

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

ISSN 2073-7416

BUILDING AND RECONSTRUCTION

№1 (111) 2024

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 development

Строительные материалы
и технологии

Building materials
and technology



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)*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Исполнительный редактор:

Юрова О.В., *(Россия)*

Адрес редакции:

302030, Орловская обл., г. Орёл,

ул. Московская, д. 77.

Тел.: +79065704999

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

E-mail: str_and_rek@mail.ru

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

Подписной индекс **86294**
по объединенному каталогу «Пресса России»
на сайтах www.ppressa-ru.ru и www.akc.ru

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2024

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Гиясов А.И., Мирзоев С.М. Модель тепло-ветрового режима наружных стен зданий с жалюзийным солнцезащитным устройством.....	3
Колчунов В.И. Проблема раскрытия трещин в железобетоне.....	14
Коробко А.В., Прокуров М.Ю. Аппроксимация прогибов пластинок, лежащих на винклеровом основании.....	30
Коршаков А.В., Лисятников М.С., Лукин М.В., Рощина С.И. Прочность и деформативность деревянных конструкций, армированных отработанными полотнами ленточных пил.....	38
Травуш В.И., Арленинов П.Д., Десяткин М.А., Иващенко А.Н., Калмакова П.С., Каприелов С.С., Конин Д.В., Крылов А.С., Крылов С.Б., Чилин И.А., Шейнфельд А.В. Исследование ползучести сталежелезобетонных образцов.....	49

Безопасность зданий и сооружений

Левитский В.Е. Деформативные характеристики нагруженного бетона при нестационарном нагреве.....	64
Малюк В.В. Концепция модели морозного воздействия на бетон морских сооружений.....	78
Московцева В.С. Расчет параметра живучести железобетонных рам со сложноподпряженными элементами.....	88
Симаков О.А. Применение торкрет-бетона для усиления каменной кладки.....	99

Строительные материалы и технологии

Степина И.В., Содомон М., Крук А.А., Соловьева Е.С. Термодеструкция стеблей борщевика сосновского, модифицированных моноэтанолламин (N→V)-тригидроксидборатом....	109
Тилинин Ю.И. Предпосылки развития промышленных методов строительства в Санкт-Петербурге.....	117
Федоров В.С., Терехов И.А., Липатов А.М. Образование дефектов в железобетонных конструкциях при перевозке железнодорожным транспортом.....	129

BUILDING AND RECONSTRUCTION

Scientific and technical journal
The journal is published since 2003.
The journal is published 6 times a year.
№ 1 (111) 2024

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

Contents

Theory of engineering structures. Building units

Giyasov A.I., Mirzoev S.M. Model of heat-wind regime of building walls with lout sun protection device.....	3
Kolchunov V.I. The problem of crack opening in reinforced concrete.....	14
Korobko A.V., Prokurov M.Yu. Approximation of deflections of plates lying on winkler base.....	30
Korshakov A.V., Lisyatnikov M.S., Lukin M.V., Roshina S.I. Strength and deformability of wooden structures reinforced with waste band saw blades.....	38
Travush V.I., Arlenin P.D., Desyatkin M.A., Ivaschenko A.N., Kalmakova P.S., Kaprielov S.S., Konin D.V., Krylov A.S., Krylov S.B., Chilin I.A., Sheinfeld A.V. Creep behaviour of steel-reinforced concrete specimens.....	49

Building and structure safety

Levitsky V.E. Strain parameters of loaded concrete under transient heating conditions.....	64
Malyuk V.V. Concept of the model of frost impact on concrete of offshore structures.....	78
Moskovtseva V.S. Calculation of the survivability parameter of reinforced concrete frames with complex stressed elements.....	88
Simakov O.I.A. The use of shotcrete to strengthen masonry.....	99

Construction materials and technologies

Stepina I.V., Sodomon M., Kruk A.A., Solovyeva E.S. Thermal degradation of stems of borschtia sosnovskii modified with monoethanolamine (N→B)- trihydroxyborate.....	109
Tilin Yu.I. Prerequisites for the development of industrial construction methods in St. Petersburg.....	117
Fedorov V.S., Terekhov I.A., Lipatov A.M. Formation of defects in reinforced concrete structures during transportation by rail.....	129

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.L., doc. sc. tech., prof. (Russia)

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

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Managing Editor:

Yurova O.V. (Russia)

The edition address:

302030, Oryol region, Oryol,

Moskovskaya Street, 77

+79065704999

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

E-mail: str_and_rek@mail.ru

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

The certificate of registration:

ПН №Фс 77-67169 from 16.09.2016 г.

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

© Orel State University, 2024

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

А.И. ГИЯСОВ¹, С.М. МИРЗОЕВ¹

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

МОДЕЛЬ ТЕПЛО-ВЕТРОВОГО РЕЖИМА НАРУЖНЫХ СТЕН ЗДАНИЙ С ЖАЛЮЗИЙНЫМ СОЛНЦЕЗАЩИТНЫМ УСТРОЙСТВОМ

Аннотация. В статье рассматривается энергетическая эффективность стен с жалюзиным солнцезащитным устройством. Отмечено, что эффективным средством защиты от солнечной радиации в летний период, являются жалюзиные фасадные системы с вентилируемой прослойкой. В результате проведенных экспериментальных исследований на моделях зданий отмечен ряд существенных теплофизических закономерностей, определяющих тепло-ветровые процессы в пристенном слое фасадных систем, которые с полным основанием можно применить в реальном проектировании, строительстве и эксплуатации объектов. Созданы предпосылки и условия для разработки универсальной методики оценки тепло-ветровых процессов, определяющихся геометрическим и физическим подобием при моделировании процессов пристенной воздушной среды в решении архитектурно-конструктивных задач, разнообразных по составу. Установлено, что эффективность проветривания пристенного слоя воздуха и первого незащищаемого колонного этажа достигается при применении фасадных жалюзиных солнцезащитных устройств с углом наклона их ламелей $45^\circ - 60^\circ$ к плоскости фасада при их инсоляции. Выявлена энергетическая эффективность стен зданий путем применения солнцезащитных жалюзиных устройств. Определены предпосылки для архитектурно-строительного проектирования наружных стен с жалюзиными солнцезащитными устройствами способствующие формировать конвективные потоки в пристенном слое воздуха которые в последствие могут использоваться для обогрева помещений, а также для извлечения отработанного воздуха из помещений путем определения месторасположения естественных приточно-вытяжных отверстий и режима эксплуатации оконных створок, фрамуг, форточек.

Ключевые слова: здание, фасадные системы, жалюзи, вентиляция, конвекция, пристенный слой, моделирование, тепло-ветровой режим, энергоэффективность.

A.I. GIYASOV¹, S.M. MIRZOEV¹

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia

MODEL OF HEAT-WIND REGIME OF BUILDING WALLS WITH LOUVER SUN PROTECTION DEVICE

Abstract. The article discusses the energy efficiency of walls with louvered sun shading devices. It has been noted that louvered façade systems with a ventilated layer are an effective means of protection from solar radiation in summer. As a result of the experimental studies carried out on building models, a number of significant thermophysical regularities were noted that determine heat and wind processes in the near-wall layer of facade systems, which can rightfully be applied in the actual design, construction and operation of objects. Prerequisites and conditions have been created for the development of a universal methodology for assessing heat and wind processes, determined by geometric and physical similarity when modeling processes in the near-wall air environment in solving architectural and structural problems of various compositions. It has been established that the effectiveness of ventilation of the wall layer of air and the first unbuild column floor is achieved by using façade louvered sun-protection devices with an angle of inclination of their lamellas of $45^\circ - 60^\circ$ to the plane of the facade during their insolation. The energy efficiency of building walls was revealed through the use of sun-protection louver devices. Prerequisites for the architectural and construction

design of external walls with lowered sun-protection devices have been determined that contribute to the formation of convective flows in the wall layer of air, which can subsequently be used for heating premises, as well as for extracting exhaust air from premises by determining the location of natural supply and exhaust openings and the operating mode of windows sashes, transoms, vents.

Keywords: *building, facade systems, blinds, ventilation, convection, wall layer, modeling, heat and wind regime, energy efficiency.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спиридонов А.В., Шубин И.Л., Римшин В. И. Семин С.А. Солнцезащитные устройства: европейская и российская практика нормирования // АВОК. 2014. № 5. С. 44-52.
2. Оболенский Н.В. Архитектура и солнце. М.: Стройиздат, 1988. 207 с.
3. Куприянов В.Н. К расчету величины солнечного фактора солнцезащитных устройств // Жилищное строительство. 2021. № 11. С.40-45.
4. Дворецкий А.Т., Спиридонов А.В., Шубин И.Л., Клевец К.Н. Учёт климатических особенностей при проектировании солнцезащитных устройств // Светотехника. 2018. № 2. С. 52-55.
5. Стецкий, С.В., Дорожкина Е.А. Повышение качества световой, акустической и инсоляционной среды в помещениях гражданских зданий с применением стационарных солнцезащитных устройств // Инновации и инвестиции. 2021. № 4. С. 193 - 196.
6. Махмудов Р.М., Холмуродова З.И., Алмамедова А.Т., Бабаназаров С.Ш. Солнцезащитные устройства, применяемые в условиях Средней Азии. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета // Строительство и архитектура. 2022. № 3 (88). С. 148-155.
7. Клевец К.Н., Гневко Ю.Д. Эффективность солнцезащитных устройств // Экономика строительства и природопользования. 2020. № 2 (75). С. 108-115.
8. Диденко С.И., Усиков С.М. Энергосбережение при применении кинетических солнцезащитных устройств // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2020. № 3 (62). С. 92-97.
9. Karaseva L.V. Sun protection of buildings: stages and perspectives of development. Materials Science Forum. 2018. Т. 931. С. 759-764.
10. Kuhn T.E., Buhler C., Platzer W.J. Evaluation of overheating protection with sun-shading systems // Solar Energy. 2001. Т. 69. № 56. С. 59-74.
11. Apeh S.O. Modern architecture of african countries. Era of Science. 2018. № 16. С. 238-240.
12. Ahmed M.G., Gawad M.A. Architecture sustainability and energy efficiency // International Journal of Energy Production and Management. 2022. Т. 7. № 3. с. 257-264.
13. Blázquez T., Suárez R., Sendra Ju.J. Protocol for assessing energy performance to improve comfort conditions in social housing in a spanish southern city // International Journal of Energy Production and Management. 2017. Vol. 2. Issue 2. Pp. 140-152.
14. Cheng Y., Nin J., Gao N. Thermal comfort models: A review and numerical investigation // Building and Environment. 2012. Vol. 47. Issue 1. Pp. 13-22. doi:10.1016/j.buildenv.2011.05.01
15. Masyonene A.R., Masyonis A.I. Use of solar-protective structures in transparent facades of the big area for passive compensation heat loss to maintain a comfortable microclimate of premises // International Research Journal. 2019. № 8-2 (86). Pp. 83-85.
16. Береговой А.М., Береговой В.А., Гречишкин А.В., Воскресенский А.В. Ограждающие конструкции с регулируемыми параметрами теплопереноса // Региональная архитектура и строительство. 2018. № 1 (36). С. 97-101.
17. Босенко Т.М. Моделирование неравновесных процессов теплопроводности при тепловых воздействиях на поверхность многослойных материалов // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. 2018. № 4. С. 104-109.
18. Использование данных солнечной радиации в народном хозяйстве. Труды международного симпозиума по практическому использованию актинометрической информации // под ред. Т.Г Берлянд. Л., Гидрометеоздат 1979. 145 с.
19. Мансуров Р.Ш., Федорова Н.Н., Ефимов Д.И., Косова Е.Ю. Математическое моделирование теплотехнических характеристик наружных ограждений с воздушными прослойками // Инженерно-физический журнал. 2018. Т. 91. № 5. С. 1287-1293.
20. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия 1977. 344 с.
21. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. М.: Стройиздат, 1982. 115 с.
22. Эльтерман В.М. Вентиляция химических производств // В.М. Эльтерман. М.: Книга по требованию, 2021. 284 с.

23. Гиясов А.И. Мирзоев С.М., Карум Абдурахман Моделирование тепло-ветровых процессов пристенного слоя ограждающих конструкций зданий при инсоляции // Вестник МГСУ. 2022. Т.17. Вып. 3 С. 285-297. doi:10.22227/1997-0935.2022.3.285-297.

24. Гиясов А. Исследование тепловетровых процессов на модели жилой застройки городов с жарко-штилевым климатом // Известия высших учебных заведений. 1989. № 6. С. 43-46.

REFERENCES

1. Spiridonov A.V., Shubin I.L., Rimshin V. I. Semin S.A. Sun protection devices: European and Russian rationing practice. *AVOC*. 2014. No. 5. Pp. 44-52.
2. Obolensky N.V. Architecture and the sun. M.: Stroyizdat, 1988. 207 p.
3. Kupriyanov V.N. On the calculation of the magnitude of the solar factor of sun protection devices. *Housing construction*. 2021. No. 11. Pp. 40-45.
4. Dvoretzky A.T., Spiridonov A.V., Shubin I.L., Klevets K.N. Consideration of climatic features in the design of sun protection devices. *Lighting equipment*. 2018. No. 2. Pp. 52-55.
5. Stetsky, S.V., Dorozhkina E.A. Improving the quality of the light, acoustic and insolation environment in the premises of civil buildings with the use of stationary sun protection devices. *Innovation and investment*. 2021. No. 4. Pp. 193-196.
6. Makhmudov R.M., Kholmurodova Z.I., Almamedova A.T., Babanazarov S.S. Sun protection devices used in Central Asia. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: *Construction and Architecture*. 2022. No. 3 (88). Pp. 148-155.
7. Klevets K.N., Gnevko Yu.D. Effectiveness of sun protection devices. *Economics of construction and environmental management*. 2020. No. 2 (75). Pp. 108-115.
8. Didenko S.I., Usikov S.M. Energy saving when using kinetic sun protection devices. Bulletin of the Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI). 2020. No. 3 (62). Pp. 92-97.
9. Karaseva L.V. Sun protection of buildings: stages and perspectives of development. *Materials Science Forum*. 2018. T. 931. Pp. 759-764.
10. Kuhn T.E., Buhler C., Platzer W.J. Evaluation of overheating protection with sun-shading systems. *Solar Energy*. 2001. T. 69. No. 56. Pp. 59-74.
11. Apeh S.O. Modern architecture of african countries. Era of Science. 2018. No. 16. Pp. 238-240.
12. Ahmed M.G., Gawad M.A. Architecture sustainability and energy efficiency. *International Journal of Energy Production and Management*. 2022. T. 7. No. 3. Pp. 257-264.
13. Blázquez T., Suárez R., Sendra Ju.J. Protocol for assessing energy performance to improve comfort conditions in social housing in a spanish southern city. *International Journal of Energy Production and Management*. 2017. Vol. 2. Issue 2. Pp. 140-152.
14. Cheng Y., Nin J., Gao N. Thermal comfort models: A review and numerical investigation. *Building and Environment*. 2012. Vol. 47. Issue 1. Pp. 13-22. doi:10.1016/j.buildenv.2011.05.01
15. Masyonene A.R., Masyonis A.I. Use of solar-protective structures in transparent facades of the big area for passive compensation heat loss to maintain a comfortable microclimate of premises. *International Research Journal*. 2019. No. 8-2 (86). C. 83-85.
16. Beregovoy A.M., Beregovoy V.A., Grechishkin A.V., Voskresensky A.V. Enclosing structures with adjustable parameters of heat and mass transfer. *Regional architecture and construction*. 2018. No. 1 (36). Pp. 97-101.
17. Bosenko T.M. Modeling of nonequilibrium processes of thermal conductivity under thermal effects on the surface of multilayer materials. *Space, time and fundamental interactions*. 2018. No. 4. Pp. 104-109.
18. The use of solar radiation data in the national economy. Proceedings of the International Symposium on the practical use of actinometric information // edited by T.G. Berlyand. L., Hydrometeoizdat 1979. 145 p.
19. Mansurov R.Sh., Fedorova N.N., Efimov D.I., Kosova E.Yu. Mathematical modeling of thermal characteristics of external fences with air layers. *Engineering and Physics journal*. 2018. Vol. 91. No. 5. Pp. 1287-1293.
20. Mikheev M.A., Mikheeva I.M. Fundamentals of heat transfer. M.: Energy 1977. 344 p.
21. Bogoslovsky V.N. Construction thermophysics. M.: Stroyizdat, 1982. 115 p.
22. Elterman V.M. Ventilation of chemical industries / V.M. Elterman – M.: Book on demand, 2021. 284 p.
23. Giyasov A.I. Mirzoev S.M., Karum Abdulrahman Modeling of heat-wind processes of the wall layer of enclosing structures of buildings during insolation. *Bulletin of MGSU*. 2022. Vol.17. Issue 3 Pp. 285-297. doi:10.22227/1997-0935.2022.3.285-297.
24. Giyasov A. Investigation of thermal wind processes on the model of residential development of cities with a hot-calm climate. *Proceedings of Higher educational institutions*. 1989. No. 6. Pp. 43-46.

Информация об авторах:

Гиясов Адхам Иминжанович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
доктор технических наук, профессор кафедры Архитектурно-строительного проектирования и физики среды.
E-mail: adham52@mail.ru

Мирзоев Саидмухаммад Мирзорахимович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
аспирант кафедры Архитектурно-строительного проектирования и физики среды.
E-mail: teray_03@mail.ru

Information about authors:

Giyasov Adham Im.

National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia,
doctor of technical sciences, professor of the department of Architectural and Construction Design and Environmental Physics.
E-mail: adham52@mail.ru

Mirzoev Saidmuhammad M.

National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia,
post-graduate student of the department of Architectural and Construction Design and Physics of the Environment.
E-mail: teray_03@mail.ru

В.И. КОЛЧУНОВ^{1,2}

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

²Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия

ПРОБЛЕМА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОНЕ

Аннотация. В статье рассмотрены различные аспекты проблемы оценки раскрытия трещин в железобетоне, опираясь на экспериментальные данные, полученные в исследованиях последних лет. Автором предложена классификация типов трещин, введен ряд новых гипотез, установленных экспериментально эффектов деформирования железобетона в зоне трещин. Сформулированные на этой основе принципы включают схемы распределения силовых потоков между трещинами, понятие о прогрессирующих магистральных трещинах и деформационном эффекте в железобетоне - специальном двухконсольном элементе в местной области около берегов трещины, новые обобщенные гипотезы, теоремы и функционалы о линейных и угловых деформациях сжатой и растянутой зон сечений железобетонных элементов на всех уровнях упруго-пластического деформирования. Предложенная модель составных стержней в виде единичных полосок для определения жесткости участка железобетона с пересекающимися трещинами позволила на порядок сократить дифференциальные уравнения теории составных стержней. Установлена связь и приведены аналитические зависимости для перемещений в трещине с раскрытием и сдвигом ее берегов, определен главный вектор перемещений и угол равнодействующей усилий в арматуре, пересекающей трещину. Построены расчетные зависимости для определения уровневых расстояний между трещинами и ширины раскрытия трещин. В рамках общей методологии рассматриваемой проблемы раскрытия трещин в железобетоне с использованием сформулированных принципов построена общая комбинированная численно – аналитическая модель строительной механики железобетона (МРМС), учитывающая деформационный эффект в трещине, моделируемый двухконсольным элементом (ДКЭ), типы трещин, пространственную поверхность распределения деформаций в сечении с трещиной и другие установленные экспериментально особенности механики железобетона.

Ключевые слова: эффект железобетона, гипотезы, расчетные модели, деформационный эффект, ширина раскрытия трещин, двухконсольный элемент, численно-аналитический метод.

VL.I. KOLCHUNOV¹

¹Moscow State University of Civil Engineering (NIU MGSU), Moscow, Russia

²Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia

THE PROBLEM OF CRACK OPENING IN REINFORCED CONCRETE

Abstract. The article discusses various aspects of the problem of assessing crack opening in reinforced concrete based on experimental data obtained in recent studies. The author proposed a classification of crack types, introduced a number of new hypotheses, established experimentally the effects of deformation of reinforced concrete in the crack zone. The principles formulated on their basis include schemes for the distribution of force flows between cracks, the concept of progressing main cracks and the deformation effect in reinforced concrete - a special two-console element in the local region near the crack banks, new generalized hypotheses, theorems and functionals about linear and angular deformations of the compressed and tensile zones of reinforced concrete element sections at all levels of elastic-plastic deformation. The proposed model of composite rods in the form of single strips for determining the stiffness of a section of reinforced concrete with intersecting cracks has made it possible to reduce the differential equations of the theory of composite rods by an order of magnitude

when solving such problems. The connection is established and analytical dependences for displacements in the crack with opening and shear of the crack banks are given. The main vector of displacements and the angle of equidirectional forces in the reinforcement crossing the crack are determined. Calculated dependences for determining the level distances between cracks and crack opening widths are constructed. Within the framework of the general methodology of the considered problem of crack opening in reinforced concrete, using the formulated principles, a general combined numerical-analytical model of the structural mechanics of reinforced concrete is constructed, which takes into account the deformation effect in the crack modeled by a double cantilever element, the types of cracks, the spatial surface of strain distribution in the cross section with the crack and other experimentally determined features of the mechanics of reinforced concrete, cracks types, spatial surface of strain distribution in the cross-section with a crack and other experimentally determined features of reinforced concrete mechanics.

Keywords: reinforced concrete effect, hypotheses, computational models, deformation effect, crack opening width, two-concole element, numerical-analytical method.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gintaris Kaklauskas, Aleksandr Sokolov, Karolis Sakalauskas Strain compliance crack model for RC beams: primary versus secondary cracks // *Engineering Structures*, 281 (2023) 115770
2. Justas Slaitas, Juozas Valivonis Full moment-deflection response and bond stiffness reduction of RC elements strengthened with prestressed FRP materials // *Composite Structures*, Volume 260, 2021, 113265, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.113265>
3. Qian Feng, Peng Wei, Xingxi Liu, Guannan Wang, Rongqiao Xu Short-term load-deflection behavior of corroded RC beams with confinement effect based on the partial-interaction segmental approach // *Engineering Structures* 220 (2020) 111014.
4. Justas Slaitas, Juozas Valivonis. Concrete cracking and deflection analysis of RC beams strengthened with prestressed FRP reinforcements under external load action. <https://doi.org/1016/j.compstruct.2020.113036>.
5. Adheena Thomas, Afia S Hameed. An Experimental Study On Combined Flexural And Torsional Behaviour Of RC Beams // *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2017. Vol. 4. Is. 5. Pp. 1367–1370. <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.19425.51045>.
6. Nahvi H., Jabbari M. Crack detection in beams using experimental modal data and finite element model // *International Journal of Mechanical Sciences*. 2005. Vol. 47. Pp. 1477-1497.
7. Kandekar S.B., Talikoti R.S. Study of torsional behavior of reinforced concrete beams strengthened with aramid fiber strips // *International Journal of Advanced Structural Engineering*. 2018. Vol. 10. Pp. 465–474. <http://doi.org/10.1007/s40091-018-0208-y>.
8. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 412 с.
9. Баширов Х.З., Колчунов Вл.И., Федоров В.С., Яковенко И.А. Железобетонные составные конструкции зданий и сооружений. М.: Издательство АСВ, 2017. 248 с.
10. Колчунов Вл.И., Федоров В.С. Понятийная иерархия моделей в теории сопротивления строительных конструкций // *Промышленное и гражданское строительство*. 2020. № 8. С. 16–23. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.08.16-23>.
11. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов Вл.И., Каприелов С.С., Демьянов А.И., Конорев А.В. Результаты экспериментальных исследований конструкций квадратного и коробчатого сечений из высокопрочного бетона при кручении с изгибом // *Строительство и реконструкция*. 2018. № 6(80). С. 32-43.
12. Колчунов В.И., Яковенко И.А., Тугай Т.В. Методика расчета жесткости плосконапряженных железобетонных конструкций с привлечением программного комплекса «Лира-Про» // *Сборник научных трудов (серия отраслевое машиностроение, строительство)*. Полтава: ПолтНТУ, 2014. Вып. 3(42). Т. 2. С. 55–66.
13. Колчунов Вл.И. Численно-аналитический метод в механике железобетона // *Строительная механика инженерных конструкций сооружений*. 2022. Т. 18(6). С. 525–533. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2022-18-6-525-533>.
14. Колчунов Вл.И. Метод расчетных моделей сопротивления для железобетона // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2023. Т.19. № 3. С. 261-275.
15. Гольшев А.Б., Колчунов Вл.И. Сопротивление железобетона. К.: Основа. 2009. 432 с.
16. Kalkan I., Kartal S. Torsional Rigidities of Reinforced Concrete Beams Subjected to Elastic Lateral Torsional Buckling // *International Journal of Civil and Environmental Engineering*. 2017. Vol. 11. No.7. Pp. 969–972.

