием конструкций. Приведены результаты оценки живучести железобетонного многоэтажного каркаса здания с плоскими безбалочными плитами перекрытий, в которых в качестве конструктивного мероприятия по защите от прогрессирующего обрушения предусмотрены периметрические, продольные и поперечные внутренние связи, подобранные по методу связевых усилий. Продемонстрирована эффективность использования системы дополнительных связей для обеспечения защиты от прогрессирующего обрушения. Показано, что при проектном уровне нагрузки наименьший относительный индекс живучести соответствует аварийной ситуации, вызванной потерей несущей способности угловой колонны здания, а наибольший – средней колонны. В результате снижения прочности бетона и арматуры на 30% (или эквивалентного снижения эффективных размеров сечений в результате действия агрессивной среды) отмечено снижение относительного индекса живучести до $RRI = 0,65$ при действии постоянных и длительных нормативных нагрузках и принятых нормативных характеристиках материалов конструкций.

Ключевые слова: особое воздействие, прогрессирующее обрушение, живучесть, относительный индекс живучести, техническое состояние, железобетонный каркас, дополнительные связи

S.Y. SAVIN¹¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

ROBUSTNESS AND TECHNICAL CONDITION OF REINFORCED CONCRETE FRAME STRUCTURES AS A RESULT OF ACCIDENTAL ACTION

Abstract. Risks associated with accidental actions on buildings and structures lead to the demand for design measures aimed at protection against progressive collapse. In this case, the actual task is to assess the sufficiency and effectiveness of structural measures to protect both newly designed and reconstructed buildings and structures to prevent their collapse in an accidental situation. The solution of this problem is possible with the usage of criteria and measures of robustness. A variant of the relative robustness index, which takes into account the degree of damage to the elements of the structural system of the building during long-term operation and the level of the current load, has been proposed.

© Савин С.Ю., 2025

The relation between the relative measure of robustness and technical condition of structures is examined. The results of robustness check of reinforced concrete multistorey building frame with plane beamless floor slabs, in which perimeteric, longitudinal and transverse internal ties, selected by the method of tie forces, are provided as a structural measure to protect against progressive collapse. The effectiveness of using a system of additional ties to provide protection against progressive collapse has been demonstrated. It is shown that at the design load level the lowest relative robustness index corresponds to the accidental situation caused by the loss of bearing capacity of the corner column of the building, and the highest - to the middle column. As a result of concrete and reinforcement strength reduction by 30% (or equivalent reduction of effective cross-sectional dimensions as a result of aggressive medium action), the relative robustness index decreased to $RRI = 0.65$ under the action of constant and long-term characteristic loads and accepted characteristic properties of construction materials.

Keywords: accidental actions, progressive collapse, robustness, relative robustness index, technical condition, reinforced concrete frame, tie force

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамразян А.Г. Методология анализа и оценки надежности состояния и прогнозирование срока службы железобетонных конструкций // Железобетонные конструкции. 2023. Vol. 1, № 1. P. 5–18.
2. Тамразян А.Г. Концептуальные подходы к оценке живучести строительных конструкций, зданий и сооружений // Железобетонные конструкции. 2023. № 3. С. 62–74.
3. Тамразян А.Г., Мацевич Т.А., Савин С.Ю. Оценка технического состояния несущих конструкций зданий на основе прогнозирования риска аварии // Строительство и реконструкция. 2024. № 6. С. 82–91.
4. FIB Model Code 2010. CEB and FIP, 2011.
5. Starossek U., Haberland M. Approaches to measures of structural robustness // Structure and Infrastructure Engineering. 2011. Vol. 7, № 7–8. P. 625–631.
6. Kolchunov V.I., Moskovtseva V.S. Robustness of reinforced concrete frames with elements experiencing bending with torsion // Eng Struct. 2024. Vol. 314. P. 118309.
7. Adam J.M., Parisi F., Sagaseta J., Lu, X. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century // Eng Struct. Elsevier, 2018. Vol. 173, № March. P. 122–149.
8. Lim N.S., Tan K.H., Lee C.K. A simplified model for alternate load path assessment in RC structures // Eng Struct. 2018. Vol. 171. Pp. 696–711.
9. Federal Emergency Management Agency FEMA 356 / November 2000 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings.
10. Колчунов В.И., Ильющенко Т.А., Федорова Н.В., Савин С.Ю., Тур В.В., Лизогуб А.А. Живучесть конструктивных систем зданий и сооружений: аналитический обзор исследований // Строительство и реконструкция. 2024. Vol. 113, № 3. P. 31–71.
11. Almusallam T., Al-Salloum Y., Elsanadedy H., Tuan N., Mendis P., Abbas H. Development limitations of compressive arch and catenary actions in reinforced concrete special moment resisting frames under column-loss scenarios // Structure and Infrastructure Engineering. Taylor & Francis, 2020. Vol. 16, № 12. P. 1616–1634.
12. Kolchunov V.I., Savin S.Yu. Resistance of Reinforced Concrete Frames to Progressive Collapse at Catenary Action of Beams // Reinforced concrete structures. 2024. Vol. 6, № 2. P. 43–53.
13. Lu X., Lin K., Li C., Li Y. New analytical calculation models for compressive arch action in reinforced concrete structures // Eng Struct. 2018. Vol. 168. P. 721–735.
14. Szyniszewski S. Dynamic energy-based method for progressive collapse analysis // Proceedings of the 2009 Structures Congress - Don't Mess with Structural Engineers: Expanding Our Role. 2009. P. 1259–1268.
15. Геммерлинг А.В. Несущая способность стержневых стальных конструкций. Москва: Госстройиздат, 1958. 216 р.
16. Голышев А.Б., Колчунов В.И. Сопротивление железобетонных конструкций. Киев: Основа, 2009. 432 р.
17. Савин С.Ю., Колчунов В.И. Устойчивость железобетонных каркасов зданий к начальному локальному разрушению // Известия вузов. Строительство. 2024. № 10. P. 50–64.
18. Fallon C.T., Quiel S.E., Naito C.J. Uniform Pushdown Approach for Quantifying Building-Frame Robustness and the Consequence of Disproportionate Collapse // Journal of Performance of Constructed Facilities. 2016. Vol. 30, № 6.

19. Колчунов В.И., Ключева Н.В., Андросова Н.Б., Бухтиярова А.С. Живучесть зданий и сооружений при проектных воздействиях. М.: Издательство АСВ, 2014. 208 p.
20. Fedorova N., Vu N.T. Deformation criteria for reinforced concrete frames under accidental actions // Magazine of Civil Engineering. 2022. Vol. 109, № 1.

