

# СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

ISSN 2073-7416

BUILDING AND RECONSTRUCTION

№6 (110) 2023

Теория инженерных сооружений.  
Строительные конструкции

The theory of engineering  
constructions. Construction  
design

Безопасность зданий  
и сооружений

Building and structure  
safety

Архитектура  
и градостроительство

Architecture  
and urban

Строительные материалы  
и технологии

Building  
materials



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL

Главный редактор:

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

Заместители главного редактора:

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

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

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

**Финнаева 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)*

**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)*

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

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

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

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

**Ребож 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](mailto:str_and_rek@mail.ru)

Зарегистрировано в Федеральной службе

по надзору в сфере связи, информационных

технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство: ПИ №ФС 77-67169

от 16 сентября 2016 г.

Подписной индекс **86294**

по объединённому каталогу «Пресса России»

на сайтах [www.pressa-ru.ru](http://www.pressa-ru.ru) и [www.akc.ru](http://www.akc.ru)

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2023

## Содержание

### К 70-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА РААСН Г.В. ЕСАУЛОВА

#### Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Галалюк А.В., Деркач В.Н.** Оценка механических характеристик каменной кладки существующих зданий..... 5
- Гладких В.А., Домарова Е.В., Попов Д.С., Шакалова И.С.** Усиление торкрет-бетоном несущих стен из каменной кладки..... 15
- Колчунов В.И., Крылов С.Б., Федоров С.С.** Жесткость железобетонных конструкций при изгибе с учётом поперечной и продольной сил (часть 1)..... 25
- Люблинский В.А., Стручков В.С.** Прочность и податливость вертикальных стыков панельных зданий при сдвиге и кручении..... 41
- Меркулов С.И., Кашуба С.О., Есипов С.М.** Программа и методика экспериментальных исследований железобетонных элементов с внешним армированием композитными материалами при изгибе с кручением..... 50

#### Безопасность зданий и сооружений

- Альзамили Х.Х., Эльшейх А.М.** Численное исследование поведения железобетонных балок при высоких температурах..... 58
- Куприянов В.Н., Хабибулина А.Г., Сулейманов А.М.** Защита фасадов объектов культурного наследия от воздействия косоугольного дождя: обзор экспериментальных исследований..... 73

#### Архитектура и градостроительство

- Воличенко О.В., Головина Е.В.** Модель анализа историко-архитектурных объектов..... 86
- Енин А.Е., Абуасад М.М.Х.** Системный подход к организации жилой застройки на городских территориях в особых природных условиях палестины..... 97
- Кривошапко С.Н.** Примеры архитектурных стилей, направлений и стилизаций течений для строительных сооружений криволинейной формы..... 111

#### Строительные материалы и технологии

- Алтынбекова А.Д., Лукпанов Р.Е., Дюсембинов Д.С., Цыгулев Д.В., Енкебаев С.Б., Ержанова Н.К.** Разработка комплексной добавки для производства буронабивных свай..... 131
- Рецензия на учебное пособие «Информационное моделирование и искусственный интеллект в современном строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве»..... 144**

Журнал входит в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» ВАК по группе научных специальностей 2.1. – Строительство и архитектура: 2.1.1. – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки); 2.1.2. – Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки); 2.1.5. – Строительные материалы и изделия (технические науки); 2.1.7. – Технология и организация строительства (технические науки); 2.1.9. – Строительная механика (технические науки); 2.1.10. – Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (технические науки); 2.1.11. – Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура); 2.1.12. – Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура); 2.1.13. – Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (архитектура).

Индексируется в РИНЦ, RSCI (Russian Science Citation Index) на платформе Web of Science

*Editor-in-Chief*

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

*Editor-in-Chief Assistants:*

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

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

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

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

*Editorial Board*

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

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

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

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

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

**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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*Managing Editor:*

**Yurova O.V.** (Russia)

*The edition address:*

302030, Oryol region., Oryol,

Moskovskaya Street, 77

+79065704999

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

E-mail: [str\\_and\\_rek@mail.ru](mailto:str_and_rek@mail.ru)

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

The certificate of registration:

ПН №ФЦ 77-67169 from 16.09.2016 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii» **86294** on the websites [www.pressa-ru](http://www.pressa-ru) and [www.akc.ru](http://www.akc.ru)

© Orel State University, 2023

## Contents

### FOR THE 70TH ANNIVERSARY OF ACADEMICIAN OF THE RAASN G.V. YESAULOV

#### Theory of engineering structures. Building units

- Halaliuk A.V., Derkach V.N.** Evaluation of the mechanical characteristics of the masonry in existing buildings..... 5
- Gladkikh V.F., Domarova E.V., Popov D.S., Shakalova I.S.** Reinforcement of load-loading masonry walls with shotcrete..... 15
- Kolchunov V.I., Krylov S.B., Fedorov S.S.** Stiffness of reinforced concrete structures under bending considering shear and axial forces (part 1)..... 25
- Lyublinskiy V.A., Struchkov V.S.** Strength and flexibility of vertical joints of panel buildings in shear and torsion..... 41
- Merkulov S.I., Kashuba S.O., Esipov S.M.** Program and methodology of experimental studies of reinforced concrete elements with external reinforcement with composite materials in bending with torsion..... 50

#### Building and structure safety

- Alzamili H.H., Elsheikh A.M.** Numerical study of the behavior of rc beam at high temperatures..... 58
- Kupriyanov V.N., Khabibulina A.G., Suleymanov A.M.** Protecting facades of cultural heritage objects from the wind-driven rain: a review of experimental studies..... 73

#### Architecture and town-planning

- Volichenko O.V., Golovina E.V.** Model of analysis of historical and architectural objects..... 86
- Enin A.E., Abuasad M.M.H.** A systemic approach to the organization of residential development in urban areas in the special natural conditions of palestine..... 97
- Krivoshapko S.N.** The examples of architectural styles, directions, and style flows for building erections of curvilinear form..... 111

#### Construction materials and technologies

- Altynbekova A.D., Lukpanov R.E., Dyusseminov D.S., Tsygulyov D.V., Yenkebaev S.B., Yerzhanova N.K.** Development of a complex additive for bored pile production..... 131

- Review of the textbook "Information modeling and artificial intelligence in modern construction and housing and communal services"..... 144**

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.

## К 70-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА РААСН Г.В. ЕСАУЛОВА

Как-то на заседании президиума РААСН Александр Петрович Кудрявцев в связи с обсуждением ограничений возраста для участия в конкурсе РААСН на замещение вакансий сказал, что творческий талант архитектора раскрывается только к 60-70 годам. Так вот, к Георгию Васильевичу Есаулову это вряд ли относится, так как к своему 50-летию он подошёл с солидным научно-творческим багажом. Уже в 50-летнем возрасте Георгий Васильевич стал главным учёным секретарем Академии, к которому мы, члены региональных отделений, часто приходили за советом в те непростые годы становления Академии. И всегда, встречаясь за круглым столом в его кабинете, могли получить совет по любому профессиональному вопросу, а при необходимости и помощь в решении конкретных задач. Ещё до своей деятельности в роли главного учёного секретаря РААСН, во времена выполнения большой министерской научной программы «Строительство и архитектура», возглавляемой в конце 90-ых годов академиком Л.С. Ляховичем, участники этой программы обратили внимание на молодого проектора Ростовского архитектурного института, который с собой на совещание, проходившее, например, на теплоходе, плывущем по Волге, брал мольберт. Затем, после знакомства с Георгием Васильевичем несмотря на то, что большинство из участников этой программы были не архитекторы, а представители строительных наук, они с удовольствием с ним общались и общаются в настоящее время при решении многих профессиональных задач. Его влияние на строительную науку в целом было и остается глубоким и высоко профессиональным. Это касалось и его многолетней работы в экспертном совете ВАК России, где он, будучи заместителем председателя экспертного совета, высоко держал планку уровня аттестационных требований к молодым ученым и определял уровень архитектурной науки, и его деятельности в качестве главного редактора нашего замечательного журнала «Академия», который при нем стал одним из ведущих журналов страны.

Георгий Васильевич является всегда отзывчивым в вопросах подготовки высокопрофессиональных архитекторов и высококвалифицированных ученых. Когда в начале 2000-ых в ряде вузов страны начали открываться архитектурные специальности он весьма тщательно подходил к решению этих вопросов, всегда основываясь на наличии специалистов. Так, например, с его деятельным участием были открыты профильные кафедры и начата подготовка архитекторов в Белгороде, в Орле и других регионах России. При его поддержке в этот же период в ряде ВУЗов были созданы академические научно-творческие центры РААСН. В частности, такой центр был создан и успешно функционировал в Орловском государственном техническом университете и активно проводил в жизнь многие начинания Академии и подготовил ряд интересных проектов, включая, например, реализованный в Орле в период губернаторства Е.С. Строева проект набережной рек Ока и Орлик. Такую же деятельную помощь Георгий Васильевич оказывал и оказывает теперь уже в роли вице-президента РААСН и проектора МАРХИ в подготовке будущих архитекторов и ученых архитектурных специальностей. Студенты Орловского государственного технического университета с большой теплотой вспоминают замечательные мастер-классы, проведённые Георгием Васильевичем, на которых он показал интереснейший пример, как сами студенты могут оценивать свои творческие работы. Сегодняшним экспертам в области образования и науки этот опыт был бы не безынтересным.

Вызывают большое уважение личные качества Георгия Васильевича, которые особо ярко проявились в работе ВАК России, когда надо было принимать решение о судьбе того или иного молодого ученого, Георгий Васильевич внимательно слушал коллег по экспертному совету, всегда советовался и аргументировано обосновывал принимаемые решения.

Профессиональные заслуги Георгия Васильевича весьма значимы и широко известны специалистам. На основе проведенных им научных исследований дана характеристика и предложена периодизация архитектуры и градостроительства Юга России, разработана концепция культурно-экологической таксономии наследия, введено понятие третьего пласта

в архитектуре, ряд его публикаций посвящен тенденциям в современной архитектуре, творчеству российских архитекторов. Есаулов Г.В. – автор более 400 публикаций, в том числе 12 авторских и коллективных монографий, серии разработок для довузовского и высшего архитектурно-художественного и дизайнерского образования. Автор музейных и выставочных экспозиций, произведений живописи и графики. Он награжден многими наградами, среди которых Орден Почета, Орден Дружбы, Грамота Президента России, Благодарность Председателя Совета Федерации ФС РФ, медаль «100 години Плевенская эпопея 1977» (Болгария), «Самарский крест» (Болгария), золотые медали РААСН и РАХ и другие.



*Заседание отделения архитектуры во время общего собрания г. Орел 26 мая 2011 г.*



*Г.В. Есаулов знакомит О.И. Лобова с выставкой РААСН на общем собрании, г. Орел 2011 г.*

Уважаемый Георгий Васильевич, коллектив редакции научно-технического журнала «Строительство и реконструкция» от всей души поздравляет Вас с юбилеем, желает крепкого здоровья, благополучия и новых творческих успехов в научно-педагогической деятельности и во всех Ваших начинаниях во благо отечественного образования и архитектурной науки!

Главный редактор  
журнала «Строительство и реконструкция»,  
академик РААСН, д.т.н., профессор  
В.И. Колчунов

А.В. ГАЛАЛЮК<sup>1</sup>, В.Н. ДЕРКАЧ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Филиал РУП «Институт БелНИИС» - Научно-технический центр, г. Брест, Республика Беларусь

## ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАМЕННОЙ КЛАДКИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ

**Аннотация.** Выполнен анализ известных методов оценки прочности на сжатие и модуля упругости существующих каменных конструкций. Приведен метод определения механических характеристик каменной кладки, основанный на испытаниях, вырезанных из тела кладки образцов в виде треугольных призм. Выполнено сопоставление прочности на сжатие, начальной прочности при сдвиге и угла внутреннего трения, полученных по результатам испытаний образцов-призм, с результатами испытаний образцов кладки, в соответствии со стандартами СТБ EN 1052-1 и СТБ EN 1052-3. Показано удовлетворительное согласование значений прочности кладки на сжатие и секущего модуля упругости полученных испытаниями призм сжимающей нагрузкой, действующей перпендикулярно плоскости горизонтальных растворных швов, с результатами испытаний по методике СТБ EN 1052-1. Начальная прочность на сдвиг каменной кладки, полученная по результатам испытаний согласно СТБ EN 1052-3, отличалась в меньшую сторону от прочности, установленной по результатам испытаний образцов-призм на сжатие, при этом значения угла внутреннего трения, определенные двумя методами, были близки.

**Ключевые слова:** существующие здания, каменная кладка, прочность на сжатие, модуль упругости, прочность на сдвиг.

A.V. HALALIUK<sup>1</sup>, V.N. DERKACH<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Branch office of the RUE «Institute BelNIIS» - Scientific-Technical Center, Brest, Republic of Belarus

## EVALUATION OF THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE MASONRY IN EXISTING BUILDINGS

**Abstract.** An analysis of known methods for evaluation the compressive strength and modulus of elasticity of existing masonry structures have been carried out. A method for determining the mechanical characteristics of masonry, based on tests of the specimens cutted from the body of the masonry in the form of triangular prisms have been given. Comparison of compressive strength, initial shear strength and angle of internal friction, obtained from the results of tests of prism specimens, with the results of tests of masonry specimens in accordance with the standards STB EN 1052-1 and STB EN 1052-3 has been carried out. Satisfactory agreement between the values of the compressive strength of the masonry and the secant modulus of elasticity obtained by testing the prisms with a compressive load acting perpendicular to the plane of the horizontal mortar joints with the test results according to the STB EN 1052-1 method has been shown. The initial shear strength of masonry, obtained from the results of tests according to STB EN 1052-3, differed downward from the strength established from the results of tests of prism specimens for compression, while the values of the angle of internal friction determined by the two methods were close.

**Keywords:** existing buildings, masonry, compressive strength, modulus of elasticity, shear strength.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зимин С.С., Кокоткова О.Д., Беспалов В.В. Сводчатые конструкции исторических зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 2(29). С. 57–62.
2. Беспалов В.В., Зимин С.С. Прочность каменной кладки сводчатых конструкций // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 11(50). С. 37–51.
3. Орлович Р.Б., Беспалов В.В., Семенова М.Д. О совместной работе каменных арок и стен // Строительство и реконструкция. 2018. № 5(79). С. 32–40.
4. Орлович Р.Б., Зимин С.С. Устройство сквозных проемов в каменных сводах исторических зданий // Строительство и реконструкция. 2022. № 6(104). С. 69–77.
5. Lourenco P.V. Computational strategies for masonry structures: PhD Dissertation // Delfi University of Technology. Delfi University Press. The Netherlands. 1996. 210 p.
6. Malyszko L. Modelowanie zniszczenia w konstrukcjach murowych z uzglednieniem anizotropii. Olsztyn: UWM, 2005. 158 p.
7. Кабанцев О.В. Структурный анализ процесса пластического деформирования и разрушения каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2015. ISSUE 3. Vol. 11(4). Pp. 36–51.
8. Пангаев В.В., Албаут Г.И., Федоров А.В., Табанюхова М.В. Модельные исследования напряженно-деформированного состояния каменной кладки при сжатии // Изв. Вузов. Строительство. 2003. № 2. С. 24–29.
9. Соколов Б.С., Антаков А.Б. Исследования сжатых элементов каменных и армокаменных конструкций. М: АСВ, 2010. 104 с.
10. Кашеварова Г.Г., Зобачева А.Ю. Моделирование процесса разрушения кирпичной кладки // Вестн. Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Строительство и архитектура. 2010. № 1. С. 106–116.
11. Kozłowski M, Galman I, Jasiński R. Finite Element Study on the Shear Capacity of Traditional Joints between Walls Made of AAC Masonry Units // Materials. 2020, 18, 4035. 23 p. doi:10.3390/ma13184035.
12. Derkach V., Galalyuk A. Calculation model of the Anisotropy of Strength at Compression of Masonry // Research, Design & Cad in Construction: Theory and Practice (RDCAD 2021): MATEC Web of Conferences 350, 00003 (2021), Brest, Belarus, December, 2021. 6 p.
13. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе: ГОСТ Р 58527-2019. Введ. 01.01.2021. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.
14. Растворы строительные. Методы испытаний: ГОСТ 5802-86. Введ. 11.12.1985. М.: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1985. 22 с.
15. Testing of mortars containing mineral binders - Part 9: Determination the compressive strength of hardened mortar: DIN 18555-9: 2019. Published 04.01.2019. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2019. 14 p.
16. Деркач В.Н. Каменные и армокаменные конструкции. Оценка технического состояния, ремонт и усиление. Минск: СтройМедиаПроект, 2021. 256 с.
17. UIC – International Union of Railways: UIC Code. Recommendations for the Inspection, Assessment, Reliability and Maintenance of Masonry Arch Bridges. final draft, 2008. 16 p.
18. Методы испытаний каменной кладки. Часть 1. Определение прочности при сжатии: СТБ EN 1052-1-2015. Введ. 01.11.2015. Минск: РУП «Стройтехнорм», 2015. 12 с.
19. Gaber K., Kupper R. Vorschlag für ein neues Verfahren zur Prüfung der Druckfestigkeit von bestehendem Mauerwerk // Mauerwerk. 2012. No. 16. Heft 6. Pp. 297–300.
20. Методы испытаний каменной кладки. Часть 3. Определение начальной прочности при сдвиге: СТБ EN 1052-3-2017. Введ. 01.08.2018. Минск: РУП «Стройтехнорм», 2013. 17 с.
21. Галалюк А.В. Прочность каменной кладки при сжатии под различными углами к горизонтальным растворным швам // Строительная наука. 2014: теория, образование, практика, инновации (посвящается 55-летию ИСиА САФУ). Сборник трудов междунар. научно-техн. конф., г. Архангельск, 22–23 мая 2014 г. Под ред. Лабудина Б.В. Архангельск: Изд-во ООО «Типография «ТОЧКА». 2014. С. 68–73.
22. Деркач В.Н. Оценка анизотропии прочности при сжатии каменной кладки при обследовании зданий старой постройки // Вестник БрГТУ. Строительство и архитектура. 2019. № 1. С. 58–61.
23. Nowak R., Kania T., Derkach V., Orłowicz R., Halaliuk A., Ekiert E., Jaworski R. Strength Parameters of Clay Brick Walls with Various Directions of Force // Materials. 2021. No. 14(21), Pp. 6461. <https://doi.org/10.3390/ma14216461>

REFERENCES

1. Zimin S.S., Kokotkova O.D., Bespalov V.V. Svodchatye konstrukcii istoricheskikh zdaniy [Vaulted structures of historic buildings]. *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij*. 2015. Vol. 29. No. 2. Pp. 57-62. (rus)
2. Bespalov V.V., Zimin S.S. Prochnost' kamennoj kladki svodchatyh konstrukcij [The strength of vaulted masonry structures]. *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij*. 2016. Vol. 50. No. 11. Pp. 37-51. (rus)
3. Orlovich R. B., Bespalov V.V., Semenova M.D. O sovместной rabote kamennyh arok i sten [About the joint work of masonry arches and walls]. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2018. Vol. 79. No. 5. Pp. 32-40. (rus)
4. Orlovich R.B., Zimin S.S. Ustrojstvo skvoznyh proemov v kamennyh svodah istoricheskikh zdaniy. [Arrangement of through openings in the masonry vaults of historical buildings]. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2022. Vol. 104. No. 6. Pp. 69-77. (rus)
5. Lourenco P.B. Computational strategies for masonry structures: PhD Dissertation. *Delfi University of Technology. Delfi University Press. The Netherlands*. 1996. 210 p.
6. Malyszko L. Modelowanie zniszczenia w konstrukcyach murowych z uzglednieniem anizotropii. Olsztyn: UWM, 2005. 158 p.
7. Kabancev O.V. Strukturnyj analiz processa plasticheskogo deformirovaniya i razrusheniya kamennoj kladki v usloviyah dvuhosnogo napryazhennogo sostoyaniya [Structural analysis of the process of plastic deformation and destruction of masonry under biaxial stress conditions]. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2015. ISSUE 3. Vol. 11(4). Pp. 36-51. (rus)
8. Pangaev V.V., Al'baut G.I., Fedorov A.V., Tabanyuhova M.V. Model'nye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kamennoj kladki pri szhatii [Model studies of the stress-strain state of masonry under compression]. *Izv. Vuzov. Stroitel'stvo*. 2003. No. 2. Pp. 24-29 (rus)
9. Sokolov B.S., Antakov A.B. Issledovaniya szhatyh elementov kamennyh i armokamennyh konstrukcij [Studies of compressed elements of masonry and reinforced masonry structures]. M: ASV, 2010. 104 p. (rus)
10. Kashevarova G.G., Zobacheva A.YU. Modelirovanie processa razrusheniya kirpichnoj kladki [Modelling of the process of destruction of masonry]. *Vestn. Perm. nac. issled. politekhn. un-ta. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2010. No. 1. Pp. 106–116. (rus)
11. Kozłowski M, Galman I, Jasiński R. Finite Element Study on the Shear Capacity of Traditional Joints between Walls Made of AAC Masonry Units // *Materials*. 2020, 18, 4035. 23 p. doi:10.3390/ma13184035.
12. Derkach V., Galalyuk A. Calculation model of the Anisotropy of Strength at Compression of Masonry // Research, Design & Cad in Construction: Theory and Practice (RDCAD 2021): MATEC Web of Conferences 350, 00003 (2021), Brest, Belarus, December, 2021. 6 p.
13. Materialy stenovyye. Metody opredeleniya predelov prochnosti pri szhatii i izgibe: GOST R 58527-2019 [Masonry materials. Methods for determining the ultimate strength in compression and bending: GOST R 58527-2019.] // *Vved*. 01.01.2021. M.: Standartinform. 2019. 12 p. (rus)
14. Rastvory stroitel'nye. Metody ispytaniy: GOST 5802-86. [Building mortars. Test methods: GOST 5802-86] // *Vved*. 11.12.1985. M.: Gosudarstvennyj komitet SSSR po delam stroitel'stva. 1985. 22 p. (rus)
15. Testing of mortars containing mineral binders - Part 9: Determination the compressive strength of hardened mortar: DIN 18555-9: 2019. Published 04.01.2019. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2019. 14 p.
16. Derkach V.N. Kamennyye i armokamennyye konstrukcii. Ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya, remont i usilenie [Masonry and reinforced masonry structures. Assessment of the technical condition, repair and strengthening]. Minsk: StrojMediaProekt. 2021. 256 p (rus)
17. UIC – International Union of Railways: UIC Code. Recommendations for the Inspection, Assessment, Reliability and Maintenance of Masonry Arch Bridges. final draft, 2008. 16 p.
18. Metody ispytaniy kamennoj kladki. CHast' 1. Opredelenie prochnosti pri szhatii STB EN 1052-1-2015 [Test methods for masonry. Part 1. Determination of compressive strength: STB EN 1052-1-2015]. *Vved*. 01.11.2015. Minsk: RUP «Strojtekhnorm». 2015. 12 p. (rus)
19. Gaber K., Kupper R. Vorschlag für ein neues Verfahren zur Prüfung der Druckfestigkeit von bestehendem Mauerwerk. *Mauerwerk*. 2012. No.16. Heft 6. Pp. 297-300.
20. Metody ispytaniy kamennoj kladki. CHast' 3. Opredelenie nachal'noj prochnosti pri sdvige: STB EN 1052-3-2017 [Test methods for masonry. Part 1. Determination of the initial shear strength: STB EN 1052-3-2017]. *Vved*. 01.08.2018. Minsk: RUP «Strojtekhnorm». 2013. 17 p. (rus)
21. Galalyuk A.V. Prochnost' kamennoj kladki pri szhatii pod razlichnymi uglami k gorizontalnym rastvornym shvam [Compressive strength of masonry at different angles to horizontal mortar joints]. *Stroitel'naya nauka. 2014: teoriya, obrazovanie, praktika, innovacii (posvyashchaetsya 55-letiyu ISiA SAFU)*. Sbornik trudov mezhdunar. nauchno-tekhn. konf., g. Arhangel'sk, 22-23 maya 2014 g. Pod red. Labudina B.V. Arhangel'sk: Izd-vo OOO «Tipografiya «TOCHKA». 2014. Pp. 68-73. (rus)



22. Derkach V.N. Ocenka anizotropii prochnosti pri szhatii kamЕННОj kladki pri obsledovanii zdaniј staroј postrojki [Evaluation of anisotropy of compressive strength of masonry in the inspection of old buildings]. *Vestnik BrGTU. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2019. No. 1. Pp. 58-61. (rus)

23. Nowak R., Kania T., Derkach V., Orłowicz R., Halaliuk A., Ekiert E., Jaworski R. Strength Parameters of Clay Brick Walls with Various Directions of Force. *Materials*. 2021. No. 14(21), Pp. 6461. <https://doi.org/10.3390/ma14216461>.