17. Bernardo L. Modeling the Full Behavior of Reinforced Concrete Flanged Beams under Torsion // *Applied Sciences*. 2019. Vol. 9(13). Pp. 2750. <http://doi.org/10.3390/app9132730>.
18. Гвоздев А.А., Дмитриев С.А., Гуца Ю.П. и др. Новое в проектировании бетонных железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1978. 204 с.
19. Голышев А.Б., Колчунов Вл.И., Яковенко И.А. Сопротивление железобетонных конструкций, зданий и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях. К.: «Талком», 2015. 371 с.
20. Колчунов Вл.И. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций с крестообразной пространственной трещиной при кручении с изгибом / В. И. Колчунов, А. И. Демьянов, М. М. Михайлов // *Строительство и реконструкция*. 2020. № 6(92). С. 13–25.
21. Колчунов Вл.И. Обобщенные гипотезы депланации линейных и угловых деформаций в железобетонных конструкциях при изгибе с кручением // *Научный журнал строительства и архитектуры*. 2023. № 1 (69). С. 9-26.
22. Верюжский Ю.В., Колчунов Вл.И. Методы механики железобетона. Учебное пособие. К.: Книжное издательство НАУ, 2005. 653 с.
23. Бондаренко В.М., Колчунов Вл.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М.: АСВ, 2004. 472 с.

REFERENCE

1. Gintaris Kaklauskas, Aleksandr Sokolov, Karolis Sakalauskas Strain compliance crack model for RC beams: primary versus secondary cracks. *Engineering Structures*. 2023. 281. 115770
2. Justas Slaitas, Juozas Valivonis Full moment-deflection response and bond stiffness reduction of RC elements strengthened with prestressed FRP materials. *Composite Structures*. 2021. Volume 260. 113265, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.113265>
3. Qian Feng, Peng Wei, Xingxi Liu, Guannan Wang, Rongqiao Xu Short-term load–deflection behavior of corroded RC beams with confinement effect based on the partial-interaction segmental approach. *Engineering Structures*. 2020. 220. 111014.
4. Justas Slaitas, Juozas Valivonis. Concrete cracking and deflection analysis of RC beams strengthened with prestressed FRP reinforcements under external load action. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.113036>.
5. Adheena Thomas, Afia S Hameed. An Experimental Study On Combined Flexural And Torsional Behaviour Of RC Beams. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2017. Vol. 4. Is. 5. Pp. 1367–1370. <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.19425.51045>.
6. Nahvi H., Jabbari M. Crack detection in beams using experimental modal data and finite element model. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2005. Vol. 47. Pp. 1477-1497.
7. Kandekar S.B., Talikoti R.S. Study of torsional behavior of reinforced concrete beams strengthened with aramid fiber strips. *International Journal of Advanced Structural Engineering*. 2018. Vol. 10. Pp. 465–474. <http://doi.org/10.1007/s40091-018-0208-y>.
8. Karpenko N.I. Obshchiye modeli mekhaniki zhelezobetona [General models of reinforced concrete mechanics], Moscow: Stroyizdat, 1996, 412 p. (rus)
9. Bashirov H.Z., Kolchunov V.I., Fedorov V.S., Yakovenko I.A. Reinforced concrete composite structures of buildings and structures, - Moscow: ASV, 2017. 248 p.
10. Kolchunov V.I., Fedorov V.S. Conceptual hierarchy of models in the theory of resistance of building structure. *Industrial and civil engineering*. 2020. No. 8. Pp. 16–23. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.08.16-23>
11. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Kapriyelov S.S., Dem'yanov A.I., Konorev A.V. The results of experimental studies of structures square and box sections in torsion with bending. *Building and Reconstruction*. 2018. No. 80(16). Pp. 32–43. (rus)
12. Kolchunov V.I., Yakovenko I.A., Tugay T.V. [Methodology for calculating the rigidity of plane-stressed reinforced concrete structures using the Lyra-Pro software package], Coll. of science works (industry mechanical engineering, construction), Poltava, 2014. Vol. 2. No. 3(42). Pp. 55-66. ((rus), abstract in Eng.).
13. Kolchunov V.I. Numerical-analytical method in reinforced concrete mechanics. *Construction mechanics of engineering structures and structures*. 2022. Vol.18 (6). Pp. 525–533. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2022-18-6-525-533>
14. Kolchunov V. I. Method of calculated resistance models for reinforced concrete. *Construction mechanics of engineering structures and structures*. 2023. Vol.19. No. 3. Pp. 261-275.
15. Golyshov A.B., Kolchunov V.I. Reinforced concrete resistance. Kiev: Osнова. 2009. 432 p.

16. Kalkan I., Kartal S. Torsional Rigidities of Reinforced Concrete Beams Subjected to Elastic Lateral Torsional Buckling. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*. 2017. Vol. 11. No.7. Pp. 969–972.
17. Bernardo L. Modeling the Full Behavior of Reinforced Concrete Flanged Beams under Torsion. *Applied Sciences*. 2019. Vol. 9(13). Pp. 2750. <http://doi.org/10.3390/app9132730>.
18. Gvozdev A.A., Dmitriev S.A., Gushcha Yu.P., etc. New in the design of concrete reinforced concrete structures. Moscow: Stroyizdat, 1978. 204 p.
19. Golyshev A.B., Kolchunov V.I., Yakovenko I.A. Resistance of reinforced concrete structures, buildings and structures erected in difficult engineering and geological conditions. Kiev: Talcom, 2015. 371 p.
20. Kolchunov V.I. Demyanov A.I., Mihailov M.M. Experimental studies of reinforced concrete structures with gross-shaped apatial grack under torsion with bendlng. *Building and Reconstruction*. 2018. No. 80(16). Pp. 32–43. (rus) doi:10.33979/2073-7416-2020-92-6-13-25
21. Kolchunov V.I. Generalized hypotheses of the deplanation of linear and angular deformations in reinforced concrete structures during bending with torsion. *Journal of Building and Architechure*. 2023. No. 1 (69). Pp. 9-26.
22. Veruzhsky Yu.V., Kolchunov V.I. Methods of mechanics of reinforced concrete. Textbook. Kiev: NAU, 2005. 653 p.
23. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Calculation models of the force resistance of reinforced concrete. Moscow: ASV, 2004. 472 p.

Информация об авторе:

Колчунов Владимир Иванович

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

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

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия, ведущий научный сотрудник.

E-mail: vlik52@mail.ru

Information about author:

Kolchunov Vladimir Iv.

Moscow State University of Civil Engineering (NIU MGSU), Moscow, Russia,

Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of Engineering Graphics and Computer Modeling.

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

leading researcher.

E-mail: vlik52@mail.ru

А.В. КОРОБКО¹, М.Ю. ПРОКУРОВ²

¹ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел, Россия
²ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск, Россия

АППРОКСИМАЦИЯ ПРОГИБОВ ПЛАСТИНОК, ЛЕЖАЩИХ НА ВИНКЛЕРОВОМ ОСНОВАНИИ

***Аннотация.** Цель научного исследования состоит в развитии метода интерполяции по коэффициенту формы для расчёта максимального прогиба тонких пластинок на упругом винклеровом основании, нашедших широкое применение при моделировании работы элементов строительных конструкций зданий и сооружений. Указанный метод расчёта позволяет получать решения на основе прямых аналитических зависимостей, аргументом которых является интегральная характеристика плоской выпуклой односвязной области – коэффициент формы. Эта характеристика имеет применение в ряде задач математической физики и известна по работам учёных Г. Поля и Г. Сегё. Впервые к расчёту пластинок коэффициент формы применён профессором В.И. Коробко. Метод интерполяции по коэффициенту формы разработан профессором А.В. Коробко. При определении максимального прогиба тонких пластинок на упругом основании отдельные параметры задачи рассматриваются как функции от коэффициента формы рассматриваемой пластинки и определяются типом граничных условий на её контуре. Построению аппроксимирующих функций для непрерывных множеств пластинок характерных очертаний и граничных условий посвящено настоящее исследование. В статье приводятся функции для расчёта значения максимального прогиба упругих пластинок в виде равнобедренных треугольников, ромбов и прямоугольников. При этом рассматриваются пластинки с различными комбинациями шарнирного опирания и жёсткого защемления по их отдельным сторонам, нагруженные сплошной равномерно распределённой нагрузкой. Установленные функциональные зависимости предназначены для непосредственного использования при расчёте пластинок указанных очертаний, а также для получения опорных решений при интерполяции значений максимальных прогибов пластинок более сложных очертаний.*

***Ключевые слова:** упругие пластинки, винклеровское основание, максимальный прогиб, коэффициент формы, аппроксимирующая функция.*

A.V. KOROBKO¹, M.Yu. PROKUROV²

¹Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia
²Bryansk State Technological University of Engineering, Bryansk, Russia

APPROXIMATION OF DEFLECTIONS OF PLATES LYING ON WINKLER BASE

***Abstract.** The purpose of this research is to develop the method of shape factor interpolation for calculating the maximum deflection of thin plates on an elastic Winkler base, which are widely used in modeling the operation of elements of building constructions of buildings and structures. The above calculation method allows to obtain solutions based on direct analytical dependences, the argument of which is an integral characteristic of a flat convex one-connected area - the shape factor. This characteristic has applications in a number of problems of mathematical physics and is known from the works of scientists G. Polia and G. Szegö. The shape factor was first applied to the calculation of plates by Professor V.I. Korobko. The method of interpolation by shape factor was developed by Professor A.V. Korobko. When determining the maximum deflection of thin plates on an elastic base, some parameters of the problem are considered as functions of the shape factor of the plate in consideration and are determined by the type of boundary conditions on its contour. The present study is devoted to the construction of approximating functions for continuous sets of plates of characteristic outlines and*

boundary conditions. The paper presents functions for calculating the maximum deflection of elastic plates in the form of isosceles triangles, rhombuses and rectangles. The plates with various combinations of hinged support and rigid pinch along their individual sides, loaded with a continuous uniformly distributed load, are considered. The established functional dependences are intended for direct use in the calculation of plates of the specified outlines, as well as for obtaining reference solutions during interpolation of the values of maximum deflections of plates of more complex outlines.

Keywords: *elastic plates, Winkler base, maximum deflection, shape factor, approximating function.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sahoo S., Veerendar C., Thammishetti N., Prakash S.S. Experimental and numerical study on behaviour of fibre reinforced lightweight hollow core slabs under different flexure to shear ratios // *Structures*. 2023. Volume 50. Pp. 1264-1284. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.02.099>
2. Zheng B., Zheng W., Cao B., Zhang Y. Nonlinear finite element analysis of non-symmetrical punching shear of rectangular flat slabs supported on square columns // *Engineering Structures*. 2023. Volume 277. 115451. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115451>
3. Wang R., Fang Z., Lezgy-Nazargah M., Khosravi H. Nonlinear analysis of reinforced concrete slabs using a quasi-3D mixed finite element formulation // *Engineering Structures*. 2023. Volume 294. 116781. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116781>
4. Sahoo S., Veerendar C., Prakash S.S. Experimental and numerical studies on flexural behaviour of lightweight and sustainable precast fibre reinforced hollow core slabs // *Construction and Building Materials*. 2023. Volume 377. 131072. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131072>
5. Plans A., Grau D., Soltanalipour M., Ferrer-Ballester M., Marimon F., Andreu A. Three-dimensional finite element modeling for bending and pull-out tests of composite slabs // *Engineering Structures*. 2023. Volume 295. 116785. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116785>
6. Коробко А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости. Москва: Издательство АСВ, 1999. 320 с.
7. Поля Г., Сегё Г. Изопериметрические неравенства в математической физике. Москва: Издательство КомКнига, 2006. 336 с.
8. Коробко В.И. Изопериметрический метод в строительной механике: Теоретические основы изопериметрического метода. Москва: Издательство АСВ, 1997. 390 с.
9. Коробко В.И., Коробко А.В., Морозов С.А., Прокуров М.Ю. Расчёт пластинок методом предельного равновесия. Орёл: Типография «Труд», 2012. 360 с.
10. Коробко А.В., Прокуров М.Ю., Черняев А.А. Развитие технической теории расчета пластинчатых конструкций на основе методов геометрического моделирования их формы // *Строительство и реконструкция*. 2015. № 1 (57). С. 17-21.
11. Прокуров М.Ю. Новый интерполяционный метод определения максимальных значений прогибов тонких упругих пластинок с произвольным выпуклым контуром // *Строительство и реконструкция*. 2016. № 2 (64). С. 39-46.
12. Фетисова М.А., Володин С.С. Коэффициент формы как геометрическая характеристика // *Молодой учёный*. 2011. № 5 (28). С. 105-107.
13. Фетисова М.А., Володин С.С. Применение метода интерполяции по коэффициенту формы для решения задач строительной механики // *Молодой учёный*. 2013. № 3 (50). С.114-116.
14. Актуганов А.А. Применение метода интерполяции по коэффициенту формы к расчету пластинок на упругом основании, нагруженных сосредоточенной силой // *Строительство и реконструкция*. 2013. № 2 (46). С. 3-11.
15. Коробко В.И., Актуганов А.А. Применение метода интерполяции по коэффициенту формы к расчёту пластинок на упругом основании // *Строительная механика и расчёт сооружений*. 2014. № 1 (252). С. 18-24.
16. Прокуров М.Ю. Программа расчета максимального прогиба тонких пластинок на упругом основании методом интерполяции по коэффициенту формы // *Строительная механика и расчёт сооружений*. 2019. № 4 (285). С. 37-46.
17. Черняев А.А. Определение максимального прогиба треугольных пластинок с комбинированными граничными условиями с использованием отношения конформных радиусов // *Строительная механика и расчёт сооружений*. 2011. № 6 (239). С. 23-29.

REFERENCES

1. Sahoo S., Veerendar C., Thammishetti N., Prakash S.S. Experimental and numerical study on behaviour of fibre reinforced lightweight hollow core slabs under different flexure to shear ratios. *Structures*. 2023. Volume 50. Pp. 1264-1284. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.02.099>

2. Zheng B., Zheng W., Cao B., Zhang Y. Nonlinear finite element analysis of non-symmetrical punching shear of rectangular flat slabs supported on square columns. *Engineering Structures*. 2023. Volume 277. 115451. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115451>
3. Wang R., Fang Z., Lezgy-Nazargah M., Khosravi H. Nonlinear analysis of reinforced concrete slabs using a quasi-3D mixed finite element formulation. *Engineering Structures*. 2023. Volume 294. 116781. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116781>
4. Sahoo S., Veerendar C., Prakash S.S. Experimental and numerical studies on flexural behaviour of lightweight and sustainable precast fibre reinforced hollow core slabs. *Construction and Building Materials*. 2023. Volume 377. 131072. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131072>
5. Plans A., Grau D., Soltanalipour M., Ferrer-Ballester M., Marimon F., Andreu A. Three-dimensional finite element modeling for bending and pull-out tests of composite slabs. *Engineering Structures*. 2023. Volume 295. 116785. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116785>
6. Korobko A.V. Geometricheskoe modelirovanie formy oblasti v dvumernykh zadachakh teorii uprugosti [Geometric modeling of the shape of the region in two-dimensional problems of elasticity theory]. Moskva: Izdatel'stvo ASV, 1999. 320 p. (rus)
7. Polia G., Szegő G. Izoperimetricheskie neravenstva v matematicheskoy fizike [Isoperimetric inequalities in mathematical physics]. Moskva: Izdatel'stvo KomKniga, 2006. 336 p. (rus)
8. Korobko V.I. Izoperimetricheskii metod v stroitel'noy mekhanike: Teoreticheskie osnovy izoperimetricheskogo metoda [Isoperimetric method in structural mechanics: Theoretical foundations isoperimetric method]. Moskva: Izdatel'stvo ASV, 1997. 390 p. (rus)
9. Korobko V.I., Korobko A.V., Morozov S.A., Prokurov M.Yu. Raschyot plastinok metodom predel'nogo ravnovesiya [Calculation of plates using the limit equilibrium method]. Oryol: Tipografiya «Trud», 2012. 360 p. (rus)
10. Korobko A.V., Prokurov M.Yu., Chernyaev A.A. Razvitie tekhnicheskoy teorii rascheta plastinchatykh konstruksiy na osnove metodov geometricheskogo modelirovaniya ikh formy [Development of the technical theory of calculation of plate structures on the basis of methods of geometric modeling of their shape]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2015. Vol. 57. No. 1. Pp. 17-21. (rus)
11. Prokurov M.Yu. Novyyu interpolatsionnyy metod opredeleniya maksimal'nykh znacheniy progibov tonkikh uprugikh plastinok s proizvol'nym vypuklym konturom [A new interpolational method of estimating maximum deflection values for thin elastic plates with arbitrary convex contour]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2016. Vol. 64. No. 2. Pp. 39-46. (rus)
12. Fetisova M.A., Volodin S.S. Koeffitsient formy kak geometricheskaya kharakteristika [Shape factor as a geometric characteristic]. *Molodoy uchyonyy*. 2011. Vol. 28. No 5. Pp. 105-107. (rus)
13. Fetisova M.A., Volodin S.S. Primenenie metoda interpolatsii po koeffitsientu formy dlya resheniya zadach stroitel'noy mekhaniki [Application of the method of interpolation by the factor of shape for solving problems of structural mechanics]. *Molodoy uchyonyy*. 2013. Vol. 50. No 3. Pp. 114-116. (rus)
14. Aktuganov A.A. Primenenie metoda interpolatsii po koeffitsientu formy k raschetu plastinok na uprugom osnovanii, nagruzhennykh sosredotochennoy siloy [Application of the method of interpolation by the factor of shape to the calculation of plates founded on an elastic base and loaded with concentrated force]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2013. Vol. 46. No 2. Pp. 3-11. (rus)
15. Korobko V.I., Aktuganov A.A. Primenenie metoda interpolatsii po koeffitsientu formy k raschyotu plastinok na uprugom osnovanii [Application of the method of interpolation by the factor of shape to the calculation of plates on an elastic base]. *Stroitel'naya mekhanika i raschyot sooruzheniy*. 2014. Vol. 252. No 1. Pp. 18-24. (rus)
16. Prokurov M.Yu. Programma rascheta maksimal'nogo progiba tonkikh plastinok na uprugom osnovanii metodom interpolatsii po koeffitsientu formy [Calculation programme for maximum deflection of thin elastic plates on elastic foundation using interpolation method based on shape factor]. *Stroitel'naya mekhanika i raschyot sooruzheniy*. 2019. Vol. 285. No 4. Pp. 37-46. (rus)
17. Chernyaev A.A. Opredelenie maksimal'nogo progiba treugol'nykh plastinok s kombinirovannymi granichnymi usloviyami s ispol'zovaniem otnosheniya konformnykh radiusov [Determination of the maximum deflection of triangular plates with combined boundary conditions using the ratio of conformal radii]. *Stroitel'naya mekhanika i raschyot sooruzheniy*. 2011. Vol. 239. No 6. Pp. 23-29. (rus)

Информация об авторах:

Коробко Андрей Викторович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел, Россия,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры мехатроники, механики и робототехники.
E-mail: ankor.66@mail.ru

Прокуров Максим Юрьевич

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительные конструкции».
E-mail: m.prokuroff@mail.ru

Information about authors:

Korobko Andrey V.

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia,
doctor of technical sciences, professor, professor of the department of mechatronics, mechanics and robotics.
E-mail: ankor.66@mail.ru

Prokurov Maxim Yu.

Bryansk State Technological University of Engineering, Bryansk, Russia,
candidate of technical science, docent, associated professor of the department of building structures.
E-mail: m.prokuroff@mail.ru

А.В. КОРШАКОВ¹, М.С. ЛИСЯТНИКОВ¹, М.В. ЛУКИН¹, С.И. РОЩИНА¹
¹ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, АРМИРОВАННЫХ ОТРАБОТАННЫМИ ПОЛОТНАМИ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ

Аннотация. В России всё больше расширяется объём выпускаемой пилопродукции, получаемой за счёт раскроя крупномерных брёвен на ленточнопильных станках. Полотна ленточных пил обрабатывают от 20 до 500 часов, и технология их вторичного использования в настоящее время не предусмотрена. Создание эффективного метода армирования деревянных конструкций отработанными полотнами ленточных пил позволит повысить их показатели несущей способности, жёсткости и эксплуатационной надёжности. Предполагается, что по сочетанию прочностных показателей и технологичности новые армированные деревянные конструкции будут соответствовать существующим аналогам, а по экономическим показателям – превосходить их. Новизна исследования состоит во вторичном использовании техногенных отходов деревообрабатывающих производств в строительстве зданий и сооружений, что позволит с достаточной степенью достоверности обосновать эффективность предложенного метода армирования деревянных конструкций. В статье исследуются балки из цельной древесины длиной 6 метров сечением 100×200 мм, испытания производятся на изгиб. Выполнено численное моделирование плоского напряжённого состояния методом конечных элементов. Несущая способность балки с армированием отработанными полотнами ленточных пил увеличилась в 1,5 раза в сравнении с неармированной балкой.

Ключевые слова: древесина, деревянные конструкции, балки, армирование, прочность.

A.V. KORSHAKOV¹, M.S. LISYATNIKOV¹, M.V. LUKIN¹, S.I. ROSHINA¹
¹ Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia

STRENGTH AND DEFORMABILITY OF WOODEN STRUCTURES REINFORCED WITH WASTE BAND SAW BLADES

Abstract. In Russia, the volume of sawn products produced by cutting large-sized logs on band saws is increasingly expanding. The blades of band saws work from 20 to 500 hours and the technology of their secondary use is currently not provided. The creation of an effective method of reinforcing wooden structures with spent band saw blades will increase their load-bearing capacity, rigidity and operational reliability. It is assumed that in terms of the combination of strength indicators and manufacturability, the new reinforced wooden structures will correspond to existing analogues, and in terms of economic indicators they will surpass them. The conceptual novelty consists in the secondary use of man-made waste from woodworking industries in the construction of buildings and structures, which for the first time will allow to justify the effectiveness of the method of reinforcing wooden structures with treated band saw blades at a high theoretical level. The article examines beams made of solid wood with a length of 6 meters with a cross section of 100 × 200 mm, bending tests are performed. Numerical simulation of the plane stress state by the finite element method is performed. The load-bearing capacity of a beam reinforced with spent band saw blades increased by 1.5 times in comparison with an unreinforced beam.

