

# СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

ISSN 2073-7416

BUILDING AND RECONSTRUCTION

№4 (102) 2022

Теория инженерных сооружений.  
Строительные конструкции

The theory of engineering  
constructions. Construction  
design

Безопасность зданий  
и сооружений

Building and structure  
safety

Архитектура  
и градостроительство

Architecture  
and urban development

Строительные материалы  
и технологии

Building materials  
and technology



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL

Главный редактор:

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

Заместители главного редактора:

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

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

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

**Финадеева Е.А.**, *канд. техн. наук, доц. (Россия)*

Редакция:

**Акимов П.А.**, *акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

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

**Бок Т.**, *д-р техн. наук, проф. (Германия)*

**Булгаков А.Г.**, *д-р техн. наук, проф. (Германия)*

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

**Емельянов С.Г.**, *чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Сергейчук О.В.**, *д-р техн. наук, проф. (Украина)*

**Серпик И.Н.**, *д-р техн. наук, проф. (Россия)*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Исполнительный редактор:

**Юрова О.В.**, *(Россия)*

Адрес редакции:

302030, Орловская обл., г. Орёл,

ул. Московская, д. 77.

Тел.: +79065704999

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

E-mail: str\_and\_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе

по надзору в сфере связи, информационных

технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство: ПИ №ФС 77-67169

от 16 сентября 2016 г.

Подписной индекс **86294**

по объединенному каталогу «Пресса России»

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

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2022

## Содержание

### Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

<b>Аксёнов И.С., Константинов А.П., Верховский А.А.</b> Численно-аналитический метод расчета температурных деформаций оконных ПВХ профилей.....	3
<b>Колчунов В.И.</b> Физическая суть сопротивления бетона и железобетона от дислокаций до трещин.....	15
<b>Кузнецов В.С., Егоров Е.А., Екимовская В.А.</b> Влияние основной и пульсационной составляющих ветра на здания призматической формы.....	34
<b>Лисятников М.С., Лукин М.В., Чибрикин Д.А., Рощина С.И.</b> Прочность древесины, модифицированной полимерной композицией с наноструктурным наполнителем.....	41
<b>Смирнов В.А.</b> Определение динамических характеристик конструкционных материалов по результатам модальных испытаний.....	52
<b>Соловьева А.А., Соловьев С.А., Умнякова Н.П., Кочкин А.А.</b> Вероятностная оценка надежности стальных ферм по критерию прогиба на основе Р-блоков.....	64

### Безопасность зданий и сооружений

<b>Федосов С.В., Федосеев В.Н., Разговоров П.Б., Логинова С.А.</b> Прогнозирование долговечности бетонных конструкций с учетом массопереноса и кольматации пор при коррозии.....	75
--	----

### Архитектура и градостроительство

<b>Борисевич Ю.А., Абдрахманова К.А., Саморай Д.Н., Алиханова А.Н.</b> Устойчивое развитие как основа модернизации жилой застройки.....	87
<b>Кривошапко С.Н., Кристиан А. Бок Х., Жиль-Улбе Матье</b> Этапы и архитектурные стили в проектировании и строительстве оболочек и оболочечных конструкций.....	112

### Строительные материалы и технологии

<b>Абдрахимов В.З.</b> Получение керамических стеновых материалов на основе монтмориллонитовой глины и «хвостов» обогащения полиметаллических руд.....	132
--	-----

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)

**Emelyanov S.G.**, doc. sc. tech., prof. (Russia)

**Karpenko N.I.**, doc. sc. tech., prof. (Russia)

**Kolesnikova T.N.**, doc. arc., prof. (Russia)

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

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

**Korol E.A.**, doc. sc. tech., prof. (Russia)

**Krivoshapko S.N.**, doc. sc. tech., prof. (Russia)

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

**Sergeychuk O.V.**, doc. sc. tech., prof. (Ukraine)

**Serpik I.N.**, 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:

ПИ №Фс 77-67169 from 16.09.2016 г.

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

© Orel State University, 2022

## Contents

### Theory of engineering structures. Building units

- Aksenov I.S., Konstantinov A.P., Verkhovsky A.A.** Numerical analytic method for calculation of PVC window profiles temperature deformation..... 3
- Kolchunov V.I.** The physical essence of concrete and reinforced concrete resistance from dislocations to cracks..... 15
- Kuznetsov V.S., Egorov E.A., Ekimovskaya V.A.** Influence of the main and pulsating components of the wind on buildings of a prismatic form..... 34
- Lisyatnikov M.S., Lukin M.V., Chibrikin D.A., Roshchina S.I.** Strength of wood modified with polymer composition with nanostructured filler..... 41
- Smirnov V.A.** Determination of the dynamic characteristics of structural materials based on the results of model tests..... 52
- Soloveva A.A., Solovev S.A., Umnyakova N.P., Kochkin A.A.** Structural reliability analysis of steel trusses by deflection based on P-boxes..... 64

### Building and structure safety

- Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Razgovorov P.B., Loginova S.A.** Predicting the durability of concrete structures with regard to mass transfer and pore colmatations during corrosion..... 75

### Architecture and town-planning

- Borisevich Ju.A., Abdrahmanova K.A., Samoray D.N., Alikhanova A.N.** Potential opportunities for modernization of old housing in city saran..... 87
- Krivoshapko S.N., Christian A. Bock Hyeng, Gil-Oulbe Mathieu** Stages and architectural styles in design and building of shells and shell structures... 112

### Construction materials and technologies

- Abdrakhimov V.Z.** Production of ceramic wall materials based on montmorillonite clay and "tailings" of polymetallic ores enrichment..... 132

И.С. АКСЁНОВ<sup>1</sup>, А.П. КОНСТАНТИНОВ<sup>1</sup>, А.А. ВЕРХОВСКИЙ<sup>2</sup>

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

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

## ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ОКОННЫХ ПВХ ПРОФИЛЕЙ

**Аннотация.** Опыт эксплуатации ПВХ окон в районах с низкими зимними температурами наружного воздуха показал, что они подвержены значительным изгибным температурным деформациям, которые приводят к снижению их эксплуатационных качеств. Однако температурные деформации никак не учитываются при проектировании окон ПВХ, что связано с отсутствием инженерной методики их расчёта на температурные нагрузки. В настоящей статье представлен инженерный подход к расчету температурных деформаций оконных профилей ПВХ. Он реализован на примере расчета оконного ПВХ импоста с армирующим стальным сердечником на температурный изгиб для зимних условий эксплуатации. Расчёт выполнен двумя способами: численно-аналитическим и упрощенным аналитическим. Для верификации расчётной методики в климатической камере было проведено испытание двухстворчатого окна на температурную нагрузку. Сравнение результата расчётов с результатами испытаний показали расхождение в 10.6% (для численно-аналитического расчёта) и 16.2% (для аналитического расчёта). Результаты лабораторных испытаний подтвердили принятое в расчётной методике допущение: расчёт температурных деформаций импоста при его шарнирном креплении к раме возможно вести без учёта жесткости примыкающих к импосту створок, поскольку створки и импост деформируются под действием температуры совместно и не передают друг на друга механических усилий.

**Ключевые слова:** ПВХ окна, прогиб импоста, температурная нагрузка, климатические воздействия, численно-аналитический метод расчёта.

I.S. AKSENOV<sup>1</sup>, A.P. KONSTANTINOV<sup>1</sup>, A.A. VERKHOVSKY<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Research Institute of Building Physics of the Russian Academy Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia

## NUMERICAL ANALYTIC METHOD FOR CALCULATION OF PVC WINDOW PROFILES TEMPERATURE DEFORMATION

**Abstract.** The experience of operating PVC windows in areas with low winter outdoor temperatures has shown that they are subject to significant bending temperature deformations, which lead to a decrease in their performance. Nevertheless, these deformations are not taken into account in any way when designing PVC windows, which is due to the lack of an engineering methodology for calculating them for temperature loads. This article presents an engineering approach to the calculation of PVC window profiles temperature deformations. It is demonstrated on the example of a PVC window mullion with a reinforced steel core subjected to temperature bending in winter operating conditions. The calculation is performed in two ways: numerically analytical and simplified analytical. To verify the calculation method, a double-casement window was tested for temperature load in a climate chamber. Comparison of the calculation result with the test results showed a discrepancy of 10.6% (for numerical and analytical calculation) and 16.2% (for analytical calculation). The results of laboratory tests confirmed the assumption adopted in the calculation methodology: the calculation of the mullion temperature deformations when it is hinged to the frame can be carried out without taking

*into account the rigidity of the casements adjacent to the mullion, since the casements and the mullion are deformed under the influence of temperature together and do not transfer mechanical forces to each other.*

**Keywords:** *PVC windows, mullion deflection, temperature load, climatic effects, numerical-analytical method of calculation.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елдашов Ю.А., Сесюнин С.Г., Ковров В.Н. Экспериментальное исследование типовых оконных блоков на геометрическую стабильность и приведенное сопротивление теплопередаче от действия тепловых нагрузок // Вестник МГСУ. 2009. № 3. С. 146–149.
2. Verkhovskiy A., Bryzgalin V., Lyubakova E. Thermal Deformation of Window for Climatic Conditions of Russia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol 463. No 3. doi:10.1088/1757-899X/463/3/032048.
3. Konstantinov A. and Verkhovsky A. Assessment of the Wind and Temperature Loads Influence on the PVC Windows Deformation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol 753. No 3. doi:10.1088/1757-899X/753/3/032022.
4. Fleury G., Thomas M. Variations to window air permeability according to outside temperature // Cahiers Du Centre Scientifique et Technique Du Batiment. 1972. Vol 132. No. 1129.
5. Шеховцов А.В. Воздухопроницаемость оконного блока из ПВХ профилей при действии отрицательных температур // Вестник МГСУ. 2011. № 3–1. С. 263–269.
6. Henry R., Patenaude A. Measurements of window air leakage at cold temperatures and impact on annual energy performance of a house // ASHRAE Transactions. 1998. Vol 104. No Pt 1B. Pp. 1254–1260.
7. Kehrli D. Window air leakage performance as a function of differential temperatures and accelerated environmental aging // Thermal performance of exterior envelopes of building III. 1985. Pp. 872–890. [Online]. Available: <https://web.ornl.gov/sci/buildings/conf-archive/1985/B3/papers/066.pdf>
8. Кунин Ю.С., Алекперов Р.Г., Потапова Т.В. Зависимость воздухопроницаемости светопрозрачных конструкций от температурных воздействий // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 10. С.114–120.
9. Куренкова А.Ю. Уроки 2010 года, или особенности изготовления оконных блоков из ПВХ-профилей шириной более 68 мм // Светопрозрачные конструкции. 2011. № 1. С. 10–12.
10. Van Craenendonck S., Lauriks L., Vuye C., Kampen J. Local effects on thermal comfort: Experimental investigation of small-area radiant cooling and low-speed draft caused by improperly retrofitted construction joints // Building and Environment. 2018. Vol 147. Pp. 188–198. doi:10.1016/j.buildenv.2018.10.021.
11. Schiepel D. and Westhoff A. Study on the Influence of Turbulence on Thermal Comfort for Draft Air // New Results in Numerical and Experimental Fluid Mechanics XIII. STAB/DGLR Symposium 2020. Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design. 2021. Pp. 494–503. doi:10.1007/978-3-030-79561-0\_47.
12. Manz H., Frank T. Analysis of thermal comfort near cold vertical surfaces by means of computational fluid dynamics // Indoor and Built Environment. 2004. Vol 13. No 3. Pp. 233–242. doi:10.1177/1420326X04043733.
13. Konstantinov A.P., Lambias Ratnayake M. Calculation of PVC windows for wind loads in high-rise buildings // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 33. doi:10.1051/e3sconf/20183302025.
14. Калабин В.А. Оценка величины тепловой деформации ПВХ-профиля. Часть 1. Зимние поперечные деформации // Светопрозрачные конструкции. 2013. № 1-2. С. 6–9.
15. Калабин В.А. Оценка величины тепловой деформации ПВХ-профиля. Часть 2. Летние поперечные деформации // Светопрозрачные конструкции. 2013. № 3. С. 12–15.
16. Сесюнин С.Г., Елдашов Ю.А. Моделирование сопряженной задачи термоупругости на примере анализа вариантов конструктивного оформления оконного блока зданий // Светопрозрачные конструкции. 2005. № 4. С. 14–18.
17. Аксенов И.С., Константинов А.П. Аналитический метод расчета напряженно-деформированного состояния оконных профилей ПВХ при действии температурных нагрузок // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып.11. С. 1437–1451. doi:10.22227/1997-0935.2021.11.1437-1451.
18. Aksenov I.S., Konstantinov A.P. Temperature deformations of PVC window profiles with reinforcement // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. 18(2). P. 98-111. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2022-18-2-98-111>
19. Gerasimova E., Galyamichev A., Dogru S. Stress-strain state of insulated glass unit in structural glazing systems // Magazine of Civil Engineering. 2020. Vol 98. No 6. doi:10.18720/MCE.98.8.
20. Carbarry L.D., Kimberlain J.H. Structural silicone glazing: optimizing future designs based on historical performances // Intelligent Buildings International. 2020. Vol 12. No. 3. Pp. 169–179. doi:10.1080/17508975.2018.1544881.