**Информация об авторах:**

**Галалиук Антон Владимирович**

Филиал РУП «Институт БелНИИС» - Научно-технический центр, г. Брест, Республика Беларусь, начальник отдела.

E-mail: [Halaliuk@mail.ru](mailto:Halaliuk@mail.ru)

**Деркач Валерий Николаевич**

Филиал РУП «Институт БелНИИС» - Научно-технический центр, г. Брест, Республика Беларусь, доктор технических наук, директор.

E-mail: [v-derkach@yandex.ru](mailto:v-derkach@yandex.ru)

**Information about authors:**

**Halaliuk Anton V.**

Branch office of the RUE «Institute BelNIIS» - Scientific-Technical Center, Brest, Republic of Belarus, head of department.

E-mail: [Halaliuk@mail.ru](mailto:Halaliuk@mail.ru)

**Derkach Valery N.**

Branch office of the RUE «Institute BelNIIS» - Scientific-Technical Center, Brest, Republic of Belarus, doctor of technical sciences, director.

E-mail: [v-derkach@yandex.ru](mailto:v-derkach@yandex.ru)

В.А. ГЛАДКИХ<sup>1</sup>, Е.В. ДОМАРОВА<sup>1</sup>, Д.С. ПОПОВ<sup>1</sup>, И.С. ШАКАЛОВА<sup>1</sup>

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

## УСИЛЕНИЕ ТОРКРЕТ-БЕТОНОМ НЕСУЩИХ СТЕН ИЗ КАМЕННОЙ КЛАДКИ

**Аннотация.** Выполнен анализ типов повреждений вертикальных несущих элементов из каменной кладки от взрывных воздействий, описаны основные признаки таких повреждений, требующих специальных способов усиления. Современные методы восстановления несущей способности каменной кладки требуют доработки и адаптации при рассмотрении случаев взрывных воздействий. Предметное обследование несущих стен выявило снижение сил сцепления (адгезии) между кирпичом и раствором, деградацию связей между наружной верстой и основным массивом кладки. Для восстановления несущей способности поврежденных элементов предложен современный метод, заключающийся в устройстве односторонних аппликаций из торкрет-бетона, позволяющий восстановить разрушенные связи внутри кладки и обеспечивающий высокий уровень механизации труда. Для определения физико-механических характеристик торкрет-бетона, а также адгезионной прочности между бетоном аппликации и кирпичом кладки, обеспечивающей совместность работы конструкции усиления из торкрет-бетона и существующей каменной кладки, были проведены экспериментальные исследования. Испытания проводились на 20 образцах с основанием из керамического кирпича для определения физико-механических характеристик, испытывались призмы и цилиндры, изготовленные из торкрет-бетона. Определено, что технология нанесения торкрет-бетона со скоростью 150 м/с приводит к уменьшению удельного веса смеси за счет ее уплотнения. Установлено, что при одинаковом модуле упругости торкрет-бетона и тяжелого бетона призматическая прочность торкрет-бетона значительно больше. По результатам исследований получены модуль упругости торкрет-бетона 26400 МПа, средняя призматическая прочность торкрет-бетона 42 МПа. Полученные характеристики могут быть использованы для численного моделирования и расчетного обоснования при разработке проекта усиления конструкций.

**Ключевые слова:** каменная кладка, взрывные воздействия, усиление, торкрет-бетон, экспериментальные исследования, адгезионная прочность.

V.F. GLADKIKH<sup>1</sup>, E.V. DOMAROVA<sup>1</sup>, D.S. POPOV<sup>1</sup>, I.S. SHAKALOVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

## REINFORCEMENT OF LOAD-LOADING MASONRY WALLS WITH SHOTCRETE

**Abstract.** The analysis of the types of damage to vertical load-bearing elements of masonry from explosive impacts is carried out, the main signs of such damage requiring special reinforcement methods are described. Modern methods of restoring the bearing capacity of masonry require refinement and adaptation when considering cases of explosive impacts. A substantive examination of the load-bearing walls revealed a decrease in the adhesion forces between the brick and mortar, degradation of the connections between the outer verst and the main masonry array. To restore the bearing capacity of damaged elements, a modern method is proposed, consisting in the device of one-sided applications of shotcrete, which allows to restore the destroyed connections inside the masonry and provides a high level of mechanization of labor. Experimental studies were conducted to determine the physical and mechanical characteristics of shotcrete, as well as the adhesive strength between the concrete of the application and the masonry

brick, which ensures the compatibility of the reinforcement structure of shotcrete and existing masonry. Tests were carried out on 20 samples with a ceramic brick base to determine the physical and mechanical characteristics, prisms and cylinders made of shotcrete were tested. It is determined that the technology of applying shotcrete at a speed of 150 m / s leads to a decrease in the specific weight of the mixture due to its compaction. It is established that with the same modulus of elasticity of shotcrete and heavy concrete, the prismatic strength of shotcrete is significantly greater. According to the research results, the modulus of elasticity of shotcrete is 26400 MPa, the average prismatic strength of shotcrete is 42 MPa. The obtained characteristics can be used for numerical modeling and computational justification when developing a structural reinforcement project.

**Keywords:** masonry, explosive effects, reinforcement, shotcrete, experimental studies, adhesion strength.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев К.В., Бобров В.В., Скакун П.В., Левин Д.И., Домарова Е.В. Обследование и восстановление поврежденных конструкций зданий вследствие взрывных и температурных воздействий // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 7. С. 36-42. doi:10.33622/0869-7019.2023.07.36-42
2. 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
3. Шведова В.И., Тумольский А.П., Молчанова А.В. Применение стахановских методов на восстановительных работах. Общестроительные работы. М.-Л., 1945. 88 с.
4. Басов М.А. Восстановление зданий, разрушенных бомбардировкой. М.-Л.: Наркомзем РСФСР, 1943. 88 с.
5. Barazesh M., Shamim I., Anvar S. Masonry Infill Walls Enhanced with the Reinforced Shotcrete in Blast Incidents // Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. 2023. doi:10.1007/s40996-023-01177-9.
6. Facconi L., Lucchini S., Minelli F., Plizzari G. Analytical model for the in-plane resistance of masonry walls retrofitted with steel fiber reinforced mortar coating // Engineering Structures. 2023. No. 275. Pp. 115232. doi:10.1016/j.engstruct.2022.115232.
7. СП 427.1325800.2018 Каменные и армокаменные конструкции. Методы усиления (с Изменением N 1)
8. Тонких Г.П., Симаков О.А., Симаков А.Б., Кабанцев О.В., Баев С.М., Панфилов П.С. Экспериментальные исследования сейсмоусиления каменной кладки наружными бетонными аппликациями // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. № 2. С. 35-42.
9. Ghezlbash A., Beyer K., Dolatshahi K., Yekrangnia M. Shake table test of a masonry building retrofitted with shotcrete // Engineering Structures. 2020. No. 219. doi:10.1016/j.engstruct.2020.110912.
10. Adil M. Shear Strength Evaluation of Strengthened Unreinforced Brick Masonry Walls by Using Shotcrete. ARPN Journal of Science and Technology. 2015. № 5. С. 138.
11. Rismanian Y.B., Tafti M., Mirjalili A. Experimental study on in-plane seismic behavior of unreinforced and damaged unreinforced masonry walls retrofitted with vertical concrete ties and bed rebar with and without shotcrete. Innovative Infrastructure Solutions. 2023. No. 8. doi:10.1007/s41062-023-01207-5.
12. Wang F. Experimental Research on Seismic Performance of Masonry-Infilled RC Frames Retrofitted by Using Fabric-Reinforced Cementitious Matrix Under In-Plane Cyclic Loading // International Journal of Concrete Structures and Materials. 2023. No. 17. doi:10.1186/s40069-023-00594-4.
13. Altoubat S., Maalej M., Karzad A., Estephane P. Rapid Strengthening of Unreinforced Masonry Walls for Out-of-Plane Actions using Fiber Reinforced Shotcrete. 2018.
14. Вильдеман В.Э. Соколкин Ю.В., Ташкинов А.А. Механика неупругого деформирования и разрушения композиционных материалов. М.: Наука, 1997. 228 с.
15. Кашеварова Г.Г., Зобачева А.Ю., Дубинский С.И. Моделирование процесса разрушения кирпичной кладки зданий в натуральных и численных экспериментах // Строительная механика и расчет сооружений. 2011. № 1. С. 69-73.
16. Кабанцев О.В. Дискретная модель каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния // Вестник ТГАСУ. 2015. № 4. С. 113-134.
17. Кабанцев О.В., Тамразян А.Г. Моделирование упругопластического деформирования каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2015. Iss. 3. Vol. 11. Pp. 87-100.
18. ГОСТ Р 58277-2018 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний.

19. ГОСТ 24452-80 Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона.
20. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003 (с Изменениями N 1, 2).

## REFERENCES

1. Avdeev K.V., Bobrov V.V., Skakun P.V., Levin D.I., Domarova E.V. Inspection and restoration of damaged structures of buildings due to explosive and temperature influences. *Industrial and Civil Engineering*. 2023. No. 7. Pp. 36-42. (rus)
2. Kabantsev O.V., Simakov O.A., Neshchadimov V.A., Shtyrlov D.A. Reinforcement of Bearing Masonry Walls of Damaged Multi-Storey Buildings. *Industrial and Civil Construction*. 2023. No. 7. Pp. 29-35. doi:10.33622/0869-7019.2023.07.29-35 (rus)
3. Shvedova V.I., Tumol'skiy A.P., Molchanova A.V. Primenenie stakanovskikh metodov na vosstanovitel'nyh rabotah. Obshchestroitel'nye raboty [Application of Stakhanov methods in restoration work. General construction works]. Moskva-Leningrad, 1945. 88 p. (rus)
4. Basov M.A. Vosstanovlenie zdaniy, razrushennykh bombardirovkoj [Restoration of buildings destroyed by bombing]. Moskva-Leningrad, Narkomzem RSFSR Publ., 1943. 88 p. (rus)
5. Barazesh M., Shamim I., Anvar S. Masonry Infill Walls Enhanced with the Reinforced Shotcrete in Blast Incidents. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*. 2023. doi:10.1007/s40996-023-01177-9.
6. Faconi L., Lucchini S., Minelli F., Plizzari G. Analytical model for the in-plane resistance of masonry walls retrofitted with steel fiber reinforced mortar coating. *Engineering Structures*. 2023. No. 275. Pp. 115232. doi:10.1016/j.engstruct.2022.115232.
7. SP 427.1325800.2018 Masonry and reinforced masonry structures. Methods of strengthening (rus)
8. Tonkikh G.P., Kabantsev O.V., Simakov O.A., Simakov A.B., Baev S.M., Panfilov P.S. Experimental study of seismic strengthening of masonry exterior concrete applications. *Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy*. 2011. No. 2. Pp. 35–42. (rus)
9. Ghezlbash A., Beyer K., Dolatshahi K., Yekrangnia M. Shake table test of a masonry building retrofitted with shotcrete. *Engineering Structures*. 2020. No. 219. doi:10.1016/j.engstruct.2020.110912.
10. Adil M. Shear Strength Evaluation of Strengthened Unreinforced Brick Masonry Walls by Using Shotcrete. *ARNP Journal of Science and Technology*. 2015. No. 5. Pp. 138.
11. Rismanian Y.B., Tafti M., Mirjalili A. Experimental study on in-plane seismic behavior of unreinforced and damaged unreinforced masonry walls retrofitted with vertical concrete ties and bed rebar with and without shotcrete. *Innovative Infrastructure Solutions*. 2023. No. 8. doi:10.1007/s41062-023-01207-5.
12. Wang F. Experimental Research on Seismic Performance of Masonry-Infilled RC Frames Retrofitted by Using Fabric-Reinforced Cementitious Matrix Under In-Plane Cyclic Loading. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2023. No. 17. doi:10.1186/s40069-023-00594-4.
13. Altoubat S., Maalej M., Karzad A., Estephane P. Rapid Strengthening of Unreinforced Masonry Walls for Out-of-Plane Actions using Fiber Reinforced Shotcrete. 2018
14. Vil'deman V.E., Sokolkin Yu.V., Tashkinov A.A. Mekhanika neuprugogo deformirovaniya i razrusheniya kompozitsionnykh materialov [Mechanics of inelastic deformation and fracture of composite materials]. Moscow, Nauka Publ., 1997. 228 p. (rus)
15. Kashevarova G.G., Zobacheva A.Yu. Modeling of process of destruction of brickwork. *PNRPU Construction and Architecture Bulletin*. 2010. No. 1. Pp. 106–116. (rus)
16. Kabantsev O.V. A discrete model of masonry under conditions of biaxial stress state. *Vestnik of TSUAB*. 2015. No. 4. Pp. 113–134. (rus)
17. Kabantsev O.V., Tamrazyan A.G. Modeling of elastic-plastic deformation of masonry under conditions of biaxial stress state. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2015. Iss. 3. Vol. 11. Pp. 87–100. (rus)
18. GOST R 58277-2018 Dry building mixes based on cement binder. Test methods
19. GOST 24452-80 Concretes. Methods of prismatic, compressive strength, modulus of elasticity and Poisson's ratio determination.
20. SP 63.13330.2018 Concrete and reinforced concrete structures. General provisions.

### Информация об авторах:

**Гладких Виталий Александрович**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
г. Москва, Россия,  
кандидат технических наук, директор НИиИЦ МГСУ СТРОЙ-ТЕСТ.  
E-mail: [GladkikhVA@mgsu.ru](mailto:GladkikhVA@mgsu.ru)

**Домарова Екатерина Владимировна**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
г. Москва, Россия,  
старший преподаватель кафедры железобетонных и каменных конструкций.  
E-mail: [cathie\\_p@mail.ru](mailto:cathie_p@mail.ru)

**Попов Дмитрий Сергеевич**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
г. Москва, Россия,  
кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.  
E-mail: [popovds89@mail.ru](mailto:popovds89@mail.ru)

**Шакалова Ирина Станиславовна**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
г. Москва, Россия,  
зам. директора НИиИЦ МГСУ СТРОЙ-ТЕСТ.  
E-mail: [ShakalovaIS@mgsu.ru](mailto:ShakalovaIS@mgsu.ru)

### Information about authors:

**Gladkikh Vitaly Al.**

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,  
candidate of technical sciences, director of the NIIC MGSU STROY-TEST.  
E-mail: [GladkikhVA@mgsu.ru](mailto:GladkikhVA@mgsu.ru)

**Domarova Ekaterina V.**

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,  
senior teacher of the department of reinforced concrete and stone structures.  
E-mail: [cathie\\_p@mail.ru](mailto:cathie_p@mail.ru)

**Popov Dmitriy S.**

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,  
candidate of technical sciences, associated professor of the department of reinforced concrete and stone structures.  
E-mail: [popovds89@mail.ru](mailto:popovds89@mail.ru)

**Shakalova Irina S.**

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,  
deputy director of the NIIC MGSU STROY-TEST.  
E-mail: [ShakalovaIS@mgsu.ru](mailto:ShakalovaIS@mgsu.ru)

VL.I. KOLCHUNOV<sup>1</sup>, S.B. KRYLOV<sup>2</sup>, S.S. FEDOROV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Moscow State University of Civil Engineering (NIU MGSU), Moscow, Russia

<sup>2</sup>Gvozdev Research Institute of Reinforced Concrete, JSC SIC Construction, Moscow, Russia.

## STIFFNESS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES UNDER BENDING CONSIDERING SHEAR AND AXIAL FORCES (PART 1)

**Abstract.** The paper provides a physical and computational model for determining the parameters of limit states of reinforced concrete structures under complex stress state such as bending with effect of axial and shear forces. The forward and backward transitions for determining the stiffness matrix coefficients of reinforced concrete bar structures with inclined and normal cracks have been constructed on the basis of the adopted cross-section discretization scheme and the duality theorem between force and deformation parameters by A.R. Rzhaniysyn. Determination of the stiffness of structures in the zone of inclined cracks was performed on the basis of the model of composite strips into which the zone with inclined cracks is divided. It is assumed a hypothesis about the character of deformation distribution in a complexly stressed reinforced concrete element with inclined cracks. For this model the effective shear modulus has been obtained. It allows to determine the average relative linear and angular strains of concrete and reinforcement at the point adjacent to the shear joint between inclined cracks. Using this model and the experimentally obtained value of the relative shear in the inclined crack, the dowel forces in the reinforcing bar crossed by the inclined crack were determined. The use of the obtained analytical dependences in the practice of designing reinforced concrete structures allows to clarify significantly the definition of displacements and width of opening of inclined and normal cracks, as well as to bring the calculation and physical model based on experimental data as close as possible.

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

В.И. КОЛЧУНОВ<sup>1</sup>, С.Б. КРЫЛОВ<sup>2</sup>, С.С. ФЕДОРОВ<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»», г. Москва, Россия

## ЖЕСТКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИЗГИБЕ С УЧЁТОМ ПОПЕРЕЧНОЙ И ПРОДОЛЬНОЙ СИЛ (ЧАСТЬ 1)

**Аннотация.** Приведены физическая и расчётная модель для определения параметров предельных состояний железобетонных конструкций при сложном напряжённом состоянии изгиба с продольной и поперечными силами. На основе принятой схемы дискретизации поперечного сечения и теоремы двойственности между силовыми и деформационными параметрами А.Р. Ржаницына построены прямой и обратный переход для определения коэффициентов матрицы жёсткости железобетонных стержневых конструкций с наклонными и нормальными трещинами. Определение жёсткости конструкций в зоне наклонных трещин выполнено на основе модели составных полосок, на которые разбивается зона с наклонными трещинами. При этом принята гипотеза о характере распределения деформаций в сложно напряжённом железобетонном элементе с наклонными трещинами. Для этой модели получен условный модуль сдвига позволяющий определять средние относительные линейные и угловые деформации бетоны и арматуры в точке прилегающей к шву сдвига между наклонными трещинами. На основе этой модели и с использованием экспериментально полученного значения сдвига в наклонной трещине определены нагельные усилия в

арматурном стержне, пересекаемом наклонной трещиной. Использование полученных аналитических зависимостей в практике проектирования железобетонных конструкций позволяет не только существенно уточнить определение перемещений и ширины раскрытия наклонных и нормальных трещин, но и максимально сблизить расчётную и физическую модель, базирующуюся на экспериментальных данных.

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

### REFERENCES

1. Arzamastsev S.A., Bavevich V.V. To the calculation of reinforced concrete elements for bending with torsion. *Proceedings of higher educational institutions. Building*. 2015. Vol. 681. No. 9. Pp. 99-109.
2. 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.
3. Klein G., Lucier G., Rizkalla S., Zia P., Gleich H. Torsion simplified: a failure plane model for design of spandrel beams. *ACI Concrete International Journal*. February 2012. Pp. 1-19.
4. Lin W. Experimental investigation on composite beams under combined negative bending and torsional moments. *Advances in Structural Engineering*. 2021. No. 24(6). Pp. 1456-1465. doi:10.1177/1369433220981660
5. Zalesov A.S., Mukhamediev T.A., Chistyakov E.A. Calculation of crack resistance of reinforced concrete structures according to new regulations. *Concrete and reinforced concrete*. 2002. No. 5. Pp. 15-18.
6. Kodysh E.N., Nikitin I.K., Trekin N.N. Calculation of Reinforced Concrete Structures of Heavy Concrete for Strength, Cracking and Deformation. Moscow: Publishing House ABC, 2010. 352 p.
7. Krylov S.B. Formation of exact general solution of bending equation of reinforced concrete bar considering creep and cracking. *Concrete and Reinforced Concrete in Ukraine*. 2002. No. 4(14). Pp. 2-4.
8. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Kaprielov S.S., Demyanov A.I., Konorev A.V. Main results of experimental studies of reinforced concrete structures of high-strength concrete B100 round and circular cross sections in torsion with bending. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2019. Vol. 15. No.1. Pp. 51-61. doi:10.22363/1815-5235-2019-15-1-51-61
9. Demyanov A.I., Salnikov A.S., Kolchunov V.I. The experimental studies of reinforced concrete constructions in torsion with bending and the analysis of their results. *Building and Reconstruction*. 2017. Vol. 72. No. 4. Pp. 17-26.
10. Kolchunov V.I., Al-Hashimi O.I., Protchenko M.V. Bending stiffness of reinforced concrete structures with transverse and longitudinal forces. *Building and reconstruction*. 2021. No. 6. Pp. 5-19.
11. Kolchunov V.I., Fedorov V.S. Conceptual Hierarchy of Models in the Theory of Resistance of Building Structures. *Industrial and Civil Engineering*. 2020. No. 8. Pp. 16-23. doi:10.33622/0869-7019.2020.08.16-23
12. Kolchunov V.I., Dem'yanov A.I. The modeling method of discrete cracks and rigidity in reinforced concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2019. Vol. 88. No. 4. Pp. 60-69. doi:10.18720/MCE.88.6
13. Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Travush V.I. Calculation model of a complex stress reinforced concrete element of a boxed section during torsion with bending. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2021. Vol. 51. No. 3. Pp. 7-26. doi:10.36622/VSTU.2021.51.3.001
14. Gornostaev I.S., Klyueva N.V., Kolchunov V.I., Yakovenko I.A. Deformability of reinforced concrete composite structures with inclined cracks. *Structural mechanics and calculation of structures*. 2014. No. 5 (256). Pp. 60-66.
15. Gusev B.V., Zvezdov A.I. Theoretical and experimental studies of statistical issues of concrete strength. *Construction Materials*. 2017. No. 11. Pp. 18-21.
16. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Design models of the power resistance of reinforced concrete. Moscow: Publishing house ASV, 2004. 471 p.
17. Veruzhsky Yu.V., Kolchunov V.I. Methods of reinforced concrete mechanics. Kiev: NAU Book Publishing House. 2005. 653 p.
18. Golyshev A.B., Kolchunov V.I. Reinforced concrete resistance. Kiev: Osнова, 2009.432 p.
19. Golyshev A.B., Kolchunov V.I. Resistance of reinforced concrete structures erected in complex engineering-geological conditions. Kiev: Osнова, 2010. 286 p. (rus)
20. Emelianov S.G., Nemchinov Yu.I., Maryenkov N.G., Kolchunov V.I., Yakovenko I.A. Features of calculation of seismic stability of large-panel buildings. *Industrial and Civil Engineering*. 2013. No. 12. Pp. 64-71. (rus)
21. Veryuzhsky Yu.V., Golyshev A.B., Kolchunov V.I., Klyueva N.V., Lisitsin B.M., Mashkov I.L., Yakovenko I.A. A reference guide to structural mechanics: Volume II. Moscow: Publishing house ASV. 2014. 432 p.
22. Bashirov Kh.Z., Kolchunov V.I., Fedorov V.S., Yakovenko I.A. Reinforced concrete composite structures of buildings and structures. Moscow: ASV Publishing House, 2017. 248 p.