Keywords: wood, wooden structures, beams, reinforcement, strength.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев С.В., Блохин А.В., Дулевич А.Ф. Ленточные пилы с повышенной долговечностью полотна // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2016. № 46. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lentochnye-pily-s-povyshennoy-dolgovechnostyu-polotna> (дата обращения: 24.03.2023).
2. Журавлева Л.Н., Девятловская А.Н. Основные направления использования древесных отходов // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2007. № 18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnyie-napravleniya-ispolzovaniya-drevesnyh-othodov> (дата обращения: 24.03.2023).
3. Спицын И.Н. Анализ устойчивости и напряженного состояния ленточных пил для раскроя древесины // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2011. № 29. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-ustoychivosti-i-napryazhennogo-sostoyaniya-lentochnyh-pil-dlya-raskroya-drevesiny> (дата обращения: 24.03.2023).
4. Воробьев А.А., Спицын И.Н., Кравченко Н.В., Очирова Л.А., Филиппов Ю.А. Исследование влияния вибрации механизма резания дереворежущего ленточнопильного станка на качество поверхности древесины // Успехи современной науки. 2017. Том 4. № 4. С. 178-184.
5. Luca V.De., Marano C. Prestressed glulam timbers reinforced with steel bars. Construction and Building Materials. 2012. Vol. 30. Pp. 206-217. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.11.016. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061811006465>.
6. Peixoto L.S., Soriano J., Mascia N.T., Pellis B.P. Bending behavior of steel bars reinforced glulam beams considering the homogenized cross section. Wood Material Science and Engineering. 2021. Vol. 17. Pp. 1-7. doi:10.1080/17480272.2021.1900392.
7. Griбанov A.S., Rimshin V.I., Roshchina S.I. Experimental investigations of composite wooden beams with local wood modification. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. Pp. 033039. doi:10.1088/1757-899X/687/3/033039.
8. Yang H., Liu W., Lu W., Zhu S., Geng Q. Flexural behavior of FRP and steel reinforced glulam beams: Experimental and theoretical evaluation. Construction and Building Materials. 2016. Vol. 106. Pp 550-563. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.12.135.
9. Novosel A., Sedlar T., Čizmar D., Turkulin H., Živković V.. Structural reinforcement of bi-directional oak-wood lamination by carbon fibre implants. Construction and Building Materials. 2021. Vol. 287. Pp. 123073. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.123073.
10. İşleyen Ü.K., Kesik H.İ. Experimental and numerical analysis of compression and bending strength of old wood reinforced with CFRP strips. Structures. 2021. Vol. 33. Pp. 259-271. doi:10.1016/j.istruc.2021.04.070.
11. Кошечев, А. А. Рощина С. И. Эффективность прямолинейного армирования деревянных балок перекрытий стальной тросовой арматурой без предварительного натяжения // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 2(50). С. 100-105. doi:10.18324/2077-5415-2021-2-100-105.
12. Лукина А.В., Сергеев М.С. Исследование напряженно-деформированного состояния композитных деревянных балок // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы Международных академических чтений. 2021. С. 183-190.
13. Uchimura K., Shioya S., Hira T. An innovative hybrid timber structure in japan: Experiments on the long term behavior in beam. Paper presented at the WCTE 2016 – World Conference on Timber Engineering. 2016.
14. Granholm H. Armerat Tra Reinforced Timber. 1954. 98 p.
15. Granholm H. Swedjebackens valswerks aktiebolag. 1944. No. 111150, 37, 301.
16. Турковский С.Б., Погорельцев А.А., Назаров Ю.П. Эффективность несущих клееных деревянных конструкций в сейсмических районах строительства // Промышленное и гражданское строительство. 2009. № 10. С. 10-13.
17. Турковский С.Б., Погорельцев А. А., Николаев В. Г. Физкультурно-оздоровительные комплексы Москвы с деревянными стропильными системами покрытий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2008. № 8. С. 70-72.
18. Погорельцев А. А., Пятикрестовкий К. П. Обоснование нормируемых значений модулей упругости при расчетах деревянных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 10. С. 33-35.
19. Щуко С. А., Смирнов А. В., Евдокимов А. В. Оптимальное армирование клееных деревянных балок на части длины // Тезисы научно-технической конференции «Повышение качества строительства автодорог в Нечерноземной зоне РФСР». 1987.
20. Патент на изобретение № SU 958612 A1 – «Деревянная балка». Авторское свидетельство СССР № 3008532, кл; Е04С 3/22, 1982 / Скрибо В.И., Шутов Г.И., Шалькевич Е.Б.; патентообладатель Белорусский ордена трудового красного знамени технологический институт им. С. М. Кирова; заявл. 26.11.1980 г.; публ. 15.09.1982 г.
21. Патент на полезную модель № RU 176996 U1 – «Клееная балка». Рос. Федерация: Е04С 3/12 / Бокарев С.А., Мурованный И.Ю.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет путей сообщения"; заявл. 2017.06.19 г.; публ. 2018.02.06 г.
22. Griбанov A. S., Roshchina S. I., Popova M. V., Sergeev M. S. Laminar polymer composites for wooden structures. Magazine of Civil Engineering. 2018. Vol. 83. Pp. 3-11. doi:10.18720/MCE.83.1.

23. Roshchina S., Lukin M., Lisyatnikov M., Koscheev A. The phenomenon for the wood creep in the reinforced glued wooden structures. MATEC Web of Conference. 2018. Vol. 245. Pp. 03020. doi:10.1051/mateconf/201824503020.
24. Labudin B. V., Popov E. V., Nikitina T. A. Notes for calculated resistance to tension for laminated wood. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. Pp. 033028. doi:10.1088/1757-899X/687/3/033028.
25. Labudin B. V., Popov E. V., Sopilov V. V. Stability of compressed sheathings of wood composite plate-ribbed structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. Pp. 033041. doi:10.1088/1757-899X/687/3/033041.
26. Labudin B., Popov E., Stolypin D., Sopilov V. The wood composite ribbed panels on mechanical joints. E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 91. Pp. 02021. doi:10.1051/e3sconf/20199102021.
27. Патент на изобретение № RU 2 225 924 С2 – «Длинномерный несущий строительный элемент». Рос. Федерация: E04C 3/12 / Пятницкий А.А., Пятницкая М.М.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный строительный университет" (МГСУ); заявл. 2012.07.18; публ. 2012.12.20 г.
28. Патент на изобретение № SU 84267 А1 – «Деревянная балка с металлической арматурой». Авторское свидетельство СССР № 84267 п. класс: E04C 3/18 / Поберезкин К.А.; патентообладатель Поберезкин К.А.; заявл. 1949.07.26 г.; публ. 1950.10.10 г.
29. Патент на изобретение № RU 171490 U1 – «Деревянная балка». Рос. Федерация: E04C 3/12 / Веселов В.В.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»; заявл. 2017.02.22 г.; публ. 2017.06.02 г.
30. Патент на изобретение № RU 2 535 865 С1 – «Биопластмассовая балка». Рос. Федерация: E04C 3/07 / Жаданов В.И., Дмитриев П.П., Украинченко Д.А.; патентообладатель Автономная некоммерческая организация научно-технологический парк Оренбургского государственного университета "Технопарк ОГУ" (АНО "Технопарк ОГУ"); заявл. 2013.10.09 г.; публ. 2014.12.20 г.
31. Kreher K., Natterer J., Natterer J. Timber-glass-composite girders for a hotel in Switzerland. Structural Engineering International. 2004. Vol. 14. Pp. 149-151. doi:10.2749/101686604777963964.
32. McConnell E., McPolin D., Taylor S. Post-tensioning of glulam timber with steel tendons. Construction and Building Materials. 2014. Vol. 73. Pp. 426-433. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.09.079
33. Nowak T. Strength enhancement of timber beams using steel plates – Review and experimental tests. Drewno. 2016. Vol. 59. Pp. 75-90. doi:10.12841/wood.1644-3985.150.06.
34. Патент на изобретение № RU 2 225 924 С2 – «Длинномерный несущий строительный элемент». Рос. Федерация: E04C 3/292 / Шабля В.Ф., Кривицкий В.Г., Шапиро Г.И.; патентообладатели Шабля В.Ф., Кривицкий В.Г., Шапиро Г.И.; заявл. 2002.04.16 г.; публ. 2004.03.20 г.
35. Jasieńko, J., Nowak, T. Solid timber beams strengthened with steel plates – Experimental studies. Construction and Building Materials. 2014. Vol. 63. Pp. 81-88. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.04.020.

REFERENCES

1. Kiselev S. V., Blokhin A. V., Dulevich A. F. Lentochnye pily s povyshennoy dolgovechnostyu polotna [Band saws with increased blade durability]. Actual problems of the forest complex. 2016. No. 46. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lentochnye-pily-s-povyshennoy-dolgovechnostyu-polotna> (date of access: 03/24/2023). (rus).
2. Zhuravleva L. N., Devyatlovskaya A. N. Osnovnye napravleniya ispolzovaniya drevesnykh ot-khodov [The main directions of the use of wood waste]. Actual problems of the forestry complex. 2007. No. 18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-napravleniya-ispolzovaniya-drevesnykh-othodov> (date of access: 03/06/2023). (rus).
3. Spitsyn I. N. Analiz ustoychivosti i napryazhennogo sostoyaniya lentochnykh pil dlya raskroya drevesiny [Analysis of the stability and stress state of band saws for cutting wood]. Actual problems of the forest complex. 2011. No. 29. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-ustoychivosti-i-napryazhennogo-sostoyaniya-lentochnykh-pil-dlya-raskroya-drevesiny> (date of access: 03/06/2023). (rus).
4. Vorobyov A. A., Spitsyn I. N., Kravchenko N. V., Ochirova L. A., Filippov Yu. A. Issledovanie vliyaniya vibratsii mekhanizma rezaniya derevorezhushchego lentochnopilnogo stanka na kachestvo poverkhno-sti drevesiny [Investigation of the influence of vibration of the cutting mechanism of a wood-cutting band saw machine on the quality of the wood surface]. Successes of modern science. 2017. Vol. 4. No. 4. Pp. 178-184. (rus).
5. Luca V. De., Marano C. Prestressed glulam timbers reinforced with steel bars. Construction and Building Materials. 2012. Vol. 30. Pp. 206-217. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.11.016. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061811006465>.
6. Peixoto, L. S., Soriano, J., Mascia, N. T., Pellis, B. P. Bending behavior of steel bars reinforced glulam beams considering the homogenized cross section. Wood Material Science and Engineering. 2021. Vol. 17. Pp. 1-7. doi:10.1080/17480272.2021.1900392.

7. Griбанov A. S., Rimshin V. I., Roshchina S. I. Experimental investigations of composite wooden beams with local wood modification. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. Pp. 033039. doi:10.1088/1757-899X/687/3/033039.
8. Yang H., Liu W., Lu W., Zhu S., Geng Q. Flexural behavior of FRP and steel reinforced glulam beams: Experimental and theoretical evaluation. Construction and Building Materials. 2016. Vol. 106. Pp 550-563. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.12.135.
9. Novosel A., Sedlar T., Čizmar D., Turkulin H., Živković V.. Structural reinforcement of bi-directional oak-wood lamination by carbon fibre implants. Construction and Building Materials. 2021. Vol. 287. Pp. 123073. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.123073.
10. İşleyen Ü. K., Kesik H. İ. Experimental and numerical analysis of compression and bending strength of old wood reinforced with CFRP strips. Structures. 2021. Vol. 33. Pp. 259-271. doi:10.1016/j.istruc.2021.04.070.
11. Koshcheev, A. A. Roshchina S. I. Effektivnost pryamolineynogo armirovaniya derevyannykh ba-lok perekrytiy stalnoy trosovoy armaturoy bez predvaritelnogo natyazheniya [Efficiency of rectilinear reinforcement of wooden floor beams with steel cable reinforcement without pretensioning. Systems. Methods. Technologies. 2021. No. 2 (50). Pp. 100-105. doi:10.18324/2077-5415-2021-2-100-105. (rus).
12. Lukina, A. V., Sergeev M. S. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kom-pozitnykh derevyannykh balok [Study of the stress-strain state of composite wooden beams]. Safety of the construction fund of Russia. Problems and Solutions: Proceedings of the International Academic Readings. 2021. Pp. 183-190. (rus).
13. Uchimura K., Shioya S., Hira T. An innovative hybrid timber structure in japan: Experiments on the long term behavior in beam. Paper presented at the WCTE 2016 – World Conference on Timber Engineering. 2016.
14. Granholm H. Armerat Tra Reinforced Timber. 1954. 98 p.
15. Granholm H. Swedjebackens valsverks aktiebolag. 1944. No 111150, 37, 301.
16. Turkovsky S.B., Pogoreltsev A.A., Nazarov Yu.P. Effektivnost nesushchikh kleennykh dere-vyannykh konstruksiy v seismicheskikh rayonakh stroitelstva [Efficiency of load-bearing glued wooden structures in seismic areas of construction]. Industrial and civil construction. 2009. No. 10. Pp. 10-13. (rus).
17. Turkovskiy S. B., Pogoreltsev A. A., Nikolaev V. G. Fizkulturno-ozdorovitelnye kom-pleksy Moskvy s derevyannymi stropilnymi sistemami pokrytiy [Physical culture and recreation complexes of Moscow with wooden roof systems of coverings]. Building materials, equipment, technologies of the XXI century. 2008. No 8. Pp. 70-72. (rus).
18. Pogoreltsev A. A., Pyatikrestovkiy K. P. Obosnovanie normiruemykh znacheniy moduley uprugosti pri raschetakh derevyannykh konstruksiy [Substantiation of normalized values of elastic modulus in calculations of wooden structures]. Industrial and civil construction. 2013. No. 10. Pp. 33-35. (rus).
19. Shchuko S. A., Smirnov A. V., Evdokimov A. V. Optimalnoe armirovanie kleennykh derevyannykh balok na chasti dliny [Optimal reinforcement of glued wooden beams for parts of the length]. Abstracts of the scientific and technical conference "Improving the quality of road construction in the Non-Chernozem zone of the RSFSR". 1987. (rus).
20. Patent for invention No. SU 958612 A1 – "Derevyannaya balka" ["Wooden beam"]. Copyright certificate of the USSR No. 3008532, cl; E04C 3/22, 1982 / Skiba V. I., Shutov G. I., Shalkevich E. B.; patent holder of the Belarusian Order of the Red Banner of Labor Technological Institute named after S. M. Kirov; application 26.11.1980; publ. 15.09.1982. (rus).
21. Utility model patent No. RU 176996 U1 – "Derevyannaya balka" ["Glued beam"]. Grew up. Federation: E04C 3/12 / Bokarev S.A., Murovannyi I.Yu.; patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State University of Ways of Communication"; application 2017.06.19; publ. 2018.02.06. (rus).
22. Griбанov A. S., Roshchina S. I., Popova M. V., Sergeev M. S. Laminar polymer composites for wooden structures. Magazine of Civil Engineering. 2018. Vol. 83. Pp. 3-11. doi:10.18720/MCE.83.1.
23. Roshchina S., Lukin M., Lisyatnikov M., Koscheev A. The phenomenon for the wood creep in the reinforced glued wooden structures. MATEC Web of Conference. 2018. Vol. 245. Pp. 03020. doi:10.1051/mateconf/201824503020.
24. Labudin B. V., Popov E. V., Nikitina T. A. Notes for calculated resistance to tension for laminated wood. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. Pp. 033028. doi:10.1088/1757-899X/687/3/033028.
25. Labudin B. V., Popov E. V., Sopilov V. V. Stability of compressed sheathings of wood composite plate-ribbed structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. Pp. 033041. doi:10.1088/1757-899X/687/3/033041.
26. Labudin B., Popov E., Stolypin D., Sopilov V. The wood composite ribbed panels on mechanical joints. E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 91. Pp. 02021. doi:10.1051/e3sconf/20199102021.
27. Patent for invention No. RU 2 225 924 C2 – "Dlinnomernyy nesushchiy stroitelnyy element" ["Long-bearing construction element"]. Rus. Federation: E04C 3/12 / Pyatnitsky A. A., Pyatnitskaya M. M.; patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State University of Civil Engineering" (MGSU); application 2012.07.18; publ. 2012.12.20. (rus).
28. Patent for invention No. SU 84267 A1 – "Derevyannaya balka s metallicheskoj armaturoy" ["Wooden beam with metal reinforcement"]. Copyright certificate of the USSR No. 84267 P. class: E04C 3/18 / Poberezkin K. A.; patent holder Poberezkin K. A.; application 1949.07.26; publ. 1950.10.10. (rus).
29. Patent for invention No. RU 171490 U1 – "Derevyannaya balka" ["Wooden beam"]. Rus. Federation: E04C 3/12 / Veselov V. V.; patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional

Education "St. Petersburg State University of Ways of Communication of Emperor Alexander I"; application 2017.02.22; publ. 2017.06.02. (rus).

30. Patent for invention No. RU 2,535,865 C1 – "Biplastmassovaya balka" ["Biplastic mass beam"]. Rus. Federation: E04C 3/07 / Zhadanov V. I., Dmitriev P. P., Ukrainchenko D. A.; patent holder Autonomous Non-commercial organization Scientific and Technological Park of Orenburg State University "Technopark OSU" (ANO "Technopark OSU"); application 2013.10.09; publ. 2014.12.20. (rus).

31. Kreher K., Natterer J., Natterer J. Timber-glass-composite girders for a hotel in Switzerland. Structural Engineering International. 2004. Vol. 14. Pp. 149-151. doi:10.2749/101686604777963964.

32. McConnell E., McPolin D., Taylor S. Post-tensioning of glulam timber with steel tendons. Construction and Building Materials. 2014. Vol. 73. Pp. 426-433. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.09.079

33. Nowak T. Strength enhancement of timber beams using steel plates – Review and experimental tests. Drewno. 2016. Vol. 59. Pp. 75-90. doi:10.12841/wood.1644-3985.150.06.

34. Patent for invention No. RU 2 225 924 C2 – "Dlinnomernyy nesushchiy stroitelnyy element" ["Long-bearing construction element"]. Rus. Federation: E04C 3/292 / Shablya V. F., Krivitsky V. G., Shapiro G. I.; patent holders Shablya V. F., Krivitsky V. G., Shapiro G. I.; application 2002.04.16; publ. 2004.03.20. (rus).

35. Jasienko, J., Nowak, T. Solid timber beams strengthened with steel plates – Experimental studies. Construction and Building Materials. 2014. Vol. 63. Pp. 81-88. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.04.020.

Информация об авторах:

Коршаков Антон Валерьевич

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия, аспирант кафедры строительных конструкций.

E-mail: 89106700238@mail.ru

Лисятников Михаил Сергеевич

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций.

E-mail: mlisyatnikov@mail.ru

Лукин Михаил Владимирович

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций.

E-mail: mihail_lukin_22@mail.ru

Рощина Светлана Ивановна

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций.

E-mail: rsi3@mail.ru

Information about authors

Korshakov Anton V.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia, assistant of the department of building construction.

E-mail: 89106700238@mail.ru

Lisyatnikov Mikhail S.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia, candidate of technical science, associated professor of the department of building construction.

E-mail: mlisyatnikov@mail.ru

Lukin Mikhail V.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia, candidate of technical science, associated professor of the department of building construction.

E-mail: mihail_lukin_22@mail.ru

Roschina Svetlana I.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia, doctor of technical sciences, professor, head of the department of building structures.

E-mail: rsi3@mail.ru

В.И. ТРАВУШ¹, П.Д. АРЛЕНИНОВ^{2,3}, М.А. ДЕСЯТКИН⁴, А.Н. ИВАЩЕНКО⁴,
П.С. КАЛМАКОВА^{2,3}, С.С. КАПРИЕЛОВ², Д.В. КОНИН⁵, А.С. КРЫЛОВ⁵, С.Б. КРЫЛОВ²,
И.А. ЧИЛИН², А.В. ШЕЙНФЕЛЬД²

¹ЗАО «ГОРПРОЕКТ», г. Москва, Россия

²Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия

³ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

⁴ООО «Инфорспроект», г. Москва, Россия

⁵Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) имени В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ

Аннотация. В статье приводятся результаты исследования ползучести и усадки сталежелезобетонных образцов. Для этого были проведены параллельные испытания образцов, выполненных из одного класса бетона, но с разным армированием. Исследовались бетонные образцы, образцы, армированные каркасами из стержневой арматуры и сталежелезобетонные образцы с внешним листовым армированием. Испытания проводились в климатических помещениях с использованием пружинных установок для поддержания неизменной нагрузки, действующей на образцы в течении длительного времени. Нагрузка на образцы подбиралась из расчета равенства напряжений в бетоне во всех сериях образцов. Образцы испытывались как гидроизолированные, так и не гидроизолированные, оценивалось влияние гидроизоляционного покрытия на деформации усадки и ползучести для разных серий образцов. Для снятия информации была разработана система, позволяющая помимо продольных деформаций усадки и ползучести определить поперечные деформации, продольные деформации по граням образца для определения влияния арматуры и стали внешнего листа, оценить изменение продольных деформация от центра образца к его краям, отдельно оценить деформации бетона и стального листа в сталежелезобетонных образцах.

Анализ результатов позволил сравнительную оценку влияния обычной стержневой арматуры, а также стального листа сталежелезобетонных образцов на деформации ползучести и усадки, также была произведена оценка влияния гидроизоляционного покрытия на результаты испытаний в разных сериях. По результатам проведенной работы сформулированы расширенные требования к экспериментально-теоретическим исследованиям сталежелезобетонных образцов с внешним листовым армированием по определению их расчетных жесткостей.

Ключевые слова: бетон, железобетон, сталежелезобетон, ползучесть, усадка.

V.I. TRAVUSH¹, P.D. ARLENINOV^{2,3}, M.A. DESYATKIN⁴, A.N. IVASCHENKO⁴,
P.S. KALMAKOVA^{2,3}, S.S. KAPRIELOV², D.V. KONIN⁵, A.S. KRYLOV⁵, S.B. KRYLOV²,
I.A. CHILIN², A.V. SHEINFELD²

¹GORPROJECT, Moscow, Russia

²JSC Research Center of Construction NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Moscow, Russia

³National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

⁴Inforsproekt, Moscow, Russia

⁵JSC Research Center of Construction TSNIISK named after V.A. Koucherenko, Moscow, Russia

CREEP BEHAVIOUR OF STEEL-REINFORCED CONCRETE SPECIMENS

© Травуш В.И., Арленинов П.Д., Десяткин М.А., Иващенко А.Н., Калмакова П.С., Каприелов С.С., Конин Д.В., Крылов А.С., Крылов С.Б., Чилин И.А., Шейнфельд А.В., 2024

Abstract. The paper presents the results of investigation of creep and shrinkage of steel-reinforced concrete specimens. For this purpose, parallel tests of specimens made of the same class of concrete but with different reinforcement were carried out. Concrete specimens, specimens reinforced with bar reinforcement frames and steel reinforced concrete specimens with external sheet reinforcement were investigated. The tests were carried out in climatic rooms using spring setups to maintain a constant load acting on the specimens over time. The load on the specimens was selected based on the equality of stresses in the concrete in all series of specimens. The specimens were tested both waterproofed and non-waterproofed, and the effect of waterproofing coating on shrinkage and creep strains was evaluated for different series of specimens. A system was developed to capture information which allows, in addition to longitudinal shrinkage and creep deformations, to determine transverse deformations, longitudinal deformations along the faces of the specimen to determine the influence of reinforcement and steel of the outer plate, to evaluate the change in longitudinal deformations from the center of the specimen to its edges, to evaluate separately the deformations of concrete and steel plate in steel-reinforced concrete specimens.

The analysis of the results allowed a comparative assessment of the influence of conventional bar reinforcement as well as steel sheet of steel-reinforced concrete specimens on creep and shrinkage deformations; the influence of waterproofing coating on the test results in different series was also assessed. Based on the results of this work, extended requirements for experimental and theoretical studies of steel-reinforced concrete specimens with external sheet reinforcement to determine their design stiffnesses were formulated.