REFERENCES

1. Tamrazian A.G. Methodology for the Analysis and Assessment of the Reliability of the State and Prediction the Service Life of Reinforced Concrete Structures. *Reinforced concrete structures*. 2023;1(1):5-18. (In Russ.).
2. Tamrazyan A.G. Conceptual Approaches to Robustness Assessment of Building Structures, Buildings and Facilities. *Reinforced concrete structures*. 2023;3(3):62-74. (In Russ.) <https://doi.org/10.22227/2949-1622.2023.3.62-74>
3. Tamrazyan A.G., Matseevich T.A., Savin S.Yu. Assessment of the technical condition of load-bearing structures of buildings based on accident risk forecasting. *Building and Reconstruction*. 2024. № 6. P. 82–91.
4. FIB Model Code 2010. CEB and FIP, 2011.
5. Starossek U., Haberland M. Approaches to measures of structural robustness. *Structure and Infrastructure Engineering*. 2011. Vol. 7, № 7–8. P. 625–631.
6. Kolchunov V.I., Moskovtseva V.S. Robustness of reinforced concrete frames with elements experiencing bending with torsion. *Eng Struct*. 2024. Vol. 314. P. 118309.
7. Adam J.M., Parisi F., Sagaseta J., Lu X. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century. *Eng Struct*. Elsevier, 2018. Vol. 173, № March. P. 122–149.
8. Lim N.S., Tan K.H., Lee C.K. A simplified model for alternate load path assessment in RC structures. *Eng Struct*. 2018. Vol. 171. Pp. 696–711
9. Federal Emergency Management Agency FEMA 356 / November 2000 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings.
10. Kolchunov V.I., Iliushchenko T.A., Fedorova N.V., Savin S.Y., Tur V.V., Lizahub A.A. Structural robustness: an analytical review. *Building and Reconstruction*. 2024;(3):31-71. (In Russ.) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2024-113-3-31-71>
11. Almusallam T., Al-Salloum Y., Elsanadedy H., Tuan N., Mendis P., Abbas H. Development limitations of compressive arch and catenary actions in reinforced concrete special moment resisting frames under column-loss scenarios. *Structure and Infrastructure Engineering*. Taylor & Francis, 2020. Vol. 16, № 12. P. 1616–1634.
12. Kolchunov V.I., Savin S.Yu. Resistance of Reinforced Concrete Frames to Progressive Collapse at Catenary Action of Beams. *Reinforced concrete structures*. 2024. Vol. 6, № 2. P. 43–53.
13. Lu X., Lin K., Li C., Li Y. New analytical calculation models for compressive arch action in reinforced concrete structures. *Eng Struct*. 2018. Vol. 168. P. 721–735.
14. Szymszowski S. Dynamic energy-based method for progressive collapse analysis. Proceedings of the 2009 Structures Congress - Don't Mess with Structural Engineers: Expanding Our Role. 2009. P. 1259–1268.
15. Gemmerling A.V. Load-bearing capacity of steel bar structures. Moscow: Gosstroyizdat, 1958. 216 p.
16. Golyshev A.B., Kolchunov V.I. Resistance of reinforced concrete structures. Kiev: Osnova, 2009. 432 p.
17. Savin S.Yu., Kolchunov V.I. Robustness check of reinforced concrete frames at initial localized failure. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2024; (10): 50–64. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2024-790-10-50-64.
18. Fallon C.T., Quiel S.E., Naito C.J. Uniform Pushdown Approach for Quantifying Building-Frame Robustness and the Consequence of Disproportionate Collapse. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2016. Vol. 30, № 6.
19. Kolchunov V.I., Klyueva N.V., Androsova N.B., Bukhtiyarova A.S. Robustness of building and structures to undesigned actions. Moscow: Publishing ASV, 2014. 208 p.
20. Fedorova N., Vu N.T. Deformation criteria for reinforced concrete frames under accidental actions. *Magazine of Civil Engineering*. 2022. Vol. 109, № 1.

Информация об авторах:

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

Information about authors:

Savin Sergey Yu.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

Candidate of Tech. Sc., associate professor of the department of Reinforced Concrete and Masonry Structures

E-mail: savinsyu@mgsu.ru

Статья поступила в редакцию 17.07.2025

Одобрена после рецензирования 09.08.2025

Принята к публикации 12.08.2025

The article was submitted 17.07.2025

Approved after reviewing 09.08.2025

Accepted for publication 12.08.2025

А.А. ФЕДОРОВСКАЯ¹, Е.С. КАЛАЙЧЕВА¹, С.Г. ШЕИНА¹,

¹ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия

МЕТОДИКА ИНФОРМАЦИОННОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ БЕЗБАРЬЕРНОЙ СРЕДЫ В ГОСТИНИЧНОЙ НЕДВИЖИМОСТИ

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема обеспечения доступности объектов гостиничной недвижимости для маломобильных групп населения (далее - МГН). Авторами разработана комплексная методика информационного сопровождения безбарьерной среды, включающая семь последовательных этапов: от систематизации гостиничных объектов до формирования рейтинга их доступности и разработки рекомендаций по адаптации. Особое внимание уделяется вопросам: стандартизации процедуры оценки доступности гостиниц; созданию проекта с помощью геоинформационных систем (далее - ГИС) для визуализации данных; разработке объективной системы ранжирования объектов размещения. Разработанная методика позволяет определять проблемные места в обеспечении МГН доступностью объектов гостиничной недвижимости в крупном городе. Кроме того, результат реализации разработанной методики представляет рейтинг гостиниц по обеспечению МГН. В конце представленного исследования получены первые результаты обследования гостиниц города Ростов-на-Дону: структурированный перечень объектов (80 гостиниц) с базовыми характеристиками; диаграммы, построенные на анализе данных объектов, и электронная карта, сформированная с помощью, ГИС-технологий. Осознание значимости доступного обслуживания в объектах гостиничной недвижимости открывает новые горизонты для привлечения разнообразной аудитории в города, укрепление социально-экономического потенциала.

Ключевые слова: безбарьерная среда, гостиницы, инклюзивность, методология оценки, стандарты оценки, биосферосовместимый город, маломобильные группы населения, доступность гостиниц

A.A. FEDOROVSKAYA¹, E.S. KALAICHEVA¹, S.G. SHEINA¹

¹ Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

METHODOLOGY OF INFORMATION SUPPORT OF BARRIER-FREE ENVIRONMENT IN HOTEL REAL ESTATE

Abstract. The article deals with the urgent problem of ensuring accessibility of hotel real estate objects for low-mobility groups of population (further-MGP). The authors have developed a complex methodology of information support of barrier-free environment, including seven consecutive stages: from systematisation of hotel objects to formation of their accessibility rating and development of recommendations for adaptation. Special attention is paid to the following issues: standardisation of the procedure for assessing the accessibility of hotels; creation of a project using geographic information systems (further-GIS) for data visualisation; development of an objective system for ranking accommodation facilities. The developed methodology makes it possible to identify problem areas in providing MGN with accessibility of hotel real estate objects in a large city. In addition, the result of the implementation of the developed methodology is a rating of hotels on the provision of MGN. At the end of the presented research the first results of the survey of hotels in the city of Rostov-on-Don were obtained: a structured list of objects (80 hotels) with basic characteristics; diagrams based on the analysis of these objects, and an electronic map formed with the help of GIS-technologies. Realisation of the significance of accessible service in hotel real estate objects opens new horizons for attracting a diverse audience to the cities, strengthening the socio-economic potential.