23. Karpenko N.I. The theory of deformation of reinforced concrete with cracks, Moscow: Stroyizdat, 1976. 204 p.
24. Karpenko N.I. General models of reinforced concrete mechanics. Moscow: Stroyizdat, 1996. 410 p.
25. Karpenko, S.N. On the general approach to the construction of the theory of strength of reinforced concrete elements under the action of transverse forces. *Concrete and reinforced concrete*. 2007. No. 2. Pp. 21-27.
26. Kim C., Kim S., Kim K.-H., Shin D., Haroon M., Lee J.-Y. Torsional Behavior of Reinforced Concrete Beams with High-Strength Steel Bars. *ACI Structural Journal*. 2019. No. 116. Pp. 251-233.
27. Bernardo L. Modeling the Full Behavior of Reinforced Concrete Flanged Beams under Torsion. *Applied Sciences*. 2019. Vol. 9. Pp. 2730.
28. Tsai H.-C., Liao M.-C. Modeling Torsional Strength of Reinforced Concrete Beams using Genetic Programming Polynomials with Building Codes. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2019. Vol. 23. Pp. 3464–3475.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Arzamastsev S.A., Bavevich V.V. To the calculation of reinforced concrete elements for bending with torsion // Proceedings of higher educational institutions. Building. 2015. Vol. 681. No. 9. Pp. 99-109.
2. 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.
3. Klein G., Lucier G., Rizkalla S., Zia P., Gleich H. Torsion simplified: a failure plane model for design of spandrel beams // ACI Concrete International Journal, February 2012. Pp. 1-19
4. Lin W. Experimental investigation on composite beams under combined negative bending and torsional moments // Advances in Structural Engineering. 2021. No. 24(6). Pp. 1456–1465. <https://doi.org/10.1177/1369433220981660>
5. Залесов А.С., Мухамедиев Т.А., Чистяков Е.А. Расчет трещиностойкости железобетонных конструкций по новым нормативным документам // Бетон и железобетон. 2002. № 5. С. 15–18.
6. Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н.Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности, трещиностойкости и деформациям. М.: Изд. АСВ, 2010. 352 с.
7. Крылов С.Б. Построение точного общего решения уравнения изгиба железобетонного стержня с учетом ползучести и трещинообразования // Бетон и железобетон в Украине. 2002. № 4(14). С. 2–4.
8. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов Вл.И., Каприелов С.С., Демьянов А.И., Конорев А.В. Основные результаты экспериментальных исследований железобетонных конструкций из высокопрочного бетона В100 круглого и кольцевого сечений при кручении с изгибом // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. № 15(1). С.51-61.
9. Демьянов А.И., Сальников А.С., Колчунов Вл.И. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций при кручении с изгибом и анализ их результатов // Строительство и реконструкция. 2017. № 4(72). С. 17–26.
10. Колчунов В.И., Аль-Хашими О.И., Протченко М.В. Жесткость железобетонных конструкций при изгибе с поперечной и продольной силами // Строительство и реконструкция. 2021. № 6. С. 5-19.
11. Колчунов Вл. И., Федоров В.С. Понятийная иерархия моделей в теории сопротивления строительных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 8. С. 16–23. doi:10.33622/0869-7019.2020.08.16-23
12. Kolchunov Vl. I., Dem'yanov A. I. The modeling method of discrete cracks and rigidity in reinforced concrete // Magazine of Civil Engineering. 2019. Vol. 88. No. 4. Pp. 60-69. doi:10.18720/MCE.88.6
13. Karpenko N.I., Kolchunov Vl.I., Travush V.I. Calculation model of a complex stress reinforced concrete element of a boxed section during torsion with bending // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2021. Vol. 51. No. 3. Pp. 7-26. doi:10.36622/VSTU.2021.51.3.001
14. Горностаев И.С., Ключева Н.В., Колчунов Вл.И., Яковенко И.А. Деформативность железобетонных составных конструкций с наклонными трещинами // Строительная механика и расчет сооружений. 2014. № 5(256). С. 60-66.
15. Гусев Б.В., Звездов А.И. Теоретические и экспериментальные исследования статистических вопросов прочности бетонов // Строительные материалы. 2017. № 11. С. 18–21.
16. Бондаренко В.М., Колчунов Вл.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М.: Изд-во АВС, 2004. 471 с.
17. Верюжский Ю.В., Колчунов Вл.И. Методы механики железобетона. Учебное пособие. К.: Книжное издательство НАУ, 2005. 653 с.
18. Гольшев А.Б., Колчунов Вл.И. Сопротивление железобетона. К.: Основа, 2009. 432 с.
19. Гольшев А.Б., Колчунов Вл.И. Сопротивление железобетонных конструкций, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях (монография). Киев: Основа. 2010. 286 с.
20. Емельянов С.Г., Немчинов Ю.И., Колчунов Вл.И., Марьенков Н.Г., Яковенко И.А. Особенности расчета сейсмостойкости крупнопанельных зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 12. С. 64–71.



21. Велюжский Ю.В., Гольшев А.Б., Колчунов Вл.И., Клюева Н.В., Лисицин Б.М., Машков И.Л., Яковенко И.А. Справочное пособие по строительной механике. В двух томах. Том II: Учебное пособие. М.: Изд-во АСВ, 2014.432 с.
22. Баширов Х.З., Колчунов Вл.И., Федоров В.С., Яковенко И.А. Железобетонные составные конструкции зданий и сооружений. Москва: Издательство АСВ, 2017. 248 с.
23. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. М: Стройиздат. 1976. 204 с.
24. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 410 с.
25. Карпенко С.Н. Об общем подходе к построению теории прочности железобетонных элементов при действии поперечных сил // Бетон и железобетон. 2007. № 2. С. 21-27.
26. Kim C., Kim S., Kim K.-H., Shin D., Haroon M., Lee J.-Y. Torsional Behavior of Reinforced Concrete Beams with High-Strength Steel Bars // ACI Structural Journal. 2019. No. 116. Pp. 251-233.
27. Bernardo L. Modeling the Full Behavior of Reinforced Concrete Flanged Beams under Torsion // Applied Sciences. 2019. Vol. 9. P. 2730.
28. Tsai H.-C., Liao M.-C. Modeling Torsional Strength of Reinforced Concrete Beams using Genetic Programming Polynomials with Building Codes // KSCE Journal of Civil Engineering. 2019. Vol. 23. Pp. 3464–3475.

### Information about authors:

#### **Kolchunov Vladimir Iv.**

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

#### **Krylov Sergey B.**

Gvozdev Research Institute of Reinforced Concrete, JSC SIC Construction, Moscow, Russia,  
Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, doctor of technical sciences, professor, head of the Reinforced Concrete Mechanics Laboratory at the Gvozdev Research Institute for Reinforced Concrete.  
E-mail: [niizhb\\_lab8@mail.ru](mailto:niizhb_lab8@mail.ru)

#### **Fedorov Sergey S.**

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

### Информация об авторах:

#### **Колчунов Владимир Иванович**

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,  
Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры инженерной графики и компьютерного моделирования.  
E-mail: [vlik52@mail.ru](mailto:vlik52@mail.ru)

#### **Крылов Сергей Борисович**

НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство»», г. Москва, Россия,  
Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией Научно-исследовательского института бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева.  
E-mail: [niizhb\\_lab8@mail.ru](mailto:niizhb_lab8@mail.ru)

#### **Федоров Сергей Сергеевич**

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,  
кандидат технических наук, заведующий кафедрой инженерной графики и компьютерного моделирования.  
E-mail: [fedorovss@mgsu.ru](mailto:fedorovss@mgsu.ru)

В.А. ЛЮБЛИНСКИЙ<sup>1</sup>, В.С. СТРУЧКОВ<sup>1</sup><sup>1</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

## ПРОЧНОСТЬ И ПОДАТЛИВОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЫКОВ ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ СДВИГЕ И КРУЧЕНИИ

**Аннотация.** При действии горизонтальной ветровой и сейсмической нагрузки в несимметричных несущих системах многоэтажных зданий возникает кручение. Причина кручения заключается в появлении эксцентриситета приложения горизонтальной нагрузки между центром масс и центром жесткостей. Вертикальные несущие элементы панельных зданий соединяются в пространственную систему различными связями сдвига. Податливость плотных сварных связей в нелинейной постановке базируется на экспериментальных данных на действие сдвигающих усилий. Принимая во внимание, что податливость зависит не только от сдвигающего воздействия, но и является функцией высоты здания, необходима полная диаграмма деформирования рассматриваемой плотной связи. Влияние крутящего воздействия на податливость плотных связей ранее не рассматривалось.

В данной работе представлена конечно-элементная модель, реализованная в программном комплексе ANSYS фрагмента панельного здания. Фрагмент здания определяется из условия проведения дальнейших экспериментальных исследований по прочности и деформативности сварного стыка, соединяющего две вертикальные несущие конструкции. Численным моделированием определено напряженно-деформированное состояние вертикального плотного стыка панельных зданий при действии сдвига и кручения. Шаговое нагружение исследуемого образца велось в вертикальной и горизонтальной плоскости. История нагружения принята в первом приближении самая простая - пропорциональная. Определена несущая способность и деформативность стыка при действии сдвига и кручения. Получены диаграммы деформирования плотного стыка. Определена предельная нагрузка, при которой соединение превращается в шарнир. Крутящее воздействие приводит к увеличению податливости плотной связи. Результаты проведенного анализа могут быть использованы при диаграммном методе расчета железобетонных конструкций панельных зданий подверженных кручению.

**Ключевые слова:** панельные здания, кручение, центр жесткостей, центр масс, несущая способность.

V.A. LYUBLINSKIY<sup>1</sup>, V.S. STRUCHKOV<sup>1</sup><sup>1</sup>Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia

## STRENGTH AND FLEXIBILITY OF VERTICAL JOINTS OF PANEL BUILDINGS IN SHEAR AND TORSION

**Abstract.** Under the action of horizontal wind and seismic loads, torsion occurs in asymmetric load-bearing systems of multi-storey buildings. The reason for torsion is the appearance of an eccentricity between the center of mass and the center of rigidity of the application of a horizontal load. Vertical load-bearing elements of panel buildings are connected into a spatial system by various shear bonds. The deformability of welded butt joints in a nonlinear formulation is based on experimental data on the action of shear forces. Considering that the deformability of a shear connection depends not only on the shear force, but is also a function of all forces and stresses along the height of a multi-story building, a complete deformation diagram of the shear connections under consideration is necessary. The influence of torsional action on the deformability of shear bonds has not been previously considered.

This paper presents a finite element model realized in the ANSYS software package of a fragment of a panel building. The building fragment was determined under the condition of further experimental studies on the strength and deformability of the welded joint connecting two vertical load-bearing structures.

*Numerical simulation determined the stress-strain state of a vertical dense joint of panel buildings under the action of shear and torsion. Step loading of the investigated fragment was carried out in the vertical and horizontal plane. The loading history adopted in the first approximation is the simplest – proportional. The bearing capacity and deformability of the joint under the action of shear and torsion are determined. Diagrams of the deformation of a dense joint are obtained. The ultimate load at which the joint becomes a hinge is determined. The torsional effect leads to an increase in the deformability of the dense bond. The results of the analysis can be used in the diagrammatic method of calculation of reinforced concrete structures of panel buildings subject to torsion.*

**Keywords:** panel buildings, torsion, center of stiffness, center of mass, load capacity.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дроздов П. Ф. Конструирование и расчет несущих систем многоэтажных зданий и их элементов. М.: Стройиздат, 1977. 223 С.
2. Gokdemir H., Ozbasaran H., Dogan M., Unluoglu E., Albayrak U. Effects of torsional irregularity to structures during earthquakes // Engineering Failure Analysis. 2013. Vol. 35. Pp. 713-717. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.06.028>
3. Burgan H.I. Numerical Modeling of Structural Irregularities on Unsymmetrical Buildings // Tehnički vjesnik. 2021. Vol. 28, 3. Pp. 856-861. <https://doi.org/10.17559/TV-20200328103359>
4. Botis M., Cerbu C. A. Method for Reducing of the Overall Torsion for Reinforced Concrete Multi-Storey Irregular Structures // Applied Sciences. 2020. No. 10. 5555. <https://doi.org/10.3390/app10165555>.
5. Hussein G., Eid N., Khaled H. Torsional behavior of irregular structures during Earthquakes // Journal of Mechanical and Engineering. 2019. Vol. 16. I. 5. Ser. IV. Pp. 40-55. <https://doi.org/10.9790/1684-1605044055>.
6. TBEC 2018 Turkish Earthquake Code: Specifications for building design under earthquake effects. Ankara, Turkey.
7. EN 1998-1:2004 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/02/en.1998.1.2004.pdf>
8. СП КМК 2.01.03-19 Строительство в сейсмических районах. [https://shank\\_uz/wp-content/uploads/2021/07/shank\\_2.01.03-19](https://shank_uz/wp-content/uploads/2021/07/shank_2.01.03-19)
9. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. <https://docs.cntd.ru/document/550565571>
10. Khatiwada P., Lumantarna E. Simplified Method of Determining Torsional Stability of the Multi-Storey Reinforced Concrete Buildings // Civil Engineering. 2021. No. 2. Pp. 290-308.
11. Dimova S.L., Alashki I. Seismic design of symmetric structures for accidental torsion // Bull. Earthquake Eng. 2003. No. 1. Pp. 303–320.
12. Manish 2, Syed Z.I. Seismic analysis of torsional irregularity in multi-storey symmetric and asymmetric buildings // Eurasian J. Anal. Chem. 2017. No. 13. Pp. 286–292.
13. Cando M.A., Hube M.A., Parra P.F, Arteta C.A. Effect of stiffness on the seismic performance of code-conforming reinforced concrete shear wall build //Engineering Structures. 2020. V. 219, 110724. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110724>.
14. Varma V., Kumar U. Seismic response on multi-storied building having shear walls with and without openings // Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 37. Part 2. Pp. 801-805, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.827>.
15. Naresh Kumar B.G., Punith N., Bhyrav R.B., Arpitha T.P. Assessment of location of centre of mass and centre of rigidity for different setback buildings // Int. J. Eng. Res. Technol. (IJERT). 2017. Vol. 6. Pp. 801-804.
16. Ankur J., Mitesh S. Floor displacement-based torsional amplification factors for seismic design of acceleration-sensitive non-structural components in torsionally irregular RC buildings. Vol. 254, 12022, 113871. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.113871>.
17. Перельмутер А.В., Кабанцев О.В. О концептуальных положениях норм сейсмостойкого строительства // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 12. С. 1673-1884.
18. Колчунов В.И., Демьянов А. И., Протченко М.В. Моменты в железобетонных конструкциях при изгибе с кручением // Строительство и реконструкция. 2021. № 3. С. 27-46. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-95-3-27-46>.
19. Карпенко Н., Колчунов Вл., Колчунов В., Травуш В. Расчетная модель сложноподпряженного железобетонного элемента при кручении с изгибом // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 2021. № 17(1). С. 34–47. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2021-17-1-34-47>.
20. Тамразян А.Г. Оценка риска и надежности несущих конструкций и ключевых элементов — необходимое условие безопасности зданий и сооружений // Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко «Исследования по теории сооружений». 2009. № 1. С. 160–171.

21. Травуш В.И., Колчунов В.И., Клюева Н. В. Некоторые направления развития теории живучести конструктивных систем зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 3. С. 4-11.
22. Lyublinskiy V., Struchkov V. Resistance of Vertical Joints During Torsion of Multistorey Buildings. In: Akimov P., Vatin N., Tusnin A., Doroshenko A. (eds) Proceedings of FORM. 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 282. Springer, Cham. (2022). <https://doi.org/10.1007/978-3-031-10853-238>.
23. Люблинский В.А. О кручении несущих систем многоэтажных зданий//Железобетонные конструкции. 2023. Т. 1. № 1. С. 37-45. doi:10.22227/2949-1622.2023.1.37-45
24. Люблинский В.А., Томина М.В. Экспериментальное исследование прочности и податливости вертикального сварного стыка // Системы Технологии. Методы. 2018. № 3 (39). С.154–158.
25. Люблинский В.А. Испытания вертикальных сварных стыковых соединений панельных зданий // Строительство и реконструкция. 2019. № 5. С. 17-22. doi:10.33979/2073-7416-2019-85-5-17-22.

## REFERENCES

1. Drozdov P.F. Design and Calculation of Load-bearing Systems of Multi-storey Buildings and their Elements. Moscow: Stroyizdat, 1977. 223 p. (rus)
2. Gokdemir H., Ozbasaran H., Dogan M., Unluoglu E., Albayrak U. Effects of torsional irregularity to structures during earthquakes. *Engineering Failure Analysis*. 2013. Vol. 35. Pp. 713-717. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.06.028>
3. Burgan H.I. Numerical Modeling of Structural Irregularities on Unsymmetrical Buildings. *Tehnički vjesnik*. 2021. Vol. 28, 3. Pp. 856-861 <https://doi.org/10.17559/TV-20200328103359>
4. Botis M., Cerbu C.A. Method for Reducing of the Overall Torsion for Reinforced Concrete Multi-Storey Irregular Structures. *Applied Sciences*. 2020. No. 10. 5555. <https://doi.org/10.3390/app10165555>.
5. Hussein G., Eid N., Khaled H. Torsional behavior of irregular structures during Earthquakes. *Journal of Mechanical and Engineering*. 2019. Vol. 16. I. 5. Ser. IV. Pp. 40-55. <https://doi.org/10.9790/1684-1605044055>.
6. TBEC 2018 Turkish Earthquake Code: Specifications for building design under earthquake effects. Ankara, Turkey.
7. EN 1998-1:2004 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/02/en.1998.1.2004.pdf>
8. Uzbekistan Standards KMK 2.01.03-19 Construction in seismic regions. [https://shank\\_uz/wp-content/uploads/2021/07/shank\\_2.01.03-19](https://shank_uz/wp-content/uploads/2021/07/shank_2.01.03-19)
9. SP 14.13330.2018 Construction in seismic regions. <https://docs.cntd.ru/document/550565571>
10. Khatiwada P., Lumantarna E. Simplified Method of Determining Torsional Stability of the Multi-Storey Reinforced Concrete Buildings. *Civil Engineering*. 2021. No. 2. Pp. 290-308.
11. Dimova S.L., Alashki I. Seismic design of symmetric structures for accidental torsion. *Bull. Earthquake Eng.* 2003. No. 1. Pp. 303–320.
12. Manish 2, Syed Z.I. Seismic analysis of torsional irregularity in multi-storey symmetric and asymmetric buildings. *Eurasian J. Anal. Chem.* 2017. No. 13. Pp. 286–292.
13. Cando M.A., Hube M.A., Parra P.F., Arteta C.A. Effect of stiffness on the seismic performance of code-conforming reinforced concrete shear wall build. *Engineering Structures*. 2020. V. 219, 110724. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110724>.
14. Varma V., Kumar U. Seismic response on multi-storied building having shear walls with and without openings. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 37. Part 2. Pp. 801-805. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.827>.
15. Naresh Kumar B.G., Punith N., Bhyrav R.B., Arpitha T.P. Assessment of location of centre of mass and centre of rigidity for different setback buildings. *Int. J. Eng. Res. Technol. (IJERT)*. 2017. Vol. 6. Pp. 801-804.
16. Ankur J., Mitesh S. Floor displacement-based torsional amplification factors for seismic design of acceleration-sensitive non-structural components in torsionally irregular RC buildings. Vol. 254, 12022, 113871. <https://doi.org/10.1016/j.jengstruct.2022.113871>.
17. Perelmuter A.V., Kabantsev O.V. On conceptual provisions of design standards for earthquake resistant construction. *Vestnik MGSU*. 2020. No. 15 (12). Pp. 1673–1684. (rus)
18. Kolchunov V.I., Demyanov A.I., Protchenko M.V. Moments in reinforced concrete structures under bending with torsion. *Building and Reconstruction*. 2021. No. 3. Pp. 27-46. (rus) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-95-3-27-46>
19. Karpenko I, Kolchunov VI., Kolchunov V., Travush1 V. Calculation model of a complex stressed reinforced concrete element under torsion with bending. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2021. No. 17(1). Pp. 34–47. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2021-17-1-34-47>.
20. Tamrazyan A.G. An assessment of the risk and reliability of load-bearing structures and key elements is a necessary condition for the safety of buildings and structures. *Bulletin TSNIISK them. V.A. Kucherenko «Studies in the theory of structures»*. 2009. No. 1. Pp. 160-171. (rus)

21. Travush V.I., Kolchunov V.I., Klyueva N.V. Some directions of development of survivability theory of structural systems of buildings and structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]*. 2015. No. 3. Pp. 4–11. (rus)
22. Lyublinskiy V., Struchkov V. Resistance of Vertical Joints During Torsion of Multistorey Buildings. In: Akimov P., Vatin N., Tusnin A., Doroshenko A. (eds) *Proceedings of FORM. 2022. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 282. Springer, Cham. (2022). <https://doi.org/10.1007/978-3-031-10853-238>.
23. Lyublinskiy V.A. On the torsion of asymmetric bearing systems of multi-storey buildings. *Reinforced concrete structures*. 2023. No. 1(1). Pp. 37-45. doi:10.22227/2949-1622.2023.1.37-45
24. Lyublinskiy V.A., Tomina M.V. Experimental study of the strength and suppleness of a vertical welded joint. *System Technology Methods*. 2018. No. 3(39). Pp. 154–158.
25. Lyublinskiy V.A. Tests of vertical welded butt joints of panel buildings. *Building and Reconstruction*. 2019. No. 5. Pp. 17-22. doi:10.33979/2073-7416-2019-85-5-17-22

**Информация об авторах:**

**Люблинский Валерий Аркадьевич**

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, кандидат технических наук, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: [LyublinskiyVA@mgsu.ru](mailto:LyublinskiyVA@mgsu.ru)

**Стручков Владислав Сергеевич**

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: [struchkov2018@gmail.com](mailto:struchkov2018@gmail.com)

**Information about authors:**

**Lyublinskiy Valery Ar.**

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia, candidate of technical science, professor of the department of Reinforced Concrete and Masonry Structures.

E-mail: [LyublinskiyVA@mgsu.ru](mailto:LyublinskiyVA@mgsu.ru)

**Struchkov Vladislav S.**

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia, postgraduate of the department of Reinforced Concrete and Masonry Structures.

E-mail: [struchkov2018@gmail.com](mailto:struchkov2018@gmail.com)

С.И. МЕРКУЛОВ<sup>1</sup>, С.О. КАШУБА<sup>2</sup>, С.М. ЕСИПОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Курский государственный университет», г. Курск, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,  
г. Белгород, Россия

## ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ВНЕШНИМ АРМИРОВАНИЕМ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ПРИ ИЗГИБЕ С КРУЧЕНИЕМ

*Аннотация.* Внешнее армирование железобетонных конструкций композитными материалами успешно применяется при усилении поврежденных элементов. При этом кручение с изгибом таких железобетонных конструкций мало изучено и требует проведения экспериментально-теоретического исследования. В научной литературе представлены результаты исследования прочности и деформативности при изгибе с кручением железобетонных элементов различной формы сечения при статическом и при динамическом действиях нагрузок, элементов составного сечения. Для железобетонных конструкций, усиленных внешним армированием композитными материалами, такие исследования выполнялись лишь для изгибаемых элементов. Авторами разработана программа и методика экспериментальных исследований таких конструкций. Результаты экспериментальных исследований по предлагаемой методике позволят проверить предполагаемую расчетную модель, положенные в ее основу рабочие предпосылки и выявить закономерности деформирования железобетонных конструкций с внешним композитным армированием при сопротивлении изгибу с кручением.

*Ключевые слова:* железобетонные конструкции, внешнее армирование, композитный материал, кручение с изгибом, экспериментальная установка.