Keywords: concrete, reinforced concrete, steel-reinforced concrete, creep, shrinkage

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chiorino M.A., Carreira J. Factors Affecting Creep and Shrinkage of Hardened Concrete and Guide for Modelling // The Indian Concrete Journal. 2012. № 12(86). С.11-24.
2. Конин Д.В., Крылов А.С., Чесноков Д.А. Оценка результатов испытаний уголкового анкерного упора на сдвиговое воздействие // Строительная механика и расчет сооружений. 2021. № 2(295). С. 16-26.
3. Крылов А.С. Численные расчеты сталежелезобетонных балок с учетом контактного взаимодействия стального сердечника с бетоном // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 2. С. 175-184.
4. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293732/4293732352.pdf> (дата обращения: 31.01.2024)
5. СП 266.1325800.2016 Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования [Электронный ресурс]. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293747/4293747659.pdf> (дата обращения 31.01.2024).
6. Varma A., Bhardwaj S., Al-Shawaf T. Outline of Specification for Composite SC Walls in Nuclear Facilities // Structures Congress 2015 - Proceedings of the 2015 Structures Congress.
7. Bhardwaj S., Varma A. Effect of Imperfections on the Compression Behavior of SC Walls // Proceedings of the Annual Stability Conference Structural Stability Research Council Orlando, Florida, April 12-15, 2016.
8. Seo J., Varma A.H., Sener K., Ayhan D. Steel-plate composite (SC) walls: In-plane shear behavior, database, and design // Journal of Constructional Steel Research. 2016. Vol. 119. Pp. 202–215.
9. Zhang K., Varma A. H., Malushte S. R., Gallocher S. Effect of shear connectors on local buckling and composite action in steel concrete composite walls // Nuclear Engineering and Design. 2014. Vol. 269. Pp. 231–239.
10. Jayas B.S., Hosain M.U. Behaviour of headed studs in composite beams: push-out tests // Canadian Journal of Civil Engineering. 1988. № 15(2). Pp. 240–253.
11. Пронин Д.Г., Конин Д.В. Проблемы применения стальных и железобетонных несущих конструкций высотных зданий с точки зрения их огнестойкости // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 1. С. 50-57.
12. Травуш В.И., Конин Д.В., Рожкова Л.С., Крылов А.С. Отечественный и зарубежный опыт исследований работы сталежелезобетонных конструкций на внецентренное сжатие // Строительство и реконструкция. 2016. № 5(67). С. 31-44.
13. Travush V.I., Konin D.V., Krylov A.S. Strength of composite steel and concrete beams of high-performance concrete // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 3(79). P. 36-44.
14. Крылов А.С. Численные расчеты сталежелезобетонных балок с учетом контактного взаимодействия стального сердечника с бетоном // Вестник Томского Государственного Архитектурно-Строительного Университета. 2019. No. 2. С. 175-184.
15. Арленинов П.Д., Крылов С.Б., Смирнов П.П. Расчетно-экспериментальные исследования изгибаемых трубобетонных конструкций // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2017. № 4. С. 34-38.

16. Колчунов В.И., Колчунов В.И., Федорова Н.В. Деформационные модели железобетона при особых воздействиях // *Промышленное и гражданское строительство*. 2018. № 8. С. 54-60.
17. Колчунов В.И., Кащавцев А.А., Андросова Н.Б. Исследование деформирования и разрушения составных железобетонных балок в запредельных состояниях // *Строительство и техногенная безопасность*. 2016. № 4(56). С. 76-78.
18. Колчунов В.И., Андросова Н.Б., Колчина Т.О. К анализу экспериментально-теоретических исследований живучести коррозионно повреждаемых железобетонных балочных систем с разрушением по наклонному сечению // *Известия Юго-Западного государственного университета*. Серия: Техника и технологии. 2012. № 2-2. С. 111-118.
19. Krylov S.B., Semenov V.A., Konin D.V., Krylov A.S., Rozhkova L.S. О новом Руководстве по проектированию сталежелезобетонных конструкций (в развитие СП 266.13330.2016 Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования) // *Academia*. Архитектура и строительство. 2019. No. 1. С. 99–106.
20. Травуш В.И., Шахрамьян А.М., Колотовичев Ю.А. «Лахта центр»: автоматизированный мониторинг деформаций несущих конструкций и основания // *Academia*. Архитектура и строительство. 2018. № 4. С. 94-108.
21. Травуш В.И., Конин Д.В., Рожкова Л.С. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных конструкций, работающих на внецентренное сжатие // *Academia*. Архитектура и строительство. 2016. № 3. С. 127-135.
22. Травуш В.И., Конин Д.В., Рожкова Л.С., Крылов А.С. Отечественный и зарубежный опыт исследований работы сталежелезобетонных конструкций на внецентренное сжатие // *Строительство и реконструкция*. 2016. № 5(67). С. 31-44.

REFERENCES

1. Chiorino M. A., Carreira J. Factors Affecting Creep and Shrinkage of Hardened Concrete and Guide for Modelling. *The Indian Concrete Journal*. 2012. No. 12(86). Pp. 11-24.
2. Konin D.V., Krylov A. S., Chesnokov D. A. Ocenka rezul'tatov ispytaniy ugolkovykh ankernyh uporov na sdvigovoe vozdejstvie [Evaluation of the results of the shear impact tests of angle anchor stops]. *Stroitel'naya mekhanika i calculatsionnaya stroitel'nost'*. 2021. No. 2(295). Pp. 16-26.
3. Krylov A.S. Chislennye raschety stalezhelezobetonnykh balok s uchetom kontaktnogo vzaimodejstviya stal'nogo serdechnika s betonom [Numerical calculations of steel-reinforced concrete beams taking into account the contact interaction of steel core with concrete]. *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2019. T. 21. No. 2. Pp. 175-184.
4. SP 63.13330.2018 Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions [Online]. System requirements: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293732/4293732352.pdf> (date of reference: 31.01.2024)
5. SP 266.1325800.2016 Steel-reinforced concrete structures. Design rules [Online]. System requirements: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293747/4293747659.pdf> (date of reference: 31.01.2024).
6. Varma A., Bhardwaj S., Al-Shawaf T. Outline of Specification for Composite SC Walls in Nuclear Facilities. Structures Congress 2015 - Proceedings of the 2015 Structures Congress.
7. Bhardwaj S., Varma A. Effect of Imperfections on the Compression Behaviour of SC Walls. Proceedings of the Annual Stability Conference Structural Stability Research Council Orlando, Florida, April 12-15, 2016.
8. Seo J., Varma A. H., Sener K., Ayhan D. Steel-plate composite (SC) walls: In-plane shear behaviour, database, and design. *Journal of Constructional Steel Research*. 2016. Vol. 119. Pp. 202-215.
9. Zhang K., Varma A. H., Malushte S. R., Gallocher S. Effect of shear connectors on local buckling and composite action in steel concrete composite walls. *Nuclear Engineering and Design*. 2014. Vol. 269. Pp. 231-239.
10. Jayas B. S., Hosain M. U. Behaviour of headed studs in composite beams: push-out tests. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 1988. No. 15(2). Pp. 240-253.
11. Pronin D. G., Konin D.V. Problemy primeneniya stal'nyh i zhelezobetonnyh nesushchih konstrukcij vysotnyh zdaniy s točki zreniya ih ognestojkosti [Problems of application of steel and reinforced concrete load-bearing structures of high-rise buildings in terms of their fire resistance]. *Fire and explosion safety*. 2018. T. 27. No. 1. Pp. 50-57.
12. Travush V. I., Konin D. V., Rozhkova L. S., Krylov A. S. Otechestvennyj i zarubezhnyj opyt issledovanij raboty stalezhelezobetonnykh konstrukcij na vnecentrennoe szhatie [Domestic and foreign experience in research of steel-reinforced concrete structures operation under off-centre compression]. *Building and Reconstruction*. 2016. No. 5(67). Pp. 31-44.
13. Travush V. I., Konin D. V., Krylov A. S. Strength of composite steel and concrete beams of high-performance concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. No. 3(79). Pp. 36-44.
14. Krylov A.S. Chislennye raschety stalezhelezobetonnykh balok s uchetom kontaktnogo vzaimodejstviya stal'nogo serdechnika s betonom [Numerical calculations of steel-reinforced concrete beams taking into account the

contact interaction of steel core with concrete]. *Vestnik Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2019. No. 2. Pp. 175-184.

15. Arleninov P.D., Krylov S.B., Smirnov P.P. Raschetno-eksperimental'nye issledovaniya izgibaemykh trubobetonnykh konstrukcij [Calculation-experimental investigations of the bending pipe-concrete structures]. *Earthquake-resistant construction. Safety of constructions*. 2017. No. 4. Pp. 34-38.

16. Kolchunov V.I., Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Deformacionnye modeli zhelezobetona pri osobyh vozdeystviyah [Deformation models of reinforced concrete under special impacts]. *Industrial and Civil Engineering*. 2018. No. 8. Pp. 54-60.

17. Kolchunov V.I., Kashchavtsev A. A., Androsova N. B. Issledovanie deformirovaniya i razrusheniya sostavnykh zhelezobetonnykh balok v zapredel'nykh sostoyaniyah [Investigation of deformation and fracture of composite reinforced concrete beams in forbidden states]. *Construction and technogenic safety*. 2016. No. 4(56). Pp. 76-78.

18. Kolchunov V. I., Androsova N. B., Kolchina T. O. K analizu eksperimental'no-teoreticheskikh issledovaniy zhivuchesti korrozionno povrezhdaemykh zhelezobetonnykh balochnykh sistem s razrusheniem po naklonnomu secheniyu [To the analysis of experimental and theoretical studies of survivability of corrosion-damaged reinforced concrete beam systems with failure along the inclined section]. *Izvestia South-West State University. Series: Engineering and Technology*. 2012. No. 2-2. Pp. 111-118.

19. Krylov S. B., Semenov V. A., Konin D. V., Krylov A. S., Rozhkova L. S. On the new Guidelines for the Design of Steel-Reinforced Concrete Structures (in development of SP 266.13330.2016 Steel-Reinforced Concrete Structures. Design rules). *Academia. Architecture and Construction*. 2016. No. 1. Pp. 99-106.

20. Travush V.I., Shakhramyan A. M. Lahta centr: avtomatizirovannyj monitoring deformacij nesushchih konstrukcij i osnovaniya ["Lakhta Centre": automated monitoring of the bearing structures and foundation deformations]. *Academia. Architecture and Construction*. 2018. No. 4. Pp. 94-108.

21. Travush V. I., Konin D. V., Rozhkova L. S. Eksperimental'nye issledovaniya stalezhelezobetonnykh konstrukcij, rabotayushchih na vnecentrennoe szhatie [Experimental Investigations of Steel-Reinforced Concrete Structures Working in Off-centre Compression]. *Academia. Architecture and Construction*. 2016. No. 3. Pp. 127-135.

22. Travush V. I., Konin D. V., Rozhkova L. S., Krylov A. S. Otechestvennyj i zarubezhnyj opyt issledovaniy raboty stalezhelezobetonnykh konstrukcij na vnecentrennoe szhatie [Domestic and foreign experience in research of steel reinforced concrete structures operation under off-centre compression]. *Building and Reconstruction*. 2016. No. 5(67). Pp. 31-44.

Информация об авторах:

Травуш Владимир Ильич

ЗАО «ГОРПРОЕКТ», г. Москва, Россия,

доктор технических наук, профессор, главный конструктор, заместитель генерального директора по научной работе, Вице-президент РААСН.

E-mail: travush@mail.ru

Арленинов Петр Дмитриевич

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия,

кандидат технических наук, заместитель заведующего лаборатории Механики железобетона.

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

доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций (ЖБК)д

E-mail: arleninoff@gmail.com

Десяткин Михаил Александрович

ООО «Инфорспроект», г. Москва, Россия,

главный конструктор.

E-mail: mdesyatkin@mail.ru

Ивашенко Андрей Николаевич

ООО «Инфорспроект», г. Москва, Россия,

технический директор.

E-mail: a.ivaschenko@inforceproject.ru

Калмакова Полина Сергеевна

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия,

младший научный сотрудник лаборатории Механики железобетона.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
(НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
аспирант кафедры «Строительного материаловедения».
E-mail: polina15kalmakowa@gmail.com

Каприелов Семен Суменович

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия,
доктор технических наук, профессор, академик РААСН, заведующий лабораторией № 16 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство».
E-mail: kapriellov@masterbeton-mb.ru

Конин Денис Владимирович

Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) имени В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией Высотных зданий и сооружений отдела металлических конструкций, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО "НИЦ "Строительство".
E-mail: konden@inbox.ru

Крылов Алексей Сергеевич

Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) имени В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории Высотных зданий и сооружений, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО "НИЦ "Строительство".
E-mail: kryl07@mail.ru

Крылов Сергей Борисович

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия,
доктор технических наук, заведующий лабораторией Механики железобетона.
E-mail: Krylov_s_b@mail.ru

Чилин Игорь Анатольевич

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия,
инженер, научный сотрудник лаборатории № 16 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство».
E-mail: chilin@masterbeton-mb.ru

Шейнфельд Андрей Владимирович

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия,
доктор технических наук, советник РААСН, заместитель заведующего лабораторией № 16 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство».
E-mail: sheynfeld@masterbeton-mb.ru

Information about authors:

Travush Vladimir П.

GORPROJECT, Moscow, Russia,
doctor of technical sciences, professor, chief designer, deputy director general for scientific work, Vice-President of RAASN.
E-mail: travush@mail.ru

Arleninov Petr D.

JSC Research Center of Construction NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Moscow, Russia,
Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of the Reinforced Concrete Mechanics Laboratory.
National Research Moscow State Construction University" (NIU MSCU), Moscow, Russia,
associate professor of the department of Reinforced Concrete and Masonry Structures (RCS).
E-mail: arleninoff@gmail.com

Desyatkin Mikhail Al.

Inforsproekt, Moscow, Russia,
chief designer.

E-mail: mdesyatkin@mail.ru

Ivashchenko Andrey N.

Inforsproekt, Moscow, Russia,
technical director.

E-mail: a.ivaschenko@inforceproject.ru

Kalmakova Polina S.

JSC Research Center of Construction NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Moscow, Russia,
junior researcher of the Laboratory of Mechanics of Reinforced Concrete.

National Research Moscow State Construction University" (NIU MSCU), Moscow, Russia,
postgraduate student of the Department of "Building Materials Science".

E-mail: polina15kalmakowa@gmail.com

Kaprielov Semyon S.

JSC Research Center of Construction NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Moscow, Russia,
doctor of technical sciences, professor, Academician of RAASN, Head of Laboratory No. 16 of the A.A. Gvozdev
Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (A.A. Gvozdev Research Institute of Concrete and Reinforced
Concrete) of JSC SIC "Stroitelstroy".

E-mail: kaprielov@masterbeton-mb.ru

Konin Denis V.

JSC Research Center of Construction TSNIISK named after V.A. Koucherenko, Moscow, Russia,
candidate of technical sciences, deputy director for scientific work, head of the laboratory of High-Rise Buildings and
Structures of the Metal Structures Department, V.A. Kucherenko Central Research Institute of Building Structures, JSC
"SIC "Stroitelstroy".

E-mail: konden@inbox.ru

Krylov Alexey S.

JSC Research Center of Construction TSNIISK named after V.A. Koucherenko, Moscow, Russia,
candidate of technical sciences, leading researcher of the laboratory of High-Rise Buildings and Structures,
V.A. Kucherenko Central Research Institute of Building Structures, JSC SIC Stroitel.

E-mail: kryl07@mail.ru

Krylov Sergey B.

JSC Research Center of Construction NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Moscow, Russia,
doctor of technical sciences, Head of the Reinforced Concrete Mechanics Laboratory.

E-mail: Krylov_s_b@mail.ru

Chilin Igor An.

JSC Research Center of Construction NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Moscow, Russia,
engineer, researcher of laboratory No. 16 of A.A. Gvozdev NIIZhB JSC "SIC "Stroitelstroy".

E-mail: chilin@masterbeton-mb.ru

Sheinfeld Andrey V.

JSC Research Center of Construction NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Moscow, Russia,
doctor of technical sciences, Advisor of RAASN, Deputy Head of Laboratory No. 16 of the A.A. Gvozdev Research
Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZhB named after A.A. Gvozdev, JSC "SIC "Stroitelstroy").

E-mail: sheynfeld@masterbeton-mb.ru

В.Е. ЛЕВИТСКИЙ¹

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

ДЕФОРМАТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАГРУЖЕННОГО БЕТОНА ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ НАГРЕВЕ

Аннотация. Теория накопления повреждений в бетоне как неоднородно-хрупком материале применительно к условиям высокотемпературного резкорезимного нагрева дополнена предпосылкой об инвариантности предельных структурных напряжений, позволяющей представить развитие нелинейного компонента деформации и снижение прочности как единый процесс. Характеристикой этого процесса является коэффициент упругости (коэффициент секущего модуля) бетона, приобретающий в рассматриваемой постановке характер энтропийного параметра поврежденности материала. Следствия данной предпосылки сформулированы в виде базовых термомеханических соотношений, благодаря которым появляется возможность представить реакцию бетона на действие температуры и нагрузки как результат действия двух деградиционных механизмов: испарения влаги из геля цементного камня и разрушения структурных связей с ростом температуры, которые реализуются соответственно в виде линейного и нелинейного компонентов силовой деформации.

Предложена методика нормализации (представления в относительном к начальному значению виде) кривых развития силовых деформаций бетона, которая позволяет обоснованно разделить эти компоненты при анализе кривых деформирования и найти необходимые для их описания температурные параметры в условиях нагрева в нагруженном состоянии. Выявлено, что при той же нагрузке и температуре повышение деформативности при нагреве бетона в нагруженном состоянии по сравнению с нагружением после нагрева происходит за счёт увеличения линейного компонента при сохранении его доли в составе полной деформации, характеризуемой коэффициентом упругости, постоянной. Показано, что допущения, принятые в существующих моделях деформирования нагруженного бетона при нестационарном нагреве, являются частными решениями и определены условия, при которых их применение становится возможным.

Ключевые слова: бетон, огнестойкость, нагрев под нагрузкой, диаграмма деформирования, модуль упругости при нагреве, разделение компонентов деформации, модель термосилового сопротивления.

V.E. LEVITSKY¹

¹Russian University of Transport, Moscow, Russia

STRAIN PARAMETERS OF LOADED CONCRETE UNDER TRANSIENT HEATING CONDITIONS

Abstract. The theory of damage accumulation in concrete as a heterogeneous-brittle material, as applied to conditions of high-temperature, abrupt heating, is supplemented by the premise of the invariance of ultimate structural stresses, which makes it possible to imagine the development of a nonlinear component of deformation and a decrease in strength as a single process. A characteristic of this process is the elasticity coefficient (secant modulus coefficient) of concrete, which in the formulation under consideration acquires the character of an entropy parameter of material damage. The consequences of this premise are formulated in the form of basic thermomechanical relationships, thanks to which it becomes possible to consider the reaction of concrete to the action of temperature and load as a result of the action of two degradation mechanisms: evaporation of moisture from the gel of cement stone and destruction of structural bonds with increasing temperature, which are realized respectively in the form of linear and nonlinear components of force deformation.

A method of normalization (representation in a form relative to the initial value) of the development curves of force deformations of concrete is proposed, which allows us to reasonably separate these components when analyzing the deformation curves and find the temperature parameters necessary for their description under heating conditions in a loaded state. It was revealed that at the same load and temperature, an increase in deformability when heating concrete in a loaded state compared to loading after heating occurs due to an increase in the linear component while maintaining its share in the total deformation, characterized by the elasticity coefficient, constant. It is shown that the assumptions made in existing models of deformation of loaded concrete during unsteady heating are partial solutions, and the conditions under which their use becomes possible are determined.

Keywords: concrete, fire, transient thermal strain, thermo-mechanical behavior, explicit and implicit constitutive model, load induced thermal strain, master curve LITS.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Torelli G., Mandal P., Gillie M., Tran V.-X. Concrete Strains under Transient Thermal Conditions: A State-of-the-Art Review // *Engineering Structures*. 2016. Vol. 127. Pp. 172-188. doi:10.1016/j.engstruct.2016.08.021
2. Anderberg Y., Thelandersson S. Stress and Deformation Characteristics of Concrete: Part 2 - Experimental Investigation and Material Behavior Model. Bulletin 54. Lund Institute of Technology, Sweden. 1976. 85 p.
3. Schneider U. Ein Beitrag zur Frage des Kriechens und der Relaxation von Beton unter hohen Temperaturen. Habilitationsschrift. Heft 42. Technischen Universität Braunschweig. 1979. 180 p.
4. Schneider U. Concrete at High Temperatures – a General Review // *Fire Safety Journal*. 1988. No. 13. Pp. 55-68.
5. Khoury G.A., Grainger B.N., Sullivan P.J.E. Transient Thermal Strain of Concrete: Literature Review, Conditions Within Specimen and Behaviour of Individual Constituents // *Magazine of Concrete Research*. 1985. Vol. 37. No. 132. Pp. 131-144.
6. Khoury G.A., Grainger B.N., Sullivan P.J.E. Strain of Concrete During First Heating to 600°C under Load // *Magazine of Concrete Research*. 1985. Vol. 37. No. 133. Pp. 195-215.
7. Diederichs U. Modelle zur Beschreibung der Betonverformung bei Instantionaren Temperature. Abschlußkolloquium Bauwerke unter Brand Einwirkung. Braunschweig. 1987. Pp. 25-34.
8. Terro M.J. Numerical Modeling of the Behaviour of Concrete Structures in Fire // *ACI Structural Journal*. 1998. Vol. 95. No. 2. Pp. 183-193.
9. Popovics S. A Numerical Approach to the Complete Stress-Strain Curve of Concrete // *Cement and Concrete Research*. 1973. No. 3. Pp. 583-599. doi: 10.1016/0008-8846(73)90096-3
10. Franssen J.-M. Plastic Analysis of Concrete Structures Subjected to Fire / *Proceedings of the Workshop Fire Design of Concrete Structures: Whatnow? What next?* Milano. 2005. Pp.133-145.
11. Gernay T., Franssen J.-M. A Formulation of the Eurocode 2 Concrete Model at Elevated Temperature that Includes an Explicit Term for Transient Creep // *Fire Safety Journal*. 2012. Vol. 51. Pp. 1-9. doi:10.1016/j.firesaf.2012.02.001
12. Fan K., Li J., Yu M., Wu M., Yao Y. Compressive Stress-Strain Relationship for Stressed Concrete at High Temperatures // *Fire Safety Journal*. 2022. Vol. 130. 103576. 10.1016/j.firesaf.2022.103576.
13. Law A., Gillie M. Load Induced Thermal Strain: Implications for Structural Behavior // *Proceedings of the Fifth International Conference «Structures in Fire» (SiF-2008)*. Singapore. 2008. Pp. 488-496.
14. Alogla S.M., Kodur V.K.R. Quantifying Transient Creep Effects on Fire Response of Reinforced Concrete Columns // *Engineering Structures*. 2018. Vol. 174. Pp. 885-895. doi:10.1016/j.engstruct.2018.07.093
15. Li S., Liew J.Y.R., Xiong M.-X. An Improved Implicit Analysis Method to Model Transient Strain of High-Strength Concrete During Unloading at Elevated Temperatures // *The 11th International Conference on Structures in Fire (SiF-2020)*. Australia, Brisbane. 2020. Pp. 611-621. doi:10.14264/147edd8
16. Le Q.X., Torero J.L., Dao V.T.N. Stress-strain-temperature Relationship for Concrete // *Fire Safety Journal*. 2021. Vol. 120. 103126. doi:10.1016/j.firesaf.2020.103126
17. Mindeguia J.-C., Hager I., Pimienta P. et al. Parametrical Study of Transient Thermal Strain of Ordinary and High Performance Concrete // *Cement and Concrete Research*. 2013. Vol. 48. Pp. 40-52. doi:10.1016/j.cemconres.2013.02.004
18. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. М.: Стройиздат, 1962. 96 с.
19. Мурашев В.И. Трещиностойчивость, жесткость и прочность железобетона (теория сопротивления железобетона). М.: Машстройиздат, 1950. 268 с.
20. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.
21. Качанов Л.М. Основы механики разрушения. М.: Наука, 1974. 311 с.
22. Бондаренко В.М., Карпенко Н.И. Уровень напряжённого состояния как фактор структурных изменений и реологического силового сопротивления бетона // *Academia. Архитектура и строительство*. 2007. № 4. С. 56-59.
23. Fedorov V.S., Levitsky V.E., Isaeva E.A. Basic Principles in the Theory of Force and Thermal Force Resistance of Concrete // *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2022. Т. 18. № 6. С. 584-596.