REFERENCES

1. Eldashov Yu.A., Sesyunin S.G., Kovrov V.N. Eksperimental'noe issledovanie tipovykh okonnykh blokov na geometricheskuyu stabil'nost' i privedennoe soprotivlenie teploperedache ot dei-stviya teplovykh nagruzok [Experimental study of typical window units for geometric stability and reduced heat transfer resistance from the action of thermal loads] // Vestnik MGSU. 2009. № 3. Pp. 146–149.
2. Verkhovskiy A., Bryzgalin V., Lyubakova E. Thermal Deformation of Window for Climatic Conditions of Russia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol 463. No 3. doi:10.1088/1757-899X/463/3/032048.
3. Konstantinov A., Verkhovsky A. Assessment of the Wind and Temperature Loads Influence on the PVC Windows Deformation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol 753. No 3. doi:10.1088/1757-899X/753/3/032022.
4. Fleury G., Thomas M. Variations to window air permeability according to outside temperature // Cahiers Du Centre Scientifique et Technique Du Batiment. 1972. Vol 132. No. 1129.
5. Shekhovtsov A. Air permeability of an PVC-window when exposed to freezing temperatures // Vestnik MGSU. 2011. № 3–1. Pp. 263–269.
6. Henry R., Patenaude A. Measurements of window air leakage at cold temperatures and impact on annual energy performance of a house // ASHRAE Transactions. 1998. Vol 104, No Pt 1B. Pp. 1254–1260.
7. Kehrl D. Window air leakage performance as a function of differential temperatures and accelerated environmental aging // Thermal performance of exterior envelopes of building III. 1985. Pp. 872–890. [Online]. Available: [https://web.ornl.gov/sci/buildings/conf-archive/1985 B3 papers/066.pdf](https://web.ornl.gov/sci/buildings/conf-archive/1985/B3%20papers/066.pdf)
8. Kunin Y.S., Alekperov R.G., Potapova T.V. Dependence of air permeability of translucent structures on temperature impacts // Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitelstvo [Industrial and civil engineering]. 2018. (10). Pp. 114–120. URL: <http://www.pgs1923.ru/ru/index.php?m=4&y=2018&v=10&p=00&r=19> (rus).
9. Kurenkova A.Yu. Uroki 2010 goda, ili osobennosti izgotovleniya okonnykh blokov iz PVKh-profilei shirinoi bolee 68 mm [Lessons of 2010, or the peculiarities of manufacturing window units from PVC profiles over 68 mm wide] // Svetoprozrachnyye konstruksii [Translucent structures]. 2011. № 1. Pp. 10-12 (rus).
10. Van Craenendonck S., Lauriks L., Vuye C., Kampen J. Local effects on thermal comfort: Experimental investigation of small-area radiant cooling and low-speed draft caused by improperly retrofitted construction joints // Building and Environment. 2018. Vol 147. Pp. 188–198. doi:10.1016/j.buildenv.2018.10.021.
11. Schiepel D. and Westhoff A. Study on the Influence of Turbulence on Thermal Comfort for Draft Air // New Results in Numerical and Experimental Fluid Mechanics XIII. STAB/DGLR Symposium 2020. Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design. 2021. Pp. 494–503. doi:10.1007/978-3-030-79561-0\_47.
12. Manz H., Frank T. Analysis of thermal comfort near cold vertical surfaces by means of computational fluid dynamics // Indoor and Built Environment. 2004. Vol 13. No 3. Pp. 233–242. doi:10.1177/1420326X04043733.
13. Konstantinov A.P., Lambias Ratnayake M. Calculation of PVC windows for wind loads in high-rise buildings // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 33. doi:10.1051/e3sconf/20183302025.
14. Kalabin V.A. Otsenka velichiny teplovoi deformatsii PVKh-profilya. Chast' 1. Zimnie poperechnye deformatsii [Estimation of the value of PVC profile thermal deformation. Part 1. Winter transverse deformations] // Svetoprozrachnyye konstruksii [Translucent structures]. 2013. № 1-2. Pp. 6–9.
15. Kalabin V.A. Otsenka velichiny teplovoi deformatsii PVKh-profilya. Chast' 2. Letnie poperechnye deformatsii [Estimation of the value of PVC profiles thermal deformation. Part 2. Summer transverse deformations] // Svetoprozrachnyye konstruksii [Translucent structures]. 2013. № 3. Pp. 12–15.
16. Sesyunin S.G., Eldashov Yu.A. Modelirovanie sopryazhennoi zadachi termouprugosti na primere analiza variantov konstruktivnogo oformleniya okonnogo bloka zdaniy [Modeling of the conjugate problem of thermoelasticity on the example of window analysis] // Svetoprozrachnyye konstruksii [Translucent structures]. 2005. № 4. P. 14-18.
17. Aksenov I.S., Konstantinov A.P. An analytical method for calculating the stress-strain state of PVC window profiles under thermal loading // Vestnik MGSU. 2021. No 11. Pp. 1437–1451. doi:10.22227/1997-0935.2021.11.1437-1451.
18. Aksenov I.S., Konstantinov A.P. Temperature deformations of PVC window profiles with reinforcement // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. 18(2). P. 98-111. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2022-18-2-98-111>
19. Gerasimova E., Galyamichev A., Dogru S. Stress-strain state of insulated glass unit in structural glazing systems // Magazine of Civil Engineering. 2020. Vol 98. No 6. doi:10.18720/MCE.98.8.
20. Carbary L.D., Kimberlain J.H. Structural silicone glazing: optimizing future designs based on historical performances // Intelligent Buildings International. 2020. Vol 12. No. 3. Pp. 169–179. doi:10.1080/17508975.2018.1544881.

**Информация об авторах:**

**Аксёнов Иван Сергеевич**

Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет (НИУ МГСУ),  
г. Москва, Россия,  
аспирант.

E-mail: [ivanak1995@mail.ru](mailto:ivanak1995@mail.ru)

**Константинов Александр Петрович**

Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет (НИУ МГСУ),  
г. Москва, Россия,  
кандидат технических наук, руководитель научно-исследовательского центра «Фасадные системы».

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

**Верховский Алексей Адольфович**

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и  
строительных наук», г. Москва, Россия,  
кандидат технических наук, руководитель испытательного центра «Фасады СПК».

E-mail: [v2508@rambler.ru](mailto:v2508@rambler.ru)

**Information about authors:**

**Aksenov Ivan S.**

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,  
graduate student.

E-mail: [ivanak1995@mail.ru](mailto:ivanak1995@mail.ru)

**Konstantinov Aleksandr P.**

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,  
candidate in technical sciences, head of the Research Center «Facade Systems».

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

**Verkhovsky Aleksey Ad.**

Research Institute of Building Physics of the Russian Academy Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia,  
candidate in technical sciences, head of the Test Center «Facades SPK».

E-mail: [v2508@rambler.ru](mailto:v2508@rambler.ru)

В.И. КОЛЧУНОВ<sup>1</sup><sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия

## ФИЗИЧЕСКАЯ СУТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ОТ ДИСЛОКАЦИЙ ДО ТРЕЩИН

**Аннотация.** Исследуется физическая суть сопротивления бетона и железобетона от дислокаций, микротрещин до макротрещин и их приводится экспериментальное обоснование. Для «восьмерки» структуры кристаллов различных материалов (бетона и стали) разработана общая модель в виде шара, для которого записано суммирование объемных секторов, уровней – радиусов из матрицы плоскостей скольжения. При этом используется альтернатива теории пластичности в виде энергетической интерпретации на поверхности сферы и определения интеграла среднего квадратичного значения касательных напряжений. Показана важность получения дислокаций в микротрещине, угловых и линейных деформаций, перемещений в представительном объеме куба бетона. При повышении интенсивности нагружения процесс деформирования переходит уже в магистральные трещины, где используется строительная механика двухконсольных элементов для растяжения, сжатия, поперечного сдвига и кручения. В качестве условия прочности бетона приняты предельная интенсивность деформаций сдвига или чистый сдвиг. Значимыми вопросами является модуль дилатации и коэффициент поперечных деформаций, для которых получены функции на всех стадиях напряженно-деформированного состояния бетона при эволюции перехода от трещинообразования до магистральных трещин.

Диаграммы сжатия и растяжения бетона для интенсивности деформаций или минимального чистого сдвига используют касательные напряжения  $0,6R_{bt}$ . Принципиальное отличие диаграммы на ниспадающем участке заключается в использовании здесь предельного сопротивления бетона. Уменьшение напряжений в материале, разрушение которого носит «отрывной» характер – явление противостественное, а предельное сопротивление бетона при  $\varepsilon_b = \varepsilon_{b,и}$  и снижения призмочной прочности на  $i$ -й ступени равно  $\alpha_i R_b$ . Характер деформирования бетона при образовании более ранних микротрещин, а потом поздних магистральных трещин ориентирован вдоль линии нагружения - при сжатии, либо поперек - для усилия растяжения.

**Ключевые слова:** физическая суть, сопротивление, бетон, железобетон, дислокации, трещины, дилатация.

V.I. KOLCHUNOV<sup>1</sup><sup>1</sup>Southwestern State University, Kursk, Russia

## THE PHYSICAL ESSENCE OF CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE RESISTANCE FROM DISLOCATIONS TO CRACKS

**Abstract.** The physical essence of resistance of concrete and reinforced concrete from dislocations, micro-cracks to macro-cracks and its experimental justification is investigated. For the "eight" structure of crystals of different materials (concrete and steel) a general model in the form of a sphere was developed. For it the summation of volume sectors, levels - radii from the matrix of sliding planes (including octahedral and pure shear) is written down. This uses an alternative to the theory of plasticity in the form of energy interpretation on the surface of the sphere and determining the integral of the mean square of the tangential stresses. It is important to obtain dislocations in the microcrack, angular and linear deformations, and displacements in a representative volume of the concrete cube. As the intensity increases, the deformation process proceeds already to the mainline cracks, where the double-concole elements of tension, compression, transverse shear and torsion (its internal parameters)



are refined. Significant issues are the dilatation modulus and transverse coefficient, for which functions have been developed at the stages of the stress-strain state of concrete during the evolution of the transition from crack formation to main cracks.

Concrete compression and tension diagrams for strain intensity or minimum pure shear use shear stresses. The fundamental difference of the stress diagram in the downward section is the use of the ultimate resistance of the concrete. Stress reduction in a material whose failure has a "tear-off" character is an unnatural phenomenon, and the limiting resistance of concrete at  $\varepsilon_b = \varepsilon_{b,u}$  and reduction of prism strength at the  $i$ -th step is  $\alpha_i R_b$ . The deformation pattern of concrete during the formation of earlier microcracks and then later main cracks is oriented along for compression or across the loading line for tensile force.

**Keywords:** physical essence, resistance, concrete, reinforced concrete, dislocations, cracks, dilatations.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М.: АСВ, 2004. 472 с.
2. Гольшев А.Б., Колчунов В.И. Сопротивление железобетона. К.: Основа. 2009. 432 с.
3. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 410 с.
4. Верюжский Ю.В., Гольшев А.Б., Колчунов В.И., Клюева Н.В., Лисицин Б.М., Машков И.Л., Яковенко И.А. Справочное пособие по строительной механике. В двух томах.: Учебное пособие. М.: Изд-во АСВ, 2014. 432 с.
5. Колчунов В.И., Федоров В.С. Понятийная иерархия моделей в теории сопротивления строительных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2020. №8. С. 16–23. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.08.16-23>.
6. Верюжский Ю.В., Колчунов В.И. Методы механики железобетона. Учебное пособие. К.: Книжное издательство НАУ, 2005. 653 с.
7. Баширов Х.З., Колчунов В.И., Федоров В.С., Яковенко И.А. Железобетонные составные конструкции зданий и сооружений. М.: АСВ, 2017. 248 с.
8. Гольшев А.Б., Колчунов В.И. Сопротивление железобетонных конструкций, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях (монография). Киев: Основа. 2010. 286 с.
9. Гольшев А.Б., Колчунов В.И., Яковенко И.А. Сопротивление железобетонных конструкций, зданий и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях. Киев: Талком, 2015. 371 с.
10. Петров В. В. Нелинейная инкрементальная строительная механика. М.: Инфра-Инженерия, 2014. 480 с.
11. Кадашевич Ю.И., Новожилов В.В. Теория пластичности, учитывающая остаточные микронапряжения // Прикладная математика и механика. 1958. №1. С.78–89.
12. Бараз В.Р., Левченко В.П., Повзнер А.А. Строение и физические свойства кристаллов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 164 с.
13. Остаповец А., Пайдар В. Оценка напряжения Пайерлса для граничных дислокаций // Физика металлов и металловедение. 2011. № 3. С. 235-241.
14. Благовещенский В.В., Панин И.Г. Исследование модели дислокационного источника Франка-Рида // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2012. №1. С. 40-45.
15. Гениев Г.А., Киссюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. М: Стройиздат, 1974, 316 с.
16. Митасов В.М., Стаценко Н.В. Особенность развития трещин в железобетонных балках с организованными трещинами // Политранспортные системы. Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения. 2020. С. 230-235.
17. Митасов В.М. Образование и развитие стохастических трещин в хрупких и квазихрупких материалах (на примере железобетонных конструкций) // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-24-2018). Томск: Издательство Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2018. С. 105-109.
18. Петров В.В., Селяев П.В. Инкрементальная модель взаимодействия нелинейно деформируемых материалов с агрессивными средами // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций. Саранск: Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва. 2014. С. 145-151.
19. Петров В.В. Методы выделения главной части решения при расчете нелинейно деформируемых балок // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. №3(61). С. 160-169.
20. Гениев Г.А., Колчунов В.И., Клюева Н.В., Никулин А.И., Пятикрестовский К.П. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях. М.: АСВ, 2004. 216 с.