S.I. MERKULOV<sup>1</sup>, S.O. KASHUBA<sup>2</sup>, S.M. ESIPOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kursk State University, Kursk, Russia

<sup>2</sup>Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

## PROGRAM AND METHODOLOGY OF EXPERIMENTAL STUDIES OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WITH EXTERNAL REINFORCEMENT WITH COMPOSITE MATERIALS IN BENDING WITH TORSION

*Abstract.* External reinforcement of reinforced concrete structures with composite materials is successfully used for strengthening of damaged elements. At the same time, torsion with bending of such reinforced concrete structures is poorly studied and requires experimental and theoretical investigation. The scientific literature presents the results of the study of strength and deformability in bending with torsion of reinforced concrete elements of different cross-sectional shapes under static and dynamic loads, elements of composite cross-section. For reinforced concrete structures strengthened with external reinforcement by composite materials, such studies were carried out only for bending elements. The authors have developed a program and methodology of experimental studies of such structures. The results of experimental investigations according to the proposed methodology will allow us to verify the assumed design model, the working assumptions put in its basis and reveal the regularities of deformation of reinforced concrete structures with external composite reinforcement under bending with torsion.

*Keywords:* reinforced concrete structures, external reinforcement, composite material, torsion with bending, experimental installation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меркулов С.И., Есипов С.М., Есипова Д.В. Композитные системы внешнего армирования железобетонных конструкций // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. № 4. С. 39-48. doi:10.34031/2071-7318-2021-7-4-39-48. EDN HMWONY.
2. Римшин В.И., Меркулов С.И., Есипов С.М. Бетонные конструкции, усиленные композитным материалом // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2018. № 2(35). С. 93-100. doi:10.5281/zenodo.1286034. EDN USTLHE.
3. Меркулов С.И., Есипов С.М. Использование тканых композитов для восстановления строительных // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 3(381). С. 256-259. EDN KWLBP1.
4. Есипов С.М., Меркулов С.И. Усиление железобетонных элементов внешним армированием. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. 179 с. ISBN 978-5-361-00890-2. EDN AZCHQU.
5. Бадалова Е.Н. Усиление изгибаемых железобетонных конструкций углепластиковой арматурой // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F: Прикладные науки. Строительство. 2007. № 6. С. 54-59. EDN XDDHSP.
6. Параничева Н.В., Назмеева Т.В. Усиление строительных конструкций с помощью углеродных композиционных материалов // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 2(12). С. 19-22. EDN MZJCWT.
7. Бокарев С.А., Смердов Д.Н. Экспериментальные исследования изгибаемых железобетонных элементов, усиленных композитными материалами // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2010. № 2(614). С. 112-124. EDN OZHZPD.
8. Колчунов В.И., Сальников А.С. Экспериментальные исследования трещинообразования железобетонных конструкций при кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2016. № 3(65). С. 24-32. EDN WFGVSH.
9. Меркулов Д.С. К выбору расчетной модели силового сопротивления железобетонных элементов при изгибе с кручением // Промышленное и гражданское строительство. 2009. № 10. С. 46-48. EDN KWNHQP.
10. Демьянов А.И., Сальников А.С., Колчунов В.И. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций при кручении с изгибом и анализ их результатов // Строительство и реконструкция. 2017. № 4(72). С. 17-26. EDN ZHNNHB.
11. Результаты экспериментальных исследований конструкций квадратного и коробчатого сечений из высокопрочного бетона при кручении с изгибом / В.И. Травуш, Н.И. Карпенко, В.И. Колчунов [и др.] // Строительство и реконструкция. 2018. № 6(80). С. 32-43. EDN VQNSNS.
12. Меркулов С.И., Стародубцев С.В. Экспериментальные исследования стержневых железобетонных элементов составного сечения, подвергнутых изгибу с кручением // Строительство и реконструкция. 2012. № 2(40). С. 20-24. EDN OZMBZH.
13. Родевич В.В., Арзамасцев С.А. Экспериментальные исследования железобетонных элементов, работающих на изгиб с кручением, при статическом и кратковременном динамическом воздействиях // Жилищное строительство. 2014. № 10. С. 15-18. EDN STWXON.
14. Дронов А.В., Дрокин С.В., Фролов Н.В. Экспериментальное исследование сцепления стеклопластиковой арматуры с бетоном // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 11. С. 80-83. EDN XACMZR.
15. Юшин А.В., Морозов В.И. Экспериментальные исследования двухпролетных железобетонных балок, усиленных композитными материалами по наклонному сечению // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 5(46). С. 50-57. EDN TBPWWF.
16. Merkulov S.I., Esipov S.M., Esipova D.V. Computer Simulation of Bent Reinforced Concrete Elements with External Composite Reinforcement // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 151 LNCE. Pp. 153-159. doi:10.1007/978-3-030-72910-3\_22. EDN KYOWIG.
17. Modeling of the Stress-Strain State of a Composite External Strengthening of Reinforced Concrete Bending Elements / S.I. Merkulov, V.I. Rimshin, I.L. Shubin, S.M. Esipov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". Vladivostok, Russky Island, 01–04 октября 2019 года. Vol. 753, 5, Chapter 4. – Vladivostok, Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2020. Pp. 052044. doi:10.1088/1757-899X/753/5/052044. EDN ZPVTEJ.
18. Меркулов С.И., Есипов С.М., Кашуба С.О. Предварительное описание работы железобетонных элементов с внешним армированием композитными материалами при изгибе с кручением // Вестник

## REFERENCES

1. Merkulov S.I., Esipov S.M., Esipova D.V. Kompozitnye sistemy vneshnego armirovaniia zhelezobetonnykh konstruksii [Composite systems for external reinforcement of reinforced concrete structures]. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2022. No. 4. Pp. 39-48. doi:10.34031/2071-7318-2021-7-4-39-48. EDN HMWONY. (rus)
2. Rimshin V.I., Merkulov S.I., Esipov S.M. Betonnye konstruksii, usilennye kompozitnym materialom [Concrete structures strengthened with composite material]. *Vestnik Inzhenernoi shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta*. 2018. No. 2(35). Pp. 93-100. doi:10.5281/zenodo.1286034. EDN USTLHE (rus)
3. Merkulov S.I., Esipov S.M. Ispol'zovanie tkanykh kompozitov dlia vosstanovleniia stroitel'nykh konstruksii [The use of woven composites for the recovery of building structures]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2019. No. 3(381). Pp. 256-259. EDN KWLBP. (rus)
4. Esipov S.M., Merkulov S.I. Usilenie zhelezobetonnykh elementov vneshnim armirovaniem [Strengthening of reinforced concrete elements by external reinforcement]. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2023. 179 p. ISBN 978-5-361-00890-2. EDN AZCHQU. (rus)
5. Badalova E.N. Usilenie izgibaemykh zhelezobetonnykh konstruksii ugleplastikovoii armaturoi [Strengthening of bending reinforced concrete structures with carbon fiber reinforcement]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Prikladnye nauki. Stroitel'stvo*. 2007. No. 6. Pp. 54-59. EDN XDDHSP. (rus)
9. Merkulov D.S. K vyboru raschetnoi modeli silovogo soprotivleniia zhelezobetonnykh elementov pri izgibe s krucheniiem [To the choice of the design model of the force resistance of reinforced concrete elements during bending with torsion]. *Industrial and civil engineering*. 2009. No. 10. Pp. 46-48. EDN KWNHQV. (rus)
10. Dem'ianov A.I., Sal'nikov A.S., Kolchunov V.I. Eksperimental'nye issledovaniia zhelezobetonnykh konstruksii pri kruchenii s izgibom i analiz ikh rezul'tatov [Experimental studies of reinforced concrete structures in torsion with bending and analysis of their results]. *Building and reconstruction*. 2017. No. 4(72). Pp. 17-26. EDN ZHHHNB. (rus)
11. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovanii konstruksii kvadratnogo i korobchatogo sechenii iz vysokoprochnogo betona pri kruchenii s izgibom [Results of experimental studies of square and box-shaped cross-section structures made of high-strength concrete during torsion with bending]. V.I. Travush, N.I. Karpenko, V.I. Kolchunov [and others]. *Building and reconstruction*. 2018. No. 6(80). Pp. 32-43. EDN VQNSNS. (rus)
12. Merkulov S.I., Starodubtsev S.V. Eksperimental'nye issledovaniia sterzhnevnykh zhelezobetonnykh elementov sostavnogo secheniia, podvergnutykh izgibu s krucheniiem [Experimental studies of rod reinforced concrete elements of composite section subjected to bending with torsion]. *Building and reconstruction*. 2012. No. 2(40). Pp. 20-24. EDN OZMBZH. (rus)
13. Rodevich V.V., Arzamastsev S.A. Eksperimental'nye issledovaniia zhelezobetonnykh elementov, rabotaiushchikh na izgib s krucheniiem, pri staticheskom i kratkovremennom dinamicheskom vozdeistviiakh [Experimental studies of reinforced concrete elements working on bending with torsion under static and short-term dynamic influences]. *ZHilishchnoe stroitel'stvo*. 2014. No. 10. Pp. 15-18. EDN STWXON. (rus)
14. Dronov A.V., Drokin S.V., Frolov N.V. Eksperimental'noe issledovanie stsepleniia stekloplastikovoii armatury s betonom [Experimental study of the adhesion of fiberglass reinforcement with concrete]. *Industrial and civil engineering*. 2016. No. 11. Pp. 80-83. EDN XACMZR. (rus)
15. Iushin A.V., Morozov V.I. Eksperimental'nye issledovaniia dvukhproletnykh zhelezobetonnykh balok, usilennykh kompozitnymi materialami po naklonnomu secheniiu [Experimental studies of two-span reinforced concrete beams strengthened with composite materials along an inclined section]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2014. No. 5(46). Pp. 50-57. EDN TBPWWF. (rus)
16. Merkulov S.I., Esipov S.M., Esipova D.V. Computer Simulation of Bent Reinforced Concrete Elements with External Composite Reinforcement. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 151 LNCE. P. 153-159. doi:10.1007/978-3-030-72910-3\_22. EDN KYOWIG.
17. Modeling of the Stress-Strain State of a Composite External Strengthening of Reinforced Concrete Bending Elements / S.I. Merkulov, V.I. Rimshin, I.L. Shubin, S.M. Esipov // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019"*, Vladivostok, Russky Island, 01–04 октября 2019 года. Vol. 753, 5, Chapter 4. – Vladivostok, Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2020. Pp. 052044. doi:10.1088/1757-899X/753/5/052044. EDN ZPVTEJ.



18. Merkulov S.I., Esipov S.M., Kashuba S.O. Predvaritel'noe opisaniye raboty zhelezobetonnykh elementov s vneshnim armirovaniem kompozitnymi materialami pri izgibe s krucheniem [Preliminary description of the work of reinforced concrete elements with external reinforcement with composite materials during bending with torsion]. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2022. No. 11. Pp.40-48. doi:10.34031/2071-7318-2022-7-11-40-48. EDN EFOFCS. (rus)

### Информация об авторах:

#### **Меркулов Сергей Иванович**

ФГБОУ ВО «Курский государственный университет», г. Курск, Россия,  
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленного и гражданского строительства.  
E-mail: [mrsi.dom@yandex.ru](mailto:mrsi.dom@yandex.ru)

#### **Кашуба Сергей Олегович**

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород, Россия,  
аспирант кафедры строительства и городского хозяйства.  
E-mail: [kashuba\\_sergey@mail.ru](mailto:kashuba_sergey@mail.ru)

#### **Есипов Станислав Максимович**

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород, Россия,  
кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.  
E-mail: [sk31.sm@gmail.com](mailto:sk31.sm@gmail.com)

### Information about authors:

#### **Merkulov Sergei Iv.**

Kursk State University, Kursk, Russia,  
corresponding Member of the RAACS, doctor of technical sciences, professor, head of the department of Industrial and Civil Engineering.  
E-mail: [mrsi.dom@yandex.ru](mailto:mrsi.dom@yandex.ru)

#### **Kashuba Sergei Ol.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia,  
graduate student of the department of Construction and Urban Economy.  
E-mail: [kashuba\\_sergey@mail.ru](mailto:kashuba_sergey@mail.ru)

#### **Esipov Stanislav M.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia,  
candidate of technical sciences, associate professor of the department of Construction and Urban Economy.  
E-mail: [sk31.sm@gmail.com](mailto:sk31.sm@gmail.com)

H.H. ALZAMILI<sup>1</sup>, A.M. ELSHEIKH<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

<sup>2</sup>Mansoura University, Mansoura, Egypt

## NUMERICAL STUDY OF THE BEHAVIOR OF RC BEAM AT HIGH TEMPERATURES

**Abstract.** The numerical study focuses on analyzing the structural response of reinforced concrete (RC) beams at high temperatures. Gaining more insight into the behavior of reinforced concrete (RC) structures at high temperatures and the material properties of steel reinforcement and concrete are the main goals of this research. To conduct this analysis, finite element analysis (FEA) using the ABAQUS software package is adopted. FEA allows for the simulation of the behavior of the RC beam under fire by inputting relevant parameters, such as material properties, dimensions, and temperature. The program calculates the temperature distribution within the structure and predicts the resulting structural responses. Two phases are applied: before and after exposure to fire. Both normal-strength concrete (NSC) beams and high-strength concrete (HSC) beams are considered. The results indicate that high temperatures have a detrimental effect on the overall behavior of concrete beams. At 600°C, the residual strength of HSC beams is shown to be twice that of NSC beams.

**Keywords:** beam, concrete, fire, strength, ABAQUS.

Х.Х. АЛЬЗАМИЛИ<sup>1</sup>, А.М. ЭЛЬШЕЙХ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов (РУДН), Москва, Россия

<sup>2</sup>Мансура университет, Мансура, Египет

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

**Аннотация.** Численное исследование сосредоточено на анализе структурной реакции железобетонных (RC) балок при высоких температурах. Целью этого исследования является более глубокое понимание того, как железобетонные конструкции ведут себя при воздействии повышенных температур и как это влияет на свойства материалов бетона и стальной арматуры. Для проведения этого анализа используется анализ методом конечных элементов (FEA) с использованием пакета программного обеспечения ABAQUS. FEA позволяет моделировать поведение RC-балки под пожаром путем ввода соответствующих параметров, таких как свойства материала, размеры и температура. Программа рассчитывает распределение температуры внутри конструкции и прогнозирует результирующие структурные реакции. Применяются две фазы: до и после воздействия пожара. Рассматриваются балки как из нормального бетона (NSC), так и из высокопрочного бетона (HSC). Результаты показывают, что высокие температуры оказывают пагубное влияние на общее поведение бетонных балок. Показано, что при 600°C остаточная прочность балок HSC в два раза выше, чем балок NSC.

**Ключевые слова:** балка, железобетон, пожар, прочность, ABAQUS.

© Альзамилли Х.Х., Эльшейх А.М., 2023

## REFERENCES

1. Miliozzi A., Chieruzzi M., Torre L. Experimental investigation of a cementitious heat storage medium incorporating a solar salt. *Applied Energy*. 2019. No. 250. Pp. 1023-1035.

2. Ni S., Gernay T. Predicting residual deformations in a reinforced concrete building structure after a fire event. *Engineering Structures*. 2020. Pp. 109853.
3. Khan E.U., Khushnood R.A., Baloch W.L. Spalling sensitivity and mechanical response of an ecofriendly sawdust high strength concrete at elevated temperature. *Construction and Building Materials*. 2020. No. 258. Pp. 119656.
4. Bolina F., Tutikian B., Rodrigues J.P.C. Thermal analysis of steel decking concrete slabs in case of fire. *Fire Safety Journal*. 2021. No. 121. Pp. 103295.
5. Saleheen Z., Krishnamoorthy R.R., Nadjai A. A review on behavior, material properties and finite element simulation of concrete tunnel linings under fire. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2022. No. 126. Pp. 104534.
6. Gao W.Y., Dai J.G., Teng J.G., Chen G.M. Finite element modeling of reinforced concrete beams exposed to fire. *Engineering structures*. 2013. No. 52. Pp. 488-501.
7. Cai B., Li B., Fu F. Finite element analysis and calculation method of residual flexural capacity of post-fire RC beams. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2020. No. 14. Pp. 1-17.
8. Roudari S.S., Abu-Lebdeh T.M. Evaluation of fire effects on reinforced concrete columns using finite element method. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019.
9. Musmar M., Shatnaw A., Shatarat N. Finite element analysis of the behavior of RC beams during fires. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. No. 12. Pp. 6869-6876.
10. Yong W., Yu-li D., Guang-chun Z. Nonlinear numerical modeling of two-way reinforced concrete slabs subjected to fire. *Computers & Structures*. 2012. No. 119. Pp. 23-36.
11. Santosh T., Nur Y., Eyosias B. Post-fire analysis and numerical modeling of a fire-damaged concrete bridge. *Engineering Structures*. 2021. No. 244. Pp. 112764.
12. Hoang-Le M., Samir K., Magd A. A concrete damage plasticity model for predicting the effects of compressive high-strength concrete under static and dynamic loads. *Journal of Building Engineering*. 2021. No. 44. Pp. 103239.
13. Bakhti R., Benahmed B., Laib A. New approach for computing damage parameters evolution in plastic damage model for concrete. *Case Studies in Construction Materials*. 2021. No. 16. Pp. e00834.
14. NASTRI E., TODISCO P. Macro mechanical Failure Criteria: Elasticity, Plasticity and Numerical Applications for the Non-Linear Masonry Modelling. *Buildings*. 2022. No. 12(8). Pp. 1245.
15. Cui L., Zhang X., Hao H. Improved analysis method for structural members subjected to blast loads considering strain hardening and softening effects. *Advances in Structural Engineering*. 2021. No. 24(12). Pp. 2622-2636.
16. Kaish A.B.M.A., Alam M.R., Hassan Md.K., Ullah S.N. Numerical investigation of the behavior of retrofitted flexural cracked beam with external plate bonding. Conference: Conference on Engineering Research, Innovation and Education 2011 (CERIE 2011) At: SUST, Sylhet, Bangladesh.
17. Li W.S., Deng X.W. The temperature field finite element analysis of concrete beam after fire based on Abaqus. *Applied Mechanics and Materials*. 2011. No. 90. Pp. 3089-3092.
18. Krishna D.A., Priyadarsini R.S., Narayanan S. Effect of elevated temperatures on the mechanical properties of concrete. *Procedia Structural Integrity*. 2019. No. 14. Pp. 384-394.
19. Pokorný P., Kolísko J., Čítek D., Kostecká M. Effect of elevated temperature on the bond strength of prestressing reinforcement in UHPC. *Materials (Basel)*. 2020. No. 13(21). Pp. 4990.
20. Oliveira P.N., Fonseca E.M.M., Campilho R.D.S.G., Piloto P.A. Analytical equations applied to the study of steel profiles under fire according to different nominal temperature-time curves. *Mathematical and Computational Applications*. 2021. No. 26(2). Pp. 48.
21. Suntharalingam T., Upasiri I., Nagaratnam B., Poologanathan K., Gatheeshgar P., Tsavdaridis K.D., Nuwanthika D. Finite Element Modelling to Predict the Fire Performance of Bio-Inspired 3D-Printed Concrete Wall Panels Exposed to Realistic Fire. *Buildings*. 2022. No. 12(2). Pp. 111.
22. Bamonte P., Lo Monte F. Reinforced concrete columns exposed to standard fire: Comparison among different constitutive models for concrete at high temperature. *Fire Safety Journal*. 2015. No. 71. Pp. 310-323.
23. Weerasinghe P., Nguyen K., Mendis P., Guerrieri M. Large-scale experiment on the behaviour of concrete flat slabs subjected to standard fire. *Journal of Building Engineering*. 2020. No. 30. Pp. 101255.
24. Yang M., Pham D.T., Bleyer J., de Buihan P. Evaluating the failure load of high-rise reinforced concrete walls under fire loading using the yield design approach. *Structures*. 2023. No. 48. Pp. 934-946.
25. Dong H., Zhu J., Cao W., Rao Y., Liu Y. Structural behavior of mega steel-reinforced high-strength concrete rectangular columns under axial compression. *Journal of Building Engineering*. 2022. No. 61. Pp. 105272.
26. Roudari S.S., Abu-Lebdeh T. Evaluation of fire effects on reinforced concrete columns using finite element method. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. No. 12(2). Pp. 227-235.
27. Haido J.H., Tayeh B.A., Majeed S.S., Karpuzcu M. Effect of high temperature on the mechanical properties of basalt fibre self-compacting concrete as an overlay material. *Construction and Building Materials*. 2021. No. 268. Pp. 121725.

28. Alzamili H.H. Post-fire behavior of various reinforced concrete elements with various strengthening methods. Moscow. Russian Federation. 2023.
29. Elsheikh A., Alzamili H.H. Post Fire Behavior of Thesis. Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). Structural Reinforced Concrete Member (Slab) Repairing with Various Materials. *Civil Engineering Journal*. 2023. No. 9(8). Pp. 2012-2031. doi:10.28991/CEJ-2023-09-08-013.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Miliozzi A., Chieruzzi M., Torre L. Experimental investigation of a cementitious heat storage medium incorporating a solar salt // *Applied Energy*. 2019. No. 250. Pp. 1023-1035.
2. Ni S., Gernay T. Predicting residual deformations in a reinforced concrete building structure after a fire event // *Engineering Structures*. 2020. Pp. 109853.
3. Khan E.U., Khushnood R.A., Baloch W.L. Spalling sensitivity and mechanical response of an ecofriendly sawdust high strength concrete at elevated temperatures // *Construction and Building Materials*. 2020. No. 258. Pp. 119656.
4. Bolina F., Tutikian B., Rodrigues J.P.C. Thermal analysis of steel decking concrete slabs in case of fire // *Fire Safety Journal*. 2021. No. 121. Pp. 103295.
5. Saleheen Z., Krishnamoorthy R.R., Nadjai A. A review on behavior, material properties and finite element simulation of concrete tunnel linings under fire // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2022. No. 126. Pp. 104534.
6. Gao W.Y., Dai J.G., Teng J.G., Chen G.M. Finite element modeling of reinforced concrete beams exposed to fire // *Engineering structures*. 2013. No. 52. Pp. 488-501.
7. Cai B., Li B., Fu F. Finite element analysis and calculation method of residual flexural capacity of post-fire RC beams // *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2020. 14. 1-17.
8. Roudari S.S., Abu-Lebdeh T.M. Evaluation of fire effects on reinforced concrete columns using finite element method // *American Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019.
9. Musmar M., Shatnaw A., Shatarat N. Finite element analysis of the behavior of RC beams during fires // *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. No. 12. Pp. 6869-6876.
10. Yong W., Yu-li D., Guang-chun Z. Nonlinear numerical modeling of two-way reinforced concrete slabs subjected to fire // *Computers & Structures*. 2012. No. 119. Pp. 23-36.
11. Santosh T., Nur Y., Eyosias B. Post-fire analysis and numerical modeling of a fire-damaged concrete bridge // *Engineering Structures*. 2021. No. 244. Pp. 112764.
12. Hoang-Le M., Samir K., Magd A. A concrete damage plasticity model for predicting the effects of compressive high-strength concrete under static and dynamic loads // *Journal of Building Engineering*. 2021. No. 44. Pp. 103239.
13. Bakhti R., Benahmed B., Laib A. New approach for computing damage parameters evolution in plastic damage model for concrete // *Case Studies in Construction Materials*. 2021. No. 16. Pp. e00834.
14. Nastri E., Todisco P. Macro mechanical Failure Criteria: Elasticity, Plasticity and Numerical Applications for the Non-Linear Masonry Modelling // *Buildings*. 2022. No. 12(8). Pp. 1245.
15. Cui L., Zhang X., Hao H. Improved analysis method for structural members subjected to blast loads considering strain hardening and softening effects // *Advances in Structural Engineering*. 2021. 24(12). 2622-2636.
16. Kaish A.B.M.A., Alam M.R., Hassan Md.K., Ullah S.N. Numerical investigation of the behavior of retrofitted flexural cracked beam with external plate bonding // *Conference: Conference on Engineering Research, Innovation and Education 2011 (CERIE 2011) At: SUST, Sylhet, Bangladesh*.
17. Li W.S., Deng X.W. The temperature field finite element analysis of concrete beam after fire based on Abaqus // *Applied Mechanics and Materials*. 2011. No. 90. Pp. 3089-3092.
18. Krishna D.A., Priyadarsini R.S., Narayanan S. Effect of elevated temperatures on the mechanical properties of concrete // *Procedia Structural Integrity*. 2019. No. 14. Pp. 384-394.
19. Pokorný P., Kolísko J., Čítek D., Kostelecká M. Effect of elevated temperature on the bond strength of prestressing reinforcement in UHPC // *Materials (Basel)*. 2020. No. 13( 21). Pp. 4990.
20. Oliveira P.N., Fonseca E.M.M., Campilho R.D.S.G., Piloto P.A. Analytical equations applied to the study of steel profiles under fire according to different nominal temperature-time curves // *Mathematical and Computational Applications*. 2021. No. 26(2). Pp. 48.
21. Suntharalingam T., Upasiri I., Nagaratnam B., Poologanathan K., Gatheeshgar P., Tsavdaridis K.D., Nuwanthika D. Finite Element Modelling to Predict the Fire Performance of Bio-Inspired 3D-Printed Concrete Wall Panels Exposed to Realistic Fire // *Buildings*. 2022. No. 12(2). Pp. 111.
22. Bamonte P., Lo Monte F. Reinforced concrete columns exposed to standard fire: Comparison among different constitutive models for concrete at high temperature // *Fire Safety Journal*. 2015. No. 71. Pp. 310-323.
23. Weerasinghe P., Nguyen K., Mendis P., Guerrieri M. Large-scale experiment on the behaviour of concrete flat slabs subjected to standard fire // *Journal of Building Engineering*. 2020. No. 30. Pp. 101255.