24. Карпенко Н.И., Моисеенко Г.А. Развитие диаграммного метода расчета конструкций из сталефибробетона на основе методики построения диаграмм-изохрон // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2023. №6 (1066). С. 20-23.
25. Buttignol T. A Load Induced Thermal Strain (LITS) Semi-Empirical Model for Plain and Steel Fiber Reinforced Concrete Subjected to Uniaxial Compressive Load // Cement and Concrete Research. 2019. Vol. 127. 105896. doi:10.1016/j.cemconres.2019.105896.
26. Buttignol T., Bitencourt J.L. A Transient Creep Investigation Applied to the Mesoscopic Analysis of Plain Concrete under Uniaxial Compression at High Temperature // Fire Safety Journal. 2021. Vol. 126. 103484. doi:10.1016/j.firesaf.2021.103484.
27. Alogla S., Kodur V. Temperature-Induced Transient Creep Strain in Fiber-Reinforced Concrete // Cement and Concrete Composites. 2020. Vol. 113. 103719. doi:10.1016/j.cemconcomp.2020.103719.
28. Fan K., Li J., He Z., Liu Q., Yao Y. Transient creep strain of fly ash concrete at elevated temperatures // Magazine of Concrete Research. 2022. Vol. 74. doi:10.1680/jmacr.21.00267.

REFERENCES

1. Torelli G., Mandal P., Gillie M., Tran V.-X. Concrete Strains under Transient Thermal Conditions: A State-of-the-Art Review. *Engineering Structures*. 2016. Vol. 127. Pp. 172-188. doi:10.1016/j.engstruct.2016.08.021
2. Anderberg Y., Thelandersson S. Stress and Deformation Characteristics of Concrete: Part 2 - Experimental Investigation and Material Behavior Model. Bulletin 54. Lund Institute of Technology, Sweden. 1976. 85 p.
3. Schneider U. Ein Beitrag zur Frage des Kriechens und der Relaxation von Beton unter hohen Temperaturen. Habilitationsschrift. Heft 42. Technischen Universität Braunschweig. 1979. 180 p.
4. Schneider U. Concrete at High Temperatures – a General Review. *Fire Safety Journal*. 1988. No. 13. Pp. 55-68
5. Khoury G.A., Grainger B.N., Sullivan P.J.E. Transient Thermal Strain of Concrete: Literature Review, Conditions Within Specimen and Behaviour of Individual Constituents. *Magazine of Concrete Research*. 1985. Vol. 37. No. 132. Pp. 131-144.
6. Khoury G.A., Grainger B.N., Sullivan P.J.E. Strain of Concrete During First Heating to 600°C under Load. *Magazine of Concrete Research*. 1985. Vol. 37. No. 133. Pp. 195-215.
7. Diederichs U. Modelle zur Beschreibung der Betonverformung bei Instantionaren Temperature. Abschlusskolloquium Bauwerke unter Brand Einwirkung. Braunschweig. 1987. Pp. 25-34.
8. Terro M.J. Numerical Modeling of the Behaviour of Concrete Structures in Fire. *ACI Structural Journal*. 1998. Vol. 95. No. 2. Pp. 183-193.
9. Popovics S. A Numerical Approach to the Complete Stress-Strain Curve of Concrete. *Cement and Concrete Research*. 1973. No. 3. Pp. 583-599. doi: 10.1016/0008-8846(73)90096-3
10. Franssen J.-M. Plastic Analysis of Concrete Structures Subjected to Fire. Proceedings of the Workshop Fire Design of Concrete Structures: What now? What next? Milano. 2005. Pp.133-145.
11. Gernay T., Franssen J.-M. A Formulation of the Eurocode 2 Concrete Model at Elevated Temperature that Includes an Explicit Term for Transient Creep. *Fire Safety Journal*. 2012. Vol. 51. Pp. 1-9. doi:10.1016/j.firesaf.2012.02.001
12. Fan K., Li J., Yu M., Wu M., Yao Y. Compressive Stress-Strain Relationship for Stressed Concrete at High Temperatures. *Fire Safety Journal*. 2022. Vol. 130. 103576. doi:10.1016/j.firesaf.2022.103576.
13. Law A., Gillie M. Load Induced Thermal Strain: Implications for Structural Behavior. Proceedings of the Fifth International Conference «Structures in Fire» (SiF-2008). Singapore. 2008. Pp. 488-496.
14. Alogla S.M., Kodur V.K.R. Quantifying Transient Creep Effects on Fire Response of Reinforced Concrete Columns. *Engineering Structures*. 2018. Vol. 174. Pp. 885-895. doi:10.1016/j.engstruct.2018.07.093
15. Li S., Liew J.Y.R., Xiong M.-X. An Improved Implicit Analysis Method to Model Transient Strain of High-Strength Concrete During Unloading at Elevated Temperatures. The 11th International Conference on Structures in Fire (SiF-2020). Australia, Brisbane. 2020. Pp. 611-621. doi:10.14264/147edd8
16. Le Q.X., Torero J.L., Dao V.T.N. Stress-strain-temperature Relationship for Concrete. *Fire Safety Journal*. 2021. Vol. 120. 103126. doi:10.1016/j.firesaf.2020.103126
17. Mindeguia J.-C., Hager I., Pimienta P. et al. Parametrical Study of Transient Thermal Strain of Ordinary and High Performance Concrete. *Cement and Concrete Research*. 2013. Vol. 48. Pp. 40-52. doi:10.1016/j.cemconres.2013.02.004
18. Berg O.Ya. Fizicheskiye osnovy teorii prochnosti betona i zhelezobetona [Physical foundations of the theory of strength of concrete and reinforced concrete]. Moscow: Stroyizdat. 1962. 96 p. (rus)
19. Murashev V.I. Treshchinoustoychivost', zhestkost' i prochnost' zhelezobetona (teoriya soprotivleniya zhelezobetona) [Crack resistance, rigidity and strength of reinforced concrete (theory of reinforced concrete resistance)]. Moscow: Mashstroyizdat. 1950. 268 p. (rus)
20. Karpenko N.I. Obshchiye modeli mekhaniki zhelezobetona [General models of reinforced concrete mechanics]. Moscow: Stroyizdat. 1996. 416 p. (rus)
21. Kachanov L.M. Osnovy mekhaniki razrusheniya [Fundamentals of fracture mechanics]. Moscow: Nauka. 1974. 311 p. (rus)

22. Bondarenko V.M., Karpenko N.I. Uroven' napryazhonnogo sostoyaniya kak faktor strukturnykh izmeneniy i reologicheskogo silovogo soprotivleniya betona [Level of stress state as a factor of structural changes and rheological force resistance of concrete]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2007. No. 4. Pp. 56-59. (rus)
23. Fedorov V.S., Levitsky V.E., Isaeva E.A. Basic Principles in The Theory of Force and Thermal Force Resistance of Concrete. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2022. Vol. 18. No. 6. Pp. 584-596.
24. Karpenko N.I., Moiseenko G.A. Razvitiye diagrammnogo metoda rascheta konstruktsiy iz stalefibrobeta na osnove metodiki postroyeniya diagramm-izokhron [Development of a diagrammatic method for calculating structures made of steel fiber reinforced concrete based on the technique of constructing isochron diagrams]. *BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki*. 2023. Vol. 1066. No. 6. Pp. 20-23. (rus)
25. Buttignol T. A Load Induced Thermal Strain (LITS) Semi-Empirical Model for Plain and Steel Fiber Reinforced Concrete Subjected to Uniaxial Compressive Load. *Cement and Concrete Research*. 2019. Vol. 127. 105896. doi:10.1016/j.cemconres.2019.105896.
26. Buttignol T., Bitencourt J.L. A Transient Creep Investigation Applied to the Mesoscopic Analysis of Plain Concrete under Uniaxial Compression at High Temperature. *Fire Safety Journal*. 2021. Vol. 126. 103484. doi:10.1016/j.firesaf.2021.103484.
27. Alogla S., Kodur V. Temperature-Induced Transient Creep Strain in Fiber-Reinforced Concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2020. Vol. 113. 103719. doi:10.1016/j.cemconcomp.2020.103719.
28. Fan K., Li J., He Z., Liu Q., Yao Y. Transient creep strain of fly ash concrete at elevated temperatures. *Magazine of Concrete Research*. 2022. Vol. 74. doi:10.1680/jmacr.21.00267.

Информация об авторе:

Левитский Валерий Евгеньевич

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения».
E-mail: dobriy_vecher@mail.ru

Information about author:

Levitsky Valery E.

Russian University of Transport, Moscow, Russia,
candidate in technical sciences, docent, associated professor, of the department of Building Construction, Buildings and Structures.
E-mail: dobriy_vecher@mail.ru

В.В. МАЛЮК^{1,2}¹Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС, г. Владивосток, Россия²ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет», г. Южно-Сахалинск, Россия

КОНЦЕПЦИЯ МОДЕЛИ МОРОЗНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БЕТОН МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ

***Аннотация.** Представлен концептуальный подход к прогнозированию долговечности бетона в условиях морозного воздействия и сильного насыщения на основе реальной работы бетона в конструкциях портовых сооружений на морском побережье юга о. Сахалин. Показано, что отсутствие методов прогнозирования коррозии бетона в условиях морозного воздействия, обусловлено многообразием и синергетическим эффектом факторов, определяющих долговечность. Многоциклическое воздействие знакопеременных температур, обусловленное морскими приливами, не всегда является определяющим критическим показателем суровости для зоны переменного уровня. Незамерзающая вода в акватории портов и тяжелые гидрометеорологические условия в виде сильного волнения предопределяют обледенение конструкций в течение всего зимнего периода. Этот фактор в определенных случаях может являться критическим для бетона. На основании результатов исследования состояния, свойств и температурно-влажностного режима бетона в конструкциях зоны переменного уровня воды и общепринятых теоретических положений морозного разрушения бетона предложено прогнозировать срок службы в зоне переменного уровня портовых сооружений на основе концепции двухстадийности процесса морозной коррозии. Показана возможность прогноза долговечности бетона на основе сценарного моделирования процесса развития системы структуры пор цементной матрицы в зависимости от ее параметров к началу морозного воздействия и механизма промерзания бетона в конструкциях.*

***Ключевые слова:** водонасыщение бетона, долговечность, морозостойкость, морские сооружения, срок службы.*

V.V. MALYUK^{1,2}¹Branch FGBU «TSNIIP Russian Ministry of Construction» DalNIIS, Vladivostok, Russia²Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

CONCEPT OF THE MODEL OF FROST IMPACT ON CONCRETE OF OFFSHORE STRUCTURES

***Abstract.** A conceptual approach is presented to predicting the durability of concrete under conditions of frost exposure and strong saturation based on the actual work of concrete in the structures of port facilities on the sea coast of the south of the island. Sakhalin. It is shown that the lack of methods for predicting concrete corrosion under frost exposure, despite the large amount of theoretical and experimental work on this topic, is due to the diversity and synergistic effect of factors that determine durability. It has been established that the multicyclic effect of sign-variable temperatures due to sea tides is not always the determining critical indicator of severity for the zone of variable level. Non-freezing water in the port waters and severe hydrometeorological conditions in the form of strong waves predetermine the icing of structures throughout the winter period. This factor in certain cases can be critical for concrete. Based on the results of the study of the state, properties and temperature-humidity regime of concrete in the structures of the zone of variable water level and the generally accepted theoretical principles of frost destruction of concrete, it is proposed to predict its service life in the zone of variable level of port facilities based on the concept of a two-stage process of frost corrosion. The possibility of predicting the durability of concrete based on scenario modeling of the process of development of the system of pore structure of the cement matrix, depending on its parameters by the beginning of frost exposure and the mechanism of freezing of concrete in structures, is shown.*

Keywords: concrete water saturation, durability, frost resistance, offshore structures, service life prediction.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Performance-Based Specifications and Control of Concrete Durability: State-of-the-Art Report RILEM TC 230-PSC (RILEM State-of-the-Art Reports (18), Springer; 1st ed. 2016, (October 3, 2015), 391 p.
2. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Т. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 1. С. 93–02.
3. Степанова В.Ф., Фаликман В.Р. Современные проблемы обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Пленарные доклады II Международной конференции «Бетон и железобетон – взгляд в будущее». М., 2014. С. 275–289.
4. Кунцевич О.В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений Крайнего Севера. Л.: Стройиздат. Ленинградское отделение, 1983. 132 с.
5. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. Москва: Стройиздат, 1990. 320 с.
6. Горчаков Г. И., Капкин М. М., Скрамтаев Б. Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. Москва: Стройиздат, 1965. 195 с.
7. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М. Стройиздат, 1980. 536 с.
8. Добролюбов Г., Рагинов В.Б., Розенберг Т.И. Прогнозирование долговечности бетона с добавками. Москва: Стройиздат, 1983. 212 с.
9. Шейкин А.Е., Добшиц Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости. Л., 1989. 128 с.
10. Леонович С.Н., Литвиновский Д.А., Чернякевич О.Ю., Степанова А.В. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях. Минск: в 2 ч. Ч. 2., изд-во БНТУ, 2016. 393 с.
11. Шестоперов С.В. Долговечность бетона транспортных сооружений. М., изд-во Транспорт, 1966. 501 с.
12. Москвин В. М. Коррозия бетона. М.: Госстройиздат, 1952. 344 с.
13. Стольников В. В. Исследование по гидротехническому бетону. М. – Л.: Госэнегиздат, 1962. 330 с.
14. Fagerlund, G., “Moisture design with regard to durability – With special reference to frost destruction”, Division of Building Materials, Lund Institute of Technology, TVBM-3130, Lund 2006, 128 pp.
15. Fagerlund, G. Frost Destruction of Concrete –A Study of the Validity of Different Mechanisms. Nordic Concrete Research. Publ. No. NCR 58. 2018(1):35–54. //doi.org/10.2478/ncr-2018–0003
16. Neville, A. M. Brooks J.J. Concrete Technology, 2nd Edition. 2010. ISBN-3: 9780273732198.
17. Славчева Г.С., Чернышов Е.М. Влияние структуры высокопрочных модифицированных бетонов на дилатометрические эффекты при их замораживании // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2015. № 1 (22). С. 55-62
18. Malyuk V., Degradation and sudden failure of concrete structures of marine hydraulic structures in severe hydrometeorological conditions. Far East Con-2018. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 463 (2018) 022071. URL: //doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022071
19. Малюк В.В., Малюк В.Д., Леонович С.Н. Анализ результатов обследования железобетонных конструкций портовых сооружений (о. Сахалин, 1927–2018 гг.) // Бетон и железобетон. 2022. № 1 (609). С. 3–9. doi: //doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-3-9
20. Malyuk V.V., V.D. Malyuk. Freezing Mechanisms of the Concrete in an Area of Variable Water Level of Port Facilities. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 988 (2022), doi:10.1088/1755-1315/988/5/052020
21. Малюк В.В., Малюк В.Д., Леонович С.Н. Совершенствование методов проектирования и технологии бетонных работ (на примере о. Сахалин) // Бетон и железобетон. 2022. № 2 (610). С. 30–34. doi: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-610-2-30-34>.

REFERENCES

1. Performance-Based Specifications and Control of Concrete Durability: State-of-the-Art Report RILEM TC 230-PSC (RILEM State-of-the-Art Reports (18), Springer; 1st ed. 2016, (October 3, 2015), 391 p.
2. V.T. Karpenko N.I., IArmakovskii V.N., Erofeev V.T. O sovremennykh metodakh obespecheniia dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstrukttsii [On Modern Methods of Ensuring the Durability of Reinforced Concrete Structures (in Russian)]. Academia. Architecture and Construction. 2015. No.1. Pp. 93-102. (rus)
3. Stepanova V.F., Falikman V.R. Sovremennye problemy obespecheniia dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstrukttsii [Modern Problems of Ensuring the Durability of Reinforced Concrete Structures] Concrete and Reinforced Concrete – Look into the Future: in 7 volumes. Volume 3. M. MISI-MGSU Publishing House, 2014. Pp.430-444. (rus)

4. Kuntsevich O.V. *Betony vysokoї morozostoikosti dlia sooruzhenii Kraїnego Severa* [High Frost Resistance Concretes for Facilities of the Far North]. Leningrad: Stroyizdat, 1983. 132 p. (rus)
5. Alekseev S.N., Ivanov F.M., Modry S., Shissl P. *Dolgovechnost' zhelezobetona v agressivnykh sredakh* [Durability of Reinforced Concrete in Aggressive Environments]. Moskva: Strojizdat, 1990. 320 p. ISBN 5-274-00923-9. (rus)
6. Gorchakov G.I., Kapkin M.M., Skramtaev B.G. *Povyshenie morozostoikosti betona v konstruktivnykh promyshlennykh i gidrotekhnicheskikh sooruzhenii* [Increasing the frost resistance of concrete in the structures of industrial and hydraulic structures]. Moscow: Stroyizdat, 1965. 195 p. (rus)
7. Moskvina V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N., Guzeev E.A. *Korroziia betona i zhelezobetona, metody ikh zashchity* [Corrosion of Concrete and Reinforced Concrete, Methods of Their Protection] M., Strojizdat, 1980. 536 p. (rus)
8. Dobroliubov G., Ratinov V.B., Rozenberg T.I. *Prognozirovaniye dolgovechnosti betona s dobavkami*. [Prediction of durability of concrete with additives: monograph] Moscow: Stroyizdat, 1983. 212 p. (rus)
9. Sheikin A.E., Dobshits L.M. *Tsementnye betony vysokoї morozostoikosti* [Cement concretes of high frost resistance]. Leningrad, 1989. 128 p. (rus)
10. Leonovich S.N., Litvinovskii D.A., Cherniakov O.I., Stepanova A.V. *Prochnost', treshchinostoikost' i dolgovechnost' konstruktivnogo betona pri temperaturnykh i korroziionnykh vozdeistviyakh* [Strength, Crack Resistance and Durability of Structural Concrete at Temperature and Corrosion Effects]: v 2 ch. Ch. 2.- Minsk: izd-vo BNTU, 2016. 393 p. (rus)
11. Shestoporov S.V. *Dolgovechnost' betona transportnykh sooruzhenii* [Concrete Durability of Transport Structures] M., Transport Publishing House, 1966. 501 p. (rus)
12. Moskvina V. M. *Korroziya betona* [Corrosion of concrete]. M.: Gosstroyizdat, 1952. 344 p. (rus)
13. Stol'nikov V. V. *Issledovaniye po gidrotekhnicheskomu betonu* [Research on hydraulic concrete]. M. L., Gosengoiizdat, 1962. 330 p. (rus)
14. Fagerlund, G., "Moisture design with regard to durability – With special reference to frost destruction", Division of Building Materials, Lund Institute of Technology, TVBM-3130, Lund 2006, 128 pp.
15. Fagerlund, G. *Frost Destruction of Concrete – A Study of the Validity of Different Mechanisms*. Nordic Concrete Research. Publ. No. NCR 58. 2018(1) Pp. 35–54. //doi.org/10.2478/ncr-2018-0003/
16. Neville, A. M. Brooks J.J. *Concrete Technology*, 2nd Edition. 2010. ISBN-3: 9780273732198.
17. Slavcheva G.S., Chernyshov E.M. *Vliyanie struktury vysokoprochnykh modifitsirovannykh betonov na dilatometricheskie efekty pri ikh zamorazhivaniy* [Influence of the structure of high-strength modified concretes on dilatometric effects during their freezing] Bulletin of the FEFU Engineering School. 2015. No. 1 (22). Pp. 55–62. (rus)
18. Malyuk V., *Degradation and sudden failure of concrete structures of marine hydraulic structures in severe hydrometeorological conditions*. Far East Con-2018. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 463 (2018) 022071. URL://doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022071
19. Maliuk V.V., Maliuk V.D., Leonovich S.N. *Analiz rezul'tatov obsledovaniia zhelezobetonnykh konstruktivnykh portovykh sooruzhenii (o Sakhalin, 1927–2018 gg.)* [Analysis of the results of the survey of reinforced concrete structures of port facilities (Sakhalin Island, 1927–2018)] Concrete and reinforced concrete. 2022. No. 1 (609). Pp. 3–9. //doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-3-9. (rus)
20. Malyuk V.V., V.D. Malyuk. *Freezing Mechanisms of the Concrete in an Area of Variable Water Level of Port Facilities*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 988, Issue 5, id.052020, 7 p.
21. Maliuk V.V., Maliuk V.D., Leonovich S.N. *Sovershenstvovaniye metodov proektirovaniia i tekhnologii betonnykh rabot (na primere o Sakhalin)* [of design methods and technology of concrete works (on the example of Sakhalin Island)] Concrete and reinforced concrete. 2022. No 2 (610). Pp. 30–34. doi:https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-610-2-30-34 (rus)

Информация об авторе:

Малюк Владислав Викторович

Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС, г. Владивосток, Россия,
младший научный сотрудник.
ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет», г. Южно-Сахалинск, Россия,
старший преподаватель.
E-mail: mal46yuk@gmail.com

Information about author:

Malyuk Vladislav V.

Branch FGBU «TSNIIP Russian Ministry of Construction» DalNIIS, Vladivostok, Russia,
junior researcher.
Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia,
senior lecturer.
E-mail: mal46yuk@gmail.com

В.С. МОСКОВЦЕВА^{1,2}

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

²ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», г. Москва, Россия,

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРА ЖИВУЧЕСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАМ СО СЛОЖНОНАПРЯЖЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Аннотация. На энергетической основе, с использованием диаграммного метода разработан алгоритм численно-аналитического решения задачи по определению параметра живучести железобетонного рамного каркаса многоэтажного здания со сложнонапряженными элементами при статико-динамическом деформировании, вызванном особым воздействием. Определение значения параметрической нагрузки, при которой в наиболее напряженном пространственном сечении при рассматриваемом режиме нагружения наступает один из критериев особого предельного состояния получено из системы канонических уравнений неординарного варианта смешанного метода. В соответствии с этим вариантом смешанного метода, решение задачи построено таким образом, когда первоначальная исходная система подконструкции рамы описывается шарнирно-стержневой моделью, в которой места возможного выключения связей заменяют сложными шарнирами и соответственно неизвестными угловыми и линейными связями. путем выполнения численных исследований и сравнением с экспериментальными данными дана оценка эффективности и достоверности разработанной методики. Показано, что при принятых исходных гипотезах предложенная методика расчета живучести рам со сложнонапряженными элементами удовлетворительно описывает процесс их деформирования и разрушения при рассматриваемых воздействиях.

Ключевые слова: железобетонная рама, сложное напряженное состояние, экспериментально-теоретические исследования, особое воздействие, расчетная модель, параметр живучести.

V.S. MOSKOVITSEVA^{1,2}

¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

²Scientific Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia

CALCULATION OF THE SURVIVABILITY PARAMETER OF REINFORCED CONCRETE FRAMES WITH COMPLEX STRESSED ELEMENTS

Abstract. On the energy basis, using the diagrammatic method, the solution of the problem of determining the survivability parameter of the reinforced concrete frame structure of a multistory building with complex-stressed elements under static-dynamic deformation caused by a special impact is obtained. Determination of the parametric load value, at which in the most stressed spatial section at the considered loading mode one of the criteria of the special limit state comes from the system of canonical equations of the extraordinary version of the mixed method. Comparison of the experimental and design survivability parameters gives an assessment of the efficiency and reliability of the proposed design dependencies. It has been shown that with the adopted initial hypotheses, the proposed method for calculating the survivability of frames with complex stressed elements satisfactorily describes the process of their deformation and destruction under the considered impacts.