Keywords: barrier-free environment, hotels, inclusiveness, assessment methodology, assessment standards, biosphere-compatible city, low mobility groups, accessibility of hotels

© Федоровская А.А., Калайчева Е.С., Шеина С.Г., 2025

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакаева Н.В., Гордон В.А., Черняева И.В. Методика оценки доступности зданий и сооружений маломобильным группам населения // Градостроительство и архитектура. 2024. Т. 14. №3. С. 157-166. doi: 10.17673/Vestnik.2024.03.20
2. Курганова К.И. Проблемы формирования доступной среды для инвалидов и маломобильных групп населения // Журнал правовых и экономических исследований. 2023. №1. С. 230-235.
3. Lacey A. Designing for Accessibility. London: RIBA, 2004. 70 p.
4. Singhal M. Barrier Free Built Environment for the Disabled // Journal of Indian Institute of Architects. 2005. V. 70. I. 10. P. 29-30.
5. Егорова И.Н., Солоп И.А., Чеботарева Е.А. Развитие системы транспортно-логистической инфраструктуры для маломобильных групп населения на примере железнодорожных вокзальных комплексов юга России // Логистика. 2025. №2(219). С. 28-34.
6. Шнурникова Е.П., Горзова С.П., Кононенко В.В. Реконструкция городской застройки с учетом доступности маломобильных групп населения на примере г. Краснодара // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. №7. С. 1069-1078. doi: 10.22227/1997-0935.2024.7.1069-1078
7. Пилипенко О.В., Колчунов В.И., Скобелева Е.А., Борисов М.В. Методика оценки доступности социально-значимых объектов экологически безопасного биосферно-совместимого города // Строительство и реконструкция. 2019. №4. С. 101-114. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2019-84-4-101-114>
8. Субботин О.С. Концептуальная модель оценки доступности объектов архитектурного наследия Кубани // Жилищное строительство. 2022. №8. С. 22-27. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-8-22-27>
9. Ovchinnikov Ya.A., Krivogina D.N. Development of a mechanism for comprehensive assessment of the infrastructure facility for compliance with the requirements of low-mobility groups of the population // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2023. No.3(45). P. 85-91. DOI: 10.52684/2312-3702-2023-45-3-85-91
10. Шагмуратова А.А., Ковин И.А. Методика оценки условий доступности маломобильных групп населения на территориях объектов здравоохранения: анализ вероятностного использования территории Тольяттинской городской клинической больницы №5 // Вестник евразийской науки. 2023. Т.15. №2.
11. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. Вопросы комфортности и безопасности городской среды и их решение в рамках законодательных и нормативных документов // Строительство и реконструкция. 2021. №2. С. 74-85. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-94-2-74-85>
12. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Гордон В.А., Бакаева Н.В. Количественная оценка принципов преобразования городов в биосферосовместимые // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году: сборник научных трудов РААСН. Том 1. Москва: Издательство АСВ, 2022. С. 197-206.
13. Солдаткина М.А., Шарипова Э.Р. Формирование доступной среды в гостиницах для лиц с ограниченными возможностями в Российской Федерации и за рубежом // Вестник ассоциации вузов туризма и сервиса. 2019. Т.13. №2. С. 159-164.
14. ISO/TC 228 «Tourism and related services» [Электронный ресурс]. URL: <https://committee.iso.org/home/tc228>
15. International Building Code 2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://codes.iccsafe.org/content/ibc2018>
16. BS8300-2009 + A1:2010 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.thenbs.com/PublicationIndex/documents/details?Pub=BSI&DocID=295005>
17. Bauordnung für Berlin 2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ak-berlin.de/fachkompetenzen/fachthemen/gesetze-normen-und-verordnungen/bauordnung-berlin.html>
18. UNWTO Recommendations on Accessible Tourism for All [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unwto.org/archive/global/publication/unwto-recommendations-accessible-tourism-all>
19. Офицера Н.А., Солнцева О.Г., Цунаева Ю. Формирование безбарьерной среды для развития доступного туризма: отечественный и зарубежный опыт // Вестник университета. 2018. №1. С. 90-95.
20. ГОСТ Р 55699-2013 Доступные средства размещения для туристов с ограниченными физическими возможностями. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2014.
21. СП 35-101-2001 Проектирование зданий и сооружений с учетом доступности для маломобильных групп населения. Общие положения. Введ. 16.06.2001.
22. СП 59.13330.2012 Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001. Введ. 01.01.2013.
23. ГОСТ 32613-2014 «Туристские услуги. Услуги туризма для людей с ограниченными физическими возможностями. Общие требования» [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115693>
24. Магомедова А.Г. Проблемы формирования доступной среды для инвалидов // Юридический вестник Дагестанского государственного университета. 2020. Т.36. №4. С. 117-122.

25. Радыгина Е.Г. Создание безбарьерной среды в средствах размещения для гостей с ограниченными возможностями // Концепт. 2014. №05 (май). ART 14120. URL: <http://e-koncept.ru/2014/14120.htm>
26. Ухина Т.В., Полякова О.Н. Безбарьерная среда в гостиничном бизнесе: проблемы и перспективы // Вестник ассоциации вузов туризма и сервиса. 2023. Т.17. №1. С. 225-235.
27. Mace R. Universal design: Barrier free environments for everyone // Designers West. 1985. Т.33. №1. С. 147-152.
28. Darcy S. Accessible tourism: Concepts and issues. Channel View Publications, 2011.
29. Павлюк Я.В., Алейников А.С. Особенности геоинформационного моделирования туристско-рекреационного потенциала (на примере Белгородской области) // Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса. 2019. Т.5. №2. С. 36-45. doi: 10.18413/2408-9338-2019-5-2-0-4
30. Chen Y. et al. Investigating the determinants of performance of artificial intelligence adoption in hospitality industry during COVID-19 // International Journal of Contemporary Hospitality Management. 2023. Т.35. №8. С. 2868-2889.
31. Hack-Polay D. et al. Barriers to the effective exploitation of migrants' social and cultural capital in hospitality and tourism: a Dual Labour Market Perspective // Journal of Hospitality and Tourism Management. 2022. Т.50. С. 168-177.
32. Власов Д.Н., Данилина Н.В. Концепции устойчивого развития территорий // Архитектура и строительство России. 2023. №2(246). С. 8-9. doi: 10.55394/02357259_2023_2_8
33. Zilberova I., Petrov K., Lamy K.H. Innovation Intelligent Control Systems in Construction // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol.1079. No.3. P. 032087. doi: 10.1088/1757-899x/1079/3/032087
34. Федоровская А.А., Петров К.С., Мазанов Н.В. [и др.] Организационно-управленческие решения по перспективному размещению объектов социальной инфраструктуры // Инженерный вестник Дона. 2024. №7(115). С. 392-400.
35. Tolochko O.R. Comfortable living environment as a priority for regional development // Real Estate: Economics, Management. 2024. No.4. P. 12-18.
36. Писарская С.Г., Мащенко Е.А. Особенности реконструкции номерного фонда городского исторического отеля класса люкс на примере отеля "Метрополь" в Москве // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т.20. №5. С. 78-91.