## REFERENCES

1. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Calculation models of the force resistance of reinforced concrete. M.: ASV, 2004. 472 p.
2. Golyshev A.B., Kolchunov V.I. Reinforced concrete resistance. K: Osnova. 2009. 432 p.
3. Karpenko N.I. General models of reinforced concrete mechanics. M.: Stroyizdat, 1996. 410 p.
4. Veryuzhsky Yu.V., Golyshev A.B., Kolchunov V.I., Klyueva N.V., Lisitsin B.M., Mashkov I.L., Yakovenko I.A. Reference manual on structural mechanics. In two volumes.: Textbook. M.: ASV, 2014. 432 p.
5. Kolchunov V.I., Fedorov V.S. Conceptual hierarchy of models in the theory of resistance of building structur. Industrial and civil engineering, 2020. №8. Pp. 16–23.
6. Veryuzhskij YU.V., Kolchunov V.I. Methods of mechanics of reinforced concrete. K.: NAU, 2005. 653p.
7. Bashirov H.Z., Kolchunov V.I., Fedorov V.S., Yakovenko I.A. Reinforced Concrete Composite Structures of Buildings and Structures. M.: ABC, 2017. 248 p.
8. Golyshev A.B., Kolchunov V.I. Resistance of reinforced concrete structures erected in complex engineering and geological conditions. Kiev: Osnova. 2010. 286 p.
9. Golyshev A.B., Kolchunov V.I., Yakovenko I.A. Resistance of reinforced concrete structures, buildings and structures erected in complex engineering and geological conditions. Kiev: Talkom, 2015. 371 p.
10. Petrov V.V. Nonlinear incremental structural mechanics. Moscow: Infra-Engineering, 2014. 480 p.
11. Kadashevich Yu.I., Novozhilov V.V. The theory of plasticity, taking into account residual microstresses // Applied mathematics and mechanics, 1958. №1. Pp.78-89.
12. Baraz V.R., Levchenko V.P., Povzner A.A. Structure and physical properties of crystals Ekaterinburg: UGTU-UPI, 2009. 164 p.
13. Ostapovets A., Paydar V. Evaluation of Pyerls stress for boundary dislocations // Physics of Metals and Metal Science. 2011. № 3. Pp. 235-241.
14. Blagoveschensky V.V., Panin I.G. study of Frank–Read dislocation source model // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Materials of Electronics Engineering. 2012. №1. Pp. 40-45.
15. Geniev G.A., Kissyuk V.N., Tyupin G.A. Theory of Plasticity of Concrete and Reinforced Concrete. M: Stroyizdat, 1974, 316 p.
16. Mitasov V.M., Statsenko N.V. Peculiarities of Cracking Development in Reinforced Concrete Beams with Organized Cracks // Polytransport Systems. Novosibirsk: Siberian State University of Railway Transport, 2020. Pp. 230-235.
17. Mitasov V.M. Formation and development of stochastic cracks in brittle and quasi-brittle materials (on the example of reinforced concrete structures) // Natural and intellectual resources of Siberia (SIBRESURS-24-2018). Tomsk: Publishing house of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. 2018. Pp. 105-109.
18. Petrov V.V., Selyaev P.V. Incremental Model of Interaction of Nonlinearly Deformable Materials with Aggressive Medium // Durability of Building Materials, Products and Constructions. Saransk: N. P. Ogarev Mordovian State University, 2014. Pp. 145-151.
19. Petrov V.V. Methods of selecting the main part of the solution in the calculation of nonlinearly deformed beams // Bulletin of the Saratov State Technical University, 2011. № 3(61). Pp. 160-169.
20. Geniev G.A., Kolchunov V.I., Klyueva N.V., Nikulin A.I., Pyatikrestovsky K.P. Strength and Deformability of Reinforced Concrete Structures under Beyond Design Influences. Moscow: ABC, 2004. 216 p.

### Информация об авторе:

#### **Колчунов Владимир Иванович**

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,  
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры уникальных зданий и сооружений.

E-mail: [vlik52@mail.ru](mailto:vlik52@mail.ru)

### Information about author:

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

Southwestern state university, Kursk, Russia,  
corresponding member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Unique Buildings and Structures.

E-mail: [vlik52@mail.ru](mailto:vlik52@mail.ru)

В.С. КУЗНЕЦОВ<sup>1</sup>, Е.А. ЕГОРОВ<sup>1</sup>, В.А. ЕКИМОВСКАЯ<sup>1</sup><sup>1</sup>Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

## ВЛИЯНИЕ ОСНОВНОЙ И ПУЛЬСАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВЕТРА НА ЗДАНИЯ ПРИЗМАТИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

**Аннотация.** Анализируются существующие методики определения коэффициентов ветровой нагрузки, с целью выявления особенностей влияния вида распределения на усилия от воздействия ветра на конструкции зданий и сооружений призматического типа с различными пропорциями фронтальной поверхности. Рассматривались железобетонные здания с первой частотой собственных колебаний больше предельного значения. Исследование выполнено на основе изучения и анализа основных положений нормативных документов, регулирующих проектно-конструкторскую деятельность в РФ, а также актуальных трудов отечественных и зарубежных ученых, соответствующих исследованиям данного направления. Метод исследования структурно-аналитический анализ с использованием корреляционных зависимостей исследуемых факторов. Приводятся аналитические зависимости для определения усилий от ветра при различных способах назначения коэффициента пульсационной ветровой нагрузки по высоте здания, с учетом формы и пропорций ветровой поверхности, а также их графическая интерпретация. Работа основана на положениях отечественных строительных норм и правил и соответствующих сведений, содержащихся в иных отечественных и зарубежных источниках и нормах. Установлено, что в зданиях призматической формы наблюдаются отдельные участки, где усилия от составляющих ветровой нагрузки, существенно зависят не только от пропорций фронтальных поверхностей, но и методов, примененных для установления закона распределения коэффициентов. Проведенное исследование свидетельствует о неоднозначности получаемых результатов, допускающих возможность превышения или недогруженности конструкций или отдельных элементов. Результаты работы позволяют корректировать расчеты по установлению величин ветровых нагрузок для рассмотренных типов зданий и диапазонов высот и прогнозировать для других объектов с иными параметрами.

**Ключевые слова:** железобетон, фронтальная поверхность, коэффициент пульсации, ветровая нагрузка, анализ, усилия, ветер.

V.S. KUZNETSOV<sup>1</sup>, E.A. EGOROV<sup>1</sup>, V.A. EKIMOVSKAYA<sup>1</sup><sup>1</sup>Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

## INFLUENCE OF THE MAIN AND PULSATING COMPONENTS OF THE WIND ON BUILDINGS OF A PRISMATIC FORM

**Abstract.** The existing methods for determining the wind load coefficients are analyzed in order to identify the features of the influence of the type of distribution on the forces from the impact of the wind on the structures of buildings and structures of a prismatic type with different proportions of the frontal surface. Reinforced concrete buildings with the first frequency of natural vibrations greater than the limit value were considered. The study was carried out on the basis of the study and analysis of the main provisions of regulatory documents regulating design and development activities in the Russian Federation, as well as relevant works of domestic and foreign scientists relevant to research in this area. The research method is structural-analytical analysis using the correlation dependences of the studied factors. Analytical dependences are given to determine the forces from the wind with various methods of assigning the coefficient of the pulsating wind load along the height of the building, taking into account the shape and proportions of the wind surface, as well as their graphical interpretation. The work is based on the provisions of domestic building codes and regulations and relevant information contained in other domestic and foreign sources and standards. It has been established that in buildings of a prismatic shape there are separate sections where the forces from the

*components of the wind load significantly depend not only on the proportions of the frontal surfaces, but also on the methods used to establish the distribution law of the coefficients. The conducted research indicates the ambiguity of the results obtained, allowing the possibility of exceeding or underloading structures or individual elements. The results of the work make it possible to correct calculations for establishing the values of wind loads for the considered types of buildings and height ranges and to predict for other objects with different parameters.*

**Keywords:** reinforced concrete, frontal surface, pulsation coefficient, wind load, analysis, forces, wind.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Платонов А.С. Уроки аварий конструкций мостов // Транспортное строительство. 2009. № 6. С. 6–9.
2. Eurocode 1: Basis design and action on structures. Part 1: "Basis design". CEN, 232 p. British Standard, Loadings for Buildings - Part 2: Code of Practice for Wind Loads (1995).
3. Симиу Э., Скэнлан Р. «Воздействие ветра на здания и сооружения»; перевод с английского под редакцией канд. техн. наук Б.Е. Маслова. Москва: Стройиздат, 1984. 271 с.
4. Иоскевич А.В. и др. Понижающий коэффициент ветрового давления и его учет при расчете решетчатых конструкций // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №4 (31). С. 45-57.
5. Алексеева А.А., Васильев Е.В., Бухаров В.М. Прогноз сильных шквалов на Европейской территории России и их идентификация доплеровскими радиолокаторами // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2017. Вып. 363. С. 47-64.
6. Ким Д.А. Анализ ветрового воздействия на здания и сооружения // Инженерный вестник Дона. 2020. №12. С. 1-11.
7. Егоров П.И. Влияние системы ауригеров в высотных зданиях на величину горизонтальных перемещений от пульсации ветра // Ученые заметки ТОГУ. 2014. №4 (4). С. 1579-1585. EN 1991-1-4. (1994).
8. Belal A.A. Typological analysis of architectural forms of Arab cities // Sustainable development of territories: collection of doll. II International Scientific.- practical conf. M., 2019. Pp. 108-110.
9. Могилюк Ж.Г., Подувальцев В.В. Нормативные проблемы расчета динамических параметров зданий и сооружений // Компетентность. 2020. №10. С. 22-30.
10. Hrvoje Kozmar. Wind-tunnel simulations of the suburban ABL and comparison with international standards // Wind and Structures. 2011. Vol. 14. No. 1. Pp. 15-34.
11. The Territorial Context - Les Landes Ressource//Conseil Général des Landes, 2019, rue Victor Hugo - 40 000 Mont-de-Marsan 05 58 05 40 40 URL: [www.landes.org/Espace Energy Info](http://www.landes.org/Espace Energy Info).
12. Boulanger R.W., Curras C.J., Kutter B.L., Wilson D.W., Abghari A. Seismic soil-pile-structure interaction: experiments and analyses // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2014. Vol. 125. Issue 9. Pp. 750-759.
13. Loityanskiy L.F. Building and Civil Engineering Sector Board, UK. Liquid and gas mechanics. Moscow. Drofa, 2013. 144 p.
14. Koiter W.T. The effective width of flat plates for various longitudinal edge conditions at loads far beyond the buckling load // National Luchtvaart Laboratorium (The Netherlands). 2017. Rep. No. 5287. Pp 365-374.
15. Sarawit A.T., Kim Y., Bakker M.C.M., Pekoz T. The finite element method for thin-walled members-applications // Proceedings of the 3rd ICTWS. 2010. Pp. 437-448.
16. Belal A.A. Typological analysis of architectural forms of Arab cities // Sustainable development of territories : collection of dokl. II International Scientific.- practical conf. M., 2019. Pp. 108-110.
17. Кузнецов В.С., Шурушкин А.А. Усилия в зданиях призматической формы при различном распределении ветрового воздействия // Строительство и реконструкция. 2021. № 5. С. 31-39.
18. Karman T., Sechler E.E., Donnel L.H. The strength of thin plates in compression // Trans ASME. 1932. Vol. 54. P. 53-55. Le Context Territorial.
19. Галямичев А.В. Ветровая нагрузка и её действие на фасадные конструкции // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 9. С. 44-57.
20. Кузнецов В.С., Екимовская В.А. Усилия от пульсационной составляющей ветра на здания призматической формы // Вестник научно-технического развития. 2022. № 164. С. 3-9.

## REFERENCES

1. Platonov A.S. Lessons of accidents of bridge structures // Transport construction. 2009. No. 6. Pp. 6-9.
2. Eurocode 1: Basis design and action on structures. Part 1: "Basis design". CEN, 232 p. British Standard, Loadings for Buildings - Part 2: Code of Practice for Wind Loads (1995).

3. Simiu E., Scanlan R. «The impact of wind on buildings and structures»; translated from English edited by Candidate of Technical Sciences B.E. Maslov. Moscow: Stroyizdat, 1984. 271 p.
4. Ioskevich A.V. et al. Reducing wind pressure coefficient and its consideration in the calculation of lattice structures // Construction of unique buildings and structures. 2015. No.4 (31). Pp. 45-57.
5. Alekseeva A.A., Vasiliev E.V., Bukharov V.M. Forecast of strong squalls on the European territory of Russia and their identification by Doppler radars // Hydrometeorological studies and forecasts. 2017. Issue 363. Pp. 47-64.
6. Kim D.A. Analysis of wind impact on buildings and structures // Engineering Bulletin of the Don. 2020. No. 12. Pp 1-12.
7. Egorov P.I. Influence of the outrigger system in high-rise buildings on the magnitude of horizontal movements from wind pulsation // Scientific notes of TOGU. 2014. No. 4 (4). Pp. 1579-1585. EN 1991-1-4. (1994).
8. Belal A.A. Typological analysis of architectural forms of Arab cities // Sustainable development of territories : collection of dokl. II International Scientific.- practical conf. M., 2019. P. 108-110.
9. Mogilyuk Zh.G., Poduvaltsev V.V. Normative problems of calculating dynamic parameters of buildings and structures // Competence. 2020. No. 10. Pp. 22-30.
10. Hrvoje Kozmar. Wind-tunnel simulations of the suburban ABL and comparison with international standards // Wind and Structures. 2011. Vol. 14. No. 1. Pp. 15-34.
11. The Territorial Context - Les Landes Ressource//Conseil Général des Landes, 2019, rue Victor Hugo - 40 000 Mont-de-Marsan 05 58 05 40 40 URL: [www.landes.org/Espace Energy Info](http://www.landes.org/Espace Energy Info).
12. Boulanger R.W., Curras C.J., Kutter B.L., Wilson D.W., Abghari A. Seismic soil-pile-structure interaction: experiments and analyses // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2014. Vol. 125. Issue 9. Pp. 750-759.
13. Loytsyanskiy L.F. Building and Civil Engineering Sector Board, UK. Liquid and gas mechanics. Moscow, Drofa, 2013. 144 p.
14. Koiter W.T. The effective width of flat plates for various longitudinal edge conditions at loads far beyond the buckling load // National Luchtvaart Laboratorium (The Netherlands). 2017. Rep. No. 5287. Pp. 365-374.
15. Sarawit A.T., Kim Y., Bakker M.C.M., Pekoz T. The finite element method for thin-walled members-applications // Proceedings of the 3rd ICTWS. 2010. Pp. 437-448.
16. Belal A.A. Typological analysis of architectural forms of Arab cities // Sustainable development of territories : collection of dokl. II International Scientific.- practical conf. M., 2019. Pp. 108-110.
17. Kuznetsov V.S., Gurushkin A.A. Efforts in buildings of prismatic shape with different distribution of wind impact // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2021. № 5. Pp. 31-39.
18. Karman T., Sechler E.E., Donnel L.H. The strength of thin plates in compression // Trans ASME. 1932. Vol. 54. P. 53-55. Le Context Territorial.
19. Galyamichev A.V. Wind load and its effect on facade structures // Construction of Unique Buildings and Structures. 2017. № 9. Pp. 44-57.
20. Kuznetsov V.S., Ekimovskaya V.A. Efforts of the pulsating wind component on prismatic buildings // Bulletin of Science and Technical Development. 2022. № 164. Pp. 3-9.