Keywords: reinforced concrete frame, complex stress state, experimental and theoretical studies, special impact, calculation model, survivability parameter.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Концепция и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 2. С. 28-31
2. Ильющенко Т.А., Колчунов В.И., Федоров С.С. Трещиностойкость преднапряженных железобетонных рамно-стержневых конструкций при особых воздействиях // Строительство и реконструкция. 2021. № 1 (93). С. 74-84.
3. Kabantsev O., Mitrovic B. Deformation and power characteristics monolithreinforced concrete bearing systems in the mode of progressive collapse // MATEC Web of Conferences / ed. Volkov A., Pustovgar A., Adamtsevich A. 2018. Vol. 251. P. 02047.
4. Демьянов А.И., Алькади С.А. Статико-динамическое деформирование железобетонных элементов пространственной рамы при их сложном сопротивлении // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 11 (719). С. 20-33
5. Xuan W., Wang L., Liu C., Xing G., Zhang L., Chen H. Experimental and theoretical investigations on progressive collapse resistance of the concrete-filled square steel tubular column and steel beam frame under the middle column failure scenario // Shock and Vibration. 2019. Vol. 2019. Pp. 1–12. doi:10.1155/2019/2354931
6. Alanani M., Ehab M., Salem H. Progressive collapse assessment of precast prestressed reinforced concrete beams using applied element method // Case Studies in Construction Materials. Elsevier Ltd., 2020. Vol. 13. P. e00457.
7. Fialko S.Y., Kabantsev O. V, Perelmuter A. V. Elasto-plastic progressive collapse analysis based on the integration of the equations of motion. Magazine of Civil Engineering. 2021. Vol. 102. No. 10214. doi: 10.34910/MCE.102.14
8. Федорова Н.В., Халина Т.А. (Ильющенко Т.А.) Исследование динамических догрузений в железобетонных конструктивных системах при внезапных структурных перестройках // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 5. С. 32-36.
9. Леонтьев Е.В. Поперечные колебания балки со свободными краями на упругом основании при действии динамической нагрузки // Строительство и реконструкция. 2020. № 3 (89). С. 31-44.
10. Savin S.Y., Fedorova N. V., Kolchunov V.I. Dinamic forces in the eccentrically compressed members of reinforced concrete frames under accidental impacts // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. ASV Publishing House, 2022. Vol. 18. No. 4. Pp. 111–123.
11. Тамразян А.Г., Живучесть как степень работоспособности конструкций при повреждении // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 7. С. 22-28
12. Травуш В.И., Федорова Н.В. Расчет параметра живучести рамно-стержневых конструктивных систем // Научный журнал строительства и архитектуры. 2017. № 1. С. 21–28.
13. Marchis A. G., Botez M. D. A numerical assessment of the progressive collapse resistance of RC frames with respect to the number of stories // Procedia Manufacturing. 2019. T. 32. P. 136-143.
14. Yu J., Gan Y. P., Liu J. Numerical study of dynamic responses of reinforced concrete infilled frames subjected to progressive collapse // Advances in Structural Engineering. 2020. С. 1369433220965273.
15. Methaq S. Matrood, Ali Al-Rifaie, Othman Hameed Zinkaah, Ali A. Shubbar. Behaviour of moment resisting reinforced concrete frames subjected to column removal scenario // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1090 (2021) P. 012135
16. Alogla K., Weekes L., Augusthus-Nelson L. Theoretical assessment of progressive collapse capacity of reinforced concrete structures // Magazine of Concrete Research. 2017. Vol. 69. No.3. Pp. 145–162.
17. Федорова Н.В., Кореньков П.А., Ву Н.Т. Методика экспериментальных исследований деформирования монолитных железобетонных каркасов зданий при аварийных воздействиях // Строительство и реконструкция. 2018. Т. 4. № 78. С. 42–52.
18. Kolcunov V.I., Tuyen V.N., Korenkov P.A. Deformation and failure of a monolithic reinforced concrete frame under accidental actions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 753. Pp. 032037.
19. Федорова Н.В., Гуок Ф.Д., Чанг Н.Т. Экспериментальные исследования живучести железобетонных рам с ригелями, усиленными косвенным армированием // Строительство и реконструкция. 2020. №1 (87). С. 92–100.
20. Yang T., Chen W., Han Z. Experimental Investigation of Progressive Collapse of Prestressed Concrete Frames after the Loss of Middle Column //Advances in Civil Engineering. 2020. T. 2020.
21. Weihui Zhong, Di Gao, Zheng Tan. Experimental study on anti-collapse performance of beamcolumn assembly considering surrounding constraints // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 643 (2021) P. 012163
22. Lin K., Lu X., Li Y., Guan H. Experimental study of a novel multi-hazard resistant prefabricated concrete frame structure // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2019. Vol. 119. Pp. 390–407

23. Федорова Н.В., Ву Нгок Туен, Яковенко И.А. Критерий прочности плосконапряженного железобетонного элемента при особом воздействии // Вестник МГСУ 2020. Т. 15. № 11. С.1513–1522.
24. Adam J.M., Parisi F., Sagaseta J., Lu X. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century // *Engineering Structures*. 2018. Т. 173. Pp. 122-149.
25. Fedorova N.V., Ngoc V.T. Deformation and failure of monolithic reinforced concrete frames under special actions // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1425. Pp. 012033.
26. Федорова Н.В., Московцева В.С., Амелина М.А., Демьянов А.И. Определение динамических усилий в сложнапряженных элементах железобетонных рам при особом воздействии // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2023. № 2 (770). С. 5-15.
27. Колчунов В.И., Московцева В.С. Живучесть железобетонных каркасов многоэтажных зданий со сложнапряженными элементами // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2022. №18(3). С. 195-203.
28. Федорова Н.В., Московцева В.С., Савин С.Ю. Деформирование и разрушение железобетонных рам со сложнапряженными элементами в запредельных состояниях // Сборник научных трудов РААСН. Российская академия архитектуры и строительных наук, 2022. Том 2. С. 458-468
29. Милейковский И.Е., Колчунов В.И. Неординарный смешанный метод расчета рамных систем с элементами сплошного и составного сечений // Известия ВУЗов. Строительство. 1995. № 7–8. С. 32–37.
30. Колчунов В.И., Ключева Н.В., Андросова Н.Б., Бухтиярова А.С. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях. М.: АСВ, 2014. 208 с.
31. BS., EN. 1992-1-1. Eurocode2. Design of concrete structures: Part 1-1: General rules and rules for buildings // *British Standards Institution, London, UK*. 2004.

REFERENCES

1. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Konceptiya i napravleniya razvitiya teorii konstruktivnoj bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij pri silovyh i sredovyh vozdeystviyah [The concept and directions of development of the theory of structural safety of buildings and structures under force and environmental influences]. *Industrial and Civil engineering*. 2013. No.2. Pp. 28-31. (rus)
2. Il'yushchenko T.A., Kolchunov V.I., Fedorov S.S. Treshchinostojkost' prednapryazhennyh zhelezobetonnyh ramno-sterzhnevyyh konstrukcij pri osobyh vozdeystviyah [Crack resistance of prestressed reinforced concrete frame-core structures under special influences]. *Building and Reconstruction*. 2021. No. 1(93). Pp. 74-84. (rus)
3. Kabantsev O., Mitrovic B. Deformation and power characteristics monolithic reinforced concrete bearing systems in the mode of progressive collapse. *MATEC Web of Conferences* / ed. Volkov A., Pustovgar A., Adamtsevich A. 2018. Vol. 251. P. 02047.
4. Dem'yanov A.I., Al'kadi S.A. Statiko-dinamicheskoe deformirovanie zhelezobetonnyh elementov prostranstvennoj ramy pri ih slozhnom soprotivlenii [Static-dynamic deformation of reinforced concrete elements of a spatial frame with their complex resistance]. *News of higher educational institutions. Construction*. 2018. No. 11 (719). Pp. 20-33(rus)
5. Xuan W., Wang L., Liu C., Xing G., Zhang L., Chen H. Experimental and theoretical investigations on progressive collapse resistance of the concrete-filled square steel tubular column and steel beam frame under the middle column failure scenario. *Shock and Vibration*. 2019. Vol. 2019. Pp. 1–12. doi:10.1155/2019/2354931
6. Alanani M., Ehab M., Salem H. Progressive collapse assessment of precast prestressed reinforced concrete beams using applied element method. *Case Studies in Construction Materials. Elsevier Ltd.*, 2020. Vol. 13. P. e00457.
7. Fialko S.Y., Kabantsev O. V, Perelmuter A. V. Elasto-plastic progressive collapse analysis based on the integration of the equations of motion. *Magazine of Civil Engineering*. 2021. Vol. 102. No. 10214. doi: 10.34910/MCE.102.14
8. Fedorova N.V., Halina T.A. (Il'yushchenko T.A.) Issledovanie dinamicheskikh dogruzhenij v zhelezobetonnyh konstruktivnyh sistemah pri vnezapnyh strukturnykh perestrojkah [Investigation of dynamic overloads in reinforced concrete structural systems during sudden structural changes]. *Industrial and Civil engineering*. 2017. No.5. Pp. 32-36. (rus).
9. Leont'ev E.V. Poperechnye kolebaniya balki so svobodnymi krayamina uprugom osnovanii pri dejstvii dinamicheskoy nagruzki [Transverse vibrations of a beam with free edges on an elastic base under the action of a dynamic load]. *Building and Reconstruction*. 2020. No. 3 (89). Pp. 31-44. (rus).
10. Savin S.Y., Fedorova N. V., Kolchunov V.I. Dynamic forces in the eccentrically compressed members of reinforced concrete frames under accidental impacts. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. ASV Publishing House*, 2022. Vol. 18. No. 4. Pp. 111–123.
11. Tamrazyan A.G., ZHivuchest' kak stepen' rabotosposobnosti konstrukcij pri povrezhdenii [Survivability as a degree of operability of structures in case of damage]. *Industrial and Civil engineering*. 2023. No. 7. Pp. 22-28. (rus)

12. Travush V.I., Fedorova N.V. Raschet parametra zhivuchesti ramno-sterzhnevyyh konstruktivnykh sistem [Calculation of the survivability parameter of frame-rod structural systems] *Scientific Journal of Construction and Architecture*. 2017. No.1. Pp. 21–28. (rus).
13. Marchis A.G., Botez M.D. A numerical assessment of the progressive collapse resistance of RC frames with respect to the number of stories. *Procedia Manufacturing*. 2019. Vol. 32. Pp. 136-143.
14. Yu J., Gan Y.P., Liu J. Numerical study of dynamic responses of reinforced concrete infilled frames subjected to progressive collapse. *Advances in Structural Engineering*. 2020. P. 1369433220965273.
15. Methaq S. Matrood, Ali Al-Rifaie, Othman Hameed Zinkaah, Ali A. Shubbar. Behaviour of moment resisting reinforced concrete frames subjected to column removal scenario. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 1090 (2021) P. 012135
16. Alogla K., Weekes L., Augustus-Nelson L. Theoretical assessment of progressive collapse capacity of reinforced concrete structures. *Magazine of Concrete Research*. 2017. Vol. 69. No.3. Pp. 145–162.
17. Fedorova N.V., Koren'kov P.A., Vu N.T. Metodika eksperimental'nykh issledovaniy deformirovaniya monolitnykh zhelezobetonnykh karkasov zdaniy pri avariynyykh vozdeystviyakh [Methods of experimental studies of deformation of monolithic reinforced concrete frames of buildings under emergency impacts]. *Building and Reconstruction*. 2018. Vol. 4. No.78. Pp. 42–52. (rus).
18. Kolcunov V.I., Tuyen V.N., Koren'kov P.A. Deformation and failure of a monolithic reinforced concrete frame under accidental actions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 753. Pp. 032037.
19. Fedorova N.V., Guok F.D., CHang N.T. Eksperimental'nye issledovaniya zhivuchesti zhelezobetonnykh ram s rigelyami, usilennymi kosvennym armirovaniem [Experimental studies of the survivability of reinforced concrete frames with crossbars reinforced with indirect reinforcement]. *Building and Reconstruction*. 2020. No.1 (87). Pp. 92–100. (rus).
20. Yang T., Chen W., Han Z. Experimental Investigation of Progressive Collapse of Prestressed Concrete Frames after the Loss of Middle Column. *Advances in Civil Engineering*. 2020. Vol. 2020.
21. Weihui Zhong, Di Gao, Zheng Tan. Experimental study on anti-collapse performance of beamcolumn assembly considering surrounding constraints. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 643 (2021) P. 012163
22. Lin K., Lu X., Li Y., Guan H. Experimental study of a novel multi-hazard resistant prefabricated concrete frame structure. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2019. Vol. 119. Pp. 390–407
23. Fedorova N.V., Vu Ngok Tuen, YAkovenko I.A. Kriterij prochnosti ploskonapryazhennogo zhelezobetonogo elementa pri osobom vozdeystvii [Strength criterion of a flat-stressed reinforced concrete element under special impact]. *Vestnik MGSU*. 2020. Vol. 15. No.11 Pp. 1513–1522. (rus).
24. Adam J.M., Parisi F., Sagaseta J., Lu X. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century. *Engineering Structures*. 2018. Vol. 173. P. 122-149.
25. Fedorova N.V., Ngoc V.T. Deformation and failure of monolithic reinforced concrete frames under special actions. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1425. Pp.012033.
26. Fedorova N.V., Moskovtseva V.S., Amelina M.A., Demyanov A.I. Opredelenie dinamicheskikh usilij v slozhnonapryazhennykh elementakh zhelezobetonnykh ram pri osobom vozdeystvii [Determination of dynamic forces in complexly stressed elements of reinforced concrete frames under special impact]. *News of higher educational institutions. Construction*. 2023. No. 2. Pp. 5-15. (rus).
27. Kolchunov V.I., Moskovtseva V.S. ZHivuchest' zhelezobetonnykh karkasov mnogoetazhnykh zdaniy so slozhnonapryazhennymi elementami [Survivability of reinforced concrete frames of multi-storey buildings with complex stress elements]. *Structural mechanics of engineering constructions and buildings*. 2022. No. 18(3). Pp.195-203. (rus).
28. Fedorova N.V., Moskovtseva V.S., Savin S.Yu. Deformirovanie i razrushenie zhelezobetonnykh ram so slozhnonapryazhennymi elementami v zapredel'nykh sostoyaniyakh [Deformation and destruction of reinforced concrete frames with complexly stressed elements in transcendent states]. *Collection of scientific papers of the RAASN. Russian Academy of Architecture and Building Sciences*. 2022. Vol. 2. Pp. 458-468. (rus).
29. Milejkovskij I.E., Kolchunov V.I. Neordinarnyj smeshannyj metod rascheta ramnykh sistem s elementami sploshnogo i sostavnogo sechenij [An extraordinary mixed method for calculating frame systems with elements of continuous and composite sections]. *News of higher educational institutions. Construction*. 1995. No. 7–8. Pp. 32–37. (rus).
30. Kolchunov V.I., Klyueva N.V., Androsova N.B., Buhtiyarova A.S. ZHivuchest' zdaniy i sooruzhenij pri zaproektnyykh vozdeystviyakh. [Survivability of buildings and structures under non-design impacts]. Moscow: ACB, 2014. 208 p. (rus).
31. BS., EN. 1992-1-1. Eurocode2. Design of concrete structures: Part 1-1: General rules and rules for buildings //British Standards Institution, London, UK. 2004.

Информация об авторе:

Московцева Виолетта Сергеевна

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

аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций; преподаватель кафедры инженерной графики и компьютерного моделирования.

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

инженер.

E-mail: lyavetka1@mail.ru

Information about author:

Moskovtseva Violetta S.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

post-graduate student of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures; lecturer of the Department of Engineering Graphics and Computer Modeling.

Scientific Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia,

engineer.

E-mail: lyavetka1@mail.ru

О.А. СИМАКОВ¹

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

ПРИМЕНЕНИЕ ТОРКРЕТ-БЕТОНА ДЛЯ УСИЛЕНИЯ КАМЕННОЙ КЛАДКИ

***Аннотация.** Технология усиления конструкций методом торкретирования известна более ста лет. Первые опыты применения данного метода относятся примерно к 1910-1912 годам. В то же время на данный момент остаются вопросы как с методикой расчета усиливаемых конструкций, так и с учетом новых свойств торкрет-бетона, которые появляются у данного материала в результате совершенствования оборудования и материала для торкретирования непосредственно. В настоящей статье рассмотрен опыт расчета, проектирования и применения торкрет-бетона для усиления несущих конструкций из каменной кладки, накопленный за последние два года. Представлены актуальные методики производства работ, а также соответствующие им методика расчетного обоснования (учитывающих этапность проведения работ по усилению конструкций) для сложных с инженерной точки зрения объектов: сводов, кирпичных стен с большим процентом повреждения, в том числе в результате минно-взрывных воздействий. Показаны результаты реализации усиления каменной кладки методом односторонних аппликаций из торкрет-бетона.*

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

OL.A. SIMAKOV¹

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

THE USE OF SHOTCRETE TO STRENGTHEN MASONRY

***Abstract.** The technology of reinforcing structures by the shotcrete method has been known for more than a hundred years. The first experiments using this method refer to approximately 1910-1912. At the same time, at this moment there are questions both with the calculation methodology of reinforced structures, and taking into account the new properties of shotcrete, which appear in this material as a result of improving equipment and material for shotcrete directly. This article examines the experience of calculating, projecting and applying shotcrete to strengthen load-bearing masonry structures accumulated over the past two years. The current methods of work are presented, as well as the corresponding methods of calculation justification (taking into account the stage of work on strengthening structures) for objects that are difficult from an engineering point of view: arches, brick walls with a large percentage of damage, including as a result of mine-explosive impacts. The results of the implementation of reinforcement of stone masonry by the method of one-sided applications of shotcrete are shown.*

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

© Симаков О.А., 2024

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мальцев А.М. Основы железобетонного строительства. Транспечать НКПС, 1929. 62 с.
2. Тонких Г.П., Кабанцев О.В., Кошаев В.В. Методика экспериментальных исследований по усилению зданий из каменной кладки железобетонными аппликациями // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2005. № 6. С. 63-65.
3. Тонких Г.П., Кабанцев О.В., Симаков О.А., Баев С.М. Экспериментальные исследования сейсмоусиления каменной кладки наружными бетонными аппликациями // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. № 2. С. 35-41.

4. Альбом конструктивных решений по сейсмоусилению каменных зданий и сооружений / Под ред. Тонких Г. П., Кабанцева О. В. Томск. 2010. 114 с.
5. Lawrence F., Kahn L. Shotcrete retrofit for unreinforced brick masonry // 8th WCEE, USA, 1984. Pp. 583-590.
6. Кабанцев О. В., Симаков О. А., Нещадимов В. А., Штырлов Д. А. Усиление несущих стен из каменной кладки поврежденных многоэтажных зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 7. С. 29-35. doi:10.33622/0869-7019.2023.07.29-35.
7. Scamardo M., Cattaneo S., Pietro Crespi, Biolzi L. Design method for masonry structures retrofitted with steel reinforced plaster // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 79. Pp. 107828. DOI:10.1016/j.jobbe.2023.107828
8. Abrams D. P., Lynch J. M. Flexural behavior of retrofitted masonry piers // EERC-MAE Joint Seminar on Risk Mitigation for Regions of Moderate Seismicity, Illinois, USA. 2001.
9. Iuorio O., Dauda J. Retrofitting Masonry Walls against Out-Of-Plane Loading with Timber Based Panels // Engineering Applied Sciences. 2021. No 11 June.
10. Facconi L., Lucchini S.S., Minelli F., Plizzari G.A. Analytical model for the in-plane resistance of masonry walls retrofitted with steel ber reinforced mortar coating // Eng. Struct. 2023. Vol. 275. 115232. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115232>.
11. Wang F., Kyriakides N., Chrysostomou C. et al. Experimental Research on Bond Behaviour of Fabric Reinforced Cementitious Matrix Composites for Retrofitting Masonry Walls // Int J Concr Struct Mater. 2021. Vol. 15. <https://doi.org/10.1186/s40069-021-00460-1>.
12. Jin Y.H., Zhou Z., Bao B., Wang H., Wang T. Experimental study on the seismic performance of clay brick masonry wall strengthened with stainless steel strips // Journal of Building Engineering. 2023. Volume 69, 15 June 2023, 106076.
13. Wang F. Experimental Research on Seismic Performance of Masonry-Infilled RC Frames Retrofitted by Using Fabric-Reinforced Cementitious Matrix Under In-Plane Cyclic Loading // Int J Concr Struct Mater. 2023. Vol. 17. No. 31. <https://doi.org/10.1186/s40069-023-00594-4>
14. Aminulai H. O., Baiguera M., Crump D., Sextos A., Kashani M. Experimental qualification of seismic strengthening of URM buildings in Nepal // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2023. Volume 173, October 2023, 108130.
15. ElGawady M., Lestuzzi P., Badoux M. In-Plane Seismic Response of Unreinforced Masonry Walls Upgraded with Fiber Reinforced Polymer // J. Comp. for Constr. 2005. 9(6).
16. ElGawady M., Lestuzzi P., Badoux M. Static cyclic response of masonry walls retrofitted with fiber reinforced polymers // J. Comp. for Constr. 2007. Volume 11. Issue 1.
17. Iaria C., Maura I., Elio S. Experimental tests and numerical modelling of reinforced masonry arches // Engineering Structures. 2010. Vol. 32. Pp. 776–792.
18. Технологические правила торкретирования кладки инженерных сооружений. М., 1985. 25 с.
19. Технологические правила применения набрызгбетона при ремонте и реконструкции инженерных сооружений. М., 1978. 22 с.
20. Джабаров М. К, Мардон М. Методы усиления кирпичных зданий пневмобетоном и штукатурными слоями в сейсмических районах. Ташкент, 1985.