REFERENCES

1. Bakaeva N.V., Gordon V.A., Chernyaeva I.V. Methodology for assessing accessibility of buildings and structures for people with limited mobility. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura*. 2024. Vol. 14. No. 3. Pp. 157-166. DOI: 10.17673/Vestnik.2024.03.20 (rus)
2. Kurganova K.I. Problems of forming accessible environment for disabled and people with limited mobility. *Zhurnal pravovykh i ekonomicheskikh issledovaniy*. 2023. No. 1. Pp. 230-235. (rus)
3. Lacey A. Designing for Accessibility. London: RIBA, 2004. 70 p.
4. Singhal M. Barrier Free Built Environment for the Disabled. *Journal of Indian Institute of Architects*. 2005. Vol. 70. No. 10. Pp. 29-30.
5. Egorova I.N., Solop I.A., Chebotareva E.A. Development of transport and logistics infrastructure for people with limited mobility using the example of railway station complexes in southern Russia. *Logistika*. 2025. No. 2(219). Pp. 28-34. (rus)
6. Shnurnikova E.P., Gorzova S.P., Kononenko V.V. Urban development reconstruction considering accessibility for people with limited mobility: case study of Krasnodar. *Vestnik MGSU*. 2024. Vol. 19. No. 7. Pp. 1069-1078. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.7.1069-1078 (rus)
7. Pilipenko O.V., Kolchunov V.I., Skobeleva E.A., Borisov M.V. Methodology for assessing accessibility of socially significant facilities in environmentally safe biosphere-compatible cities. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2019. No. 4. Pp. 101-114. DOI: 10.33979/2073-7416-2019-84-4-101-114 (rus)
8. Subbotin O.S. Conceptual model for assessing accessibility of architectural heritage sites in Kuban region. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2022. No. 8. Pp. 22-27. DOI: 10.31659/0044-4472-2022-8-22-27 (rus)
9. Ovchinnikov Ya.A., Krivogina D.N. Development of a mechanism for comprehensive assessment of the infrastructure facility for compliance with the requirements of low-mobility groups of the population. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya*. 2023. No. 3(45). Pp. 85-91. DOI: 10.52684/2312-3702-2023-45-3-85-91 (rus)
10. Shagimuratova A.A., Kovin I.A. Methodology for assessing accessibility conditions for people with limited mobility in healthcare facilities: analysis of probable use of territory of Togliatti City Clinical Hospital No. 5. *Vestnik yevraziyskoy nauki*. 2023. Vol. 15. No. 2. (rus)
11. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V. Issues of urban environment comfort and safety and their solution in legislative and regulatory documents. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2021. No. 2. Pp. 74-85. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-94-2-74-85 (rus)

12. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Gordon V.A., Bakaeva N.V. Quantitative assessment of principles for transforming cities into biosphere-compatible ones. *Fundamental'nyye, poiskovyie i prikladnyye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noy otrasli Rossiyskoy Federatsii v 2021 godu*. Moscow: ASV Publ., 2022. Pp. 197-206. (rus)
13. Soldatkina M.A., Sharipova E.R. Formation of accessible environment in hotels for people with disabilities in Russia and abroad. *Vestnik assotsiatsii vuzov turizma i servisa*. 2019. Vol. 13. No. 2. Pp. 159-164. (rus)
14. ISO/TC 228 "Tourism and related services". Available at: <https://committee.iso.org/home/tc228> (accessed: 03.06.2024)
15. International Building Code 2018. Available at: <https://codes.iccsafe.org/content/ibc2018> (accessed: 03.06.2024)
16. *BS8300-2009 + A1:2010*. Available at: <https://www.thenbs.com/PublicationIndex/documents/details?Pub=BSI&DocID=295005> (accessed: 03.06.2024)
17. Bauordnung für Berlin 2016. Available at: <https://www.ak-berlin.de/fachkompetenzen/fachthemen/gesetze-normen-und-verordnungen/bauordnung-berlin.html> (accessed: 03.06.2024)
18. UNWTO Recommendations on Accessible Tourism for All. Available at: <https://www.unwto.org/archive/global/publication/unwto-recommendations-accessible-tourism-all> (accessed: 03.06.2024)
19. Ofitserova N.A., Solntseva O.G., Tsunayeva Yu. Formation of barrier-free environment for accessible tourism development: domestic and foreign experience. *Vestnik universiteta*. 2018. No. 1. Pp. 90-95. (rus)
20. Accessible accommodation facilities for tourists with limited physical abilities. General requirements. GOST R 55699-2013. Moscow: Standartinform, 2014. (rus)
21. Design of buildings and structures considering accessibility for people with limited mobility. General provisions. SP 35-101-2001. Introduced 16.06.2001. (rus)
22. *Accessibility of buildings and structures for people with limited mobility. Updated edition of SNiP 35-01-2001*. SP 59.13330.2012. Introduced 01.01.2013. (rus)
23. Tourist services. Tourism services for people with limited physical abilities. General requirements. GOST 32613-2014. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200115693> (accessed: 03.06.2024) (rus)
24. Magomedova A.G. Problems of forming accessible environment for disabled people. *Yuridicheskiy vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2020. Vol. 36. No. 4. Pp. 117-122. (rus)
25. Radygina E.G. Creating barrier-free environment in accommodation facilities for guests with disabilities. Kontsept. 2014. No. 05. ART 14120. Available at: <http://e-koncept.ru/2014/14120.htm> (accessed: 03.06.2024) (rus)
26. Ukhina T.V., Polyakova O.N. Barrier-free environment in hotel business: problems and prospects. *Vestnik assotsiatsii vuzov turizma i servisa*. 2023. Vol. 17. No. 1. Pp. 225-235. (rus)
27. Mace R. Universal design: Barrier free environments for everyone. Designers West. 1985. Vol. 33. No. 1. Pp. 147-152.
28. Darcy S. Accessible tourism: Concepts and issues. Channel View Publications, 2011.
29. Pavlyuk Ya.V., Aleynikov A.S. Features of geoinformation modeling of tourist and recreational potential (case study of Belgorod region). *Nauchnyy rezul'tat. Tekhnologii biznesa i servisa*. 2019. Vol. 5. No. 2. Pp. 36-45. DOI: 10.18413/2408-9338-2019-5-2-0-4 (rus)
30. Chen Y. et al. *Investigating the determinants of performance of artificial intelligence adoption in hospitality industry during COVID-19*. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*. 2023. Vol. 35. No. 8. Pp. 2868-2889.
31. Hack-Polay D. et al. Barriers to the effective exploitation of migrants' social and cultural capital in hospitality and tourism: a Dual Labour Market Perspective. *Journal of Hospitality and Tourism Management*. 2022. Vol. 50. Pp. 168-177.
32. Vlasov D.N., Danilina N.V. Concepts of sustainable development of territories. *Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii*. 2023. No. 2(246). Pp. 8-9. DOI: 10.55394/02357259_2023_2_8 (rus)
33. Zilberova I., Petrov K., Lamy K.H. Innovation Intelligent Control Systems in Construction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1079. No. 3. 032087. DOI: 10.1088/1757-899x/1079/3/032087
34. Fedorovskaya A.A., Petrov K.S., Mazanov N.V. et al. Organizational and managerial solutions for prospective placement of social infrastructure facilities. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2024. No. 7(115). Pp. 392-400. (rus)
35. Tolochko O.R. Comfortable living environment as a priority for regional development. *Real Estate: Economics, Management*. 2024. No. 4. Pp. 12-18.
36. Pisarskaya S.G., Mashchenko E.A. Features of reconstruction of room stock in urban historic luxury hotels: case study of "Metropol" hotel in Moscow. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2018. Vol. 20. No. 5. Pp. 78-91. (rus)