**Информация об авторах:**

**Кузнецов Виталий Сергеевич**

ФГБОУ «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,  
кандидат технических наук, профессор кафедры Архитектурно-строительного проектирования.  
E-mail: [KuznetsovVS@mgsu.ru](mailto:KuznetsovVS@mgsu.ru)

**Егоров Евгений Александрович**

ФГБОУ «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,  
старший преподаватель.  
E-mail: [EgorovEA@mgsu.ru](mailto:EgorovEA@mgsu.ru)

**Екимовская Валерия Алексеевна**

ФГБОУ «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,  
студент.  
E-mail: [lera.ek00@mail.ru](mailto:lera.ek00@mail.ru)

**Information about authors:**

**Kuznetsov Vitaliy S.**

National research Moscow state University of civil engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia, candidate of technical sciences, associate professor of the department of Architectural design.

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

**Egorov Evgeny Al.**

National research Moscow state University of civil engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia, senior lecturer.

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

**Ekimovskaya Valeria Al.**

National research Moscow state University of civil engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia, student.

E-mail: [lera.ek00@mail.ru](mailto:lera.ek00@mail.ru)

М.С. ЛИСЯТНИКОВ<sup>1</sup>, М.В. ЛУКИН<sup>1</sup>, Д.А. ЧИБРИКИН<sup>1</sup>, С.И. РОЩИНА<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и  
Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия

## ПРОЧНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИЕЙ С НАНОСТРУКТУРНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

**Аннотация.** Увеличение прочностных свойств деревянных конструкций является важной задачей. Древесина может иметь множество дефектов, связанных с природным строением (пороки) или полученных во время эксплуатации (загнивание, усушка и т.д.). Для повышения прочности древесины и, следовательно, несущей способности конструкций на ее основе, используют как традиционные методы (усиление металлом, бетоном или железобетоном), так и перспективные в настоящее время методы модификации полимерными составами, в том числе с наноструктурным наполнителем.

В настоящей работе выполнено исследование по определению прочности образцов модифицированной древесины на сжатие вдоль волокон. Были рассмотрены четыре различные смолы и два наполнителя – углеродные нанотрубки и карбоксилированные углеродные нанотрубки, которые добавлялись в связующее в разных процентных соотношениях (от 0 до 1,1 %). В качестве модификации была применена технология импрегнирования низковязкой полимерной композиции в тело древесины с использованием импульсного воздействия избыточного давления по режиму 10-5-10-5-10 мин.

Модифицированные образцы испытывались при кратковременном действии нагрузок до разрушения. Результатами испытания на образцах определена возможность повышения прочности и снижения деформативности деревянных конструкций, модифицированных полимерной композицией на основе смолы с добавлением наноструктурного наполнителя.

**Ключевые слова:** строительство, древесина, модификация, полимер, прочность.

M.S. LISYATNIKOV<sup>1</sup>, M.V. LUKIN<sup>1</sup>, D.A. CHIBRIKIN<sup>1</sup>, S.I. ROSHCHINA<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia

## STRENGTH OF WOOD MODIFIED WITH POLYMER COMPOSITION WITH NANOSTRUCTURED FILLER

**Abstract.** Increasing the strength properties of wooden structures is an important task. Wood can have many defects associated with the natural structure (defects) or obtained during operation (rotting, shrinkage, etc.). To increase the strength of wood and, consequently, the bearing capacity of structures based on it, both traditional methods (reinforcement with metal, concrete or reinforced concrete) and currently promising methods of modification with polymer compositions, including those with nanostructured filler, are used.

In this work, a study was carried out to determine the compressive strength of modified wood samples along the fibers. Four different resins and two fillers were considered - carbon nanotubes and carboxylated carbon nanotubes, which were added to the binder in different percentages (from 0 to 1.1%). As a modification, the technology of impregnating a low-viscosity polymer composition into the wood body was applied using pulsed overpressure according to the 10-5-10-5-10 min mode.

Modified specimens were tested under short-term loads until failure. The results of testing on samples determined the possibility of increasing the strength and deformability of a wooden structure modified with a resin-based polymer composition with the addition of a nanostructured filler.

**Keywords:** building, wood, modification, polymer, strength.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bukauskas Aurimas, Mayencourt Paul, Shepherd Paul, Sharma Bhavna, Mueller Caitlin, Walker Pete, Bregulla, Julie. Whole Timber Construction: A State of the Art Review. Construction and Building Materials. 2019. No. 213. Pp. 748-769. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.03.043.
2. Chaoji, Chen and Kuang, Yudi and Zhu, Shuze and Burgert, Ingo and Keplinger, Tobias and Gong, Amy and Li, Teng and Berglund, Lars and Eichhorn, Stephen and Hu, Liangbing. Structure–property–function relationships of natural and engineered wood. Nature Reviews Materials. 2020. No. 5. Pp. 1-25. doi:10.1038/s41578-020-0195-z.
3. Donaldson, Lloyd. Wood cell wall ultrastructure The key to understanding wood properties and behaviour. IAWA Journal. 2019. No. 40. Pp. 645-672. doi:10.1163/22941932-40190258.
4. Walsh-Korb, Zarah and Avérous, Luc. Recent developments in the conservation of materials properties of historical wood. Progress in Materials Science. 2018. No. 102. doi:10.1016/j.pmatsci.2018.12.001.
5. Roshchina S., Lukin M., Lisyatnikov M. Compressed-Bent Reinforced Wooden Elements with Long-Term Load. Proceedings of EECE 2019 : Energy, Environmental and Construction Engineering. St. Petersburg, Russia. 2019. Pp. 81-91. doi:10.1007/978-3-030-42351-3\_7.
6. Лукина А.В. Совершенствование технологии восстановления деструктированной древесины в элементах деревянных конструкций: специальность 05.21.05 "Древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лукина Анастасия Васильевна. Архангельск, 2014. 22 с.
7. Tanasa, Fulga and Teacă, Carmen-Alice and Zănoagă, Mădălina. Protective coatings for wood. 2021. doi:10.1016/b978-0-444-63237-1.00006-1.
8. Lisyatnikov M.S., Roshchina S.I., Chukhlanov V.Y., Ivaniuk A.M. Repair compositions based on methyl methacrylate modified with polyphenylsiloxane resin for concrete and reinforced concrete structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vladimir, 2020. 012113 p. doi:10.1088/1757-899X/896/1/012113.
9. Lukin M., Prusov E., Roshchina S. [et al.]. Multi-Span composite timber beams with rational steel reinforcements. Buildings. 2021. Vol. 11. No. 2. Pp. 1-12. doi:10.3390/buildings11020046.
10. Friedrich, Daniel. Thermoplastic moulding of Wood-Polymer Composites (WPC): A review on physical and mechanical behaviour under hot-pressing technique. Composite Structures. 2021. No. 262. P. 113649. doi:10.1016/j.compstruct.2021.113649.
11. Lee, Seng Hua and Ashaari, Zaidon and Lum, Wei and Ang, Aik and Juliana, A.H. and PENG, TAN and Chin, Kit Ling and M. Tahir, Paridah. Thermal treatment of wood using vegetable oils: A review. Construction and Building Materials. 2018. No. 181. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.06.058.
12. Roshchina S., Gribanov A., Lukin M. [et al.]. Investigation of the Stress–Strain State of Wooden Beams with Rational Reinforcement with Composite Materials. Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. Vol. 182. Pp. 475-483. doi:10.1007/978-3-030-85236-8\_42.
13. Wang, Xianju and Tu, Dengyun and Chen, Chuanfu and Zhou, Qiaofang and Huang, Huixian and Zheng, Zehao and Zhu, Zhipeng. A thermal modification technique combining bulk densification and heat treatment for poplar wood with low moisture content. Construction and Building Materials. 2021. No. 291. P. 123395. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.123395.
14. Lukin M., Sergeev M., Lisyatnikov M. Compressed-Bent Reinforced Wooden Elements with Long-Term Load. Proceedings of EECE 2020 : Energy, Environmental and Construction Engineering. St. Petersburg, Russia, 2020. Pp. 115-123. doi:10.1007/978-3-030-72404-7\_12.
15. Лукина А.В., Сергеев М.С. Исследование напряженно-деформированного состояния композитных деревянных балок // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы Международных академических чтений. Курск: Курский государственный университет, 2021. С. 183-190.
16. Broda, Magdalena and Mazela, Bart. Application of methyltrimethoxysilane to increase dimensional stability of waterlogged wood. Journal of Cultural Heritage. 2017. No. 25. Pp. 149-156. doi:10.1016/j.culher.2017.01.007.
17. Сергеев М.С., Лукина А.В., Грибанов А.С., Стрекалкин А.А. Развитие исследования деревокомпозитных балок с симметричным армированием // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. №7. С. 46-49.
18. Britch M. and Gorbachov N. and Koznacheev Ivan and Makarenko D. Elastic tensions in a wood material subjected to thermo-mechanical treatment by pressure drop. Thermal Science and Engineering Progress. 2019. No. 16. P. 100457. doi:10.1016/j.tsep.2019.100457.
19. Патент № 2697564 С1 Российская Федерация, МПК C08L 63/02, C08K 5/17, C08K 5/10. Компонентный состав полимерной композиции для восстановления деструктивных участков элементов деревянных конструкций : № 2018124141 : заявл. 02.07.2018 : опубл. 15.08.2019 / С.И. Рощина, Е.А. Смирнов, М.В. Лукин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых" (ВлГУ).



20. Патент № 2713115 С1 Российская Федерация, МПК В27К 3/08. Способ локальной модификации древесины в строительных конструкциях: № 2018139477 : заявл. 07.11.2018 : опубл. 03.02.2020 / С. И. Рощина, А.С. Грибанова, М.С. Лисятников [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых" (ВлГУ).
21. Lukina A., Roshchina S., Lisyatnikov M. [et al.]. Technology for the Restoration of Wooden Beams by Surface Repair and Local Modification. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. Vol. 403. Pp. 1371-1379. doi:10.1007/978-3-030-96383-5\_153.
22. Болтовский В.С., Остроух О.В., Кардаш Ю.Н. Термохимическое модифицирование древесины диановой смолой // *Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук*. 2018. Т. 54. №1. С. 103-108.
23. Lukina A., Roshchina S., Griбанov A. Method for Restoring Destructed Wooden Structures with Polymer Composites. *Proceedings of ECE 2020 : Energy, Environmental and Construction Engineering*. St. Petersburg, Russia. 2020. Pp. 476-474. doi:10.1007/978-3-030-72404-7\_45.
24. Qiu H. and Han Y. and Fan D. and Li G. and Chu F. Progress in Chemical Modification of Fast-Growing Wood. *Caillao Daobao/Materials Review*. 2018. No. 32. Pp. 2701-2708. doi:10.11896/j.issn.1005-023X.2018.15.023.
25. Griбанov A., Glebova T., Roschina S. Restoration of Destructive Wood in Supporting Zones of Wooden Beams. *Proceedings of ECE 2019: Energy, Environmental and Construction Engineering*. St. Petersburg, Russia, 2019. Pp. 157-166. doi:10.1007/978-3-030-42351-3\_14.
26. Sandberg Dick and Kutnar Andreja and Mantanis George. Wood modification technologies - A review. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. 2017. No. 10. Pp. 895-908. doi:10.1007/s11355-017-0110-0.
27. Griбанov A.S., Roshchina S.I., Naichuk A.Y., Melekhov V.I. Wooden beams with local wood modification. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vladimir, 2020. 012067 p. doi:10.1088/1757-899X/896/1/012067.
28. Miklečić Josip and Turkulin H. and Jirous-Rajkovic, Vlatka. Weathering performance of surface of thermally modified wood finished with nanoparticles-modified waterborne polyacrylate coatings. *Applied Surface Science*. 2017. No. 408. doi:10.1016/j.apsusc.2017.03.011.
29. Łukawski, Damian and Lekawa-Raus, Agnieszka and Lisiecki, Filip and Koziol, Krzysztof and Dudkowiak, Alina. Towards the development of superhydrophobic carbon nanomaterial coatings on wood. *Progress in Organic Coatings*. 2018. No. 125. Pp. 23-31. doi:10.1016/j.porgcoat.2018.08.025.
30. Papadopoulos Antonios and Bikiaris Dimitrios and Mitropoulos Athanasios and Kyzas George. Elastic tensions in a wood material subjected to thermo-mechanical treatment by pressure drop. *Nanomaterials*. 2019. No. 9. P.607. doi:10.3390/nano9040607.
31. Teng Teck Jin and Mat Arip, Mohamad Nasir and Sudesh, Kumar and Nemoikina, Anna and Jalaludin, Zaihan and Ng, Eng-Poh and Lee, Hooi-Ling. Conventional Technology and Nanotechnology in Wood Preservation: A Review. *Bioresources*. 2018. No. 13. Pp. 9220-9252. doi:10.15376/biores.13.4.Teng.
32. Muhammad, Adamu and Rahman, Md and Hamdan, Sinin and Bakri, Muhammad Khusairy and Md Yusof, Fahmi Asyadi. Impact of Polyvinyl Alcohol/Acrylonitrile on Bamboo Nanocomposite and Optimization of Mechanical Performance by Response Surface Methodology. *Construction and Building Materials*. 2020. No. 258. P. 119693. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.119693.
33. Chen, Fengjuan and Gong, Amy and Zhu, Mingwei and Chen, Guang and Lacey, Steven and Jiang, Feng and Li, Yongfeng and Wang, Yanbin and Dai, Jiaqi and Yao, Yonggang and Song, Jianwei and Liu, Boyang and Fu, Kun and Das, Siddhartha and Hu, Liangbing. Mesoporous. Three-Dimensional Wood Membrane Decorated with Nanoparticles for Highly Efficient Water Treatment. *ACS nano*. 2017. No. 11. doi:10.1021/acsnano.7b01350.
34. Gao, Chang and Huang, Liang and Yan, Libo and Jin, Ruoyu and Chen, Haoze. Mechanical properties of recycled aggregate concrete modified by nano-particles. *Construction and Building Materials*. 2020. No. 241. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118030.
35. Esmailpour, Ayoub and Majidi, Roya and Taghiyari, Hamid Reza and Ganjkhani, Mehdi and Mohseni, Seyed Majid and Papadopoulos, Antonios. Improving Fire Retardancy of Beech Wood by Graphene. *Polymer*. 2020. No. 12. P. 303. doi:10.3390/polym12020303.
36. Kolya, Haradhan and Kang, Chunwon. Polyvinyl acetate/reduced graphene oxide-poly (diallyl dimethylammonium chloride) composite coated wood surface reveals improved hydrophobicity. *Progress in Organic Coatings*. 2021. No. 156. P. 106253. doi:10.1016/j.porgcoat.2021.106253.
37. Papageorgiou, Dimitrios and Kinloch, Ian and Young, Robert. Mechanical Properties of Graphene and Graphene-based Nanocomposites. *Progress in Materials Science*. 2017. No. 90. doi:10.1016/j.pmatsci.2017.07.004.
38. Iqbal, Akm and Sakib, Nazmus and Iqbal, A.K.M. and Nuruzzaman, Dewan. Graphene-based nanocomposites and their fabrication, mechanical properties and applications. *Materialia*. 2020. No. 12. P. 100815. doi:10.1016/j.mtla.2020.100815.