REFERENCES

1. Maltsev A.M. Osnovy zhelezobetonogo stroitel'stva [Fundamentals of reinforced concrete construction]. Transpechat' NKPS, 1929.
2. Tonkih G.P. Kabancev O.V., Koshaev V.V. Metodika eksperimental'nyh is-sledovaniy po usileniyu zdaniy iz kamennoy kladki zhelezobetonnyimi aplikacijami [Methodology of experimental research on strengthening of masonry buildings with reinforced concrete applications]. *Sejismostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij*. 2005. No 6. Pp. 63-65. EDN: TSQAKB
3. Tonkih G.P., Kabancev O.V., Simakov O.A., Baev S.M. Eksperimental'nye issledovaniya sejsmousileniya kamennoy kladki naruzhnymi betonnyimi aplikacijami [Experimental investigations of the seismic strengthening of the masonry by the external concrete applications]. *Sejismostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij*. 2011. No 2. Pp. 35-41. EDN: QCWDBZ
4. Al'bom konstruktivnyh reshenij po sejsmousileniyu kamennyh zdaniy i sooruzhenij [Album of constructive solutions for seismic strengthening of masonry buildings and structures]. Eds. Tonkih G. P., Kabantsev O. V. Tomsk. 2010. 114 p.
5. Lawrence F., Kahn L. Shotcrete retrofit for unreinforced brick masonry. 8th WCEE, USA, 1984. Pp. 583-590.
6. Kabantsev O.V., Simakov O.A., Neshchadimov V.A., SHtyrlov D.A. Usilenie ne-sushchih sten iz kamennoy kladki povrezhdennyh mnogoetazhnyh zdaniy [Reinforcement of bearing walls made of masonry of damaged multistory buildings]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2023. No. 7. Pp. 29-35. doi:10.33622/0869-7019.2023.07.29-35

7. Scamardo M., Cattaneo S., Pietro Crespi, Biolzi L. Design method for masonry structures retrofitted with steel reinforced plaster. *Journal of Building Engineering*. 2023. Vol. 79. Pp. 107828. doi:10.1016/j.jobe.2023.107828
8. Abrams D. P., Lynch J. M. Flexural behavior of retrofitted masonry piers. EERC-MAE Joint Seminar on Risk Mitigation for Regions of Moderate Seismicity, Illinois, USA. 2001
9. Iuorio O., Dauda J. Retrofitting Masonry Walls against Out-Of-Plane Loading with Timber Based Panels. *Engineering Applied Sciences*. 2021. No. 11 June.
10. Facconi L., Lucchini S.S., Minelli F., Plizzari G.A. Analytical model for the in-plane resistance of masonry walls retrofitted with steel fiber reinforced mortar coating. *Eng. Struct.* 2023. Vol. 275. 115232. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115232>.
11. Wang F., Kyriakides N., Chrysostomou C. et al. Experimental Research on Bond Behaviour of Fabric Reinforced Cementitious Matrix Composites for Retrofitting Masonry Walls. *Int J Concr Struct Mater*. 2021. Vol. 15. <https://doi.org/10.1186/s40069-021-00460-1>.
12. Jin Y.H., Zhou Z., Bao B., Wang H., Wang T. Experimental study on the seismic performance of clay brick masonry wall strengthened with stainless steel strips. *Journal of Building Engineering*. 2023. Volume 69, 15 June 2023, 106076.
13. Wang F. Experimental Research on Seismic Performance of Masonry-Infilled RC Frames Retrofitted by Using Fabric-Reinforced Cementitious Matrix Under In-Plane Cyclic Loading. *Int J Concr Struct Mater*. 2023. Vol. 17. No. 31. <https://doi.org/10.1186/s40069-023-00594-4>
14. Aminulai H. O., Baiguera M., Crump D., Sextos A., Kashani M. Experimental qualification of seismic strengthening of URM buildings in Nepal. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2023. Volume 173, October 2023, 108130.
15. ElGawady M., Lestuzzi P., Badoux M. In-Plane Seismic Response of Unreinforced Masonry Walls Upgraded with Fiber Reinforced Polymer. *J. Comp. for Constr.* 2005. Vol. 9(6).
16. ElGawady M., Lestuzzi P., Badoux M. Static cyclic response of masonry walls retrofitted with fiber reinforced polymers. *J. Comp. for Constr.* 2007. Volume 11. Issue 1.
17. Ilaria C., Maura I., Elio S. Experimental tests and numerical modelling of reinforced masonry arches. *Engineering Structures*. 2010. Vol. 32. Pp. 776–792.
18. Tekhnologicheskie pravila torkretirovaniya kladki inzhenernyh sooruzhenij [Technological rules for shotcreting of masonry of engineering structures]. Moscow, 1985. 25 p.
19. Tekhnologicheskie pravila primeneniya nabryzgbetona pri remonte i rekonstrukcii inzhenernyh sooruzhenij [Technological rules of application of nabryzgbeton at repair and reconstruction of engineering constructions]. Moscow, 1978. 22 p.
20. Dzhabarov M. K, Mardon M. Metody usileniya kirpichnyh zdaniy pnevmobetonom i shtukaturnymi sloyami v sejsmicheskikh rajonah [Methods of reinforcement of brick buildings with pneumatic concrete and plaster layers in seismic areas]. Tashkent, 1985.

Информация об авторе:

Симаков Олег Александрович

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

кандидат технических наук, доцент кафедры Железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: simakov-ne@mail.ru

Information about author:

Simakov Oleg A.

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

candidate of technical sciences, associate professor of the department of Reinforced Concrete and Stone Structures.

E-mail: simakov-ne@mail.ru

И.В. СТЕПИНА¹, М. СОДОМОН¹, А.А. КРУК¹, Е.С. СОЛОВЬЕВА¹

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

ТЕРМОДЕСТРУКЦИЯ СТЕБЛЕЙ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МОНОЭТАНОЛАМИН (N→B)- ТРИГИДРОКСИБОРАТОМ

Аннотация. В представленной работе исследован процесс термодеструкции не модифицированных и модифицированных борзотным соединением измельченных стеблей борщевика Сосновского методом термогравиметрического анализа (ТГА) и дифференциальной сканирующей калориметрией (ДСК). Общая цель исследования - определение температуры разложения основных химических компонентов и величин потери массы обработанных и необработанных измельченных стеблей борщевика Сосновского для установления условий производства теплоизоляционных материалов на основе обработанных измельченных стеблей. Концентрация используемого модификатора составляла 10%, 30% и 50% моноэтаноламин (N→B)-тригидроксибората (МЭАТГБ). Полученные данные позволили сделать вывод о том, что использование 30% и 50% модификатора МЭАТГБ уменьшает величину потерь массы по сравнению с контрольными образцами. Таким образом, установлена оптимальная концентрация модификатора разная 30% для изготовления композитов из обработанных измельченных стеблей борщевика Сосновского с возможностью обработки и/или сушки при температуре менее 100°C.

Ключевые слова: борщевик Сосновского, термогравиметрический анализ, моноэтаноламин (N→B)-тригидроксиборат (МЭАТГБ), потеря массы, температура разложения

I.V. STEPINA¹, M. SODOMON¹, A.A. KRUK¹, E.S. SOLOVYEVVA¹

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

THERMAL DEGRADATION OF STEMS OF BORSCHTIA SOSNOVSKII MODIFIED WITH MONOETHANOLAMINE (N→B)- TRIHIDROXYBORATE

Abstract. In the presented work, the process of thermodegradation of unmodified and borazote-modified crushed stems of Sosnovsky's Heracleum by thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) was investigated. The general purpose of the study is to determine the decomposition temperature of the main chemical components and the values of mass loss of unmodified and modified crushed stems of Sosnovsky's heracleum to establish the conditions for the production of thermal insulation materials based on modified crushed stems. The concentration of the used modifier was 10%, 30% and 50% of monoethanolamine(N→B)trihydroxyborate (MEATHB). The data obtained allowed us to conclude that the use of 30% and 50% MEATHB modifier reduced the magnitude of mass loss compared to the control samples. Thus, the optimal concentration of the modifier different 30% was established for the manufacture of composites from modified crushed stems of Sosnovsky's heracleum with the possibility of processing and/or drying at temperatures less than 100°C.

Keywords: Sosnovsky's heracleum, thermogravimetric analysis, monoethanolamine (N→B) trihydroxyborate (MEATHB), mass loss, decomposition temperature.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М.: ГЕОС, 2009. 494 с.
2. Шестаков Д.И., Минакова А.Р., Симонова Е.И. Исследование возможности использования борщевика Сосновского как сырья для производства целлюлозы // Материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов: посвящается 90-летию Уральского государственного лесотехнического университета (УЛТИ УГЛТА УГЛТУ). – УГЛТУ, 2020. С. 525-527.
3. Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиев А.Б. Низкообжиговая, энергосберегающая, экологически безопасная технология производства керамических материалов на основе глинистых сланцев // Геология и Геофизика Юга России. 2022. №1 (12). С. 148-161.
4. Семенова Э.Е., Артамонов Н.П. Анализ применения современных энергосберегающих материалов при реконструкции торговых центров // Инженерные системы и сооружения. 2016. №.3-4 (24-25). С. 57-60.
5. Золотарев А.С. Разработка современных экологичных теплоизоляционных материалов на основе переработки отходов растениеводства // Научный журнал молодых ученых. 2022. №.5 (30). С. 45-50.
6. Сапрыкин Н.В. Повышение эффективности капитального ремонта и реконструкции зданий на основе энергосбережения // Научный журнал молодых ученых. 2019. №3 (16). С. 53-55.
7. Колосова А.С., Пикалов Е.С. Современные эффективные теплоизоляционные материалы на органической основе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. №. 4. С. 74-85.
8. Aditya L. et al. A review on insulation materials for energy conservation in buildings // Renewable and sustainable energy reviews. 2017. Vol. 73. Pp. 1352-1365.
9. Cosentino L., Fernandes J., Mateus R. A Review of Natural Bio-Based Insulation Materials // Energies. – 2023. Vol. 16. No. 12. Pp. 4676.
10. Смирнова О.Е., Отточко С.Ю. Возможности изготовления теплоизоляционных материалов на основе органических отходов // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). 2017. №. 2 (20). С. 120-130.
11. Шабалина О.Н., Горбушина Т.Н., Гордина А.Ф. Разработка теплоизоляционного материала с применением костры льна // Сборник материалов IV Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием (Молодые ученые - ускорению научно-технического прогресса в XXI веке). Ижевск : Изд-во ИННОВА, 2016. С. 864-868.
12. Содомон М., Степина И.В. Теплофизические свойства композитного материала на основе растительного сырья // Техника и технология силикатов. 2022. № 4 (29). С. 342-349.
13. Котенева И.В. Боразотные модификаторы для защиты древесины строительных конструкций : монография / И. В. Котенева. – Москва : МГСУ, 2011. 191с.
14. Yang H. et al. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis // Fuel. 2007. №. 12-13 (86). Pp. 1781-1788.
15. Poletto M., Júnior H.L.O., Zattera A.J. Thermal decomposition of natural fibers: kinetics and degradation mechanisms // Reactions and mechanisms in thermal analysis of advanced materials. 2015. Pp. 515-545.
16. Микова Н.М., Фетисова О.Ю., Павленко Н.И., Чесноков Н.В. Изучение термического поведения органосольвентных лигнинов, выделенных из древесины пихты и осины // Химия в интересах устойчивого развития. 2018. №. 4 (26). С. 411-418.
17. Destaing F. Contribution à l'étude du comportement mécanique de matériaux composites biosourcés lin/PA11 élaborés par thermocompression : Caen. Université de Caen Bass-Normandie. 2012.
18. Маляр Ю.Н., Шарыпов В.И., Казаченко А.С., Левданский А.В. Изучение органосольвентных лигнинов с методами гель-проникающей хроматографии и термического анализа // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2019. №. 1 (12). С. 73-86.
19. Степина И.В., Содомон М., Кононов Г.Н., Петухов В.А. Компонентный состав модифицированного растительного сырья // Инженерный вестник Дона. 2022. №. 9 (93). С. 223-231.

REFERENCES

1. Vinogradova Y.K., Mayorov S.R., Khorun L.V. Chernaya kniga flory Sredneĭ Rossii (Chuzherodnyye vidy rastenĭ v ekosistemakh Sredneĭ Rossii) [Black Book of Flora of Middle Russia (Alien plant species in ecosystems of Middle Russia)]. M.: GEOS, 2009. 494 p. (rus)
2. Shestakov D.I., Minakova A.R., Simonova E.I. Issledovaniye vozmozhnosti ispol'zovaniya borshchevika Sosnovskogo kak syr'ya dlya proizvodstva tsellyulozy [Investigation of the possibility of using Sosnovsky's borsch as a

raw material for cellulose production]. *Materialy XVI Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov: posvyashchayetsya 90-letiyu Ural'skogo gosudarstvennogo lesotekhnicheskogo universiteta (ULTI UGLTA UGLTU)*. [Proceedings of the XVI All-Russian Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduates: Dedicated to the 90th Anniversary of the Ural State Forestry University]. UGLTU, 2020. Pp. 525-527. (rus)

3. Toturbiev B. D., Mamaev S. A., Toturbiev A. B. Nizkoobzhigovaya, energosberegayushchaya, ekologicheski bezopasnaya tekhnologiya proizvodstva keramicheskikh materialov na osnove glinistykh slantsev [Low-firing, energy-saving, environmentally safe technology for the production of ceramic materials based on clay shale]. *Geology and Geophysics of Southern Russia*. 2022. Vol. 12. No 1. Pp. 148-161. (rus)

4. Semenova E.E., Artamonov N.P. Analiz primeneniya sovremennykh energosberegayushchikh materialov pri rekonstruktsii torgovykh tsentrov [Analysis of the application of modern energy-saving materials in the reconstruction of shopping centers]. *Engineering systems and facilities*. 2016. Vol. 24-25. No 3-4. Pp. 57-60. (rus)

5. Zolotarev A.C. Razrabotka sovremennykh ekologichnykh teploizolyatsionnykh materialov na osnove pererabotki otkhodov rasteniyevodstva [Development of modern environmentally friendly heat-insulating materials based on the processing of crop wastes]. *Scientific Journal of Young Scientists*. 2022. Vol.30. No 5. Pp. 45-50. (rus)

6. Saprykin N.V. Povysheniye effektivnosti kapital'nogo remonta i rekonstruktsii zdaniy na osnove energosberezheniya [Improving the efficiency of capital repair and reconstruction of buildings on the basis of energy saving]. *Scientific Journal of Young Scientists*. 2015. Vol. 16. No 3. Pp. 251-255. (rus)

7. Kolosova A.S., Pikalov E.C. Sovremennyye effektivnyye teploizolyatsionnyye materialy na organicheskoy osnove [Modern effective thermal insulation materials on organic basis]. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2021. No 4. Pp. 74-85. (rus)

8. Aditya L. et al. A review on insulation materials for energy conservation in buildings. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2017. Vol. 73. Pp. 1352-1365.

9. Cosentino L., Fernandes J., Mateus R. A Review of Natural Bio-Based Insulation Materials //Energies. – 2023. Vol. 16. No 12. Pp. 4676.

10. Smirnova O.E., Ottochko S.Yu. Vozmozhnosti izgotovleniya teploizolyatsionnykh materialov na osnove organicheskikh otkhodov [Possibilities of manufacturing of thermal insulation materials based on organic waste]. *Proceedings of the Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)*. 2017. Vol. 20. No 2. Pp. 120-130. (rus)

11. Shabalina O.N., Gorbushina T.N., Gordina A.F. Razrabotka teploizolyatsionnogo materiala s primeneniym kostry l'na [Development of thermal insulation material with the use of flax bark]. *Molodyye uchenyye-uskoreniyu nauchno-tekhnicheskogo progressa v XXI veke*. [Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Technical Conference of Postgraduate Students, Masters Students and Young Scientists with International Participation (Young Scientists - Acceleration of Scientific and Technical Progress in the XXI Century)]. Izhevsk : Izd-vo INNOVA, 2016. Pp. 864-868. (rus)

12. Sodomon M., Stepina I.V. Teplofizicheskie svoystva kompozitnogo materiala na osnove rastitel'nogo syr'ya [Thermophysical properties of composite material based on plant raw materials]. *Silicate engineering and technology*. 2022. Vol. 29. No 4. Pp. 342-349. (rus)

13. Koteneva I.V. Borazotnyye modifikatory dlya zashchity drevesiny stroitel'nykh konstruktsiy. [Borazotnye modifiers for wood protection of building structures]. Moscow : MSCU, 2011. 191p. (rus)

14. Yang H. et al. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*. 2007. Vol. 86. No 12-13. Pp. 1781-1788.

15. Poletto M., Júnior H.L.O., Zattera A.J. Thermal decomposition of natural fibers: kinetics and degradation mechanisms. *Reactions and mechanisms in thermal analysis of advanced materials*. 2015. Pp. 515-545.

16. Mikova N.M., Fetisova O.Yu., Pavlenko N.I., Chesnokov N.V. Izucheniye termicheskogo povedeniya organosol'ventnykh ligninov, vydelennykh iz drevesiny pikhty i osiny [Study of thermal behavior of organosolvent lignins isolated from fir and aspen wood]. *Chemistry for sustainable development*. 2018. Vol. 26. No 4. Pp. 411-418. (rus)

17. Destaing F. Contribution à l'étude du comportement mécanique de matériaux composites biosourcés lin/PA11 élaborés par thermocompression : Diss. – Caen, 2012. (French).

18. Malyar Yu. N. et al. Izucheniye organosol'ventnykh ligninov s metodami gel'-pronikayushchey khromatografii i termicheskogo analiza [Study of organo-solvent lignins using gel permeation chromatography and thermal analysis]. *Journal of the Siberian Federal University. Chemistry*. 2019. Vol. 12. Vol. 1. Pp. 73-86. (rus)

19. Stepina I.V., Sodomon M., Kononov G.N., Petukhov V.A. Komponentnyy sostav modifitsirovannogo rastitel'nogo syr'ya [Component composition of modified plant raw materials]. *Don Engineering Bulletin*. 2022. Vol. 93. No 9. Pp. 223-231.

Информация об авторах:

Степина Ирина Васильевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
г. Москва, Россия,
доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры Строительного материаловедения.
E-mail: sudeykina@mail.ru

Содомон Марк

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
г. Москва, Россия,
аспирант кафедры Строительного материаловедения.
E-mail: sodomonmarc@yahoo.fr

Крук Артем Анатольевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
г. Москва, Россия,
студент кафедры Строительного материаловедения.
E-mail: krukartem24020@gmail.com

Соловьева Екатерина Сергеевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
г. Москва, Россия,
студент кафедры Строительного материаловедения.
E-mail: solovyevaakatya@gmail.com

Information about authors:

Stepina Irina V.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
docent, candidate of technical sciences, lecturer of the department of Building Materials Science.
E-mail: sudeykina@mail.ru

Sodomon Mark

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
postgraduate student of the department of Building Materials Science.
E-mail: sodomonmarc@yahoo.fr

Kruk Artem An.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
student of the department of Building Materials Science.
E-mail: krukartem24020@gmail.com

Solovieva Ekaterina S.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
student of the department of Building Materials Science.
E-mail: solovyevaakatya@gmail.com

Ю.И. ТИЛИНИН¹

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия

ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗВИТИЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МЕТОДОВ СТРОИТЕЛЬСТВА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Аннотация. В статье рассмотрены технологии возведения в основном гражданских зданий в разные периоды строительства в Санкт-Петербурге. Предметом исследования являются строительные системы и технологии возведения зданий, которые рассматриваются с целью исследования развития методов индустриального строительства в Санкт-Петербурге и прогнозирования тенденций технического прогресса в области индустриальных методов строительства. Предпосылками технического прогресса в строительном комплексе Санкт-Петербурга является развитие индустрии материально-технических ресурсов строительства, а именно производства новых строительных материалов, конструкций, строительной оснастки, приспособлений и строительных машин, а также малой механизации и инструментов. Это неизбежно становится причиной появления в строительстве более совершенных строительных систем, возводимых индустриальными методами. В ходе исследования строительные системы оценивались методами экспертного опроса специалистов по заранее разработанной анкете, в которой были взаимно несопоставимые критерии, отражающие архитектурные, прочностные и экономические характеристики строительных систем индустриального производства. Результаты экспертной оценки строительных систем стали основой в определении рациональной объемов сборного и сборно-монолитного строительства и выявления тенденций и перспективных направлений развития индустриальных методов строительства и научных исследований в этой области.

Ключевые слова: предпосылки, развитие, строительство, кирпичное домостроение, индустриальные методы, панельные здания, сборно-монолитный каркас, рациональные объемы, анкета, баллы, экспертная оценка.

YU.I. TILININ¹,

¹Saint Petersburg State University of architecture and civil engineering, Saint Petersburg, Russia

PREREQUISITES FOR THE DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL CONSTRUCTION METHODS IN ST. PETERSBURG

Abstract. The article considers the technologies for the construction of mainly civil buildings in different periods of construction in St. Petersburg. The subject of the study is building systems and building construction technologies, which are considered in order to study the development of industrial construction methods in St. Petersburg and predict trends in technical progress in the field of industrial construction methods. The prerequisites for technological progress in the construction complex of St. Petersburg is the development of the industry of material and technical resources of construction, namely the production of new building materials, structures, construction equipment, fixtures and construction machines, as well as small-scale mechanization and tools. This inevitably becomes the reason for the appearance in construction of more advanced building systems erected by industrial methods. In the course of the study, building systems were evaluated by the methods of an expert survey of specialists according to a previously developed questionnaire, in which there were mutually incomparable criteria reflecting the architectural, strength and economic characteristics of building systems of industrial production. The results of an expert assessment of building systems became the basis for determining the rational scope of prefabricated and precast-monolithic construction and identifying trends and promising directions for the development of industrial construction methods and scientific research in this area.

Keywords: prerequisites, development, construction, brick housing construction, industrial methods, panel buildings, prefabricated monolithic frame, rational volumes, questionnaire, points, expert assessment.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тилинин Ю. И., Пастух О. А., Животов Д. А., Панин А. Н. Домостроительные технологии в системе сохранения и развития архитектурно-планировочной структуры исторических российских городов. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский гос. архитектур.-строит. ун-т, 2022. 239 с.
2. Головина С. Г. Архитектурно-конструктивные особенности этапов развития исторической жилой застройки Санкт-Петербурга XVIII - начала XX в.в. // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 6 (77). С. 36-43. doi:10.23968/1999-5571-2019-16-6-36-43
3. Golovina S., Tikhonov Y., Sokol I. Innovation building materials in energy-saving wall systems of historical buildings in saint Petersburg//В сборнике: E3S Web of Conferences. Сер. "International Scientific and Practical Conference "Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering", ERSME 2020" 2020. С. 01004.
4. Возняк Е.Р., Головина С.Г., Пухаренко Ю.В. Трансформация исторических зданий в Санкт-Петербурге и сохранение архитектурных и конструктивных элементов различных периодов // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 5 (82). С. 5-11.
5. Yudina Antonina, Tilinin Yurii. Selection of criteria for comparative evaluation of house building //«Architecture and Engineering» (ISSN: 2500-0055) Том 4, № 1. 2019. DOI: <https://doi.org/10.23968/2500-0055-2019-4-1-47-52>
6. Травуш В.И., Кузеванов Д.В., Волков Ю.С. О стратегии развития строительной отрасли Российской Федерации на 2030-2035 годы // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 8. С. 4-10.
7. Шаленный В.Т. Интенсификация и эргономика строительного производства. Москва: "Издательство "КноРус", 2021. 340 с.
8. Евтюков С.А., Тилинин Ю.И., Щербаков А.П. К вопросу автоматизации процессов монолитного домостроения с учетом исследования конструкционных сталей в строительной робототехнике // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 3 (74). С. 72-79.
9. Миронов В.А., Абу-Хасан М.С. Виды конструктивных решений высотных зданий //БСТ: Бюллетень строительной техники. 2023. № 4 (1064). С. 38-40.
10. Олейник П.П., Бушуев Н.И. Эволюционный путь развития строительного производства // Строительное производство. 2023. № 2. С. 150-155.
11. Kazakov Yu., Birjukov A. Fast assembly of quality suspended ventilated facades // Architecture and Engineering. 2017. Т. 2. № 1. С. 32-40.
12. Oleynik P.P., Pakhomova L.A. Modeling the residential buildings erection of large-sized blocks // Vestnik MGSU. 2023. Т. 18. № 3. С. 463-470.
13. Юдина А.Ф., Евтюков С.А., Розанцева Н.В. Разработка технологии монтажа пространственной конструкции на основании экспериментально-теоретических исследований перекрестно-балочной системы // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 2 (85). С. 102-107.
14. Тилинин, Ю. И., Макаридзе Г. Д., Хорошенькая Е. В. Совершенствование технологического процесса подачи бетонной смеси в опалубку // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 4 (75). С. 74–80.
15. Казаков Ю.Н., Тимошук О.А. Анализ существующих конструктивных решений крупнопанельных зданий // I Всероссийской межвузовской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры "Строительное производство" «Технология и организация строительства»: тезисы докладов. Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2020. С. 182-187.
16. Мосаков Б.С., Бадьин Г.М., Дайронас М.В. Современный подход создания строительных систем и совершенствование проектных и организационно- технических решений // Университетская наука. 2019. № 1 (7). С. 48-54.
17. Мосаков Б.С., Курбатов В.Л., Волкова С.В. Технологические процессы при возведении зданий и сооружений в монолитном исполнении. Минеральные Воды: Северо-Кавказский филиал «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», 2019.- 430 с.
18. Шаленный В.Т., Головченко И.В. Развитие технологии сборно-монолитного домостроения с предварительно напряженными перекрытиями из многопустотных плит//Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2015, Т. 1, № 2 С.66-72
19. Мотылев Р. В., Кагазежев А. Ю. Особенности скоростного монолитного строительства жилых зданий в зимний период / Р. В. // Наука и бизнес: пути развития. 2021. № 12 (126). С. 76–78.
20. Верстов В.В., Гайдо А.Н. Развитие и становление вибрационной техники и технологий для специальных строительных работ // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 5. С. 43-49.
21. Ильющенко Т.А., Колчунов В.И., Федоров С.С. Трециностойкость преднапряженных железобетонных рамно-стержневых конструкций при особых воздействиях // Строительство и реконструкция. 2021. № 1 (93). С. 74-84.