Информация об авторах

Федоровская Альбина Ахмедовна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия,
канд. техн. наук, доц., доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство»
E-mail: bina-87@mail.ru.

Калайчева Екатерина Сергеевна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия,
студент магистратуры кафедры «Городское строительство и хозяйство»
E-mail: daha.skos5555@gmail.com

Шейна Светлана Георгиевна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия,
д-р. техн. наук., проф., заведующая кафедрой «Городское строительство и хозяйство»
E-mail: rgsu-gsh@mail.ru.

Information about authors

Fedorovskaya Albina A.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Don State Technical University", Rostov-on-Don, Russia,
Ph.D. in Engineering, Assoc. Prof., Associate Professor of the Department of "Urban Construction and Economy"
E-mail: bina-87@mail.ru.

Kalajcheva Ekaterina S.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Don State Technical University", Rostov-on-Don, Russia,
Master's student of the Department of "Urban Construction and Economy"
E-mail: esskatena@mail.ru

Sheina Svetlana G.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Don State Technical University", Rostov-on-Don, Russia,
Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of "Urban Construction and Economy"
E-mail: rgsu-gsh@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 19.05.2025
Одобрена после рецензирования 21.07.2025
Принята к публикации 11.08.2025

The article was submitted 19.05.2025
Approved after reviewing 21.08.2025
Accepted for publication 11.08.2025

С.В. ФЕДОСОВ¹, И.С. ПУЛЯЕВ², О.В. АЛЕКСАНДРОВА^{1*}, А.Н. МИТЯГИНА²¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия²Московский политехнический университет, г. Москва, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕНОСА ПРИ БЕТОНИРОВАНИИ МАССИВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. Массивные железобетонные конструкции – фундаменты, стены, перекрытия, ригели, тела мостовых опор, плотины – подвержены значительным температурным деформациям из-за экзотермии бетона и внешнего теплового воздействия. Неравномерное распределение температур по массиву конструкции приводит к возникновению температурных напряжений, которые могут вызвать трещинообразование в бетоне и приводить к снижению долговечности конструкции. Теплофизическое моделирование позволяет с большой долей вероятности прогнозировать температурные поля возводимых конструкций и напряжения на этапе проектирования, оптимизируя технологии бетонирования (скорость оборачиваемости опалубки, термообработку, состав бетонной смеси и проч.). Методологическую основу исследования составляют: теория нестационарного нелинейного теплопереноса, подходы механики деформируемого твердого тела, позволяющие моделировать напряжённо-деформируемое состояние массивных конструкций с учетом сопряженных термических, фазовых и химических процессов. При твердении бетона происходит экзотермическая реакция гидратации компонентов цемента, сопровождающаяся выделением тепла. В массивных конструкциях из-за низкой теплопроводности бетона тепло аккумулируется, что приводит к: неравномерному прогреву; температурным деформациям (расширению при нагреве и сжатию при остывании); возникновению напряжений из-за ограниченной свободы деформирования. Моделирование процессов теплопереноса позволяет прогнозировать температурные поля и напряжения, оптимизировать технологии бетонирования и предотвращать разрушение конструкций. Современные вычислительные методы обеспечивают высокую точность расчетов, что особенно важно для ответственных сооружений (плотин, мостов, фундаментов АЭС).

Ключевые слова: железобетонные конструкции, процессы теплопереноса, технология бетонирования, напряженно-деформируемое состояние.

S.V. FEDOSOV¹, I.S. PULYAEV², O.V. ALEKSANDROVA^{1*}, A.N. MITYAGINA²¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia² Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

MODELING OF HEAT TRANSFER PROCESSES IN CONCRETING OF MASSIVE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Abstract. Massive reinforced concrete structures – foundations, walls, floors, crossbars, bridge support bodies, dams – are subject to significant temperature deformations due to concrete exothermy and external thermal effects. Uneven temperature distribution over the structure leads to the occurrence of temperature stresses, which can cause cracking in concrete and lead to a decrease in the durability of the structure. Thermophysical modeling makes it possible to predict with a high degree of probability the temperature fields of structures under construction and stresses at the design stage, optimizing concreting technologies (the rate of turnover of the formwork, heat treatment, the composition of the concrete mixture, etc.).

The methodological basis of the research consists of the theory of unsteady nonlinear heat and mass transfer, approaches of mechanics of deformable solids, which allow modeling the stress-strain state of massive structures, taking into account the associated thermal, phase and chemical processes. When concrete hardens, an exothermic reaction of cement hydration occurs, accompanied by the release of heat. In massive structures, due to the low thermal conductivity of concrete, heat accumulates, which leads to: uneven heating; temperature deformations (expansion during heating and compression during cooling); stress due to limited freedom of deformation. Modeling of heat transfer processes makes it possible to predict temperature fields and stresses, optimize concreting technologies, and prevent structural failure. Modern computational methods ensure high accuracy of calculations, which is especially important for critical structures (dams, bridges, foundations of nuclear power plants).