## REFERENCES

1. Bukauskas, Aurimas and Mayencourt, Paul and Shepherd, Paul and Sharma, Bhavna and Mueller, Caitlin and Walker, Pete and Bregulla, Julie. Whole Timber Construction: A State of the Art Review. *Construction and Building Materials*. 2019. No. 213. Pp. 748-769. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.03.043.
2. Chaoji, Chen and Kuang, Yudi and Zhu, Shuze and Burgert, Ingo and Keplinger, Tobias and Gong, Amy and Li, Teng and Berglund, Lars and Eichhorn, Stephen and Hu, Liangbing. Structure–property–function relationships of natural and engineered wood. *Nature Reviews Materials*. 2020. No. 5. Pp. 1-25. doi:10.1038/s41578-020-0195-z.
3. Donaldson, Lloyd. Wood cell wall ultrastructure The key to understanding wood properties and behaviour. *IAWA Journal*. 2019. No. 40. Pp. 645-672. doi:10.1163/22941932-40190258.
4. Walsh-Korb, Zarah and Avérous, Luc. Recent developments in the conservation of materials properties of historical wood. *Progress in Materials Science*. 2018. No. 102. doi:10.1016/j.pmatsci.2018.12.001.
5. Roshchina S., Lukin M., Lisiatnikov M.. Compressed-Bent Reinforced Wooden Elements with Long-Term Load. *Proceedings of EECE 2019 : Energy, Environmental and Construction Engineering*. St. Petersburg, Russia, 2019. Pp. 81-91. doi:10.1007/978-3-030-42351-3\_7.
6. Lukina A.V. Sovershenstvovanie tehnologii vosstanovlenija destruktirovannoj drevesiny v jelementah derevjannyh konstrukcij [Improving the technology of restoration of destructed wood in the elements of wooden structures] : specialty 05.21.05 "Wood science, technology and equipment of wood processing" : abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Lukina Anastasia Vasilievna. Arkhangelsk, 2014. 22 p. (rus).
7. Tanasa, Fulga and Teacă, Carmen-Alice and Zănoagă, Mădălina. Protective coatings for wood. 2021. doi:10.1016/b978-0-444-63237-1.00006-1.
8. Lisiatnikov M.S., Roshchina S.I., Chukhlanov V.Y., Ivaniuk A.M. Repair compositions based on methyl methacrylate modified with polyphenylsiloxane resin for concrete and reinforced concrete structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vladimir, 2020. 012113 p. doi:10.1088/1757-899X/896/1/012113.
9. Lukin M., Prusov E., Roshchina S. [et al.]. Multi-Span composite timber beams with rational steel reinforcements. *Buildings*. 2021. Vol. 11. No. 2. Pp. 1-12. doi:10.3390/buildings11020046.
10. Friedrich, Daniel. Thermoplastic moulding of Wood-Polymer Composites (WPC): A review on physical and mechanical behaviour under hot-pressing technique. *Composite Structures*. 2021. No. 262. P. 113649. doi:10.1016/j.compstruct.2021.113649.
11. Lee, Seng Hua and Ashaari, Zaidon and Lum, Wei and Ang, Aik and Juliana, A.H. and PENG, TAN and Chin, Kit Ling and M. Tahir, Paridah. Thermal treatment of wood using vegetable oils: A review. *Construction and Building Materials*. 2018. No. 181. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.06.058.
12. Roshchina S., Gribanov A., Lukin M. [et al.]. Investigation of the Stress–Strain State of Wooden Beams with Rational Reinforcement with Composite Materials. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022. Vol. 182. Pp. 475-483. doi:10.1007/978-3-030-85236-8\_42.
13. Wang, Xianju and Tu, Dengyun and Chen, Chuanfu and Zhou, Qiaofang and Huang, Huixian and Zheng, Zehao and Zhu, Zhipeng. A thermal modification technique combining bulk densification and heat treatment for poplar wood with low moisture content. *Construction and Building Materials*. 2021. No. 291. P. 123395. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.123395.
14. Lukin M., Sergeev M., Lisiatnikov M.. Compressed-Bent Reinforced Wooden Elements with Long-Term Load. *Proceedings of EECE 2020 : Energy, Environmental and Construction Engineering*. St. Petersburg, Russia, 2020. Pp. 115-123. doi:10.1007/978-3-030-72404-7\_12.
15. Lukina A.V., Sergeev M.S.. Issledovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija kompozitnyh derevjannyh balok [Study of the stress-strain state of composite wooden beams] Bezopasnost' stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i reshenija : materialy Mezhdunarodnyh akademicheskikh chtenij [Security of the building stock in Russia. Problems and Solutions: Proceedings of the International Academic Readings]. Kursk: Kursk State University, 2021. Pp. 183-190.
16. Broda, Magdalena and Mazela, Bart. Application of methyltrimethoxysilane to increase dimensional stability of waterlogged wood. *Journal of Cultural Heritage*. 2017. No. 25. Pp. 149-156. doi:10.1016/j.culher.2017.01.007.
17. Sergeev M.S., Lukina A.V., Gribanov A.S., Strekalkin A.A.. Razvitie issledovanija derevokompozitnyh balok s simmetrichnym armirovaniem [Development of the study of wood-composite beams with symmetrical reinforcement]. *Bulletin of the Belgorod State Technological University*. V.G. Shukhov. 2018. No. 7. Pp. 46-49. (rus).
18. Britch M. and Gorbachov, N. and Koznacheev, Ivan and Makarenko, D. Elastic tensions in a wood material subjected to thermo-mechanical treatment by pressure drop. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2019. No. 16. P. 100457. doi:10.1016/j.tsep.2019.100457.
19. Patent No. 2697564 C1 Russian Federation, IPC C08L 63/02, C08K 5/17, C08K 5/10. Komponentnyj sostav polimernoj kompozicii dlja vosstanovlenija destruktivnyh uchastkov jelementov derevjannyh konstrukcij [Component composition of the polymer composition for the restoration of destructive areas of elements of wooden

structures] : No. 2018124141 : Appl. 07/02/2018 : publ. 08.15.2019 / S. I. Roshchina, E. A. Smirnov, M. V. Lukin [and others]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov" (VISU). (rus).

20. Patent No. 2713115 C1 Russian Federation, IPC B27K 3/08. Sposob lokal'noj modifikacii drevesiny v stroitel'nyh konstrukcijah [The method of local modification of wood in building structures] : No. 2018139477 : Appl. 11/07/2018 : publ. 02/03/2020 / S. I. Roshchina, A. S. Griбанова, M. S. Lisyatnikov [and others]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov" (VISU). (rus).

21. Lukina A., Roshchina S., Lisyatnikov M. [et al.]. Technology for the Restoration of Wooden Beams by Surface Repair and Local Modification. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Vol. 403. Pp. 1371-1379. doi:10.1007/978-3-030-96383-5\_153.

22. Boltovskiy V.S., Ostroukh O.V., Kardash Yu.N. Termohimicheskoe modifizirovanie drevesiny dianovoj smoloy [Thermochemical modification of wood with dianova resin]. The weight. National acad. Sciences of Belarus. Ser. chem. navuk. 2018. Vol. 54, No. 1. Pp. 103-108 (rus).

23. Lukina A., Roshchina S., Griбанов A. Method for Restoring Destructed Wooden Structures with Polymer Composites. Proceedings of EECE 2020 : Energy, Environmental and Construction Engineering. St. Petersburg, Russia, 2020. Pp. 476-474. doi:10.1007/978-3-030-72404-7\_45.

24. Qiu H. and Han, Y. and Fan, D. and Li, G. and Chu, F. Progress in Chemical Modification of Fast-Growing Wood. Cailiao Daobao/Materials Review. 2018. No. 32. Pp. 2701-2708. doi:10.11896/j.issn.1005-023X.2018.15.023.

25. Griбанов A., Glebova T., Roschina S. Restoration of Destructive Wood in Supporting Zones of Wooden Beams. Proceedings of EECE 2019 : Energy, Environmental and Construction Engineering. St. Petersburg, Russia, 2019. Pp. 157-166. doi:10.1007/978-3-030-42351-3\_14.

26. Sandberg, Dick and Kutnar, Andreja and Mantanis, George. Wood modification technologies - A review. iForest - Biogeosciences and Forestry. 2017. No. 10. Pp. 895-908. doi:10.895-908. 10.3832/ifer2380-010.

27. Griбанов A.S., Roshchina S.I., Naichuk A.Y., Melekhov V.I. Wooden beams with local wood modification. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vladimir, 2020. 012067 p. doi:10.1088/1757-899X/896/1/012067.

28. Miklečić, Josip and Turkulin, H. and Jirous-Rajkovic, Vlatka. Weathering performance of surface of thermally modified wood finished with nanoparticles-modified waterborne polyacrylate coatings. Applied Surface Science. 2017. No. 408. doi:10.1016/j.apsusc.2017.03.011.

29. Łukawski, Damian and Lekawa-Raus, Agnieszka and Lisiecki, Filip and Koziol, Krzysztof and Dudkowiak, Alina. Towards the development of superhydrophobic carbon nanomaterial coatings on wood. Progress in Organic Coatings. 2018. No. 125. Pp. 23-31. doi:10.1016/j.porgcoat.2018.08.025.

30. Papadopoulos, Antonios and Bikiaris, Dimitrios and Mitropoulos, Athanasios and Kyzas, George. Elastic tensions in a wood material subjected to thermo-mechanical treatment by pressure drop. Nanomaterials. 2019. No. 9. P. 607. doi:10.3390/nano9040607.

31. Teng, Teck Jin and Mat Arip, Mohamad Nasir and Sudesh, Kumar and Nemoikina, Anna and Jalaludin, Zaihan and Ng, Eng-Poh and Lee, Hooi-Ling. Conventional Technology and Nanotechnology in Wood Preservation: A Review. Bioresources. 2018. No. 13. Pp. 9220-9252. doi:10.15376/biores.13.4.Teng.

32. Muhammad, Adamu and Rahman, Md and Hamdan, Sinin and Bakri, Muhammad Khusairy and Md Yusof, Fahmi Asyadi. Impact of Polyvinyl Alcohol/Acrylonitrile on Bamboo Nanocomposite and Optimization of Mechanical Performance by Response Surface Methodology. Construction and Building Materials. 2020. No. 258. P. 119693. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.119693.

33. Chen, Fengjuan and Gong, Amy and Zhu, Mingwei and Chen, Guang and Lacey, Steven and Jiang, Feng and Li, Yongfeng and Wang, Yanbin and Dai, Jiaqi and Yao, Yonggang and Song, Jianwei and Liu, Boyang and Fu, Kun and Das, Siddhartha and Hu, Liangbing. Mesoporous. Three-Dimensional Wood Membrane Decorated with Nanoparticles for Highly Efficient Water Treatment. ACS nano. 2017. No. 11. doi:10.1021/acsnano.7b01350.

34. Gao, Chang and Huang, Liang and Yan, Libo and Jin, Ruoyu and Chen, Haoze. Mechanical properties of recycled aggregate concrete modified by nano-particles. Construction and Building Materials. 2020. No. 241. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118030.

35. Esmailpour, Ayoub and Majidi, Roya and Taghiyari, Hamid Reza and Ganjkhani, Mehdi and Mohseni, Seyed Majid and Papadopoulos, Antonios. Improving Fire Retardancy of Beech Wood by Graphene. Polymer. 2020. No. 12. P. 303. doi:10.3390/polym12020303.

36. Kolya, Haradhan and Kang, Chunwon. Polyvinyl acetate/reduced graphene oxide-poly (diallyl dimethylammonium chloride) composite coated wood surface reveals improved hydrophobicity. Progress in Organic Coatings. 2021. No. 156. P. 106253. doi:10.1016/j.porgcoat.2021.106253.

37. Papageorgiou, Dimitrios and Kinloch, Ian and Young, Robert. Mechanical Properties of Graphene and Graphene-based Nanocomposites. Progress in Materials Science. 2017. No. 90. doi:10.1016/j.pmatsci.2017.07.004.

38. Iqbal, Akm and Sakib, Nazmus and Iqbal, A.K.M. and Nuruzzaman, Dewan. Graphene-based nanocomposites and their fabrication, mechanical properties and applications. Materialia. 2020. No. 12. P. 100815. doi:10.1016/j.mtla.2020.100815.