24. Yang M., Pham D.T., Bleyer J., de Buhan P. Evaluating the failure load of high-rise reinforced concrete walls under fire loading using the yield design approach // Structures. 2023. No. 48. Pp. 934-946.
25. Dong H., Zhu J., Cao W., Rao Y., Liu Y. Structural behavior of mega steel-reinforced high-strength concrete rectangular columns under axial compression // Journal of Building Engineering. 2022. No. 61. Pp. 105272.
26. Roudari S.S., Abu-Lebdeh T. Evaluation of fire effects on reinforced concrete columns using finite element method // American Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. No. 12(2). Pp. 227-235.
27. Haido J.H., Tayeh B.A., Majeed S.S., Karpuzcu M. Effect of high temperature on the mechanical properties of basalt fibre self-compacting concrete as an overlay material // Construction and Building Materials. 2021. No. 268. Pp. 121725.
28. Alzamili H.H. Post-fire behavior of various reinforced concrete elements with various strengthening methods // Thesis. Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). Moscow, Russian Federation. 2023.
29. Elsheikh A., Alzamili H.H. Post Fire Behavior of Structural Reinforced Concrete Member (Slab) Repairing with Various Materials // Civil Engineering Journal. 2023. No. 9(8). Pp. 2012-2031. doi:10.28991/CEJ-2023-09-08-013.

**Information about authors:**

**Alzamili Hadeal Hakim**

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia,  
PhD student department of Civil Engineering, Academy of Engineering.  
E-mail: [HadealHakim8@gmail.com](mailto:HadealHakim8@gmail.com)

**Elsheikh Asser Mohamed**

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia,  
candidate in technical sciences, assistant professor department of Civil Engineering, Academy of Engineering.  
Mansoura University, Mansoura, Egypt,  
candidate in technical sciences, associated professor.  
E-mail: [elsheykh\\_am@pfur.ru](mailto:elsheykh_am@pfur.ru)

**Информация об авторах:**

**Альзамили Хадиль Хаким**

Российский университет дружбы народов (РУДН), г. Москва, Россия,  
аспирантка департамента строительства инженерной академии.  
E-mail: [HadealHakim8@gmail.com](mailto:HadealHakim8@gmail.com)

**Эльшейх Ассер Мохамед**

Российский университет дружбы народов (РУДН), Москва, Россия,  
кандидат технических наук, доцент департамент строительства инженерной академии.  
Мансура университет, Мансура, Египет,  
кандидат технических наук, доцент.  
E-mail: [elsheykh\\_am@pfur.ru](mailto:elsheykh_am@pfur.ru)

**В.Н. КУПРИЯНОВ**<sup>1</sup>, А.Г. ХАБИБУЛИНА<sup>1</sup>, А.М. СУЛЕЙМАНОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия

## ЗАЩИТА ФАСАДОВ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОСОГО ДОЖДЯ: ОБЗОР ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

***Аннотация.** Актуальность исследования обусловлена тем, что эрозия поверхности строительных материалов является распространенным явлением, наблюдаемым на фасадах исторических зданий. Климатические изменения могут привести к увеличению частоты и интенсивности экстремальных осадков, что может усилить эрозионные эффекты на фасадах зданий из-за воздействия косого дождя. Целью исследования является сравнение экспериментальных методов оценки степени эрозии поверхности исторических строительных материалов под воздействием косых дождей. Задачами исследования являются обзор современных методов измерения влияния дождя с ветром на поверхностную эрозию и снижение прочности кирпича и известняка; критический анализ наиболее известных методов оценки степени эрозии поверхности строительных материалов; предложение рекомендаций по защите и реставрации поврежденных фасадов объектов культурного наследия из-за воздействия косого дождя.*

*Значимость полученных результатов для архитекторов и проектировщиков состоит в том, что использование методов оценки степени повреждения фасадов памятников архитектуры из-за косого воздействия дождей позволяют осуществлять мониторинг и выработать меры по защите объектов культурного наследия.*

***Ключевые слова:** косой дождь, эрозия каменной кладки, защита фасадов памятников архитектуры.*

**V.N. KUPRIYANOV**<sup>1</sup>, A.G. KHABIBULINA<sup>1</sup>, A.M. SULEYMANOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia

## PROTECTING FACADES OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS FROM THE WIND-DRIVEN RAIN: A REVIEW OF EXPERIMENTAL STUDIES

***Abstract.** The relevance of the study is due to the fact that erosion of the surface of building materials is a common phenomenon observed on the facades of historic buildings. Climatic changes can lead to an increase in the frequency and intensity of extreme precipitation, which can increase the erosion effects on the facades of buildings due to the wind-driven rain. The purpose of the study is to compare experimental methods for assessing the degree of surface erosion of historic building materials under the influence of wind-driven rainfall. The objectives of the study are to review modern methods for measuring the effect of rain with wind on the surface erosion and reduction of the strength of brick and limestone; to critically analyze the best-known methods for assessing the degree of erosion of the surface of building materials; to offer recommendations for the protection and restoration of damaged facades of cultural heritage objects due to the wind-driven rain.*

*The significance of the obtained results for architects and designers is that the use of methods to assess the degree of damage to the facades of architectural monuments due to wind-driven rainfall makes it possible to monitor and develop measures to protect objects of cultural heritage.*

***Keywords:** wind-driven rain, erosion of masonry, protection of facades of monuments.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Haugen A., Mattsson J. Preparations for climate change's influences on cultural heritage // *International Journal of Climate Change Strategies and Management*. 2011. Vol. 3. No. 4. Pp. 386–401. doi:10.1108/17568691111175678
2. Brimblecombe P., Grossi C. M., Harris I. Climate change critical to cultural heritage // *Survival and sustainability: environmental concerns in the 21st century*. 2011. Pp. 195–205. Springer.
3. Sesana E., Gagnon A., Ciantelli C., Cassar J., Hughes J. Climate change impacts on cultural heritage: A literature review // *WIREs Climate Change*. 2021. No. 12 (1). 29 p. doi:10.1002/wcc.710
4. Camuffo D. Climate change, human factor, and risk assessment // *Microclimate for cultural heritage*. 2019. Pp. 303–340. Elsevier.
5. Spezzano P. Mapping the susceptibility of UNESCO World Cultural Heritage sites in Europe to ambient (outdoor) air pollution // *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 754. 142345. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142345
6. Vidović K., Hočevar S., Menart E., Drventić I., Grgić I., Kroflič A. Impact of air pollution on outdoor cultural heritage objects and decoding the role of particulate matter: a critical review // *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29. Pp. 46405–46437. doi:10.1007/s11356-022-20309-8
7. Cutler N.A., Viles H.A., Ahmad S., McCabe S., Smith B. J. Algal «greening» and the conservation of stone heritage structures // *Science of the Total Environment*. 2013. Vol. 442. Pp. 152–164. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.10.050
8. Строганов В.Ф., Бойчук В.А., Сагадеев Е.В. Биоповреждение древесных материалов и конструкций // *Известия КГАСУ*. 2014. № 2 (28). С. 185–193.
9. Строганов В.Ф., Сагадеев Е.В., Вахитов Б.Р. Применение модельных сред для оценки биостойкости минеральных строительных материалов // *Известия КГАСУ*. 2017. № 3 (41). С. 196–202.
10. Prieto B., Vázquez-Niño D., Fuentes E., Durán-Román A.G. Response of subaerial biofilms growing on stone-built cultural heritage to changing water regime and CO2 conditions // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2020. Vol. 148. 104882. doi:10.1016/j.ibiod.2019.104882
11. Бессонов И.В., Баранов В.С., Баранов В.В., Князева В.П., Ельчищева Т.Ф. Причины появления и способы устранения высолов на кирпичных стенах зданий // *Жилищное строительство*. 2014. № 7. С. 39–43.
12. Menéndez B. Estimators of the impact of climate change in salt weathering of cultural heritage // *Geosciences*. 2018. No. 8 (11). Pp. 401. doi:10.3390/geosciences8110401
13. Tang W., Davidson C.I., Finger S., Vance K. Erosion of limestone building surfaces caused by wind-driven rain: 1. Field measurements // *Atmospheric Environment*. 2004. Vol. 38. Issue 33. Pp. 5589–5599. doi:10.1016/j.atmosenv.2004.06.030
14. Tang W., Davidson C.I. Erosion of limestone building surfaces caused by wind-driven rain: 2. Numerical modeling // *Atmospheric Environment*. 2004. Vol. 38. Issue 33. Pp. 5601–5609. doi:10.1016/j.atmosenv.2004.06.014
15. Erkal A., D'Ayala D., Sequeira L. Assessment of wind-driven rain impact, related surface erosion and surface strength reduction of historic building materials // *Building and Environment*. 2012. Vol. 57. Pp. 336–348. doi:10.1016/j.buildenv.2012.05.004
16. Никитин В.И., Кофанов В.А. Об учете косо́го дождя и капиллярных свойств материалов при оценке влагосодержания ограждающих конструкций // *Вестник БрГТУ. Строительство и архитектура*. 2013. № 1 (79). С. 91–95.
17. Куприянов В.Н., Петров А.С., Чебышева Д.Г. Влияние дождей на процесс старения и разрушения материалов наружных стен. Расчет количества дождей // *Эксперт: теория и практика*. 2020. № 1 (4). С. 28–32.
18. Blocken B., Dezsö G., Beecq J. van, Carmeliet J. Comparison of calculation models for wind-driven rain deposition on building facades // *Atmospheric Environment*. 2010. Vol. 44. Issue 14. Pp. 1714–1725. doi:10.1016/j.atmosenv.2010.02.011
19. Gholamalipour P., Ge H., Stathopoulos T. Wind-driven rain (WDR) loading on building facades: A state-of-the-art review // *Building and Environment*. 2022. Vol. 221. 109314. doi:10.1016/j.buildenv.2022.109314
20. Baheru T., Chowdhury A.G., Pinelli J.-P., Bitsuamlak G. Distribution of wind-driven rain deposition on low-rise buildings: Direct impinging raindrops versus surface runoff // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2014. Vol. 133. Pp. 27–38. doi:10.1016/j.jweia.2014.06.023
21. Abuku M., Janssen H., Poesen J., Roels S. Impact, absorption and evaporation of raindrops on building facades // *Building and Environment*. 2009. Vol. 44. Issue 1. Pp. 113–124. doi:10.1016/j.buildenv.2008.02.001
22. Artesani A., Di Turo F., Zucchelli M., Traviglia A. Recent Advances in Protective Coatings for Cultural Heritage – An Overview // *Coatings*. 2020. No. 10 (3). 217. doi:10.3390/coatings10030217
23. Pino F., Fermo P., Russa M.L., Ruffolo S., Comite V., Baghdachi J., Pecchioni E., Fratini F., Cappelletti G. Advanced mortar coatings for cultural heritage protection. Durability towards prolonged UV and outdoor exposure // *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. No. 24 (14). Pp. 12608–12617. doi:10.1007/S11356-016-7611-3
24. Kahangi Shahreza S., Niklewski J., Molnár M. Experimental investigation of water absorption and penetration in clay brick masonry under simulated uniform water spray exposure // *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 43. doi:10.1016/j.jobe.2021.102583

25. Apostolopoulou M., Aggelakopoulou E., Bakolas A., Moropoulou A. Compatible mortars for the sustainable conservation of stone in masonries // *Advanced Materials for the Conservation of Stone*. 2018. Pp. 97–123. Springer. doi:10.1007/978-3-319-72260-3\_5

26. Ge H., Chiu V., Stathopoulos T. Effect of overhang on wind-driven rain wetting of facades on a mid-rise building: Field measurements // *Building and Environment*. 2017. Vol. 118. Pp. 234–250. doi:10.1016/j.buildenv.2017.03.034

## REFERENCES

1. Haugen A., Mattsson J. Preparations for climate change's influences on cultural heritage. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*. 2011. Vol. 3. No. 4. Pp. 386–401. doi:10.1108/17568691111175678.

2. Brimblecombe P., Grossi C. M., Harris I. Climate change critical to cultural heritage. *Survival and sustainability: environmental concerns in the 21st century*. 2011. Pp. 195–205. Springer.

3. Sesana E., Gagnon A., Ciantelli C., Cassar J., Hughes J. Climate change impacts on cultural heritage: A literature review. *WIREs Climate Change*. 2021. No. 12 (1). 29 p. doi:10.1002/wcc.710.

4. Camuffo D. Climate change, human factor, and risk assessment. *Microclimate for cultural heritage*. 2019. Pp. 303–340. Elsevier.

5. Spezzano P. Mapping the susceptibility of UNESCO World Cultural Heritage sites in Europe to ambient (outdoor) air pollution. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 754. 142345. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142345

6. Vidović K., Hočevar S., Menart E., Drventić I., Grgić I., Kroflić A. Impact of air pollution on outdoor cultural heritage objects and decoding the role of particulate matter: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29. Pp. 46405–46437. doi:10.1007/s11356-022-20309-8

7. Cutler N.A., Viles H.A., Ahmad S., McCabe S., Smith B. J. Algal «greening» and the conservation of stone heritage structures. *Science of the Total Environment*. 2013. Vol. 442. Pp. 152–164. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.10.050

8. Stroganov V.F., Boichuk V.A., Sagadeev E.V. Biodeterioration of wooden materials and structures. *Izvestiya KGASU*. 2014. No. 2 (28). Pp. 185–193.

9. Stroganov V.F., Sagadeev E.V., Vahitov B.R. Application of model mediums for the biostability assessment of mineral construction materials. *Izvestiya KGASU*. 2017. No. 3 (41). Pp. 196–202.

10. Prieto B., Vázquez-Nion D., Fuentes E., Durán-Román A.G. Response of subaerial biofilms growing on stone-built cultural heritage to changing water regime and CO<sub>2</sub> conditions. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2020. Vol. 148. 104882. doi:10.1016/j.ibiod.2019.104882

11. Bessonov I.V., Baranov V.S., Baranov V.V., Knyazeva V.P., Elchischeva T.F. Reasons and eliminate efflorescence on the brick walls of buildings. *Housing Construction*. 2014. No. 7. Pp. 39–43.

12. Menéndez B. Estimators of the impact of climate change in salt weathering of cultural heritage. *Geosciences*. 2018. No. 8 (11). 401. doi:10.3390/geosciences8110401

13. Tang W., Davidson C.I., Finger S., Vance K. Erosion of limestone building surfaces caused by wind-driven rain: 1. Field measurements. *Atmospheric Environment*. 2004. Vol. 38. Issue 33. Pp. 5589–5599. doi:10.1016/j.atmosenv.2004.06.030

14. Tang W., Davidson C.I. Erosion of limestone building surfaces caused by wind-driven rain: 2. Numerical modeling. *Atmospheric Environment*. 2004. Vol. 38. Issue 33. Pp. 5601–5609. doi:10.1016/j.atmosenv.2004.06.014

15. Erkal A., D'Ayala D., Sequeira L. Assessment of wind-driven rain impact, related surface erosion and surface strength reduction of historic building materials. *Building and Environment*. 2012. Vol. 57. Pp. 336–348. doi:10.1016/j.buildenv.2012.05.004

16. Nikitin V.I., Kofanov V.A. On consider of driving rain and capillary properties of materials when assessing moisture enclosing structures. *Vestnik BrSTU. Construction and Architecture*. 2013. No. 1 (79). Pp. 91–95.

17. Kupriyanov V.N., Petrov A.S., Chebysheva D.G. Rain impact on aging and destruction of external walls materials. The amount of rain calculation. *Expert: Theory and Practice*. 2020. No. 1 (4). Pp. 28–32. doi:10.24411/2686-7818-2020-10004

18. Blocken B., Dezsö G., Beeck J. van, Carmeliet J. Comparison of calculation models for wind-driven rain deposition on building facades. *Atmospheric Environment*. 2010. Vol. 44. Issue 14. Pp. 1714–1725. doi:10.1016/j.atmosenv.2010.02.011

19. Gholamalipour P., Ge H., Stathopoulos T. Wind-driven rain (WDR) loading on building facades: A state-of-the-art review. *Building and Environment*. 2022. Vol. 221. 109314. doi:10.1016/j.buildenv.2022.109314

20. Baheru T., Chowdhury A.G., Pinelli J.-P., Bitsuamlak G. Distribution of wind-driven rain deposition on low-rise buildings: Direct impinging raindrops versus surface runoff. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2014. Vol. 133. Pp. 27–38. doi:10.1016/j.jweia.2014.06.023

21. Abuku M., Janssen H., Poesen J., Roels S. Impact, absorption and evaporation of raindrops on building facades. *Building and Environment*. 2009. Vol. 44. Issue 1. Pp. 113–124. doi:10.1016/j.buildenv.2008.02.001.

22. Artesani A., Di Turo F., Zucchelli M., Traviglia A. Recent Advances in Protective Coatings for Cultural Heritage – An Overview. *Coatings*. 2020. No. 10 (3). 217. doi:10.3390/coatings10030217



23. Pino F., Fermo P., Russa M.L., Ruffolo S., Comite V., Baghdachi J., Pecchioni E., Fratini F., Cappelletti G. Advanced mortar coatings for cultural heritage protection. Durability towards prolonged UV and outdoor exposure. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. No. 24 (14). Pp. 12608–12617. doi:10.1007/S11356-016-7611-3
24. Kahangi Shahreza S., Niklewski J., Molnár M. Experimental investigation of water absorption and penetration in clay brick masonry under simulated uniform water spray exposure. *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 43. doi:10.1016/j.jobe.2021.102583
25. Apostolopoulou M., Aggelakopoulou E., Bakolas A., Moropoulou A. Compatible mortars for the sustainable conservation of stone in masonries. *Advanced Materials for the Conservation of Stone*. 2018. Pp. 97–123. Springer. doi:10.1007/978-3-319-72260-3\_5
26. Ge H., Chiu V., Stathopoulos T. Effect of overhang on wind-driven rain wetting of facades on a mid-rise building: Field measurements. *Building and Environment*. 2017. Vol. 118. Pp. 234–250. doi:10.1016/j.buildenv.2017.03.034

**Информация об авторах:**

**Куприянов Валерий Николаевич**

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия, доктор технических наук, профессор кафедры архитектуры, член-корреспондент РААСН.  
E-mail: [kupriyanov@kgasu.ru](mailto:kupriyanov@kgasu.ru)

**Хабибулина Альбина Гомеровна**

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия, кандидат экономических наук, доцент кафедры архитектуры.  
E-mail: [albgomer@mail.ru](mailto:albgomer@mail.ru)

**Сулейманов Альфред Мидхатович**

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных материалов.  
E-mail: [sulejmanov@kgasu.ru](mailto:sulejmanov@kgasu.ru)

**Information about authors:**

**Kupriyanov Valery N.**

Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia, doctor of technical sciences, professor of the department of architecture, corresponding member of the RAACS.  
E-mail: [kupriyanov@kgasu.ru](mailto:kupriyanov@kgasu.ru)

**Khabibulina Albina G.**

Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia, candidate of economical science, associated professor of the department of architecture.  
E-mail: [albgomer@mail.ru](mailto:albgomer@mail.ru)

**Suleymanov Alfred M.**

Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia, doctor of technical sciences, professor, head of building materials department.  
E-mail: [sulejmanov@kgasu.ru](mailto:sulejmanov@kgasu.ru)

О.В. ВОЛИЧЕНКО<sup>1,2</sup>, Е.В. ГОЛОВИНА<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия

## МОДЕЛЬ АНАЛИЗА ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ

***Аннотация.** Рассматривается классическая модель анализа архитектурного объекта, представляющей собой триединство традиционных (универсальных), профессиональных (современных) и общенаучных методов исследования (методы смежных наук). Традиционные методы исследования включают в себя анализ и интерпретацию исторических исследований, архивных документов, рукописей и других источников. Профессиональные методы исследуют композиционные, художественные, градостроительные, архитектурно-тектонические и морфологические аспекты архитектурного объекта с применением современных технологий. Общенаучные методы используют междисциплинарные методы исследования из других областей знаний, таких как история, археология, архитектурная теория и практика, социология, психология, экономика и другие. Процесс формирования классических аналитических методов изучения объектов архитектуры протекал в рамках античной философии и эстетики – время становления и развития методик анализа. Применение такого подхода при изучении научного метода обосновывается сложностью его организации. Уделяется внимание анализу аспектов восприятия памятников архитектуры. Наибольшая сложность историко-архитектурного анализа состоит в отражении принципа единства исторических явлений и событий и появлении архитектурных памятников, отражающих изменения в области экономики, социальном строе и культуре, показывающих стилевые особенности исторического периода в архитектуре. Анализ тенденций развития архитектурного объекта возможно на основе выявления элементов и структур, оказывающих влияние и не оказывающих, т.е. выявление мертвых и живых тканей архитектурно-градостроительных объектов. В заключении статьи подчеркивается важность проведения анализа историко-архитектурных объектов для сохранения исторического наследия и культурной ценности сооружений.*

***Ключевые слова:** методика анализа, модель, объективный анализ, количественный анализ, качественный анализ, система восприятия.*

O.V. VOLICHENKO<sup>1,2</sup>, E.V. GOLOVINA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Research University Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

<sup>3</sup>South-West State University, Kursk, Russia

## MODEL OF ANALYSIS OF HISTORICAL AND ARCHITECTURAL OBJECTS

***Abstract.** The purpose of the study is to consider the classical model of the analysis of an architectural object, which is a trinity of traditional (universal), professional (modern) and general scientific research methods (methods of related sciences). Traditional research methods include the analysis and interpretation of historical research, archival documents, manuscripts and other sources. Professional methods include examination, engineering analyses and research using modern technologies. General scientific research methods include the use of knowledge from various scientific disciplines, such as history, archaeology, architectural theory and practice, sociology, psychology, and others. The process of formation of classical analytical methods for studying architectural objects took*

*place within the framework of ancient philosophy and aesthetics. formation and development of the analysis methodology. Structural analysis involves the consideration of the scientific method as a system of its constituent elements and the principles of interaction of these elements, the study of their interrelationships. The application of this approach in the study of the scientific method is justified by the complexity of its organization. Attention is paid to the analysis of aspects of the perception of architectural monuments. The structure of the method of historical and architectural research allows us to show the theoretical foundations of a special research method that establishes a link between the categories of general and particular in the methodology of architectural monuments, analyze historical and architectural data in the context of their general significance and specific features. In conclusion, the article emphasizes the importance of analyzing historical and architectural objects for the preservation of historical heritage and cultural value of buildings.*

**Keywords:** *analysis technique, model, objective analysis, quantitative analysis, qualitative analysis, perception system.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воличенко О.В. Памятники архитектуры в системе туристической инфраструктуры Кыргызстана. Бишкек: Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова, 2006. 153 с. ISBN 9967-432-04-7.
2. Степанов А.В., Иванова Г.И., Нечаев Н.Н. Архитектура и психология. М.: Стройиздат, 1993. 157 с.
3. Гинзбург М.Я. Ритм в архитектуре. М.: ММХИХ, 2019. 120 с.
4. Араухо И. Архитектурная композиция. М.: Высш. школа, 1982. 208 с.
5. Воличенко О.В. Архитектурно-художественные достижения караханидской эпохи // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2018. Т. 18. № 4. С. 89-94.
6. Афанасьев К.Н. Построение архитектурной формы древнерусскими зодчими. М.: Ладомир, 2002. 269 с.
7. Брунов Н.И. Пропорции в античной и средневековой архитектуре. М.: Издательство Всесоюзной Академии Архитектуры, 1936. 140 с.
8. Гримм Г.Д. Пропорциональность в архитектуре. М.-Л.: ОНТИ, Главная редакция строительной литературы, 1935. 148 с.
9. Булатов М.С. Геометрическая гармонизация в архитектуре Средней Азии IX-XV вв. М.: Наука, 1988. 364 с.
10. Гутнов А.Э., Глазычев В.Л. Мир архитектуры. М.: Молодая гвардия, 1990. 350 с.
11. Фридман И. Научные методы в архитектуре. Стройиздат, 1983. 161 с.
12. Воличенко О.В. Методика предпроектного и проектного анализа в архитектуре и градостроительстве: учебное пособие / Саратов: Вузовское образование, 2020. 144 с.
13. Шипицына О.А., Кислых Т.А. Методы критического исследования архитектурного объекта: учеб. пособие по дисциплине «Архитектурно-исследовательские виды деятельности». Екатеринбург: Изд-во УрГАХУ, 2019. 90 с.
14. Литвинский Б.А. Архитектура и строительное дело // Восточный Туркестан в древности и раннем средневековье. М.: Восточная литература, 2000. С. 13-218.
15. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетики. М.: Иностранная литература, 1963. 108 с.
16. Перечень объектов культурного наследия. [Электронный ресурс]. <https://nasledie.kursk.ru/deyatelnost/perechni-obektov-kulturnogo-naslediya/> (дата обращения 15.03.2023)
17. Столяров Н.Н. Динамика архитектурных стилей Санкт-Петербурга в сопоставлении с развитием российского общества за период XIX-XX веков // Региональные архитектурно-художественные школы. 2015. № 1. С. 342-348.
18. Урсул А.Д. Природа информации. Философский очерк. Челябинск: Челябинская государственная академия культуры и искусств, 2010. 232 с.
19. Воличенко О.В. Влияние мейнстримов Западного авангарда в архитектуре Центральной Азии // Архитектон: известия вузов. 2013. № 1(41). С. 3.
20. Страутманис И.А. Информативно-эмоциональный потенциал архитектуры. М.: Стройиздат, 1978. 119 с.
21. Воличенко О.В., Байчубекова Б.Т. Принципы создания среды «умного города» // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2019. Т. 19. № 12. С. 119-126.
22. Воличенко О.В., Байчубекова Б.Т. Модель развития общественных пространств // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2020. Т. 20. № 8. С. 59-64.