Keywords: reinforced concrete structures, heat and mass transfer processes, concreting technology, stress-strain state.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов Н.В., Антонов Е.А. Роль ползучести бетона в формировании термонапряжённого состояния монолитных железобетонных конструкций в процессе её возведения // Научные труды ОАО ЦНИИС «От гидравлического интегратора к современным компьютерам». 2005. №213. С. 89–117.
2. Евланов С.Ф. Технологические трещины на поверхности монолитных пролётных строений // Научные труды ОАО ЦНИИС «Проблемы нормирования и исследования потребительских свойств мостов». 2002. № 208. С. 27–36.
3. Васильев А.И., Вейцман С.Г. Современные тенденции и проблемы отечественного мостостроения // Научно-технический журнал «Вестник мостостроения». 2015. № 1. С. 2–17.
4. Соловьянчик А.Р., Шифрин С.А., Ильин А.А., Соколов С.Б. Выбор технологических параметров производства бетонных работ при возведении массивных ростверков и опор арочного пилона вантового моста через реку Москву // Научные труды ОАО ЦНИИС «Исследование транспортных сооружений». 2006. № 230. С. 24–30.
5. Gakhova, L.N. Температурные напряжения в массивах железобетонных конструкций // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2017. № 4(3). С. 48-53. <http://jfams.ru/index.php/JFAMS/article/view/116>
6. Пуляев И.С., Александрова О.В., Пуляев С.М., Курицын В.С. Обоснование размеров блоков бетонирования при возведении тоннельных сооружений и подпорных стен мостовых конструкций // Вестник ВСГУТУ. 2023. № 4 (91). С. 56-64.
7. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований.
8. СП 46.13330.2012 Мосты и трубы.
9. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции.
10. Соловьянчик А.Р., Коротин В.Н., Шифрин С.А., Вейцман С.Г. Опыт снижения трещинообразования в бетоне от температурных воздействий при сооружении Гагаринского тоннеля // Научно-технический журнал «Вестник мостостроения». 2002. №3–4. С. 53–59.
11. Величко В.П., Черный К.Д. Учет напряженно-деформированного состояния в сборно-монолитных опорах мостов на стадии их сооружения // Научно-технический журнал «Транспортное строительство». 2013. № 2. С. 11–13.
12. Баженов Ю.М. Технология бетона. М. : Изд-во АСВ. 2015. 528 с.
13. Лапидус А.А., Хубаев А.О., Бидов Т.Х., Топчий Д.В. Совершенствование процесса бетонирования монолитных конструкций в условиях арктической зоны // Промышленное и гражданское строительство. 2024. № 12. С. 9-16. DOI: 10.33622/0869-7019.2024.12.09-16
14. Пассек В.В., Соловьянчик А.Р. Методика исследований температурного режима балок пролётных строений мостов в процессе тепловлажностной обработки // Сборник научных трудов ЦНИИС «Температурный режим и вопросы повышения устойчивости и долговечности транспортных сооружений на БАМ». 1980. С. 97–103.
15. Соколов С.Б. Влияние колебаний температуры воздуха в тепляках на температуру твердеющего бетона при возведении монолитных плитно-ребристых пролётных строений в холодный период года // Научные труды ОАО ЦНИИС «От гидравлического интегратора к современным компьютерам». 2005. №213. С. 167–172.
16. Смирнов Н.В., Антонов Е.А. Роль ползучести бетона в формировании термонапряжённого состояния монолитных железобетонных конструкций в процессе её возведения // Научные труды ОАО ЦНИИС «От гидравлического интегратора к современным компьютерам». 2005. №213. С. 89–117.
17. Шифрин С.А., Ткачёв А.В. Тепловое взаимодействие твердеющего бетона и бетонного основания в условиях солнечной радиации // Сборник трудов ВНИИПИТеплопроект. 1985. С. 19-27.
18. Лукьянов В.С., Соловьянчик А.Р. Физические основы прогнозирования собственного термонапряжённого состояния бетонных и железобетонных конструкций // Сборник научных трудов ЦНИИС. 1972. №73. С. 36–42.

19. Величко В.П., Цимеринов А.И. Методика прогнозирования термонапряжённого состояния цилиндрических бетонных массивов // Сборник научных трудов ЦНИИС. 1972. №73. С. 117–129.
20. Гинзбург А.В. Обеспечение высокого качества и эффективности работ при возведении тоннелей из монолитного бетона // Научно-технический журнал «Вестник МГСУ». № 1. 2014. С. 98–110.
21. Nesvetaev, G.V., Koryanova, Yu.I., Yazyev, B.M. Autogenous shrinkage and early cracking of massive foundation slabs. *Maazine of Civil Engineering*. 2024. № 17(6). Article no. 13005. DOI: 10.34910/MCE.130.5
22. Несветаев Г.В., Корянова Ю.И., Шуть В.В. Учет влияния добавок на тепловыделение бетона с целью предотвращения раннего трещинообразования массивных монолитных конструкций // Вестник евразийской науки. - 2024. - Т.16. № 6. URL: <https://esj.today/PDF/50SAVN624.pdf>.
23. Пуляев И.С., Пуляев С.М. Учет температурного фактора твердеющего бетона при возведении объектов транспортной инфраструктуры // Вестник ВСГУТУ. 2020. № 4 (79). С. 92-100.
24. Пуляев И.С., Пуляев С.М. Учёт собственного термонапряженного состояния твердеющего бетона при обеспечении требуемых потребительских свойств конструкций крымского моста // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2018. Т. 15. № 5 (63). С. 742-759.
25. Травуш В.И., Никифоров С.В. Технология бетонирования массивных конструкций фундаментов зданий МФК «Лакта Центр» // Строительство и реконструкция. 2025. № 2. С. 44-55. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2025-118-2-44-55>
26. Елисеев В.В. Механика деформируемого твёрдого тела. С.-П(б), 2006, 231 с.
27. Fedosov S., Pulyaev I., Aleksandrova O., Cherednichenko N., Derbasova E., Lezhnina Yu. Thermophysical processes in hardening concrete as a factor for quality assurance of erected reinforced concrete structures of transport facilities. *Architecture and Engineering*. 2024. Vol. 9. № 4. Pp. 75-86.
28. Васильев А.И., Вейцман С.Г. Современные тенденции и проблемы отечественного мостостроения // Научно-технический журнал «Вестник мостостроения». 2015. № 1. С. 2–17.
29. Балочик Э.А., Черный К.Д. Повышение трещиностойкости опор мостов из монолитного бетона конструктивными методами // Сборник научных трудов ЦНИИС. 2010. № 257. С. 49–57.
30. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. М.: Госэнергоиздат. 1963, 536 с.
31. Федосов С.В., Баканов М.О., Федосеев В.Н. Методы теории теплопроводности в приложении к задачам моделирования процессов сушки и термической обработки твёрдых материалов. Москва - Вологда, «Инфра-Инженерия», 2024, 212 с.
32. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики. Изд. АН БССР, 1961, 525 с.