**Информация об авторах:**

**Лисятников Михаил Сергеевич**

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия  
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций.  
E-mail: [mlisyatnikov@mail.ru](mailto:mlisyatnikov@mail.ru)

**Лукин Михаил Владимирович**

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия  
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций.  
E-mail: [mikhail\\_lukin\\_22@mail.ru](mailto:mikhail_lukin_22@mail.ru)

**Чибрикин Данила Александрович**

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия  
ассистент кафедры строительных конструкций.  
E-mail: [mikhail\\_lukin\\_22@mail.ru](mailto:mikhail_lukin_22@mail.ru)

**Рощина Светлана Ивановна**

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций.  
E-mail: [rsi3@mail.ru](mailto:rsi3@mail.ru)

**Information about authors:**

**Lisyatnikov Mikhail S.**

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia,  
candidate of technical science, docent, associated professor of the department of building construction.  
E-mail: [mlisyatnikov@mail.ru](mailto:mlisyatnikov@mail.ru)

**Lukin Mikhail V.**

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia,  
candidate of technical science, docent, associated professor of the department of building construction.  
E-mail: [mikhail\\_lukin\\_22@mail.ru](mailto:mikhail_lukin_22@mail.ru)

**Chibrikin Danila A.**

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia,  
assistant of the department of building construction.  
E-mail: [dachibrikin@outlook.com](mailto:dachibrikin@outlook.com)

**Roshchina Svetlana I.**

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia,  
doctor of technical sciences, professor, head of the department of building structures.  
E-mail: [rsi3@mail.ru](mailto:rsi3@mail.ru)

В.А. СМІРНОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт строительной физики (НИИСФ РААСН), г. Москва, Россия  
<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Научно-исследовательский Московский государственный строительный университет»  
(НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

*Аннотация.* В работе изучаются методы получения динамических характеристик (динамический модуль упругости, коэффициент потерь) конструкционных материалов, таких как бетоны и цементные растворы, по результатам экспериментального модального анализа. Представлены замкнутые выражения для определения коэффициента потерь механических колебаний, полученные из решения дифференциальных уравнений колебаний одномассовых систем, к которым приводят колебания протяжённых конструкций по первым формам. Представлена процедура проведения модального анализа коротких балок, изготовленных из тестовых образцов конструкционных материалов. Представлена процедура вычисления собственных частот первых формы колебаний балок. На основании решения уравнения представлена формула для определения коэффициентов демпфирования и динамического модуля упругости материала балки.

*Ключевые слова:* динамические испытания, модальный анализ, коэффициент потерь, модуль упругости, демпфирование.

V.A. SMIRNOV<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Building Physics (NIISF RAASN), Moscow, Russia  
<sup>2</sup>National Research Moscow University of Civil Engineering, Moscow, Russia

## DETERMINATION OF THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL MATERIALS BASED ON THE RESULTS OF MODEL TESTS

*Abstract.* The paper studies methods for obtaining dynamic characteristics (dynamic modulus of elasticity, loss coefficient) of structural materials, such as concretes and cement mortars, based on the results of experimental modal analysis. Closed expressions for determining the loss coefficient of mechanical vibrations are presented, obtained from solving differential equations of vibrations of single-mass systems, which are caused by vibrations of extended structures in the first forms. The procedure of modal analysis of short beams made of test samples of structural materials is presented. The procedure for calculating the natural frequencies of the first forms of vibration of beams is presented. Based on the solution of the equation, a formula is presented for determining the damping coefficients and the dynamic modulus of elasticity of the beam material.

*Keywords:* dynamic tests, modal analysis, loss coefficient, modulus of elasticity, damping.

© Смирнов В.А., 2022

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нашиф А., Джоунс Д., Хендерсон Дж. Демпфирование колебаний: Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 448 с.
2. Rossikhin Yu.A., Shitikova M.V. (2014b) Nonlinear dynamic response of a thin plate embedded in a fractional viscoelastic medium under combinational internal resonances // Appl Mech Mat. 2014b. Vol. 595. Pp. 105—110

3. Rossikhin Yu.A., Shitikova M.V. (1998) Application of fractional calculus for analysis of nonlinear damped vibrations of suspension bridges // *ASCE J Eng Mech.* 1998. Vol. 124. Pp. 1029-1036.
4. Невилль А.М. Свойства бетона. Сокращенный перевод с английского канд. техн. наук В.Д.Парфенова и Т.Ю. Якуб.. М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. 345 с.
5. Иноземцев А.С., Королев Е.В. Деформации высокопрочных легких бетонов на полых микросферах и способ их снижения // *Строительные материалы.* 2015. № 9. С. 23-30.
6. Иноземцев А.С., Королев Е.В. Сравнительный анализ влияния наномодифицирования и микродисперсного армирования на процесс и параметры разрушения высокопрочных лёгких бетонов // *Строительные материалы.* 2017. № 7. С. 11-15.
7. Døssing O. *Structural Testing 1 (Mechanical Mobility Measurements).* Brüel & Kjær, 1988.
8. Døssing O. *Structural Testing 2 (Modal Analysis and Simulation).* Brüel & Kjær, 1988.
9. Myklestad N.O. The concept of complex damping // *J. of Applied Mechanics.* 1952. 19(3). Pp. 284-286.
10. Lazan B.J. *Damping of Materials and Members in Structural Mechanics,* Pergamon Press, 1968.
11. Kohoutek R. Damping of concrete beams of different mix design // *Proceedings of Materials Week'92, 2–5 November, Conference at Hyatt Regency, Chicago, 1992.* Pp. 95-102.
12. Zaveri K., Olsen H.P. Measurement of elastic modulus and loss factor of asphalt, *Technical Review No.4. Bruel & Kjaer, 1972.* Pp. 3-15.
13. Kohoutek R. Analysis of beams and frames, Chapter 4 in *Analysis and Design of Foundations for Vibrations,* pp. 99-156; P. Moore, ed. CRC Press, 1985. 512 p.
14. Khemapat T., Jirawin S., Vatanavongs R., Vanchai S., Suchart L., Piti S. Effect of viscoelastic polymer on damping properties of precast concrete panel // *Heliyon.* 2021. Vol. 7. Issue 5. e06967. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06967>.
15. Lei B., Liu H., Yao Z., Tang Z. Experimental study on the compressive strength, damping and interfacial transition zone properties of modified recycled aggregate concrete // *R. Soc. open sci.* 2019. Vol. 6. Pp.190813. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.190813>
16. Velsor J.V., Premkumar L., Rose J.L. (2011). Measuring the Complex Modulus of Asphalt Concrete Using Ultrasonic Testing // *Journal of Engineering Science and Technology Review.* 2011. Vol. 4. <https://doi.org/10.25103/jestr.042.08>.

## REFERENCES

1. Nashif A., Jones D., Henderson J. *Vibration damping: Trans. from English.* Moscow: Mir, 1988. 448 p. (in Russian).
2. Rossikhin Yu.A., Shitikova M.V. (2014b) Nonlinear dynamic response of a thin plate embedded in a fractional viscoelastic medium under combinational internal resonances. *Appl Mech Mat.* 2014b. Vol. 595. Pp. 105-110.
3. Rossikhin Yu.A., Shitikova M.V. (1998) Application of fractional calculus for analysis of nonlinear damped vibrations of suspension bridges. *ASCE J Eng Mech.* 1998. Vol. 124. Pp. 1029-1036.
4. Neville A.M. *Properties of concrete.* Abridged translation from English by Candidate of Technical Sciences V.D. Parfenov and T.Y. Yakub. Moscow: Publishing house of literature on construction, 1972. 345 p. (in Russian).
5. Inozemtsev A.S., Korolev E.V. Deformations of high-strength lightweight concrete on hollow microspheres and a way to reduce them. *Construction materials.* 2015. No. 9. Pp. 23-30. (in Russian).
6. Inozemtsev A.S., Korolev E.V. Comparative analysis of the effect of nanomodification and microdisperse reinforcement on the process and parameters of destruction of high-strength lightweight concrete. *Construction materials.* 2017. No. 7. Pp. 11-15. (in Russian).
7. Døssing O. *Structural Testing 1 (Mechanical Mobility Measurements).* Brüel & Kjær, 1988.
8. Døssing O. *Structural Testing 2 (Modal Analysis and Simulation).* Brüel & Kjær, 1988.
9. Myklestad N.O. The concept of complex damping. *J. of Applied Mechanics.* 1952. 19(3). Pp. 284-286.
10. Lazan B.J. *Damping of Materials and Members in Structural Mechanics,* Pergamon Press, 1968.
11. Kohoutek R. Damping of concrete beams of different mix design. *Proceedings of Materials Week'92, 2–5 November, Conference at Hyatt Regency, Chicago, 1992.* Pp. 95-102.
12. Zaveri K., Olsen H.P. Measurement of elastic modulus and loss factor of asphalt, *Technical Review No.4. Bruel & Kjaer, 1972.* Pp. 3-15.
13. Kohoutek R. Analysis of beams and frames, Chapter 4 in *Analysis and Design of Foundations for Vibrations,* pp. 99-156; P. Moore, ed. CRC Press, 1985. 512 pp.
14. Khemapat T., Jirawin S., Vatanavongs R., Vanchai S., Suchart L., Piti S. Effect of viscoelastic polymer on damping properties of precast concrete panel. *Heliyon.* 2021. Volume 7. Issue 5. e06967. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06967>.

15. Lei B., Liu H., Yao Z., Tang Z. Experimental study on the compressive strength, damping and interfacial transition zone properties of modified recycled aggregate concrete. R. Soc. open sci. 2019. Vol. 6. Pp. 190813. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.190813>

16. Velsor J.V., Premkumar L., Rose J.L. (2011). Measuring the Complex Modulus of Asphalt Concrete Using Ultrasonic Testing. Journal of Engineering Science and Technology Review. 2011. Vol. 4. <https://doi.org/10.25103/jestr.042.08>.

### Информация об авторе:

#### **Смирнов Владимир Александрович**

Научно-исследовательский институт строительной физики (НИИСФ РААСН), г. Москва, Россия, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории защиты зданий от вибрации и структурного звука НИИСФ РААСН;

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

заведующий лабораторией динамики сооружений НИИ ЭМ НИУ МГСУ.

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

### Information about author:

#### **Smirnov Vladimir A.**

Research Institute of Building Physics (NIISF RAASN), Moscow, Russia, candidate of technical sciences, leading researcher of the laboratory of protection of buildings from vibration and structural sound of NIISF RAASN,

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

head of the laboratory of dynamics of structures of the research institute of EM NRU MGSU.

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

А.А. СОЛОВЬЕВА<sup>1</sup>, С.А. СОЛОВЬЕВ<sup>1</sup>, Н.П. УМНЯКОВА<sup>2</sup>, А.А. КОЧКИН<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда, Россия

<sup>2</sup>ФГБУ «НИИСФ РААСН», г. Москва, Россия

## ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СТАЛЬНЫХ ФЕРМ ПО КРИТЕРИЮ ПРОГИБА НА ОСНОВЕ Р-БЛОКОВ

*Аннотация.* В исследовании разработаны алгоритмы вероятностной оценки надежности стальных ферм по критерию прогиба с использованием р-блоков как моделей случайных величин. Р-блоки представляют собой область, сформированную граничными функциями распределения вероятностей, внутри которой находится действительная функция распределения вероятностей случайной величины. На основе представленных подходов можно выполнить расчет фермы на заданный индекс надежности или вероятность безотказной работы. Р-блоки в роли моделей случайных величин позволяют эффективно учитывать алеаторную и эпистемологическую неопределенности одновременно. Особую актуальность такие модели представляют для снеговой нагрузки как одного из главных факторов, влияющих на напряженно-деформированное состояние ферм. Информация об уровне надежности стальной фермы по критерию прогиба необходима для комплексной оценки надежности фермы. Также предложен подход к оценке надежности эксплуатируемых ферм по критерию прогиба, где предельный прогиб ограничивается условием потери устойчивости выбранного стержня фермы.

*Ключевые слова:* надежность, вероятностное проектирование, безопасность, ферма, р-блок, индекс надежности, прогиб.

A.A. SOLOVEVA<sup>1</sup>, S.A. SOLOVEV<sup>1</sup>, N.P. UMNYAKOVA<sup>2</sup>, A.A. KOCHKIN<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Research institute of construction physics RAASN (NIISF RAASN), Moscow, Russia

## STRUCTURAL RELIABILITY ANALYSIS OF STEEL TRUSSES BY DEFLECTION BASED ON P-BOXES

*Abstract.* The article describes algorithms for probabilistic evaluation of steel trusses' reliability by the deflection criterion using p-boxes as models of random variables. The p-boxes are an area formed by the boundary cumulative distribution functions (CDFs). There is a real probability distribution function of a random variable inside the p-box area. Based on the presented approaches, it is possible to design trusses on a given reliability index or probability of non-failure. P-boxes as random variable models take into account aleatory and epistemological uncertainties at the same time. Such models are relevance for snow loads as one of the main factors affecting the stress-strain state of trusses. Information about the reliability level of steel trusses according to the deflection criterion is necessary for a system assessment of the reliability of a truss. An approach of structural reliability analysis is also proposed for existing trusses, where the ultimate deflection is limited by the condition of buckling of the selected truss bar.

*Keywords:* reliability, probabilistic design, safety, truss, p-box, reliability index, deflection.