22. Fedorova N.V., Savin S.Y., Kolchunov V.I. Affecting of the long-term deformation to the stability of rc frame-bracing structural systems under special accidental impacts // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". 2020. С. 032005.
23. Леоненко К.А., Шаленный В.Т. Повышение эффективности и эргономичности устройства каменного заполнения каркасов из мелких блоков на клею // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 17 (69). С. 21-29.
24. Karpov V., Kobelev E. Analysis of efficiency of three-layer wall panels with a discrete core // Architecture and Engineering. 2022. Т. 7. № 1. С. 16-22.

REFERENCES

1. Tilinin YU. I., Pastuh O. A., ZHivotov D. A., Panin A. N. Domostroitel'nye tekhnologii v Sisteme sohraneniya i razvitiya arhitekturno-planirovochnoy struktury istoricheskikh rossijskikh gorodov. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij. gos. arhitekturno-stroitel'. un-t, 2022. 239 p. (rus)
2. Golovina S. G. Arhitekturno-konstruktivnye osobennosti etapov razvitiya istoricheskoy zhiloy zastrojki Sankt-Peterburga XVIII - nachala HKH v.v. // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2019. No. 6 (77). Pp. 36-43. (rus) doi:10.23968/1999-5571-2019-16-6-36-43
3. Golovina S., Tikhonov Y., Sokol I. Innovation building materials in energy-saving wall systems of historical buildings in saint Petersburg // В сборнике: E3S Web of Conferences. Сер. "International Scientific and Practical Conference "Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering", ERSME 2020" 2020. Pp. 01004.
4. Voznyak E.R., Golovina S.G., Puharenko YU.V. Transformaciya istoricheskikh zdaniy v Sankt-Peterburge i sohraneniye arhitekturnyh i konstruktivnyh elementov razlichnyh periodov // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2020. No. 5 (82). Pp. 5-11. (rus)
5. Yudina Antonina, Tilinin Yurii. Selection of criteria for comparative evaluation of house building // Architecture and Engineering. 2019. Т. 4. No. 1. (ISSN: 2500-0055) doi:<https://doi.org/10.23968/2500-0055-2019-4-1-47-52>
6. Travush V.I., Kuzevanov D.V., Volkov YU.S. O strategii razvitiya stroitel'noj otrasli Rossijskoj Federacii na 2030-2035 gody // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2022. No. 8. Pp. 4-10. (rus)
7. SHalennyj V.T. Intensifikaciya i ergonomika stroitel'nogo proizvodstva. Moskva: "Izdatel'stvo "KnoRus", 2021. 340 p. (rus)
8. Evtukov S.A., Tilinin YU.I., SHCHerbakov A.P. K voprosu avtomatizacii processov monolitnogo domostroeniya s uchedom issledovaniya konstrukcionnyh stalej v stroitel'noj robototekhnike // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2019. No. 3 (74). Pp. 72-79. (rus)
9. Mironov V.A., Abu-Hasan M.S. Vidy konstruktivnyh reshenij vysotnyh zdaniy // BST: Byulleten' stroitel'noj tekhniki. 2023. No. 4 (1064). Pp. 38-40. (rus)
10. Olejnik P.P., Bushuev N.I. Evolyucionnyj put' razvitiya stroitel'nogo proizvodstva // Stroitel'noe proizvodstvo. 2023. No. 2. Pp. 150-155. (rus)
11. Kazakov Yu., Birjukov A. Fast assembly of quality suspended ventilated facades // Architecture and Engineering. 2017. Т. 2. No. 1. Pp. 32-40.
12. Olejnik P.P., Pakhomova L.A. Modeling the residential buildings erection of large-sized blocks // Vestnik MGSU. 2023. Т. 18. No. 3. Pp. 463-470.
13. YUdina A.F., Evtukov S.A., Rozanceva N.V. Razrabotka tekhnologii montazha prostranstvennoj konstrukcii na osnovanii eksperimental'no-teoreticheskikh issledovanij perekrestno-balochnoj sistemy // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2021. No.2 (85). Pp. 102-107. (rus)
14. Tilinin, YU. I., Makaridze G. D., Horoshen'kaya E. V. Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo processa podachi betonnoj smesi v opalubku // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2019. No. 4 (75). Pp. 74-80. (rus)
15. Kazakov YU.N., Timoshchuk O.A. Analiz sushchestvuyushchih konstruktivnyh reshenij krupnopanel'nyh zdaniy // I Vserossijskoj mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchenyh, posvyashchennoj 80-letiyu osnovaniya kafedry "Stroitel'noe proizvodstvo" «Tekhnologiya i organizaciya stroitel'stva»: tezisy dokladov. Sankt-Peterburg: SPbGASU, 2020. Pp. 182-187. (rus)
16. Mosakov B.S., Bad'in G.M., Dajronas M.V. Sovremennyj podhod sozdaniya stroitel'nyh sistem i sovershenstvovanie proektnyh i organizacionno- tekhnicheskikh reshenij // Universitetskaya nauka. 2019. No. 1 (7). Pp. 48-54. (rus)
17. Mosakov B.S., Kurbatov V.L., Volkova S.V. Tekhnologicheskie processy pri vozvedenii zdaniy i sooruzhenij v monolitnom ispolnenii. Mineral'nye Vody: Severo-Kavkazskij filial «Belgorodskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet im. V.G. SHuhova», 2019. 430 p. (rus)
18. SHalennyj V.T., Golovchenko I.V. Razvitie tekhnologii sborno-monolitnogo domostroeniya s predvaritel'no napryazhennymi perekrytiyami iz mnogopustotnyh plit // Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii. 2015. Т. 1. No. 2. Pp. 66-72 (rus)
19. Motylev R. V., Kagazezhev A. YU. Osobennosti skorostnogo monolitnogo stroitel'stva zhilyh zdaniy v zimnij period / R. V. // Nauka i biznes: puti razvitiya. 2021. No. 12 (126). Pp. 76-78. (rus)

20. Verstov V.V., Gajdo A.N. Razvitie i stanovlenie vibracionnoj tekhniki i tekhnologij dlya special'nyh stroitel'nyh rabot // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2022. No. 5. Pp. 43-49. (rus)
21. Il'yushchenko T.A., Kolchunov V.I., Fedorov S.S. Treshchinostojkost' prednapryazhennyh zhelezobetonnyh ramno-sterzhnevyyh konstrukcij pri osobyh vozdeystviyah // *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2021. No. 1 (93). Pp. 74-84. (rus)
22. Fedorova N.V., Savin S.Y., Kolchunov V.I. Affecting of the long-term deformation to the stability of rc frame-bracing structural systems under special accidental impacts // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". 2020. Pp. 032005.
23. Leonenko K.A., Shalenny V.T. Improving the efficiency and ergonomics of the device for masonry walls from small blocks on glue // *Construction and technogenic safety*. 2019. No. 17 (69). Pp. 21-29. (rus)
24. Karpov V., Kobelev E. Analysis of efficiency of three-layer wall panels with a discrete core // *Architecture and Engineering*. 2022. T. 7. No. 1. Pp. 16-22.

Информация об авторе:

Тилинин Юрий Иванович

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства.

E-mail: tilsp@inbox.ru

Information about author:

Tilinin Yuri I.

Saint Petersburg State University of architecture and civil engineering, Saint Petersburg, Russia,
candidate of technical science, docent of the department of construction technology.

E-mail: tilsp@inbox.ru

В.С. ФЕДОРОВ¹, И.А. ТЕРЕХОВ¹, А.М. ЛИПАТОВ²

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

²Коломенский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Коломна, Россия

ОБРАЗОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

***Аннотация.** В статье рассмотрены положения по выбору транспортных средств для перевозки сборных железобетонных конструкций. Потребность в применении железнодорожного транспорта при осуществлении доставки конструкций может быть вызвана строительством в отдаленных районах Сибири, а также существующим размещением предприятий-поставщиков.*

Для перевозки конструкций в основном используются полувагоны общего назначения, а также четырехосные платформы. Приведены способы закрепления и размещения железобетонных конструкций.

Рассмотрены основные причины повреждений железобетонных конструкций и разработаны рекомендации по их устранению при транспортировании. В большинстве случаев повреждения конструкций при железнодорожных перевозках происходят в момент соударения вагонов при неправильном спуске их с сортировочных горок из-за смещения или излома креплений под действием сдвигающегося груза, когда скорости платформ превышают нормативные. На количество повреждений также влияет некачественно осуществляемое крепление.

Исследованы возможности погрузки конструкций массового изготовления в полувагоны и на платформы, в предположении загрузки их одинаковыми по массе и размерам железобетонными конструкциями.

Приведены предложения по повышению эффективности перевозок железнодорожным транспортом, в том числе рекомендовано к применению техническое решение с установкой каркаса на платформе для перевозки плит.

Ключевые слова: транспортирование, железнодорожный транспорт, погрузка, сборный железобетон, плита, ферма, колонна, балка, дефект.

V.S. FEDOROV¹, I.A. TEREKHOV¹, A.M. LIPATOV²

¹Russian University of Transport, Moscow, Russia

²Kolomna Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Kolomna, Russia

FORMATION OF DEFECTS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES DURING TRANSPORTATION BY RAIL

***Abstract.** The article discusses the provisions on the choice of vehicles for the transportation of prefabricated reinforced concrete structures. The need for the use of railway transport in the delivery of structures may be caused by construction in remote areas of Siberia, as well as the existing location of supplier enterprises.*

General-purpose gondola cars, as well as four-axle platforms, are mainly used for transporting structures. The methods of fixing and placing reinforced concrete structures are given.

The main causes of damage to reinforced concrete structures are considered and recommendations for their elimination during transportation are developed. In most cases, structural damage during rail transportation occurs at the moment of collision of wagons when they are improperly lowered from the sorting slides due to displacement or fracture of fasteners under the action of shifting cargo, when the speeds of the platforms exceed the standard ones. The amount of damage is also affected by poor-quality fastening.

The possibilities of loading mass-produced structures into gondola cars and onto platforms are investigated, assuming that they are loaded with reinforced concrete structures of the same weight and size.

The proposals for improving the efficiency of rail transport are presented, including a recommended technical solution with the installation of a frame on a platform for transporting slabs.

Keywords: *transportation, rail transport, loading, precast concrete, slab, truss, column, beam, defect.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вельможин А.В., Куликов А.В., Фирсова С.Ю. К вопросу определения минимального количества ездки автомобиля при перевозке ЖБИ на строящийся объект // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. 2010. Т. 3. № 10 (70). С. 134-135.
2. Новикова В.Н., Литвинов Р.С. Совершенствование транспортировки строительных конструкций // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1 (52). Режим доступа: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_126_Litvinov_N.pdf_37d1276fac.pdf.
3. Осминин А.Т., Белозерова И.Г. Совершенствование системы планирования перевозок грузов // Железнодорожный транспорт. 2020. № 3. С. 17-21.
4. Терехов И.А. К вопросу перевозки автомобильным транспортом сборных железобетонных конструкций // Инженерный вестник Дона. 2023. № 8(104). С. 283-295. Режим доступа: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_36_8_terekhov.pdf_76ddc9400e.pdf.
5. Шадрина А.Р. Основные проблемы и пути их решения при организации крупногабаритных и тяжеловесных грузов // Экономика и бизнес: теория и практика. 2021. № 11-3 (81). С. 174-177.
6. Jang J.Y., Ahn S., Kim T.W. Cloud-based information system for automated precast concrete transportation planning. Automation in Construction. 2023. № 152. 104942. (eng)
7. Kim M.K., Sohn H., Chang C.C. Automated dimensional quality assessment of precast concrete panels using terrestrial laser scanning. Automation in Construction. 2014. № 45. Pp 163-177. (eng)
8. Технические условия размещения и крепления грузов. Приложение 3 к СМГС (по состоянию на 1 июля 2020 года) [Электронный ресурс]. — Белорусская железная дорога, 2020. 354 с. Режим доступа: https://www.rw.by/upload/iblock/fec/Pril-3-SMGS_Tom-2_2020.pdf (дата обращения: 07.12.2023).
9. Смехов А.А., Малов А.Д., Островский А.М., Рудых С.С., Демянкова Т.В. Грузоведение, сохранность и крепление грузов. М.: Транспорт, 1987. 239 с.
10. Бутор А.И., Короткова Л.С. К вопросу о сохранности строительных конструкций изделий в процессе их транспортирования по железной дороге // Совершенствование технологии изготовления конструкций и методов строительства транспортных зданий. М., 1984. 55-58 с.
11. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Федоров В.С., Терехов И.А. Железобетонные конструкции. В 2 ч. Ч. 1 Расчет конструкций: учебник для вузов. 2-е издание, дополненное и переработанное. М.: Издательство АСВ, 2022. 388 с.
12. Петров И.А., Кодыш Э.Н. К вопросу обеспечения сохранности сборных железобетонных конструкций при перевозке // Промышленное строительство. 1972. № 7. С. 5-6.
13. Петров А.Н., Путиков А.И. Оптимальные схемы транспортирования и монтажа длиномерных конструкций // Бетон и железобетон. 1988. № 1. С. 20-22.
14. Бондаренко В.М., Федоров В.С. Модели в теориях деформации и разрушения строительных материалов // Academia. Архитектура и строительство. 2013. № 2. С. 103-105.
15. Valinejadshoubi M., Bagchi A., Moselhi O. Damage detection for prefabricated building modules during transportation // Automation in Construction. Vol. 142. 2022. URL: [sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580522003399?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580522003399?via%3Dihub) (eng)
16. СТО НОСТРОЙ 2.7.55-2011 Плиты покрытий и перекрытий сборные железобетонные с предварительно напряженной арматурой для пролетов до 7,2 м. Технические требования к монтажу и контролю их выполнения — М.: Издательство «БСТ», 2008. 58 с.
17. Альбом-справочник полувагонов [Электронный ресурс]. / Интекс Логистик, 2018. 119 с. Режим доступа: <http://intecs-log.ru/wp-content/uploads/2018/05/Poluvagony.pdf>.
18. Альбом-справочник универсальных платформ [Электронный ресурс]. / Интекс Логистик, 2018. 111 с. Режим доступа: <http://intecs-log.ru/wp-content/uploads/2018/05/Universalnye-platformy.pdf>.
19. Федоров В.С., Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Терехов И.А. Критерии для оценки категории технического состояния железобетонных колонн, ригелей, балок и ферм // Строительство и реконструкция. 2023. № 3(107). С. 58-69.
20. Келасьев Н.Г., Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Терехов И.А., Шамаков С.Д., Хаютин Ю.Г. Совершенствование нормативной системы в строительстве на всех этапах жизненного цикла объекта // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 4. С. 10-15.
21. Терехов И.А., Такташкина О.Л. Ликвидация дефектов ребристых плит перекрытий и покрытий // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. № 11-2 (74). С. 167-172.

REFERENCES

1. Velmozhin A.V., Kulikov A.V., Firsova S.Yu. K voprosu opredeleniya minimal'nogo kolichestva ezdok avtomobilja pri perezovke ZhBI na strojashhijsa ob'ekt [On the issue of determining the minimum number of car rides when transporting reinforced concrete to an object under construction]. *Proceedings of the Volgograd State Technical University. Series: Ground Transportation Systems*. 2010. T. 3. No. 10 (70). Pp. 134-135. (rus)
2. Novikova V.N., Litvinov R.S. Sovershenstvovanie transportirovki stroitel'nyh konstrukcij [Improving the transportation of building structures]. *Engineering Journal of Don*, 2019. No. 1 (52). URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_126_Litvinov_N.pdf_37d1276fac.pdf. (rus)
3. Osminin A.T., Belozerova I.G. Sovershenstvovanie sistemy planirovaniya perezovok gruzov [Improving the cargo transportation planning system]. *Railway transport*. 2020. No. 3. pp. 17-21. (rus)
4. Terekhov I.A. K voprosu perezovki avtomobil'nyh transportom sbornyh zhelezobetonnyh konstrukcij [On the issue of transportation of prefabricated reinforced concrete structures by road] // *Engineering Journal of Don*. – 2023. No. 8(104). Pp. 283-295. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_36_8_terekhov.pdf_76ddc9400e.pdf. (rus)
5. Shadrina A.R. Osnovnye problemy i puti ih resheniya pri organizacii krupnogabaritnyh i tyazhelovesnyh gruzov [The main problems and ways to solve them in the organization of bulky and heavy cargo]. *Economics and Business: theory and practice*. 2021. No. 11-3 (81). Pp. 174-177. (rus)
6. Jang J.Y., Ahn S., Kim T.W. Cloud-based information system for automated precast concrete transportation planning. *Automation in Construction*. 2023. No. 152. 104942.
7. Kim M.K., Sohn H., Chang C.C. Automated dimensional quality assessment of precast concrete panels using terrestrial laser scanning. *Automation in Construction*. 2014. No. 45. Pp. 163-177
8. Tekhnicheskie usloviya razmeshcheniya i krepneniya gruzov. Prilozhenie 3 k SMGS (po sostoyaniyu na 1 iyulya 2020 goda) [Technical conditions for the placement and fastening of goods. Appendix 3 to the SMGS (as of July 1, 2020)] [Online]. Belarusian Railway, 2020. 354 p. URL: https://www.rw.by/upload/iblock/fec/Pril-3-SMGS_Tom-2_2020.pdf. (rus)
9. Smekhov A.A., Maslov A.D., Ostrovsky A.M., Rudykh S.S., Demyankova T.V. Gruzovedenie, sohrannost' i krepnenie gruzov. [Cargo science, safety and fastening of goods]. Moscow: Transport, 1987. 239 p. (rus)
10. Butor A.I., Korotkova L.S. K voprosu o sohrannosti stroitel'nyh konstrukcij izdelij v processe ih transportirovaniya po zheleznoj dorozhe [On the issue of the safety of building structures of products in the process of their transportation by rail] // Improving the technology of manufacturing structures and methods of construction of transport buildings. Moscow, 1984. Pp. 55-58. (rus)
11. Kodysh E.N., Trekin N.N., Fedorov V.S., Terekhov I.A. Zhelezobetonnye konstrukcii. V 2 ch. Ch. 1 Raschet konstrukcij: uchebnik dlja vuzov. [Reinforced concrete structures. In 2 parts. Part 1 Calculation of structures: a textbook for universities. 2nd edition, enlarged and revised]. Moscow: ASV Publishing House, 2022. 388 p. (rus)
12. Petrov I.A., Kodysh E.N. K voprosu obespecheniya sohrannosti sbornyh zhelezobetonnyh konstrukcij pri perezovke [On the issue of ensuring the safety of precast reinforced concrete structures during transportation]. *Industrial construction*. 1972. No. 7. Pp. 5-6. (rus)
13. Petrov A.N., Putikov A.I. Optimal'nye skhemy transportirovaniya i montazha dlinnomernyh konstrukcij [Optimal schemes of transportation and installation of long-length structures]. *Concrete and reinforced concrete*. 1988. No. 1. Pp. 20-22. (rus)
14. Bondarenko V.M., Fedorov V.S. Modeli v teoriyah deformacii i razrusheniya stroitel'nyh materialov [Models in theories of deformation and destruction of building materials] // *Academia. Architecture and construction*. 2013. No. 2. Pp. 103-105. (rus)
15. Valinejadshoubi M., Bagchi A., Moselhi O. Damage detection for prefabricated building modules during transportation. *Automation in Construction*. Vol. 142. 2022. URL: [sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580522003399?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580522003399?via%3Dihub)
16. STO NOSTROI 2.7.55-2011 Plity pokrytij i perekrytij sbornye zhelezobetonnye s predvaritel'no napryazhennoj armaturoj dlja proletov do 7,2 m. Tekhnicheskie trebovaniya k montazhu i kontrolyu ih vypolneniya [Prefabricated reinforced concrete slabs with prestressed reinforcement for spans up to 7.2 m. Technical requirements for installation and control of their implementation]. Moscow: Publishing house "BST", 2008. 58 p. (rus)
17. Al'bom-spravochnik poluvagonov [Album-guide of gondola cars] [Online]. / Intex Logistics, 2018. 119 p. URL: <http://intecs-log.ru/wp-content/uploads/2018/05/Poluvagony.pdf>. (rus)
18. Al'bom-spravochnik universal'nyh platform [Album-reference of universal platforms] [Online]. / Intex Logistics, 2018. 111 p. URL: <http://intecs-log.ru/wp-content/uploads/2018/05/Universalnye-platformy.pdf>. (rus)
19. Fedorov V.S., Trekin N.N., Kodysh E.N., Terekhov I.A. Kriterii dlya ocenki kategorii tekhnicheskogo sostoyaniya zhelezobetonnyh kolonn, rigelej, balok i ferm [Criteria for assessing the category of technical condition of reinforced concrete columns, crossbars, beams and trusses] *Building and reconstruction*. 2023. No. 3(107). Pp. 58-69. (rus)
20. Kelasyev N.G., Kodysh E.N., Trekin N.N., Terekhov I.A., Shmakov S.D., Khayutin Yu.G. Sovershenstvovanie normativnoj sistemy v stroitel'stve na vsekh etapah zhiznennogo cikla ob'ekt [Improving the regulatory system in construction at all stages of the life cycle of an object]. *Industrial and civil engineering*. 2019. No. 4. pp. 10-15. (rus)

21. Terekhov I.A., Taktashkina O.L. Likvidaciya defektov rebristyh plit perekrytij i pokrytij [Liquidation of defects in ribbed floor slabs and coverings]. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2022. No. 11-2 (74). Pp. 167-172. (rus)

Информация об авторах:

Федоров Виктор Сергеевич

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», г. Москва, Россия,
доктор технических наук, профессор, академик РААСН, заведующий кафедрой Строительных конструкций,
зданий и сооружений.

E-mail: fvs_skzs@mail.ru

Терехов Иван Александрович

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Строительных конструкций, зданий и сооружений.

E-mail: terekhov-i@mail.ru

Липатов Анатолий Михайлович

Коломенский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Коломна, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Технологии машиностроения и систем
автоматизированного проектирования.

E-mail: polytech-kolomna@mail.ru

Information about authors:

Fedorov Viktor S.

Russian University of Transport, Moscow, Russia,
doctor of technical sciences, professor, academician of the RAACS, head of the department of building constructsures,
buildings and structures.

E-mail: fvs_skzs@mail.ru

Terekhov Ivan A.

Russian University of Transport, Moscow, Russia,
candidate of technical science, associated professor, associated professor of the department of building constructsures,
buildings and structures.

E-mail: terekhov-i@mail.ru

Lipatov Anatoly M.

Kolomna Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Kolomna, Russia,
candidate of technical science, associated professor, associated professor of the department of mechanical engineering
technology and computer-aided design Systems.

E-mail: polytech-kolomna@mail.ru

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

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

В тексте статьи не рекомендуется применять:

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

Обязательные элементы:

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

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

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

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

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

Адрес издателя:

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

www.oreluniver.ru

E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции

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

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

E-mail: str_and_rek@mail.ru

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

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

Подписано в печать 29.02.2024 г.

Дата выхода в свет 07.03.2024 г.

Формат 70×108/16. Печ. л. 8,7

Цена свободная. Тираж 500 экз.

Заказ № 66

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