REFERENCES

1. Smirnov N.V., Antonov E.A. The role of concrete creep in the formation of the thermally stressed state of monolithic reinforced concrete structures during its construction [Rol polzuchesti betona v formirovanii termonapryazhennogo sostoyaniya monolitnykh zhelezobetonnykh konstruksiy v protsesse yе vozvedeniya]. *Scientific works of JSC TSNIIS "From hydraulic integrator to modern computers"*. 2005. No. 213. Pp. 89-117. (rus)
2. Evlanov S.F. Technological cracks on the surface of monolithic superstructures [Tekhnologicheskiye treshchiny na poverkhnosti monolitnykh proletnykh stroyeniy]. *Scientific papers of JSC TSNIIS "Problems of rationing and research of consumer properties of bridges"*. 2002. No. 208. Pp. 27-36. (rus)
3. Vasiliev A.I., Weizman S.G. Modern trends and problems of domestic bridge construction. *Scientific and technical journal [Sovremennyye tendentsii i problemy otechestvennogo mostostroyeniya]. Bulletin of Bridge Construction*". 2015.No. 1. Pp. 2–17. (rus)
4. Solovyanchik A.R., Shifrin S.A., Ilyin A.A., Sokolov S.B. Selection of technological parameters for the production of concrete work during the construction of massive grillages and supports of the arched pylon of a cable-stayed bridge across the Moscow River [Vybor tekhnologicheskikh parametrov proizvodstva betonnykh rabot pri vozvedenii massivnykh rostverkov i opor arochnogo pilona vantovogo mosta cherez reku Moskvu]. *Scientific works of JSC TsNIIS "Research of transport structures"*. 200. No. 230. Pp.24–30. (rus)
5. Gakhova, L.N. Temperature stresses in arrays of reinforced concrete structures [Температурные напряжения в массивах железобетонных конструкций]. *Fundamental and applied issues of mining sciences*. 2017. No. 4(3). Pp. 48-53. (rus). <http://jfams.ru/index.php/JFAMS/article/view/116>
6. Pulyaev I.S., Aleksandrova O.V., Pulyaev S.M., Kuritsyn V.S. Justification of the size of concreting blocks during the construction of tunnel structures and retaining walls of bridge structures [Obosnovaniye razmerov blokov betonirovaniya pri vozvedenii tonnelynykh sooruzheniy i podpornykh sten mostovykh konstruksiy]. *Bulletin of VSGUT*. 2023. No. 4 (91). Pp. 56-64. (rus)
7. GOST 27751-2014 Nadezhnost stroitelnykh konstruksiy in osnovaniy [GOST 27751-2014 Nadezhnost stroitelnykh konstruksiy i osnovaniy]. (rus)
8. SP 46.13330.2012 Mosty i truby [SP 46.13330.2012 Mosty i truby]. (rus).
9. SP 63.13330.2018 Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii. [SP 63.13330.2018 Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii]. (rus)
10. Solovyanchik A.R., Korotin V.N., Shifrin S.A., Weizman S.G. Experience in reducing cracking in concrete from temperature influences during the construction of the Gagarin tunnel [Opyt snizheniya treshchinoobrazovaniya v betone ot temperaturnykh vozdeystviy pri sooruzhenii Gagarinskogo tonnelya]. *Scientific and technical journal "Bulletin of Bridge Construction"*. 2002 No. 3(4). Pp. 53–59. (rus)