© Соловьева А.А., Соловьев С.А., Умнякова Н.П., Кочкин А.А., 2022



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мкртычев О.В., Райзер В.Д. Теория надежности в проектировании строительных конструкций. М: Издательство АСВ, 2016. 908 с.
2. Faes M.G., Daub M., Marelli S., Patelli E., Beer M. Engineering analysis with probability boxes: a review on computational methods // *Structural Safety*. 2021. Vol. 93. Pp. 102092.
3. Dar M.A., Subramanian N., Dar A.R., Raju J. Rehabilitation of a distressed steel roof truss – A study // *Structural Engineering and Mechanics*. 2017. Vol. 62. No. 5. Pp. 567-576.
4. Туманов В.А., Абрашитов В.С., Туманов А.В., Абрашитов Н.В. Натурные испытания подстропильной стальной фермы пролетом 12 м // *Региональная архитектура и строительство*. 2013. № 3. С. 82-85.
5. Farkas J., Jarmai K. *Optimum Design of Steel Structures*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. 265 p.
6. Соловьева А.А., Соловьев С.А. Метод оценки надежности элементов плоских ферм на основе р-блоков // *Вестник МГСУ*. 2021. Т. 16. №. 2. С. 153-167.
7. Шпете Г. Надежность несущих строительных конструкций. Пер. с нем. О.О. Андреева. М.: Стройиздат, 1994. 288 с.
8. Motra H.B., Hildebrand J., Dimmig-Osburg A. Assessment of strain measurement techniques to characterise mechanical properties of structural steel // *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2014. Vol. 17. No. 4. Pp. 260-269.
9. Hance B.M. Practical application of the hole expansion test // *SAE International Journal of Engines*. 2017. Vol. 10. No. 2. Pp. 247-257.
10. Huang X., Li Y., Zhang Y., Zhang X. A new direct second-order reliability analysis method // *Applied Mathematical Modelling*, 2018. Vol. 55. Pp. 68-80.
11. Grandhi R.V., Wang L. Reliability-based structural optimization using improved two-point adaptive nonlinear approximations // *Finite Elements in Analysis and Design*. 1998. Vol. 29. No. 1. Pp. 35-48.
12. Schöbi R., Sudret B. Structural reliability analysis for p-boxes using multi-level meta-models // *Probabilistic Engineering Mechanics*. 2017. Vol. 48. Pp. 27-38.
13. Zhang H., Mullen R.L., Muhanna R.L. Structural analysis with probability-boxes // *International Journal of Reliability and Safety*. 2012. Vol. 6. No. 1-3. Pp. 110-129.
14. Лебедева И.В. История развития отечественных норм снеговых нагрузок // *Вестник НИЦ Строительство*. 2017. №. 3. С. 144-154.
15. Hong H.P., Ye W. Analysis of extreme ground snow loads for Canada using snow depth records // *Natural hazards*. 2014. Vol. 73. No. 2. Pp. 355-371.
16. Соловьев С.А. Моделирование случайной статической нагрузки на покрытия сооружений при неполной статистической информации // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2020. Т. 16. №. 4. С. 243-249.
17. Соловьева А.А., Соловьев С.А. Расчет надежности элементов стальных ферм по критерию устойчивости с использованием р-блоков // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2021. №. 1. С. 45-53.
18. Keshtegar B., Meng Z. A hybrid relaxed first-order reliability method for efficient structural reliability analysis // *Structural Safety*. 2017. Vol. 66. Pp. 84-93.
19. Zhao Y.G., Ono T. Moment methods for structural reliability // *Structural safety*. 2001. Vol. 23. No. 1. Pp. 47-75.
20. XXV International Scientific conference on Advance in Civil Engineering “Construction the formation of living environment” (FORM-2022) [Электронный ресурс]. URL: <https://mgsu-conference.org/form-2022> (дата обращения: 01.06.2022)

REFERENCES

1. Mkrtychev O.V., Rajzer V.D. *Teoriya nadezhnosti v proektirovanii stroitel'nyh konstrukcij* [Reliability theory in structural design]. Moscow: ASV Publishing, 2016. 908 p. (rus)

2. Faes M.G., Daub M., Marelli S., Patelli E., Beer M. Engineering analysis with probability boxes: a review on computational methods. *Structural Safety*. 2021. Vol. 93. Pp. 102092.
3. Dar M.A., Subramanian N., Dar A.R., Raju J. Rehabilitation of a distressed steel roof truss – A study. *Structural Engineering and Mechanics*. 2017. Vol. 62. No. 5. Pp. 567-576.
4. Tumanov V.A., Abrashitov V.S., Tumanov A.V., Abrashitov N.V. Naturnye ispytaniya podstropil'noj stal'noj fermy proletom 12 m [Natural tests of notbearing steel farm with 12 m flight]. *Regional architecture and engineering*. 2013. No.3. Pp. 82-85. (rus)
5. Farkas J., Jarmai K. Optimum Design of Steel Structures. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. 265 p.
6. Soloveva A.A., Solovev S.A. Reliability analysis of planar steel trusses based on p-box models. *Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2021. Vol.16(2). Pp. 153-167. (rus)
7. Shpete G. Nadezhnost' nesushchih stroitel'nyh konstrukcij [Reliability of load-bearing structures]. Moscow: Strojizdat, 1994. 288 p. (rus)
8. Motra H.B., Hildebrand J., Dimmig-Osburg A. Assessment of strain measurement techniques to characterise mechanical properties of structural steel. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2014. Vol. 17. No. 4. Pp. 260-269.
9. Hance B.M. Practical application of the hole expansion test. *SAE International Journal of Engines*. 2017. Vol. 10. No. 2. Pp. 247-257.
10. Huang X., Li Y., Zhang Y., Zhang X. A new direct second-order reliability analysis method. *Applied Mathematical Modelling*, 2018. Vol. 55. Pp. 68-80.
11. Grandhi R.V., Wang L. Reliability-based structural optimization using improved two-point adaptive nonlinear approximations. *Finite Elements in Analysis and Design*. 1998. Vol. 29. No. 1. Pp. 35-48.
12. Schöbi R., Sudret B. Structural reliability analysis for p-boxes using multi-level meta-models. *Probabilistic Engineering Mechanics*. 2017. Vol. 48. Pp. 27-38.
13. Zhang H., Mullen R. L., Muhanna R. L. Structural analysis with probability-boxes. *International Journal of Reliability and Safety*. 2012. Vol. 6. No. 1-3. Pp. 110-129.
14. Lebedeva I.V. Istoriya razvitiya otechestvennyh norm snegovyh nagruzok [History of the development of national snow-loads standards]. *Vestnik NIC Stroitelstvo*. 2017. No. 3. Pp. 144-154. (rus)
15. Hong H. P., Ye W. Analysis of extreme ground snow loads for Canada using snow depth records. *Natural hazards*. 2014. Vol. 73. No. 2. Pp. 355-371.
16. Solov'ev S.A. Modelirovanie sluchajnoj staticheskoy nagruzki na pokrytiya sooruzhenij pri nepolnoj statisticheskoy informacii [Modeling of random static loads on a structural cover with limited statistical data]. *Structural mechanics of engineering constructions and buildings*. 2020. Vol. 16. No. 4. Pp. 243-249. (rus)
17. Solov'eva A.A., Solov'ev S.A. Structural reliability analysis of steel truss elements on buckling using p-box approach [Raschet nadezhnosti elementov stal'nyh ferm po kriteriyu ustojchivosti s ispol'zovaniem p-blokov]. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2021. No. 1. Pp. 45-53. (rus)
18. Keshtegar B., Meng Z. A hybrid relaxed first-order reliability method for efficient structural reliability analysis. *Structural Safety*. 2017. Vol. 66. Pp. 84-93.
19. Zhao Y.G., Ono T. Moment methods for structural reliability. *Structural safety*. 2001. Vol. 23. No. 1. Pp.47-75.
20. XXV International Scientific conference on Advance in Civil Engineering “Construction the formation of living environment” (FORM-2022) [Online]. URL: <https://mgsu-conference.org/form-2022> (date of application: 01.06.2022)

#### **Информация об авторах:**

**Соловьева Анастасия Андреевна**

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» (ВоГУ), г. Вологда, Россия,

аспирант, преподаватель кафедры промышленного и гражданского строительства.

E-mail: [solovevaa@vogu35.ru](mailto:solovevaa@vogu35.ru)

**Соловьев Сергей Александрович**

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» (ВоГУ), г. Вологда, Россия,  
кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства.

E-mail: [solovevsa@vogu35.ru](mailto:solovevsa@vogu35.ru)

**Умнякова Нина Павловна**

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН», г. Москва, Россия,  
доктор технических наук, доцент, зам. директора по научной работе.

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

**Кочкин Александр Александрович**

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» (ВоГУ), г. Вологда, Россия,  
доктор технических наук, зав. кафедрой промышленного и гражданского строительства.

E-mail: [kochkinaa@vogu35.ru](mailto:kochkinaa@vogu35.ru)

### Information about the authors:

**Solovyeva Anastasia An.**

Vologda State University, Vologda, Russia,  
lecturer, post-graduate student the industrial and civil construction department.

E-mail: [solovevsa@vogu35.ru](mailto:solovevsa@vogu35.ru)

**Solovyev Sergey Al.**

Vologda State University, Vologda, Russia,  
candidate of technical sciences, associate professor of the industrial and civil construction department.

E-mail: [solovevsa@vogu35.ru](mailto:solovevsa@vogu35.ru)

**Umnyakova Nina P.**

Research institute of construction physics RAASN (NIISF RAASN), Moscow, Russia,  
doctor of technical sciences, vice-director for scientific work.

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

**Kochkin Alexander Al.**

Vologda State University, Vologda, Russia,  
doctor of technical sciences, head of the industrial and civil construction department.

E-mail: [kochkinaa@vogu35.ru](mailto:kochkinaa@vogu35.ru)

S.V. FEDOSOV<sup>1</sup>, V.N. FEDOSEEV<sup>2</sup>, P.B. RAZGOVOROV<sup>3</sup>, S.A. LOGINOVA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>NRU «Moscow State University of Civil Engineering», Moscow, Russia

<sup>2</sup>Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

<sup>3</sup>Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

## PREDICTING THE DURABILITY OF CONCRETE STRUCTURES WITH REGARD TO MASS TRANSFER AND PORE COLMATATIONS DURING CORROSION

**Abstract.** *The object of research is the corrosion process of destruction of concrete and reinforced concrete structures in aggressive media. The purpose of the investigation is to establish a set of relationships and ratio between the characteristics of this process and various external and internal factors that affect the growth of corrosion. To solve the tasks set on the basis of the obtained experimental data, the method of mathematical modeling of corrosion processes was applied. The theories of physical and chemical transformations and heat and mass transfer laws suggest that different stages of corrosion can be simulated by differential equations of interrelated heat and mass transfer with boundary conditions. They are defined by arbitrary functions of initial transfer potentials and nonlinear boundary conditions of all known types. The possibilities of developed physical and mathematical models of mass transfer in the processes of studying corrosion of various types are demonstrated. They allow to evaluate the concentration of the transported component throughout the thickness of the concrete structure and in the biofilm itself at any time, as well as the concentration of "free" calcium hydroxide in the liquid phase. As a result, it is succeeded to predict the durability and reliability of concrete structures with a minimum error. The proposed author's model of the destruction of cement concretes, taking into account the colmatation of pores and capillaries, ensures the adequacy of judgments about the kinetics of mass transfer processes during corrosion of the II type.*

**Keywords:** *corrosion, mathematical model, porous and non-porous materials, colmatation.*

С.В. ФЕДОСОВ<sup>1</sup>, В.Н. ФЕДОСЕЕВ<sup>2</sup>, П.Б. РАЗГОВОРОВ<sup>3</sup>, С.А. ЛОГИНОВА<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НИУ «Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», г. Иваново, Россия

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», г. Ярославль, Россия

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ МАССОПЕРЕНОСА И КОЛЬМАТАЦИИ ПОР ПРИ КОРРОЗИИ

**Аннотация.** *Объектом исследования является коррозионный процесс разрушения бетонных и железобетонных конструкций в агрессивных средах. Цель исследования – установление совокупности соотношений и взаимосвязи характеристик указанного процесса с различными внешними и внутренними факторами, влияющими на развитие коррозии. Для решения поставленных задач на основании полученных экспериментальных данных применялся метод математического моделирования коррозионных процессов. С позиции теорий физико-химических превращений и теплообменных закономерностей, различные стадии коррозии могут моделироваться дифференциальными уравнениями взаимосвязанного теплообмена с крайними условиями. Их характеризуют произвольные функции начальных потенциалов переноса и нелинейные граничные условия всех известных типов. Продемонстрированы возможности разработанных физико-математических моделей*

© Федосов С.В., Федосеев В.Н., Разговоров П.Б., Логинова С.А., 2022

*массопереноса в процессах изучения коррозии различных видов. Они позволяют оценить концентрации переносимого компонента по толщине бетонной конструкции и в самой биопленке в любой момент времени, а также концентрации «свободного» гидроксида кальция в жидкой фазе. В результате удастся прогнозировать долговечность и надежность бетонных конструкций с минимальной погрешностью. Предлагаемая авторская модель разрушения цементных бетонов с учетом кольтматации пор и капилляров обеспечивает адекватность суждений о кинетике массообменных процессов при коррозии второго вида.*