REFERENCES

1. Volichenko O.V. Pamyatniki arhitektury v sisteme turisticheckoj infrastruktury Kyrgyzstana. Bishkek: Kyrgyzskij gosudarstvennyj universitet stroitel'stva, transporta i arhitektury im. N. Isanova, 2006. 153 p. ISBN 9967-432-04-7.
2. Stepanov A.V., Ivanova G.I., Nechaev N.N. Arhitektura i psihologiya. M.: Strojizdat, 1993. 157 p.
3. Ginzburg M.YA. Ritm v arhitekture. M.: MMXIX, 2019. 120 p.
4. Arauho I. Arhitekturnaya kompoziciya. M.: Vyssh. shkola, 1982. 208 p.
5. Volichenko O.V. Arhitekturno-hudozhestvennye dostizheniya karahanidskoj epohi. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossijskogo Slavyanskogo universiteta*. 2018. T. 18. No. 4. Pp. 89-94.
6. Afanas'ev K.N. Postroenie arhitekturnoj formy drevnerusskimi zodchimi. M.: Lodomir, 2002. 269 p.
7. Brunov N.I. Proporcii v antichnoj i srednevekovoj arhitekture. M.: Izdatel'stvo Bsesoyuznoj Akademii Arhitektury, 1936. 140 p.
8. Grimm G. D. Proporcional'nost' v arhitekture. M.-L.: ONTI, Glavnaya redakciya stroi-tel'noj literatury, 1935. 148 p.
9. Bulatov M.S. Geometricheskaya garmonizaciya v arhitekture Srednej Azii IX-XV vv. M.: Nauka, 1988. 364 p.
10. Gutnov A.E., Glazychev V.L. Mir arhitektury. M.: Molodaya gvardiya, 1990. 350 p.
11. Fridman I. Nauchnye metody v arhitekture. Strojizdat, 1983. 161 p.
12. Volichenko O.V. Metodika predproektnogo i proektnogo analiza v arhitekture i grado-stroitel'stve: uchebnoe posobie / Saratov: Vuzovskoe obrazovanie, 2020. 144 p.
13. SHipicyna O.A., Kislyh T.A. Metody kriticheskogo issledovaniya arhitekturnogo ob'ekta: ucheb. posobie po discipline «Arhitekturno-issledovatel'skie vidy deyatel'nosti». Ekaterinburg: Izd-vo UrGAHU, 2019. 90 p.
14. Litvinskij B.A. Arhitektura i stroitel'noe delo. *Vostochnyj Turkestan v drevnosti i rannem srednevekov'e*. M.: Vostochnaya literatura, 2000. Pp. 13-218.
15. Shennon K. Raboty po teorii informacii i kibernetiki. M.: Inostrannaya literatura, 1963. 108 p.
16. Perechen' ob'ektov kul'turnogo naslediya. [Elektronnyj resurs]. <https://nasledie.kursk.ru/deyatelnost/perechni-obektov-kulturnogo-naslediya/> (data obrashcheniya 15.03.2023)
17. Stolyarov N.N. Dinamika arhitekturnyh stilej Sankt-Peterburga v sopostavlenii s razvitiem rossijskogo obshchestva za period XIX-XX vekov. *Regional'nye arhitekturno-hudozhestvennye shkoly*. 2015. № 1. Pp. 342-348.
18. Ursul A.D. Priroda informacii. Filosofskij ocherk. CHelyabinsk: CHelyabinskaya gosudarstvennaya akademiya kul'tury i iskusstv, 2010. 232 p.
19. Volichenko O.V. Vliyanie mejnstrimov Zapadnogo avangarda v arhitekture Central'noj Azii. *Arhitekton: izvestiya vuzov*. 2013. No. 1(41). Pp. 3.
20. Strautmanis I.A. Informativno-emocional'nyj potencial arhitektury. M.: Strojizdat, 1978. 119 p.
21. Volichenko O.V., Bajchubekova B.T. Principy sozdaniya sredi «umnogo goroda». *Vestnik Kyrgyzsko-Rossijskogo Slavyanskogo universiteta*. 2019. T. 19. No. 12. Pp. 119-126.
22. Volichenko O.V., Bajchubekova B.T. Model' razvitiya obshchestvennyh prostranstv. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossijskogo Slavyanskogo universiteta*. 2020. T. 20. No. 8. Pp. 59-64.

Информация об авторах:

**Воличенко Ольга Владимировна**

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

Советник РААСН, доктор архитектуры, профессор кафедры основ архитектуры и художественных коммуникаций.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия,

Советник РААСН, доктор архитектуры, профессор кафедры теории и практики архитектурного проектирования.

E-mail: [wolitschenko@mail.ru](mailto:wolitschenko@mail.ru)

**Головина Екатерина Викторовна**

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,

аспирант.

E-mail: [blohinaekaterina22@yandex.ru](mailto:blohinaekaterina22@yandex.ru)

**Information about authors:**

**Volichenko Olga V.**

National Research University Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,  
Advisor to the RAACS, doctor of architecture, professor of the department of Fundamentals of Architecture and Artistic Communications.

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia,

Advisor to the RAACS, doctor of architecture, professor of the department of Theory and Practice of Architectural Design.

E-mail: [wolitschenko@mail.ru](mailto:wolitschenko@mail.ru)

**Golovina Ekaterina V.**

South-West State University, Kursk, Russia,  
postgraduate student.

E-mail: [blohinaekaterina22@yandex.ru](mailto:blohinaekaterina22@yandex.ru)

А.Е. ЕНИН<sup>1</sup>, М.М.Х. АБУАСАД<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ НА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ В ОСОБЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ ПАЛЕСТИНЫ

**Аннотация.** В статье рассматриваются проблемы повышения качества жилой среды в особых условиях Палестины, а также теоретические основы программ (векторов) трансформации жилых территорий в формировании архитектурно - ландшафтного комплекса, на основе модели комплексных схем средорегулирующей системы. Природные характеристики и человеческая деятельность являются основными элементами этой системы, так как их взаимодействие является условием преобразований в соответствии с принципами архитектурно-градостроительной организации жилой застройки при сохранении сходства, целостности и эффективности взаимодействий, опирающихся на принципы взаимовлияния и взаимозависимости старого и нового. Случаи противоречия и различия выявляются на основе комплексной оценки места застройки в планировочном, функциональном и композиционном аспектах, по принципам взаимодействия старого и нового. При этом определяется, каким образом сформированные элементы среды в результате человеческой деятельности функционируют под воздействием природных характеристик. В результате выявляются зоны внутреннего дискомфорта. Разработка программы целенаправленных преобразований характеристик жилой городской среды на основе поэтапного анализа взаимодействия основных элементов системы, конечной целью которых является повышение качества городского пространства. Выявление средообразующего потенциала территории определяет систему мероприятий в соответствии с климатическими, эстетическими и экологическими изменениями городской территории. Исходя из принципов архитектурно-градостроительного проектирования комфортных жилых территорий, по принципу ценности и принципу аналогии, определяется Средообразующий потенциал территории. Это делается путем анализа взаимовлияния природных характеристик и деятельности человека. В заключение, на основании исследования, определяются тенденции для улучшения развития и повышения комфорта застройки, располагающейся в соответствии с принятыми приоритетами и конкретными требованиями. Все предложенные методы и приёмы архитектурно-ландшафтного преобразования городской среды повысят эффективность формирования микроклимата в сочетании с благоустройством окружающей среды и ее структурной гармонизацией.

**Ключевые слова:** системный подход, средорегулирующая система, организация жилой застройки, оптимизация жилой среды.

A.E. ENIN<sup>1</sup>, M.M.H. ABUASAD<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

## A SYSTEMIC APPROACH TO THE ORGANIZATION OF RESIDENTIAL DEVELOPMENT IN URBAN AREAS IN THE SPECIAL NATURAL CONDITIONS OF PALESTINE

**Abstract.** The article discusses the problems of improving the quality of the living environment in the special conditions of Palestine, as well as the theoretical foundations of programs (vectors) for the transformation of residential areas in the formation of an architectural and landscape complex based on a model of complex schemes of the environment-regulating system. Natural characteristics and human activity are the main elements of this system since their interaction is a condition for

© Енин А.Е., Абуасад М.М.Х., 2023

*transformation in accordance with the principles of architectural and urban planning organization of residential development while maintaining the similarity, integrity, and effectiveness of interactions based on the principles of mutual influence and interdependence of old and new. Cases of contradictions and differences are identified on the basis of a comprehensive assessment of the development site in planning, functional, and compositional aspects, according to the principles of interaction between old and new. At the same time, it is determined how the formed elements of the environment as a result of human activity function under the influence of natural characteristics. As a result, areas of internal discomfort are identified. Development of a program of targeted transformations of the characteristics of the residential urban environment based on a step-by-step analysis of the interaction of the main elements of the system, the ultimate goal of which is to improve the quality of urban space. Identification of the environment-forming potential of the territory determines a method of measures in accordance with climatic, aesthetic, and environmental changes in the metropolitan area. Based on the principles of architectural and urban planning of comfortable residential areas, according to the principle of value and the direction of analogy, the environment-forming potential of the territory is determined. This is done by analyzing the mutual influence of natural characteristics and human activities. In conclusion, based on the study, trends are identified to improve the development and comfort of products located in accordance with accepted priorities and specific requirements.*

**Keywords:** *systemic approach, urban planning, organization of residential development, optimization of the living environment, landscape.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абубакр Н.А. Организация застройки на территориях со сложными ландшафтно-природными условиями в городах Йемена: диссертация ... кандидата архитектуры: 18.00.04 / Абубакр Набиль Абдулалим; [Место защиты: Моск. архитектур. ин-т]. Москва, 2009. 167 с.: ил. РГБ ОД, 61 09-18/13.
2. Амер Ахмед Саид Абдалла. Принципы формирования устойчивой архитектуры сельского жилища для жаркого сухого климата (на примере Египта): диссертация ... кандидата архитектуры: 05.23.20 / Амер Ахмед Саид Абдалла [Место защиты: ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»], 2019. 291 с.
3. Белкин А.Н., Аль Дарф Аднан Б., Хирбик М.М., Исмайл М. Концепция формирования систем открытых озелененных пространств городов Сирии на основе беллигеративных ландшафтов // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2018. Т. 22. № 3. С. 90-96. doi:10.18698/2542-1468-2018-3-90-96
4. Лаврова О.П. Ландшафтная архитектура и формирование комфортной городской среды. Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции [Текст]: сборник трудов / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. Н. Новгород: ННГАСУ, 2022. 218 с. ISBN 978-5-528-00493-8
5. Нефедов В.А. Архитектурно-ландшафтная реконструкция как средство оптимизации городской среды: Дисс. д-ра архитектуры. – СПб., 2005.
6. Пестрякова Э.Р. Принципы формирования архитектурно-планировочной организации социальных жилых зданий с учетом трансформации // Градостроительство и архитектура. 2022. Т. 12. № 2. С. 113-119. doi:10.17673/10.17673/Vestnik.2022.02.15
7. Полторак Г.И. Проблемы архитектурной экологии. М.: Знание, строительство и архитектура, 5/1985.
8. Трухачев С.Ю. Архитектурно-планировочные принципы градостроительного зонирования (на примере городов Юга России) : диссертация ... кандидата архитектуры : 18.00.04 / Трухачев Сергей Юрьевич; [Место защиты: Московский архитектурный институт (государственная академия)]. Москва, 2008. 191 с.: ил.
9. Ayad, may, Ali ElSawyad, Nanees Abdel Hamid Mohamed; and El Gizawi, Lamis. The Flexibility Effect of Using Heritage Formation Vocabulary in Contemporary Architecture // Mansoura Engineering Journal. 2022. Vol. 47. Iss. 2. Article 13. Electronic resource available. <https://doi.org/10.21608/bfemu.2022.248285>
10. Golany G. Design for Arid Regions Urban form Design for Arid Regions. Van Nostrand Reinhold Company: New York, 1983.
11. Hani Kh. S.A., Visual and Aesthetic Aspects and Elements of the city "Analytical Study of the Centre of Nablus", An-Najah National University, Nablus, Palestine. 2004.
12. Nikos A. Salingaros, Umbau-Verlag, Solingen, A THEORY OF ARCHITECTURE, Germany, 280 p. ISBN 3-937954-07-4
13. Wafaa Naji Al-Astal. The Impact of Pedestrians Streets on sustainability of Urban Areas Case Study (city Center of Khan younis), 2015. 245 p.

14. Бассем Исса Абдель Рахмана Дахера. Формирование и управление сельским развитием в сельской местности Палестины. Практический пример – деревня Бейт-Иба. 2009. 149 с.
15. Халаф Хусейн Али ад-Дулайми. Городское планирование // Основы и концепции. 2002. 208 с.
16. Рим Абдель Мохсен Ханджи. Завершение городских пространств в исторической городской ткани. 2018. 180 с.
17. Саад Абдель Рахман. Поведение человека, анализ и измерение переменных, 1-е издание, Каир: Каирская современная библиотека, 1971. 135 с.
18. Аль-Обаиди, Майсаа Мовафак, Шариф, Анвар Мишал, Архитектурное наследие города Мосул — отправная точка для восстановления черт старого города, аналитическое исследование старого города на уровнях планирования и проектирования // Международный журнал Архитектура, техника и технологии. 2019. Том 2. Выпуск 2. С. 21-36.
19. Мухаммад Абдулла Мабхут Аль-Авдари. Современные события и их влияние на городскую структуру города, 2009.
20. Хани Аль-Фарран. Определяющие факторы визуального дизайна общественных городских пространств арабского города // Журнал урбанизма и городских технологий — рецензируемый научный журнал, издаваемый Лабораторией городских и океанических технологий Университета Мсилы, Алжир. 2010. № 2 (декабрь). С. 68–88. ISSN: 1112-9581.

## REFERENCES

1. Abubakr N. A. Organization of development in territories with complex landscape and natural conditions in the cities of Yemen: dissertation ... Candidate of Architecture: 18.00.04 / Abubakr Nabil Abdulalim; [Place of protection: Moscow Architectural Institute]. Moscow, 2009. 167 p.: ill. RSL OD, 61 09-18/13.
2. Amer Ahmed Saeed Abdallah. Principles of Formation of a Sustainable Architecture of a Rural Dwelling for a Hot, Dry Climate (on the Example of Egypt): Dissertation ... PhD in Architecture: 05.23.20 / Amer Ahmed Saeed Abdallah; [Place of defense: Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering], 2019. 291 p.
3. Belkin A.N., Al Darf Adnan B., Khirbik M.M., Ismail M. Concept of formation of systems of open green spaces of Syrian cities based on belligerent landscapes. *Forest Bulletin / Forestry Bulletin*. 2018. T. 22. No. 3. Pp. 90-96. doi:10.18698/2542-1468-2018-3-90-96
4. Lavrova O.P. Landscape architecture and the formation of a comfortable urban environment. Proceedings of the XVIII All-Russian Scientific and Practical Conference [Text]: collection of works / Nizhegor. State architects.-builds. un-t; (responsible. Ed.) N. Novgorod: NNGASU, 2022. 218 p. ISBN 978-5-528-00493-8
5. Nefedov V.A. Architectural and landscape reconstruction as a means of optimizing the urban environment: Diss. Doctor of Architecture. – SPb., 2005.
6. Pestyakova E.R. Principles of formation of architectural and planning organization of social residential buildings taking into account transformation // Urban planning and architecture. 2022. T. 12. No. 2. Pp. 113-119. doi:10.17673/10.17673/Vestnik.2022.02.15
7. Poltorak G.I. Problems of architectural ecology. M.: Knowledge, Construction and Architecture, 5/1985.
8. Trukhachev S. Y. Architectural and planning principles of urban zoning (on the example of the cities of the South of Russia): dissertation ... Candidate of Architecture: 18.00.04 / Trukhachev Sergey Yuryevich; [Place of defense: Moscow Architectural Institute (State Academy)]. Moscow, 2008. 191 p.: ill.
9. Ayad, may, Ali ElSaiyyad, Nanees Abdel Hamid Mohamed; and El Gizawi, Lamis. The Flexibility Effect of Using Heritage Formation Vocabulary in Contemporary Architecture. *Mansoura Engineering Journal*. 2022. Vol. 47. Iss. 2. Article 13. Electronic resource available. <https://doi.org/10.21608/bfemu.2022.248285>
10. Golany G. Design for Arid Regions Urban form Design for Arid Regions. Van Nostrand Reinhold Company: New York, 1983.
11. Hani Kh. S.A., Visual and Aesthetic Aspects and Elements of the city "Analytical Study of the Centre of Nablus", An-Najah National University, Nablus, Palestine. 2004.
12. Nikos A. Salingaros, Umbau-Verlag, Solingen, A THEORY OF ARCHITECTURE, Germany, 280 pages, ISBN 3-937954-07-4
13. Wafaa Naji Al-Astal. The Impact of Pedestrians Streets on sustainability of Urban Areas Case Study (city Center of Khan younis), 2015. 245 p.
14. Bassem Issa Abdel Rahmana Dahera. Formirovanie i upravlenie selskim razvitiem v selskoj mestnosti Palestin, [Shaping and directing rural development in the Palestinian countryside]. Case study - Beit Iba village. 2009. 149 p.
15. Khalaf Hussein Ali Al-Dulaimi. Gorodskoe planirovanie. *Osnovy i koncepcii* [Urban Planning / Foundations and Concepts]. 2002. 208 p.
16. Reem Abdel Mohsen Khanji. Zapolnenie gorodskih pustot v istoricheskoy gorodskoj tkani [Completing the Urban Voids in the Historical Urban Fabric]. 2018. 180 p.
17. Saad Abdel Rahman. Povedenie cheloveka, analiz i izmerenie peremennyh [Human behavior, analysis and measurement of variables], 1st edition, Cairo: Cairo Modern Library, 1971. 135 p.



18. Al-Obaidi, Maysaa Mowafaq, Sharif, Anwar Mishal, arhitekturnoe nasledie goroda Mosula kak otpravnyaya tochka dlya vosstanovleniya chert starogo goroda, analiticheskoe issledovanie starogo goroda na urovnyah planirovaniya i proektirovaniya [the architectural legacy of the city of Mosul as a starting point for rebuilding the features of the old city, an analytical study of the old city at the planning and design levels]. *International Journal of Architecture, Engineering and Technology*. 2019. Vol. 2. Iss. 2. Pp. 21-36.

19. Muhammad Abdullah Mabkhout Al-Awdari. Sovremennye sobytiya i ih vliyanie na gorodskuyu strukturu goroda [Modern Developments and Their Impact on the Urban Fabric of the City]. 2009.

20. Hani Al-Farran. Opredelyayushie faktory vizualnogo dizajna obshestvennyh gorodskih prostranstv arabskogo goroda [Determinants of visual design of public urban spaces in the Arab city]. *Journal of Urbanism and Urban Technologies* is a peer-reviewed scientific journal issued by the Urban and Ocean Technologies Laboratory, University of M'sila – Algeria. 2010. No. 2 (dec.). Pp. 68-88. ISSN: 1112-9581.

### Информация об авторах:

#### **Енин Александр Егорович**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия, кандидат архитектуры, профессор, декан факультета архитектуры и градостроительства.

E-mail: [a\\_yenin@mail.ru](mailto:a_yenin@mail.ru)

#### **Абуасад Мунтер Мухаммед Хасан**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия, аспирант факультета архитектуры и градостроительства.

E-mail: [munther.ps@mail.ru](mailto:munther.ps@mail.ru)

### Information about authors:

#### **Enin Alexander Eg.**

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, candidate of architecture, professor, dean of the faculty of Architecture and Urban Planning.

E-mail: [a\\_yenin@mail.ru](mailto:a_yenin@mail.ru)

#### **Abuasad Munther Mohammed Hasan**

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, postgraduate student of the Faculty of Architecture and Urban Planning.