11. Velichko V.P., Cherny K.D. Accounting for the stress-strain state in prefabricated monolithic bridge supports at the stage of their construction [Uchet napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya v sborno-monolitnykh oporakh mostov na stadii ikh sooruzheniya]. *Scientific and technical journal "Transport Construction"*. 2013. No 2. Pp. 11–13. (rus)
12. Bazhenov Yu.M. Technology of concrete [Tekhnologiya betona]. Moscow : Publishing house of the DIA. 2015. 528 p. (rus)
13. Lapidus A.A., Hubaev A.O., Abidov T.Kh., Topchiy D.V. Improvement of the concreting process of monolithic structures in the Arctic zone [Sovershenstvovaniye protsessa betonirovaniya monolitnykh konstruktsey v usloviyakh arkticheskoy zony]. *Industrial and civil engineering*. 2024. No. 12. Pp. 9-16. DOI:10.33622/0869-7019.2024.12.09-16. (rus)
14. Passek V.V., Solovyanchik A.R. Methodology for studying the temperature regime of bridge span beams during heat and moisture treatment [Metodika issledovaniy temperaturnogo rezhima balok proletnykh stroyeniy mostov v protsesse teplovlazhnostnoy obrabotki]. *Collection of scientific papers of TSNIIS "Temperature regime and issues of increasing the stability and durability of transport structures at BAM"*. 1980. Pp. 97-103. (rus)
15. Sokolov S.B. The influence of air temperature fluctuations in greenhouses on the temperature of hardening concrete during the construction of monolithic slab-ribbed span structures in the cold season [Vliyaniye kolebaniy temperatury vozdukh na temperaturu tverdeyushchego betona pri vozvedenii monolitnykh plitno-rebristyykh proletnykh stroyeniy v kholodnyy period goda]. *Scientific works of OJSC TsNIIS "From hydraulic integrator to modern computers"*. 2002. No. 213. Pp.167–172. (rus)
16. Smirnov N.V., Antonov E.A. The role of concrete creep in the formation of the thermally stressed state of monolithic reinforced concrete structures during its construction [Rol polzuchesti betona v formirovanii termonapryazhennogo sostoyaniya monolitnykh zhelezobetonnykh konstruktsey v protsesse eye vozvedeniya]. *Scientific works of JSC TSNIIS "From hydraulic integrator to modern computers"*. 2005. No. 213. Pp. 89-117. (rus)
17. Shifrin S.A., Tkachev A.V. Thermal interaction of hardening concrete and concrete base in conditions of solar radiation [Rol polzuchesti betona v formirovanii termonapryazhennogo sostoyaniya monolitnykh zhelezobetonnykh konstruktsey v protsesse eye vozvedeniya]. *Proceedings of VNIPI Tploproekt*. 1985. Pp. 19-27. (rus)
18. Lukyanov V.S., Solovyanchik A.R. Physical basis for predicting the own thermally stressed state of concrete and reinforced concrete structures [Fizicheskiye osnovy prognozirovaniya sobstvennogo termonapryazhennogo sostoyaniya betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsey]. *Collection of scientific works of TsNIIS*. 1972. No. 73. Pp. 36–42. (rus)
19. Velichko V.P., Tsimerinov A.I. Methodology for predicting the thermally stressed state of cylindrical concrete massifs [Metodika prognozirovaniya termonapryazhennogo sostoyaniya tsilindricheskikh betonnykh massivov]. *Collection of scientific papers of TSNIIS*. 1972. No. 73. Pp. 117-129. (rus)
20. Ginzburg A.V. Ensuring high quality and efficiency of work during the construction of tunnels made of monolithic concrete. *Scientific and technical journal [Obespecheniye vysokogo kachestva i effektivnosti rabot pri vozvedenii tonney iz monolitnogo betona]. "Bulletin of MGSU"*. 2014. No. 1. Pp. 98–110. (rus)
21. Nesvetaev, G.V., Koryanova, Yu.I., Yazyev, B.M. Autogenous shrinkage and early cracking of massive foundation slabs. *Maazine of Civil Engineering*. 2024. № 17(6). Article No. 13005. DOI: 10.34910/MCE.130.5
22. Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I., Shut V.V. Taking into account the influence of additives on the heat dissipation of concrete in order to prevent early cracking of massive monolithic structures [Uchet vliyaniya dobavok na teplovydeleniye betona s tselyu predotvrashcheniya rannego reshchinoobrazovaniya massivnykh monolitnykh konstruktsey]. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024. Vol. 16. No. 6: 50SAVN624. (rus). Available at: <https://esj.today/PDF/50SAVN624.pdf>
23. Pulyaev I.S., Pulyaev S.M. Consideration of the temperature factor of hardening concrete during the construction of transport infrastructure facilities [Uchet temperaturnogo faktora tverdeyushchego betona pri vozvedenii obyektov transportnoy infrastruktury]. *Bulletin of VSGUT*. 2020. No. 4 (79). Pp. 92-100. (rus)
24. Pulyaev I.S., Pulyaev S.M. Accounting for the intrinsic thermally stressed state of hardening concrete while ensuring the required consumer properties of the Crimean bridge structures [Uchet sobstvennogo termonapryazhennogo sostoyaniya tverdeyushchego betona pri obespechenii trebuyemykh potrebitelskikh svoystv konstruktsey krymskogo mosta]. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University*. 2018. Vol. 15.No. 5 (63). Pp. 742-759. (rus)
25. Travush V.I., Nikiforov S.V. Technology of concreting massive structures of the foundations of the Lakhta Center multifunctional complex [Tekhnologiya betonirovaniya massivnykh konstruktsey fundamentov zdaniy MFK «Lakhta Tsentr»]. *Building and Reconstruction*. 2025. No. 2. Pp. 44-55. (rus.) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2025-118-2-44-55>
26. Eliseev V.V. Mechanics of a deformable solid [Mekhanika deformiruемого tvyordogo tela.]. S.-P(b), 2006, 231 p. (rus)
27. Fedosov S., Pulyaev I., Aleksandrova O., Cherednichenko N., Derbasova E., Lezhnina Yu. Thermophysical processes in hardening concrete as a factor for quality assurance of erected reinforced concrete structures of transport facilities. *Architecture and Engineering*. 2024. Vol. 9. No. 4. Pp. 75-86.
28. Vasiliev A.I., Veitsman S.G. Modern trends and problems of domestic bridge construction [Sovremennyye tendentsii i problemy otechestvennogo mostostroyeniya]. *Scientific and technical journal "Bulletin of Bridge Engineering"*. 2015. No. 1. Pp. 2-17. (rus)

29. Balyuchik E.A., Cherny K.D. Increasing the crack resistance of monolithic concrete bridge supports by constructive methods [Povysheniye treshchinostoykosti opor mostov iz monolitnogo betona konstruktivnymi metodami]. *Collection of scientific papers of TSNIIS*. 2010. No. 257. Pp. 49-57. (rus)
30. Lykov A.V., Mikhailov Yu.A. Theory of heat and mass transfer [Teoriya teplo- i massoperenosa]. Moscow: Gosenergoizdat. 1963, 536 p. (rus)
31. Fedosov S.V., Bakanov M.O., Fedoseev V.N. Methods of the theory of thermal conductivity in application to the problems of modeling the processes of drying and heat treatment of solid materials [Metody teorii teploprovodnosti v prilozhenii k zadacham modelirovaniya protsessov sushki i termicheskoy obrabotki tverdykh materialov]. Moscow - Vologda, Infra-Engineering, 2024, 212 p. (rus)
32. Lykov A.V. Theoretical foundations of building thermophysics [Teoreticheskiye osnovy stroitelnoy teplofiziki]. Publishing House of the Academy of Sciences of the BSSR, 1961, 525 p. (rus)

Информация об авторах

Федосов Сергей Викторович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия,
академик РААСН, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры «Технологии и организация строительного производства»,
E-mail: fedosov-academic53@mail.ru

Пуляев Иван Сергеевич

ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия,
канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой «Промышленное, гражданское и подземное строительство»,
E-mail: ivanes50@mail.ru

Александрова Ольга Владимировна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия,
канд. техн. наук, доц., доц. кафедры «Технологии и организация строительного производства»,
E-mail: aleks_olvl@mail.ru

Митягина Анастасия Николаевна

ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия,
аспирант кафедры «Промышленное, гражданское и подземное строительство»,
E-mail: raschetiv@gmail.com

Information about authors

Fedosov Sergey V.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Moscow State University of Civil Engineering", Moscow, Russia,
Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), doctor in tech. sc., prof.,
prof. of the dep. of Technology and Organization of Construction Production,
E-mail: fedosov-academic53@mail.ru

Pulyaev Ivan S.

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia,
candidate in tech. sc., docent, Head of the dep. of Industrial, Civil and Underground Construction,
E-mail: ivanes50@mail.ru

Aleksandrova Olga V.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Moscow State University of Civil Engineering", Moscow, Russia,
candidate in tech. sc., docent, Associate Prof. of the dep. of Technology and Organization of Construction Production,
E-mail: aleks_olvl@mail.ru

Mityagina Anastasia N.

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia,
postgraduate student of the dep. of Industrial, Civil and Underground Construction,
E-mail: raschetiv@gmail.com

Статья поступила в редакцию 30.05.2025
Одобрена после рецензирования 23.07.2025
Принята к публикации 13.08.2025

The article was submitted 30.05.2025
Approved after reviewing 23.07.2025
Accepted for publication 13.08.2025

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. Орёл, 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. Орёл, ул. Московская, 77.
+79065704999
<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>
E-mail: str_and_rek@mail.ru

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

Технический редактор М.А. Амелина
Компьютерная верстка М.А. Амелина

Подписано в печать 22.08.2025 г.
Дата выхода в свет 25.09.2025 г.
Формат 70×108/16. Печ. л. 12,4
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ № 207

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