E-mail: [munther.ps@mail.ru](mailto:munther.ps@mail.ru)

С.Н. КРИВОШАПКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия

## ПРИМЕРЫ АРХИТЕКТУРНЫХ СТИЛЕЙ, НАПРАВЛЕНИЙ И СТИЛЕВЫХ ТЕЧЕНИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ КРИВОЛИНЕЙНОЙ ФОРМЫ

**Аннотация.** Даны определения понятий «Архитектурный стиль», «Архитектурное направление» и «Стилевое течение». Установлены пять архитектурных групп, а именно, «Авангард», «Ар-деко», «Модернизм», «Экоархитектура» и «Новейшие стили», содержащих сооружения криволинейной формы, оболочечные структуры и тонкие оболочки строительного назначения. В работе впервые собраны и проиллюстрированы на конкретных примерах все известные архитектурные стили и их подвиды применительно только к сооружениям криволинейной формы, в том числе, к оболочечным структурам и тонкостенным оболочкам. Представлены известные определения для архитектурных стилей, направлений и стилиевых течений, которые наиболее точно отражают содержание этих понятий. Приведена соответствующая хронология возникновения архитектурных стилей и их подвидов. Отмечен, заметный рост интереса к проектированию и строительству большепролетных оболочек и оболочечных структур в XXI-ом веке. После изучения опубликованных материалов было установлено, что в XXI-ом веке архитекторами были использованы 16 архитектурных стилей. Представленные материалы могут помочь появлению новых исследований по классификации архитектурных стилей, их систематизации, уточнению определений и хронологии их появления.

**Ключевые слова:** архитектурная группа, архитектурный стиль, оболочка, оболочечные структуры, здания криволинейной формы.

S.N. KRIVOSHAPKO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

## THE EXAMPLES OF ARCHITECTURAL STYLES, DIRECTIONS, AND STYLE FLOWS FOR BUILDING ERECTIONS OF CURVILINEAR FORM

**Abstract.** The definitions of concepts “Architectural style”, “Architectural direction”, and “Style flow” are given. Five architectural groups that are “Vanguard”, “Ar-deco”, “Modernism”, “Eco-tech”, and “the Newest Styles” containing erections of curvilinear form, shell structures, and thin shells of building purposes were determined. In the work, all known architectural styles and their sub-semblances as applied only to erections of curvilinear form including shell structures and thin-walled shells were firstly gathered and illustrated for concrete examples. The known definitions for architectural styles, directions, and style flows that reflect exactly the content of these concepts are presented. The proper chronology of origin of architectural styles and their sub-semblances are adduced. Marked rise of interest to designing and building of large-span shells and shell structures in the 21<sup>st</sup> century is mentioned. In the 21<sup>st</sup> century, architects used 16 architectural styles. The materials presented can help to the researchers in the carrying of new investigations devoted to classification of architectural styles, their systematization, more accurate definition and chronology of their appearance.

**Keywords:** architectural group, architectural style, shell, shell structure, erection of curvilinear form.

© Кривошанко С.Н., 2023

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Печёнкин И., Давыдов В. Определитель архитектурных стилей. 2017 (электронный ресурс) [arzamas.academy/mag/446-arch]
2. Кривошапко С.Н., Алборова Л.А., Мамиева И.А. Оболочечные структуры: генезис, материалы и подвиды. Часть 1: Подвиды и направления // Academia. Архитектура и строительство. 2021. № 3. С. 125-134. doi:10.22337/2077-9038-2021-3-125-134
3. Krivoshapko S.N., Christian A., Bock Hyeng, Gil-oulbe Mathieu. Stages and architectural styles in design and building of shells and shell structures // Building and Reconstruction. 2022. No. 4 (102). Pp. 112-131. doi:10.33979/2073-7416-2022-102-4-112-131
4. Кривошапко С.Н. К вопросу об основных архитектурных стилях, направлениях и стилевых течениях для оболочек и оболочечных структур // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2022. Том 18. № 3. С. 255-268. doi:10.22363/1815-5235-2022-18-3-255-268
5. Аткина Л.И., Жукова М.В., Морозов А.М. Основные стили архитектуры. Характерные особенности. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 37 с.
6. Андреева О.А. Памятник архитектуры – объект современной эпохи: учебное пособие. Ульяновск: УЛГТУ, 2012. 117 с. ISBN 978-5-9795-0943-3
7. Krivoshapko S.N., Christian A., Bock Hyeng, Mamieva I.A. Chronology of erection of the earliest reinforced concrete shells // International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences (ISSN: 2076-734X, EISSN: 2076-7366). 2014. Vol. 18. Iss. 2. Pp. 95-108.
8. Кривошапко С.Н. Металлические ребристо-кольцевые и сетчато- стержневые оболочки XIX-го – первой половины XX-го веков // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. № 6. С. 4-15.
9. Курбатов Ю.И. Архитектура в контексте среды // Строительство и архитектура Ленинграда. 1977. № 4. С. 28-32.
10. Уморина Ж.Э. Бионическая архитектура как новое направление в архитектуре. Зеленая экономика – стратегическое направление устойчивого развития регионов: Материалы III Всерос. конгресса «Промышленная экология регионов» (3–4 апреля, 2018 г.) и международной дискуссионной площадки РосПРОМЭКО, 2018 г. / Ред.-сост.: Ю.В. Корнеева, Д.Н. Лыжин. Екатеринбург: УрГАХУ, 2018. С. 46-48.
11. Воличенко О.В. Концептуально-прототипное моделирование архитектурных объектов: учебно-методическое пособие. Бишкек: КРСУ, 2017. 142 с. ISBN 978-9967-19-516-]
12. Giamarelos S. Intersecting itineraries beyond the strada novissima: the converging authorship of critical regionalism // Architectural Histories. 2016. No. 4(1). 11 p. doi:http://doi.org/10.5334/ah.192
13. Chaubin Fr. Cosmic Communist Constructions Photographed. Taschen, 2017. 448 p. ISBN:9783836565059
14. Барчугова Е.В. Параметризм как направление современной проектной деятельности // АМІТ. 2013. № 4(25). 19 p. [marhi.ru]
15. Селиванова А.Н. Постконструктивизм. Власть и архитектура в 1930-е годы в СССР. Москва: БуксМАрт, 2020. 320 с. ISBN: 978-5-6040055-9-0
16. Челноков А.В., Корниенко Д.А., Методы формообразования в цифровой архитектуре // Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. 2013. № 6. С. 25–29.
17. Алборова Л.А. Минимальные поверхности в строительстве и архитектуре // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2021. № 1. С. 3-11. doi:10.21869/2311-1518-2021-33-1-3-11
18. Воличенко О.В. Концепции нелинейной архитектуры // Архитектон: известия вузов. 2013. № 44 (декабрь). С. 21-39. ISSN 1990-4196
19. Заславская А.Ю. Особенности формирования архитектурного объекта на основе фрактальных структур // Градостроительство и архитектура. 2011. Том. 1. № 2. С. 15-17. doi:10.17673/vestnik.2011.02.4
20. Лезина Е.П. Неофункционализм: зарождение и развитие. Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания: сборник материалов XXIII Молодежной международной научно-практической конференции / Под общ. ред. С.С. Чернова. – Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2014. С. 10-14. ISBN 978-5-00068-136-7
21. Sheldon Dennis Robert. Digital surface representation and the constructability of Gehry's architecture. Thesis (Ph.D.). Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Architecture, 2002. 340 p. http://hdl.handle.net/1721.1/16899
22. Waters J.K. Blobitecture: Waveform Architecture and Digital Design. Rockport Pub., 2003. 192 p. ISBN-10: 1592530001
23. Pakowska Marta. Parametric, generative, evolutionary, organic and bionic architecture – A new look at an old problem // Architecture et Artibus. 2014. No. 1. Pp. 42-45.
24. Волков А.М. Неоконструктивизм // Архитектурный альманах «Корпус». Вып. 2 (Электронный ресурс). https://cih.ru/k2/neoscon2.html

25. Schumacher P. Parametricism – A New Global Style for Architecture and Urban Design // *AD Architectural Design – Digital Cities*. 2009. Vol. 79. No. 4. Pp. 14-23. doi:1002/AD.912
26. Кривошапко С.Н. Многогранники и квазимногогранники в архитектуре гражданских и промышленных сооружений // *Строительство и реконструкция*. 2020. № 4 (90). С. 48-64. doi:10.33979/2073-7416-2020-90-4-48-64
27. Кривошапко С.Н. Оболочки и стержневые структуры в форме аналитически задаваемых поверхностей в современной архитектуре // *Строительство и реконструкция*. 2020. № 3. С. 20-30. doi:10.33979/2073-7416-2020-89-3-20-30
28. Хан-Магомедов С.О. Архитектура советского авангарда. Книга 1. Проблемы формообразования. Мастера и течения. М.: Стройиздат, 1996. 710 с. ISBN 5-274-02045-3
29. Ермоленко Е.В. Формы и построения в архитектуре советского авангарда и их интерпретация в современной зарубежной практике // *Academia. Архитектура и строительство*. 2020. № 1. С. 39-48. doi:10.22337/2077-2020-1-39-48].
30. Vykov Oleksiy, Gubkina Ievgeniia. Soviet Modernism. Brutalism. Post-Modernism Buildings and Structures in Ukraine 1955–1991. DOM Publishers. July 1, 2019. 250 p. [ISBN 978-3-86922-706-1].
31. Локтев В.И. Необрутализм и теория метаболизма (Кендзо Танге). Архитектура Запада: Книга 1. Мастера и течения. Москва: Стройиздат, 1972. С. 85-102.
32. Малинина Т. Модернизм и «модернизмы»: о содержании понятия и расширении его границ к XXI веку в архитектурной критике. Методологические заметки // *Архитектура. Теория и практика*. 2014. № 3-4. С. 106-125 [sias.ru]
33. William Zuk, Roger H. Clark. Kinetic Architecture. NY: Van Nostrand Reinhold, 1970. 163 p.
34. Azam Sadat Mozhdehani, Iran Reza Afhami. Using Ecotech architecture as an effective tool for sustainability in construction industry // *Engineering, Technology & Applied Science Research*. 2017. Vol. 7. No. 5. Pp. 1914-1917 [www.etasr.com]
35. Лыткин К.А. Элементы ноосферной архитектуры // *Архитектура и строительство России*. 2013. № 1. С. 30-39.
36. Мамиева И.А. Аналитические поверхности для параметрической архитектуры в современных зданиях и сооружениях // *Academia. Архитектура и строительство*. 2020. № 1. С. 150-165 <http://aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/201>
37. Федчун Дм. Генеративное проектирование в архитектуре и дизайне // 4 января 2017. Archiprofi (Электронный ресурс) [https://archiprofi.ru/journal/detail/generativnoe-proektirovanie-v-arkhitekture-i-dizayne\\_b580045/](https://archiprofi.ru/journal/detail/generativnoe-proektirovanie-v-arkhitekture-i-dizayne_b580045/)
38. Жилищное строительство. 2011. № 10. С. 1-6.
39. Конышева О.П. Анализ особенностей параметрической архитектуры // *Молодой ученый*. 2023. № 1 (448). С. 17-21. <https://moluch.ru/archive/448/98604/> (дата обращения: 28.07.2023).
40. Алборова Л.А., Мамиева И.А. Криволинейные формы в архитектуре зданий и сооружений в начале XXI-го века // *Строительство и реконструкция*. 2023. № 5 (109). С. 76-86. doi:10.33979/2073-7416-2023-109-5-76-86
41. Krivoshapko S.N. Shell structures and shells at the beginning of the 21<sup>st</sup> century // *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2021. No. 17(6). Pp. 553-561. doi:10.22363/1815-5235-2021-17-6-553-561

## REFERENCES

1. Pechonkin I., Davydov V. List of architectural styles. 2017. [arzamas. academy/mag/446-arch]
2. Krivoshapko S.N., Alborova L.A., Mamieva I.A. Shell structures: genesis, materials, and subtypes. Part 1. Subtypes and directions. *Academia. Architecture and Construction*. 2021. No. 3. Pp. 125-134. doi:10.22337/2077-9038-2021-3-125-134 (rus)
3. Krivoshapko S.N., Christian A. Bock Hyeng, Gil-oulbe Mathieu. Stages and architectural styles in design and building of shells and shell structures. *Building and Reconstruction*. 2022. No. 4 (102). Pp. 112-131 doi:10.33979/2073-7416-2022-102-4-112-131
4. Krivoshapko S.N. On the basic architectural styles, directions, and style flows for shells and shell structures. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2022. No. 18(3). Pp. 255–268. (rus) <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2022-18-3-255-268>
5. Atkina L.I., Zhukova M.V., Morozov A.M. The Basic Architectural Styles. The Characteristic Features. Ekaterinburg: UGLTU, 2015. 37 p.
6. Andreeva O.A. Architectural Monument: Object of Modern Era. Ulyanovsk: UIGTU, 2012. 117 p. ISBN 978-5-9795-0943-3
7. Krivoshapko S.N., Christian A. Bock Hyeng, Mamieva I.A. Chronology of erection of the earliest reinforced concrete shells. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences* (ISSN: 2076-734X, EISSN: 2076-7366). 2014. Vol. 18. Iss. 2 Pp. 95-108.

8. Krivoshapko S.N. Metal ribbed-and-circular and lattice shells from the 19<sup>th</sup> until the first half of the 20<sup>th</sup> centuries. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2014. No. 6. Pp. 4-15.
9. Kurbatov Yu.I. Architecture in context of environment. *Stroitelstvo i Arhitektura Leningrada*. 1977. No. 4. Pp. 28-32. (rus).
10. Umorina Zh.E. Bionic architecture as a new direction in architecture. Zelyonaya Ekonomika – Strategicheskoe Napravlenie Ustoicheskogo Razvitiya Regionov [Green Economy: Strategic Direction of Stable Development of Regions]: Proc. of the III Congress “Industrial Ecology of Regions” (April 3–4, 2018.) RosPromEko. 2018. Ekaterinburg: UrGAHU, 2018. Pp. 46-48.
11. Volichenko O.V. Konzeptualno-prototipnoe modelirovanie architecturnich obiectov [Concept-and-Prototype Modelling of Architectural Objects]. Bishkek: KRSU, 2017. 142 p. ISBN 978-9967-19-516-5
12. Giamarelos S. Intersecting itineraries beyond the strada novissima: the converging authorship of critical regionalism. *Architectural Histories*. 2016. No. 4(1). 11 p. doi:<http://doi.org/10.5334/ah.192>
13. Chaubin Fr. Cosmic Communist Constructions Photographed. Taschen, 2017. 448 p. ISBN: 9783836565059
14. Barchugova E.V. Parametrisation as a direction of the modern project activities. AMIT. 2013. No. 4(25). 19 p. [[marhi.ru](http://marhi.ru)]
15. Selivanova A.N. Post-constructivism. Power and Architecture at 1930-s in USSR. Moscow; BuksMArt, 2020. 320 p. ISBN: 978-5-6040055-9-0
16. Chelnokov A.V., Kornienko D.A. Methods of forming in digital architecture. *Vestnik Pridneprovskoy Gosudarstvennoy Akademii Stroitelstva i Architekturi*. 2013. No. 6. Pp. 25–29.
17. Alborova L.A. Minimal surfaces in building and architecture. *Biosfernaya sovmestimost': chelovek, region, tekhnologii* [Biosphere compatibility: human, region, technologies]. 2021. No.1. Pp. 3-11. (rus). doi:[10.21869/2311-1518-2021-33-1-3-11](https://doi.org/10.21869/2311-1518-2021-33-1-3-11)
18. Volichenko O.V. Conceptions of non-linear architecture. *Architecton: Izvestiya vuzov*. 2013. No. 44 (December). Pp. 21-39. ISSN 1990-4196
19. Zaslavskaya A.Y. Features, forming an architectural object, basing on fractal structures. *Urban Construction and Architecture*. 2011. Vol. 1. No. 2. Pp. 15-17. doi:[10.17673/vestnik.2011.02.4](https://doi.org/10.17673/vestnik.2011.02.4)
20. Lezina E.P. Neo-functionalism: origin and development. *Intelktualniy Potentsial 21<sup>ogo</sup> veka: Stupeni Poznaniya: Sb. Mat. XXIII Mologezhnoy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii / Ed. by S.S. Chernova*. Novosibirsk: Izd-vo TzRNS, 2014. Pp. 10-14. ISBN 978-5-00068-136-7
21. Shelden Dennis Robert. Digital surface representation and the constructability of Gehry’s architecture. Thesis (Ph.D.). Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Architecture, 2002. 340 p. <http://hdl.handle.net/1721.1/16899>
22. Waters J.K. Blobitecture: Waveform Architecture and Digital Design. Rockport Pub., 2003. 192 p. ISBN-10: 1592530001
23. Pakowska Marta. Parametric, generative, evolutionary, organic and bionic architecture – A new look at an old problem. *Architecture et Artibus*. 2014. No. 1. Pp. 42-45.
24. Volkov A.M. Neo-constructivism. *Architekturniy Almanach “Korpus”*. No. 2. <https://cih.ru/k2/neocon2.html>
25. Schumacher P. Parametricism – A New Global Style for Architecture and Urban Design. *AD Architectural Design – Digital Cities*. 2009. Vol. 79. No. 4. Pp. 14-23. doi:[1002/AD.912](https://doi.org/10.1002/AD.912)
26. Krivoshapko S.N. Polyhedra and quasi- polyhedra in architecture of civil and industrial erection. *Building and Reconstruction*. 2020. No. 4 (90). Pp. 48-64. doi:[10.33979/2073-7416-2020-90-4-48-64](https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-90-4-48-64) (rus).
27. Krivoshapko S.N. Shells and rod structures in the form of analytically non-given surfaces in modern architecture. *Building and Reconstruction*. 2020. No. 3. Pp. 20-30. doi:[10.33979/2073-7416-2020-89-3-20-30](https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-89-3-20-30)
28. Khan-Magomedov S.O. Architecture of Soviet Vanguard. Book 1. Problems of Forming. Masters and Flows. Moscow: Stroyizdat, 1996. 710 p. ISBN 5-274-02045-3. (rus)
29. Ermolenko E.V. Forms and constructions on the architecture of the soviet avant-garde and their interpretation in modern foreign practice. *Academia. Architecture and Construction*. 2020. No. 1. Pp. 39-48. doi:[10.22337/2077-2020-1-39-48](https://doi.org/10.22337/2077-2020-1-39-48)
30. Bykov Oleksiy, Gubkina Ievgeniia. Soviet Modernism. Brutalism. Post-Modernism Buildings and Structures in Ukraine 1955–1991. DOM Publishers. July 1, 2019. 250 p. ISBN 978-3-86922-706-1
31. Loktev V.I. Neo-brutalism and theory of metabolism (Kenzo Tange). Architecture of the West. The Book 1. Masters and Directions. Moscow: Stroyizdat, 1972. Pp. 85-102.
32. Malinina T. Modernism and “modernisms”: on contents of an idea and expansion of its border to 21<sup>st</sup> century in architectural criticism. Methodological notes. *Architecture. Theory and Practice*. 2014. No. 3-4. Pp. 106-125. [[sias.ru](http://sias.ru)]
33. William Zuk, Roger H. Clark. Kinetic Architecture. NY: Van Nostrand Reinhold, 1970. 163 p.
34. Azam Sadat Mozhdemani, Iran Reza Afhami. Using Ecotech architecture as an effective tool for sustainability in construction industry. *Engineering, Technology & Applied Science Research*. 2017. Vol. 7. No. 5. Pp. 1914-1917. [[www.etasr.com](http://www.etasr.com)]

35. Lytkin K.A. Architectural elements noospheric. *Architektura i Stroitelstvo Rossii*. 2013. No. 1. Pp. 30-39 (rus).
36. Mamieva I.A. Analytical surfaces for parametrical architecture in contemporary buildings and structures. *Academia. Architecture and Construction*. 2020. No. 1. Pp. 150-165. (rus)
37. Fedchun Dm. Generative designing in architecture and design // January 4, 2017. Archiprofi [https://archiprofi.ru/journal/detail/generativnoe-proektirovanie-v-arkhitekture-i-dizayne\\_b580045/](https://archiprofi.ru/journal/detail/generativnoe-proektirovanie-v-arkhitekture-i-dizayne_b580045/)
38. Volynskov V.E. Evolution as a strategy of projecting and designing in non-linear architecture. *Housing Construction*. 2011. No. 10. Pp. 1-6.
39. Konyshva O.P. Analysis of features of parametrical architecture. *Molodoy Uchoniyy* [Young Scientist]. 2023. No. 1 (448). Pp. 17-21. <https://moluch.ru/archive/448/98604/>
40. Alborova L.A., Mamieva I.A. Curvilinear forms in architecture of buildings and erections. *Building and Reconstruction*. 2023. No. 5 (109). Pp. 76-86. doi:10.33979/2073-7416-2023-109-5-76-86
41. Krivoshapko S.N. Shell structures and shells at the beginning of the 21<sup>st</sup> century. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2021. No. 17(6). Pp. 553-561. doi:10.22363/1815-5235-2021-17-6-553-561

**Информация об авторе:**

**Кривошاپко Сергей Николаевич**

Инженерная академия ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия,  
доктор технических наук, профессор, профессор-консультант департамента строительства ИА РУДН.  
E-mail: [sn.krivoshapko@mail.ru](mailto:sn.krivoshapko@mail.ru)

**Information about author:**

**Krivoshapko Sergey N.**

Engineering Academy of the Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia,  
DSc, professor, professor-tutor at the Civil Engineering Department of the EA of the RUDN University.  
E-mail: [sn.krivoshapko@mail.ru](mailto:sn.krivoshapko@mail.ru)

А.Д. АЛТЫНБЕКОВА<sup>1</sup>, Р.Е. ЛУКПАНОВ<sup>1</sup>, Д.С. ДЮСЕМБИНОВ<sup>1</sup>, Д.В. ЦЫГУЛЕВ<sup>1</sup>,  
С.Б. ЕНКЕБАЕВ<sup>1</sup>, Н.К. ЕРЖАНОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Астана, Казахстан

## РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ

**Аннотация.** В статье представлены результаты влияния добавки на водонепроницаемость, морозостойкость и удобоукладываемость, которые являются одними из основных показателей физико-механических свойств бетона. В данной работе авторы использовали разработанную комплексную добавку, включающую щелочь (каустическая сода NaOH), послеспиртовую барду (отход спиртового производства) и ускоритель твердения (гипс) в разных процентных соотношениях. Показано, что применение комплексной добавки в состав бетона значительно повышает водонепроницаемость и морозостойкость по сравнению с контрольными образцами (Тип 1). Исследовано влияние комплексной добавки на удобоукладываемость бетонной смеси. Установлено, что комплексная добавка позволяет получать высокоподвижные бетонные смеси и снизить их водоотделение, обеспечивая высокую сохранность бетонных смесей. Водонепроницаемость бетона также существенно улучшается – марка по водонепроницаемости повышается на 4 марки в сравнении с бетоном без добавки (Тип 1). Предложенный метод ускоряет процесс определения марки бетона по водонепроницаемости, позволяет на основе полученных зависимостей определять марку и степень проницаемости бетона. При введении комплексной добавки в количестве до 7 % от массы цемента возрастает марка по морозостойкости. Доказано, что бетон с исследуемой комплексной добавкой обладает высокими физико-механическими показателями. Найдены оптимальные дозировки рассматриваемой добавки, которые использовались в настоящей работе.

**Ключевые слова:** бетон, комплексная добавка, послеспиртовая барда, буронабивная свая, удобоукладываемость, водонепроницаемость, морозостойкость.

A.D. ALTYNBEKOVA<sup>1</sup>, R.E. LUKPANOV<sup>1</sup>, D.S. DYUSSEMBINOV<sup>1</sup>, D.V. TSYGULYOV<sup>1</sup>,  
S.B. YENKEBAEV<sup>1</sup>, N.K. YERZHANOVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

## DEVELOPMENT OF A COMPLEX ADDITIVE FOR BORED PILE PRODUCTION

**Abstract.** The article presents the results of the effect of the additive on water resistance, frost resistance and workability, which are one of the main indicators of the physical and mechanical properties of concrete. In the presented work the authors used a complex additive containing alkali (caustic soda), post-alcohol bard and hardening regulator (gypsum) in different % ratios. It is shown that the use of a complex additive in the composition of concrete significantly increases the water resistance and frost resistance compared with the control samples. The influence of the complex additive on the workability of concrete mixture has been studied. It has been established that the complex additive allows obtaining highly workable concrete mixtures and reducing their water separation, providing high preservation of concrete mixtures. The water impermeability of concrete is also significantly improved - the water impermeability grade increases by 4 steps in comparison with the concrete without additive. The proposed method speeds up the process of determining the concrete water impermeability grade and allows you to determine the water resistance grade and the degree of permeability of concrete on the basis of the obtained dependencies. When adding a complex additive in an amount of up to 7 % of the weight of cement increases the brand on frost resistance. It is found that

© Алтынбекова А.Д., Лукпанов Р.Е., Дюсембинов Д.С., Цыгулев Д.В., Енкебаев С.Б., Ержанова Н.К., 2023

*the concrete with the studied complex additive has high physical and mechanical properties. The optimum dosages of the considered additive were found and used in the present work.*

**Keywords:** *concrete, complex additive, post-alcohol bard, bored pile, workability, water resistance, frost resistance.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахманова К.А., Байджанов Д.О. Высокопрочный бетон модифицированный с различными добавками // *Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации.* Пенза, 2019. С. 102-104.
2. Фёдоров В.С., Купчикова Н.В. Технологии устройства концевых уширений набивных и готовых свай и их влияние на формообразование конструкций фундамента // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия.* 2019. № 1 (27). С. 40-56.
3. Купчикова Н.В., Максимов А.О., Зинченко Д.В. Эволюция технологии устройства буронабивных свайных фундаментов с уширениями // *Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования.* Астрахань, 2018. С. 113-121.
4. Пономарев А.Б., Соловьев А.В., Богомолова О.А. К вопросу определения расчетной нагрузки на сваю // *Актуальные проблемы геотехники.* 2014. С. 159–165.
5. Осипов А.А., Гертнер А.В., Чулкова И.Л. Влияние добавки «Реламикс» на свойства тяжелого бетона // *Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации.* 2021. С. 671-675.
6. Тринкер Б.Д. и др. Эффективность применения комплексных добавок ПАВ и электролитов // *Бетон и железобетон.* 2007. № 10. С. 12–13.
7. Петрова Т.М., Смирнова О.М. Современные модифицирующие добавки для производства сборного бетона и железобетона // *Известия Петербургского университета путей сообщения.* 2010. № 4. С. 203-212.
8. Боцман Л.Н., Строкова В.В., Ищенко А.В., Боцман А.Н. Модифицирование бетона за счет введения различных видов добавок // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова.* 2016. № 6. С. 90-94.
9. Кушбакова Б.Б., Ботиров И.Ш., Мухамедбаев А.А. Влияние химической добавки на прочность бетона // *Scientific progress.* 2021. № 1 (6). С. 302-304.
10. Бахташ К.Н., Абдрахманов У.К. Исследование возможности повышения качества бетона введением модифицирующих добавок // *Молодой ученый.* 2020. № 22. С. 91-94.
11. Зоткин А.Г. Бетоны с эффективными добавками. Москва. 2014. Учебное пособие. 160 с.
12. Руководство по применению химических добавок к бетону. М., Стройиздат, 1975, 66 с.
13. Анисимов С.Н., Кононова О.В., Минаков Ю.А., Лешканов А.Ю., Смирнов А.О. Исследование прочности тяжелого бетона с пластифицирующими и минеральными добавками // *Современные проблемы науки и образования.* 2015. № 2 (часть 1).
14. Jeyanth A., Kosalram R., Rajkiran R.C. Influence of chemical admixtures on the strength properties of concrete // *Conference: SET conference, VIT university.* 2013.
15. Дружинкин С.В., Немыкина Д.А., Краснова Е.А. Влияние суперпластифицирующих добавок на прочность бетона // *Инженерный Вестник Дона.* 2018. № 2. С. 212.
16. Ефимов В.М., Рожин И.И., Попенко Ф.Е., Степанов А.В., Степанов А.А., Васильчук Ю.К. Устройство буронабивных свай в условиях криолитозоны центральной Якутии // *Арктика и антарктика.* Москва, 2018. С. 133-141.
17. Калашников В.И. Через рациональную реологию – в будущее бетонов. Ч. 2. Тонкодисперсные реологические матрицы и порошковые бетоны нового поколения // *Технологии бетонов.* 2007. № 6. С. 8-11.
18. Базаров Б.Г., Норжинбадам С., Санжаасурен Р., Доржиева С.Г., Урханова Л.А. Пластифицирующие добавки в бетон на основе промышленных отходов // *Вестник ВСГУТУ.* 2012. № 1 (36). С. 27.
19. Копаница Н.О., Сорокина Е.А., Демьяненко О.В. Влияние добавки термомодифицированного торфа на технологические свойства строительных смесей для 3d-печати // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета.* 2018. Т. 20. № 4. С. 122-134.
20. Кинд В.В. Коррозия цементов и бетона в гидротехнических сооружениях. М.: Госэнергоиздат, 1955. 320 с.
21. Пустовгар А.П. Эффективность применения современных суперпластификаторов в сухих строительных смесях // 4-я Междунар. научно-техн. конф. «Современные технологии сухих смесей в строительстве «MixBUILD»». Санкт-Петербург, 2002. С. 45-52.
22. Иванов И.М., Крамар Л.Я., Кирсанова А.А., Тьери В. Влияние комплекса "микрокремнезем-суперпластификатор" на формирование структуры и свойств цементного камня // *Вестник ЮжноУральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура.* 2018. Т. 18. № 1. С. 32-40.



23. Калашников, В.И. Особенности реологических изменений цементных композиций под действием ионностабилизирующих пластификаторов // Сборник трудов «Технологическая механика бетона». Рига: РПИ, 1984. С. 103-118.
24. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.
25. Калашников В.И. Учет реологических изменений бетонных смесей с суперпластификаторами // Материалы IX Всесоюзной 53 конференции по бетону и железобетону (Ташкент, 1983). Пенза, 1983. С. 7-10.
26. Танг Ван Лам. Возможность применений высококачественного мелкозернистого торкрет-бетона для строительства метро // сборник материалов XIX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов и молодых учёных. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». Издательство: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Москва). 2016. С. 909-912.
27. Батраков В.Г., Тюрина Т.Е., Фаликман В.Р. Адсорбция и пластифицирующий эффект суперпластификатора С-3 в зависимости от состава цемента // Бетоны с эффективными добавками. М.: НИИЖБ, 1985. С. 8-14.
28. Gaitero J.J., Campillo I., Guerrero A. Reduction of the calcium leaching rate of cement paste by addition of silica nanoparticles [Снижение скорости выщелачивания кальция из цементной пасты путем добавления наночастиц кремнезема]. Cem. Concr. Res, 2008. Vol. 38. Pp. 1112–1118.
29. Kopanitsa N., Sarkisov Y., Gorshkova A., Demyanenko O. Additives for Cement Compositions Based on Modified Peat [Добавки для цементных композиций на основе модифицированного торфа] // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing. 2016. T. 1698. № 1.
30. Sanchez F., Zhang L., Ince C. Multi-scale performance and durability of carbon nanofiber/cement composites [Многоуровневая работа и долговечность углеродного нановолокна/цементных композитов] // Nanotechnology in Construction 3: Proceedings of the NICOM3. – Springer Berlin Heidelberg, 2009. С. 345-350.
31. Куликова А.А., Демьяненко О.В., Ничинский А.Н. Разработка комплексных модифицирующих добавок для тяжелого бетона // The Scientific Heritage. 2021. № 80-1. Pp. 36-40.
32. Корчагина О.А., Однолько В.Г. Материаловедение. Бетоны и строительные растворы. 2004. 42 с.

## REFERENCES

1. Abdrahmanova K.A., Bajdzhanov D.O. Vysokoprochnyj beton modifitsirovannyj s razlichnymi dobavkami [High-strength concrete modified with various additives]. *Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovacii*. Penza, 2019. Pp. 102-104. (rus)
2. Fyodorov V.S., Kupchikova N.V. Tekhnologii ustrojstva koncevnyh ushirenij nabivnyh i gotovyh svaj i ih vliyanie na formoobrazovanie konstrukcij fundamenta [Technologies for the device of end widenings of packed and finished piles and their influence on the shaping of foundation structures]. *Inzhenerno-stroitel'nyj vestnik Prikaspiya*. 2019. No. 1 (27). Pp. 40-56. (rus)
3. Kupchikova N.V., Maksimov A.O., Zinchenko D.V. Evolyuciya tekhnologii ustrojstva buronabivnyh svajnyh fundamentov s ushireniami [Evolution of the technology of the device of bored pile foundations with widenings]. *Innovacionnoe razvitie regionov: potencial nauki i sovremennogo obrazovaniya*. Astrahan', 2018. Pp. 113-121. (rus)
4. Ponomarev A.B., Solov'ev A.V., Bogomolova O.A. K voprosu opredeleniya raschetnoj nagruzki na svaju [To determine the design load on the pile]. *Aktual'nye problemy geotekhniki*. 2014. Pp. 159–165. (rus)
5. Osipov A.A., Gertner A.V., Chulkova I.L. Vliyanie dobavki «Relamiks» na svoystva tyazhelogo betona [The effect of the Relamix additive on the properties of heavy concrete]. *Arhitekturno-stroitel'nyj i dorozhno-transportnyj kompleksy: problemy, perspektivy, innovacii*. 2021. Pp. 671-675. (rus)
6. Trinker B.D. i dr. JEFFEKTIVNOST' PRIMENENIYA KOMPLEKSNYH DOBAVOK PAV I JELEKTROLITOV [Effectiveness of complex surfactant and electrolyte additives]. *Beton i zhelezobeton*. 2007. No. 10. Pp. 12–13. (rus)
7. Petrova T.M., Smirnova O.M. Sovremennye modifitsirujushhie dobavki dlja proizvodstva sbornogo betona i zhelezobetona [Modern modifying additives for the production of precast concrete and reinforced concrete]. *Izvestija Peterburgskogo universiteta putej soobshhenija*. 2010. No. 4. Pp. 203-212. (rus)
8. Bocman L.N., Strokova V.V., Ishhenko A.V., Bocman A.N. Modifitsirovanie betona za schet vvedeniya razlichnyh vidov dobavok [Modifying concrete by introducing different types of additives]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*. 2016. No. 6. Pp. 90-94. (rus)
9. Kushbakova B.B., Botirov I.Sh., Muhamedbaev A.A. Vlijanie himicheskoj dobavki na prochnost' betona [Effect of a chemical additive on the strength of concrete]. *Scientific progress*. 2021. No. 1 (6). Pp. 302-304. (rus)
10. Bahtash K.H., Abdrahmanov U.K. Issledovanie vozmozhnosti povysheniya kachestva betona vvedeniem modifitsirujushhih dobavok [Study of the possibility of improving the quality of concrete by introducing modifying additives]. *Molodoj uchenyj*. 2020. No. 22. Pp. 91-94. (rus)
11. Zotkin A.G. Betony s jeffektivnymi dobavkami [Concretes with effective additives]. Moskva, 2014. Uchebnoe posobie. 160 p. (rus)

12. Rukovodstvo po primeneniju himicheskikh dobavok k betonu [Guidelines for the use of chemical concrete additives]. M., Strojizdat, 1975, 66 p.
13. Anisimov S.N., Kononova O.V., Minakov Ju.A., Leshkanov A.Ju., Smirnov A.O. Issledovanie prochnosti tjazhelogo betona s plastificirujushhimi i mineral'nymi dobavkami [Study of the strength of heavy concrete with plasticizers and mineral additives]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*. 2015. No. 2 (1). (rus)
14. Jeyanth A., Kosalram R., Rajkiran R.C. Influence of chemical admixtures on the strength properties of concrete. *Conference: SET conference, VIT university. 2013*. <https://www.researchgate.net/publication/267624951> doi:10.13140/2.1.1107.0404
15. Druzhinkin S.V., Nemykina D.A., Krasnova E.A. Vlijanie superplastificirujushhix dobavok na prochnost' betona [Effect of superplasticizing additives on concrete strength]. *Inzhenernyj Vestnik Dona*. 2018. No. 2. Pp. 212. (rus)
16. Efimov V.M., Rozhin I.I., Popenko F.E., Stepanov A.V., Stepanov A.A., Vasil'chuk Ju.K. Ustrojstvo buronabivnyh svaj v uslovijah kriolitozony central'noj Jakutii [Installation of bored piles in the cryolithozone conditions of central Yakutia]. *Arktika i antarktika*. Moskva, 2018. Pp. 133-141. (rus)
17. Kalashnikov V.I. Cherez racional'nuju reologiju – v budushhee betonov. Ch. 2. Tonkodispersnye reologicheskie matricy i poroshkovye betony novogo pokolenija [Through rational rheology into the future of concrete. Part 2: Fine rheological matrices and new generation powder concretes]. *Tehnologii betonov*. 2007. No. 6. Pp. 8-11. (rus)
18. Bazarov B.G., Norzhinbadam S., Sanzhaasuren R., Dorzhieva S.G., Urhanova L.A. Plastificirujushhie dobavki v beton na osnove promyshlennyh othodov [Plasticizing additives in concrete based on industrial waste]. *Vestnik VSGUTU*. 2012. No. 1 (36). Pp. 27. (rus)
19. Kopanica N.O., Sorokina E.A. Dem'janenko O.V. Vlijanie dobavki termomodificirovannogo torfa na tehnologicheskie svojstva stroitel'nyh smesej dlja 3d-pechati [Effect of thermally modified peat additive on the technological properties of construction mixtures for 3d-printing]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2018. T. 20. Pp. 122-134. (rus)
20. Kind V.V. Korrozija cementov i betona v gidrotehnicheskikh sooruzhenijah [Corrosion of cements and concrete in hydraulic structures]. M.: Gosjenergoizdat, 1955. 320 p. (rus)
21. Pustovgar A.P. Jefferektivnost' primenenija sovremennyh superplastifikatorov v suhix stroitel'nyh smesjah [Effectiveness of modern superplasticizers in dry building mixes]. *4-ja Mezhdunar. nauno-tehn. konf. «Sovremennye tehnologii suhix smesej v stroitel'stve «MixBUILD»»*. Sankt-Peterburg, 2002. Pp. 45-52. (rus)
22. Ivanov I.M., Kramar L.Ja., Kirsanova A.A., T'eri V. Vlijanie kompleksa "mikrokremnezem-superplastifikator" na formirovanie struktury i svojstv cementnogo kamnja [Influence of the complex "microsilica-superplasticizer" on the formation of the structure and properties of cement stone]. *Vestnik JuzhnoUral'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura*. 2018. T. 18. No. 1. Pp. 32-40. (rus)
23. Kalashnikov V.I. Osobennosti reologicheskix izmenenij cementnyh kompozicij pod dejstviem ionnostabilizirujushhix plastifikatorov [Peculiarities of rheological changes of cement compositions under the action of ionic stabilizing plasticizers]. *Sbornik trudov «Tehnologicheskaja mehanika betona»*. Riga: RPI, 1984. Pp. 103-118. (rus)
24. Bazhenov Ju.M., Dem'janova B.C., Kalashnikov V.I. Modificirovannye vysokokachestvennye betony [Modified high quality concretes]. M.: Izdatel'stvo Associacii stroitel'nyh vuzov, 2006. 368 p. (rus)
25. Kalashnikov V.I. Uchet reologicheskix izmenenij betonnyh smesej s superplastifikatorami [Accounting for rheological changes in concrete mixtures with superplasticizers]. *Materialy IX Vsesojuznoj 53 konferencii po betonu i zhelezobetonu* (Tashkent, 1983). Penza, 1983. Pp. 7-10. (rus)
26. Tang Van Lam. Vozmozhnost' primenenij vysokokachestvennogo melkozernistogo torkret-betona dlja stroitel'stva metro [The possibility of using high-quality fine-grained shotcrete for subway construction]. *Sbornik materialov XIX Mezhdunarodnoj mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoi konferencii studentov, magistrantov, aspirantov i molodyh uchjonyh*. FGBOU VO «Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet». Izdatel'stvo: Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet (Moskva). 2016. Pp. 909-912. (rus)
27. Batrakov V.G., Tjurina T.E., Falikman V.R. Adsorbicija i plastificirujushhij jeffekt superplastifikatora S-3 v zavisimosti ot sostava cementa [Adsorption and plasticizing effect of superplasticizer C-3 depending on cement composition]. *Betony s jefferektivnymi dobavkami*. M.: NIIZhB, 1985. Pp. 8-14. (rus)
28. Gaitero J.J., Campillo I., Guerrero A. Reduction of the calcium leaching rate of cement paste by addition of silica nanoparticles. *Cem. Concr. Res*, 2008. Vol. 38. Pp. 1112–1118.
29. Kopanitsa N., Sarkisov Y., Gorshkova A., Demyanenko O. Additives for Cement Compositions Based on Modified Peat [Добавки для цементных композиций на основе модифицированного торфа]. *AIP Conference Proceedings. AIP Publishing*. 2016. T. 1698. No. 1.
30. Sanchez F., Zhang L., Ince C. Multi-scale performance and durability of carbon nanofiber/cement composites [Многоуровневая работа и долговечность углеродного нановолокна/цементных композитов]. *Nanotechnology in Construction 3: Proceedings of the NICOM3*. – Springer Berlin Heidelberg, 2009. Pp. 345-350.
31. Kulikova A.A., Dem'yanenko O.V., Nichinskij A.N. Razrabotka kompleksnyh modificiruyushchih dobavok dlya tyazhelogo betona. *The Scientific Heritage*. 2021. No. 80-1. Pp. 36-40. (rus)
32. Korchagina O.A., Odnol'ko V.G. Materialovedenie. Betony i stroitel'nye rastvory. 2004. 42 p. (rus)

**Информация об авторах:**

**Алтынбекова Алия Досжанкызы**

НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Астана, Казахстан,  
докторант кафедры технология промышленного и гражданского строительства.

E-mail: [kleo-14@mail.ru](mailto:kleo-14@mail.ru)

**Лукпанов Рауан Ермагамбетович**

НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Астана, Казахстан,  
PhD, ассоциированный профессор кафедры технология промышленного и гражданского строительства.

E-mail: [rauan\\_82@mail.ru](mailto:rauan_82@mail.ru)

**Дюсембинов Думан Серикович**

НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Астана, Казахстан,  
кандидат технических наук, доцент кафедры технология промышленного и гражданского строительства.

E-mail: [dusembinov@mail.ru](mailto:dusembinov@mail.ru)

**Цыгулев Денис Владимирович**

НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Астана, Казахстан,  
кандидат технических наук, доцент кафедры строительство.

E-mail: [denis\\_riza\\_72@mail.ru](mailto:denis_riza_72@mail.ru)

**Енкебаев Серик Бейсенгалиевич**

НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Астана, Казахстан,  
кандидат технических наук, доцент кафедры строительство.

E-mail: [yenkebayev-serik@mail.ru](mailto:yenkebayev-serik@mail.ru)

**Ержанова Нурлиза Киякбаевна**

НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Астана, Казахстан,  
магистр, старший преподаватель кафедры физической и экономической географии.

E-mail: [nurliza66@mail.ru](mailto:nurliza66@mail.ru)

### Information about authors:

**Altynbekova Aliya D.**

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,  
doctoral student of the department of technology of industrial and civil engineering.

E-mail: [kleo-14@mail.ru](mailto:kleo-14@mail.ru)

**Lukpanov Rauan E.**

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,  
PhD, associated professor of the department of technology of industrial and civil engineering.

E-mail: [rauan\\_82@mail.ru](mailto:rauan_82@mail.ru)

**Dyusseminov Duman S.**

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,  
candidate in technical sciences, associate professor of the department of Industrial and Civil Engineering Technology.

E-mail: [dusembinov@mail.ru](mailto:dusembinov@mail.ru)

**Tsygulyov Denis V.**

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,  
candidate in technical sciences, associated professor of the department of Constuction.

E-mail: [denis\\_riza\\_72@mail.ru](mailto:denis_riza_72@mail.ru)

**Yenkebayev Serik B.**

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,  
candidate in technical sciences, associated professor of the department of Constuction.

E-mail: [yenkebayev-serik@mail.ru](mailto:yenkebayev-serik@mail.ru)

**Yerzhanova Nurliza K.**

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,  
MSC, senior lecturer of the department of Physical and economic geography.

E-mail: [nurliza66@mail.ru](mailto:nurliza66@mail.ru)

## РЕЦЕНЗИЯ НА УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

### «ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ»

Авторы:

д.э.н., проф. В.Л. Курбатов, д.т.н., проф. В.И. Римшин,  
д.т.н., проф. Шубин И.Л., к.т.н., доц. С.В. Волкова

Представленное на рецензию учебное пособие имеет объем 416 стр.

Итоговой целью цифровой трансформации в нашей стране является обеспечение эффективной информационной поддержки участников строительного и жилищно-коммунального комплексов и их взаимоотношений в рамках организации процесса получения образования и управления образовательной деятельностью.

В этой связи материалы, представленные в учебном пособии «Информационное моделирование и искусственный интеллект в современном строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве» являются актуальными и важными и представляют научный интерес.

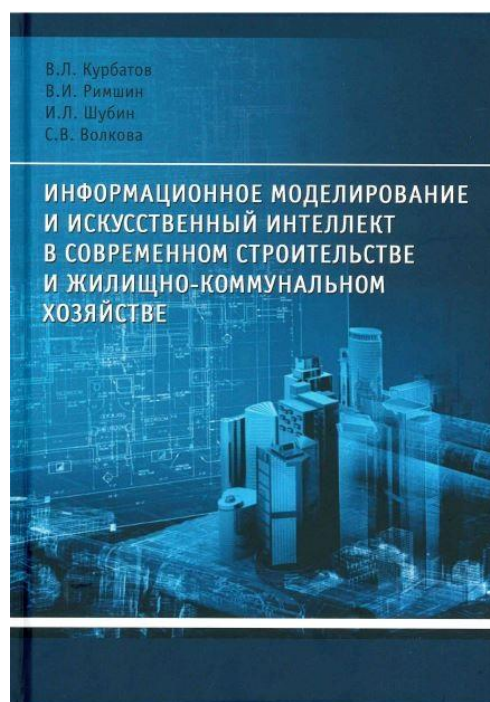
Авторы, с современных позиций, раскрывают вопросы организации строительства, в которых анализируется состояние дел, а также строится перспектива, посвященная технологии БИМ в строительстве. Здесь же даются история возникновения информационного моделирования, в которой раскрывается опыт зарубежного программного обеспечения, а также этапы жизненного цикла от проектирования до эксплуатации. В следующей главе представлена система профильной линейки ТИМ-технологий от российских производителей. Даются технологии проверки нормативных требований при формировании информационных моделей.

Достаточно емко представлены методы верификации и валидации цифровой информационной модели, которая позволяет осуществить создание и эксплуатацию информационного моделирования объекта в строительстве. Здесь же представлен классификатор строительных ресурсов.

Впервые, авторами представлены материалы по искусственному интеллекту в строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве, предлагаются национальные документы в области развития искусственного интеллекта, а также даются прогнозы по его развитию.

Методически материал построен достаточно грамотно. Таблицы, рисунки, размещенные в тексте, позволяют читателю быстро усваивать информацию, предложенную авторами. Главы и важные их разделы сопровождаются вопросами для самопроверки, позволяющие читателю проверить свои знания. Также логично материалы текста сопровождаются Приложениями.

Материалы учебного пособия вышли в свет в издательстве АСВ и имеют гриф Российской академии архитектуры и строительных наук.



Зав. кафедрой «Строительные конструкции, здания и сооружения»  
Института Пути, строительства и сооружений  
ФГАОУ ВО «Российского университета транспорта» (РУТ (МИИТ))  
Академик РААСН, доктор технических наук, профессор,  
В.С. Федоров

**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 01.12.2023 г.  
Дата выхода в свет 26.12.2023 г.  
Формат 70×108/16. Печ. л. 9,1  
Цена свободная. Тираж 500 экз.  
Заказ № 272

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