**Ключевые слова:** *коррозия, математическая модель, пористые и непористые материалы, кольтматация.*

### REFERENCES

1. Kurdowski W. Cement and concrete chemistry. 97894007794572014.
2. Saraswathy V., Karthick S., Lee, H.S., Kwon S.J., Yang H.M. Comparative Study of Strength and Corrosion Resistant Properties of Plain and Blended Cement Concrete Types. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2017. doi:10.1155/2017/9454982.
3. Terenchuk S., Pashko A., Yeremenko B., Kartavykh S., Ershov N. Modeling an intelligent system for the estimation of technical state of construction structures. *Eastern-European Journal of EnterpriseTechnologies*. 2018. 3(2–93). doi:10.15587/1729-4061.2018.132587.
4. Wasim M., Duc Ngo T., Abid M. Investigation of long-term corrosion resistance of reinforced concrete structures constructed with various types of concretes in marine and various climate environments. *Construction and Building Materials*. 2020. 237. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.117701.
5. Fedosov S.V., Roumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Narmania B.E. Formulation of mathematical problem describing physical and chemical processes at concrete corrosion. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2017. 13(2). doi:10.22337/2587-9618-2017-13-2-45-49.
6. Gusev B.V., Faivusovich A.S. *Mathematical models of concrete corrosion process*. M.: 1996. 100 p.
7. Levandovskiy A.N., Melnikov B.E., Shamkin A.A. Modeling of porous material fracture. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. 69(1). doi:10.18720/MCE.69.1.
8. Travush V.I., Karpenko N.I., Erofeev V.T., Rodin A.I., Smirnov V.F., Rodina N.G. Development of Biocidal Cements for Buildings and Structures with Biologically Active Environments. *Power Technology and Engineering*. 2017. 51(4). doi:10.1007/s10749-017-0842-8.
9. Fedosov S.V., Loginova S.A. Mathematical model of concrete biological corrosion. *Magazine of Civil Engineering*. 2020. 99(7). doi:10.18720/MCE.99.6.
10. Jack T.R. *Biological Corrosion Failures*. Failure Analysis and Prevention. 2021.
11. Mullard J.A., Stewart M.G. Corrosion-induced cover cracking: New test data and predictive models. *ACI Structural Journal*. 2011. 108(1). doi:10.14359/51664204.
12. Golovin K., Kovalev R., Kopylov A. On modelling the reliability of concrete support for underground construction considering the impact of chemical erosion. *E3S Web of Conferences*. 2019. 105. doi:10.1051/e3sconf/201910501040.
13. Steffens A., Dinkler D., Ahrens H. Modeling carbonation for corrosion risk prediction of concrete structures. *Cement and Concrete Research*. 2002. 32(6). doi:10.1016/S0008-8846(02)00728-7.
14. Soleimani S., Ghods P., Isgor O.B., Zhang J. Modeling the kinetics of corrosion in concrete patch repairs and identification of governing parameters. *Cement and Concrete Composites*. 2010. 32(5). doi:10.1016/j.cemconcomp.2010.02.001.
15. Fatima T., Arab N., Zemskov E.P., Muntean A. Homogenization of a reaction-diffusion system modeling sulfate corrosion of concrete in locally periodic perforated domains. *Journal of Engineering Mathematics*. 2011. 69(2). doi:10.1007/s10665-010-9396-6.
16. Aiki T., Muntean A. Large-time behavior of a two-scale semilinear reaction-diffusion system for concrete sulfation. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*. 2015. 38(7). doi:10.1002/mma.3161.
17. Hoang N.D., Chen C.T., Liao K.W. Prediction of chloride diffusion in cement mortar using Multi-Gene Genetic Programming and Multivariate Adaptive Regression Splines. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. 2017. 112. doi:10.1016/j.measurement.2017.08.031.
18. Yang Y., Wang M. Pore-scale modeling of chloride ion diffusion in cement microstructures. *Cement and Concrete Composites*. 2018. 85. doi:10.1016/j.cemconcomp.2017.09.014.
19. Zhang G., Yang Z., Yan Y., Wang M., Wu L., Lei H., Gu Y. Experimental and theoretical prediction model research on concrete elastic modulus influenced by aggregate gradation and porosity. *Sustainability (Switzerland)*. 2021. 13(4). doi:10.3390/su13041811.

20. Roumyantseva V.E., Goglev I.N., Loginova S.A., Truntov P.S., Burkov A.A. Development and Research of Properties Cement Concrete Hardening Accelerator Additive Based on a Mixture of Inorganic Fluorine-Containing Salts. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 753(5). doi:10.1088/1757-899X/753/5/052026.
21. Woyciechowski P., Łukowski P., Szmigiera E., Adamczewski G., Chilmon K., Spodzieja S. Concrete corrosion in a wastewater treatment plant – A comprehensive case study. Construction and Building Materials. 2021. 303. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.124388.
22. Davis J.L., Nica D., Shields K., Roberts D.J. Analysis of concrete from corroded sewer pipe. International Biodeterioration and Biodegradation. 1998. 42(1). doi:10.1016/S0964-8305(98)00049-3.
23. Shuldyakov K., Trofimov B., Kramar L. Stable microstructure of hardened cement paste – A guarantee of the durability of concrete. Case Studies in Construction Materials. 2020. 12. doi:10.1016/j.cscm.2020.e00351.
24. Slizneva T.E., Akulova M.V., Razgovorov P.B. Influence of mechanomagnetic activation of solutions CaCl<sub>2</sub> and Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on phase structure of cement stone. ChemChemTech. 2019. 62(12). doi:10.6060/ivkkt.20196212.6114.
25. Koksharov S.A., Bazanov A.V., Fedosov S.V., Akulova M.V., Slizneva T.E. Condition of the mechanoactivated calcium chloride solution and its influence on structural and mechanical characteristics of cement stone. Eurasian Chemico-Technological Journal. 2015. 17(4). doi:10.18321/ectj277.
26. Vu K., Stewart M.G., Mullard J. Corrosion-induced cracking: Experimental data and predictive models. ACI Structural Journal. 2005. doi:10.14359/14667.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Курдовский В. Химия цемента и бетона. 97894007794572014.
2. Сарасвати В., Картик С., Ли Х.С., Квон С.Дж., Янг Х.М. Сравнительное исследование прочностных и коррозионностойких свойств простого и смешанного цементного бетона. Достижения в области материаловедения и инженерии. 2017. doi:10.1155/2017/9454982 .
3. Теренчук С., Пашко А., Еременко Б., Картавых С., Ершов Н. Моделирование интеллектуальной системы оценки технического состояния строительных конструкций. Восточно-Европейский журнал предпринимательских технологий. 2018. 3(2–93). doi:10.15587/1729-4061.2018.132587.
4. Васим М., Дук Нго Т., Абид М. Исследование долговременной коррозионной стойкости железобетонных конструкций, построенных из различных типов бетонов в морских и различных климатических условиях. Строительство и Строительные материалы. 2020. 237. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.117701.
5. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Нармания Б.Е. Постановка математической задачи, описывающей физико-химические процессы при коррозии бетона. Международный журнал вычислительной гражданской и строительной инженерии. 2017. 13(2). doi:10.22337/2587-9618-2017-13-2-45-49.
6. Гусев Б.В., Файвусович А.С. Математические модели процесса коррозии бетона. М.: 1996. 100 с.
7. Левандовский А.Н., Мельников Б.Е., Шамкин А.А. Моделирование разрушения пористых материалов. Журнал гражданского строительства. 2017. 69(1). doi:10.18720/МСЕ.69.1.
8. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Ерофеев В.Т., Родин А.И., Смирнов В.Ф., Родина Н.Г. Разработка биоцидных цементов для зданий и сооружений с биологически активными средами. Энергетические технологии и инжиниринг. 2017. 51(4). doi:10.1007/s10749-017-0842-8 .
9. Федосов С.В., Логинова С.А. Математическая модель биологической коррозии бетона. Журнал гражданского строительства. 2020. 99(7). doi:10.18720/МСЕ.99.6.
10. Джек Т.Р. Биологические коррозионные разрушения. Анализ и предотвращение отказов. 2021.
11. Маллард Дж.А., Стюарт М.Г. Растрескивание покрытия, вызванное коррозией: новые данные испытаний и прогнозные модели. Структурный журнал АСІ. 2011. 108(1). doi:10.14359/51664204.
12. Головин К., Ковалев Р., Копылов А. О моделировании надежности бетонной опоры для подземного строительства с учетом воздействия химической эрозии. Веб-конференция E3S. 2019. 105. doi:10.1051/e3sconf/201910501040.
13. Стеффенс А., Динклер Д., Аренс Х. Моделирование карбонизации для прогнозирования риска коррозии бетонных конструкций. Исследование цемента и бетона. 2002. 32(6). doi:10.1016/S0008-8846(02)00728-7.
14. Сулеймани С., Годс П., Искор О.Б., Чжан Дж. Моделирование кинетики коррозии при ремонте бетонных заплат и определение управляющих параметров. Цементные и бетонные композиты. 2010. 32(5). doi:10.1016/j.cemconcomp.2010.02.001.
15. Фатима Т., Араб Н., Земсков Е.П., Мунтян А. Гомогенизация реакционно-диффузионной системы, моделирующей сульфатную коррозию бетона в локально периодических перфорированных областях. Журнал инженерной математики. 2011. 69(2). doi:10.1007/s10665-010-9396-6 .

16. Айки Т., Мунтян А. Поведение двухмасштабной полулинейной реакционно-диффузионной системы для сульфатирования бетона в больших масштабах времени. Математические методы в прикладных науках. 2015. 38(7). doi:10.1002/mma.3161.
17. Хоанг Н.Д., Чен К.Т., Ляо К.В. Прогнозирование диффузии хлоридов в цементном растворе с использованием многогенного генетического программирования и многомерных адаптивных регрессионных сплайнов. Измерение: Журнал Международной конфедерации измерений. 2017. 112. doi:10.1016/j.measurement.2017.08.031.
18. Ян Ю., Ван М. Моделирование диффузии хлорид-ионов в микроструктурах цемента в масштабе пор. Цементные и бетонные композиты. 2018. 85. doi:10.1016/j.cemconcomp.2017.09.014.
19. Чжан Г., Ян З., Ян Ю., Ван М., Ву Л., Лей Х., Гу Ю. Экспериментальное и теоретическое исследование модели прогнозирования модуля упругости бетона под влиянием градации заполнителя и пористости. Устойчивое развитие (Швейцария). 2021. 13(4). doi:10.3390/su13041811.
20. Румянцева В.Е., Гоглев И.Н., Логинова С.А., Трунтов П.С., Бурков А.А. Разработка и исследование свойств добавки-ускорителя твердения цементного бетона на основе смеси неорганических фторсодержащих солей. Серия конференций ИОР: Материаловедение и инженерия. 2020. 753(5). doi:10.1088/1757-899X/753/5/052026.
21. Войцеховский П., Луковский П., Шмигьера Э., Адамчевски Г., Чилмон К., Сподзья С. Коррозия бетона на очистных сооружениях – комплексное тематическое исследование. Строительство и Строительные материалы. 2021. 303. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.124388.
22. Дэвис Дж. Л., Ника Д., Шилдс К., Робертс Д.Дж. Анализ бетона из проржавевшей канализационной трубы. Международное биологическое восстановление и биологическое разложение. 1998. 42(1). doi:10.1016/S0964-8305(98)00049-3.
23. Шульдяков К., Трофимов Б., Крамар Л. Стабильная микроструктура затвердевшего цементного теста – гарантия долговечности бетона. Тематические исследования в области строительных материалов. 2020. 12. doi:10.1016/j.cscm.2020.e00351.
24. Слизнева Т.Е., Акулова М.В., Разговоров П.Б. Влияние механомагнитной активации растворов  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  на фазовую структуру цементного камня. ChemChemTech. 2019. 62(12). doi:10.6060/ivkkt.20196212.6114.
25. Кокшаров С.А., Базанов А.В., Федосов С.В., Акулова М.В., Слизнева Т.Е. Состояние механоактивированного раствора хлорида кальция и его влияние на структурно-механические характеристики цементного камня. Евразийский химико-технологический журнал. 2015. 17(4). doi:10.18321/ectj277.
26. Ву К., Стюарт М.Г., Маллард Дж. Коррозионно-индуцированное растрескивание: экспериментальные данные и прогнозные модели. Структурный журнал АСІ. 2005. doi:10.14359/14667.

### Информация об авторах:

#### **Федосов Сергей Викторович**

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия, академик РААСН, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительных материалов.  
E-mail: [fedosov-academic53@mail.ru](mailto:fedosov-academic53@mail.ru)

#### **Федосеев Вадим Николаевич**

Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Россия, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры организации производства и городского хозяйства.  
E-mail: [4932421318@mail.ru](mailto:4932421318@mail.ru)

#### **Разговоров Павел Борисович**

Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий строительного производства.  
E-mail: [razgovorovpb@ystu.ru](mailto:razgovorovpb@ystu.ru)

#### **Логинова Светлана Андреевна**

Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций.  
E-mail: [s179066171227@yandex.ru](mailto:s179066171227@yandex.ru)

### Information about the authors:

#### **Fedosov Sergey V.**

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, Academician of RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor department of building materials.  
E-mail: [fedosov-academic53@mail.ru](mailto:fedosov-academic53@mail.ru)

**Fedoseev Vadim N.**

Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor department of production organization and municipal economy.

E-mail: [4932421318@mail.ru](mailto:4932421318@mail.ru)

**Razgovorov Pavel B.**

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor department of construction production technologies.

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

**Loginova Svetlana A.**

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia,

Ph.D., Associate Professor department of building structures.

E-mail: [s179066171227@yandex.ru](mailto:s179066171227@yandex.ru)



Ю.А. БОРИСЕВИЧ<sup>1</sup>, К.А. АБДРАХМАНОВА<sup>1</sup>, Д.Н. САМОРАЙ<sup>2</sup>, А.Н. АЛИХАНОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НАО «Карагандинский технический университет», г. Караганда, Казахстан

<sup>2</sup>ТОО «3-line», г. Караганда, Казахстан

## УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ КАК ОСНОВА МОДЕРНИЗАЦИИ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ

**Аннотация.** Исследование направлено на комплексную модернизацию устаревших жилых районов в городах Республики Казахстан. Содержание базируется на изучении приемов функционально-градостроительной и объемно-планировочной реконструкции жилого квартала в городе Сарань.

Жилая застройка советского периода не отвечает современным требованиям благоустройства и размещения инфраструктурных объектов, в связи с износом инженерных систем, отделочных и изоляционных материалов имеет низкий уровень энергоэффективности и комфорта. Необходимы меры повышения социализации и коммерческой привлекательности застройки, что способствует устойчивому развитию городских и пригородных зон, а также городов-спутников.

Проводится сбор информации и технической документации, анкетирование и опрос жителей. Собранный материал анализируется, на основе анализа предлагается концептуальное решение. Используется 3-D модельный метод проектирования и визуализации.

Разрабатывается концептуальное объемно-пространственное решение модернизации двухэтажного жилого квартала.

Принимается комплекс мер по улучшению инфраструктуры объекта и систематизации универсальных средств устойчивого развития городских территорий.

**Ключевые слова:** комплексная модернизация, инфраструктура, многофункциональность, устойчивое развитие.

Ju.A. BORISEVICH<sup>1</sup>, K.A. ABDRAHMANOVA<sup>1</sup>, D.N. SAMORAY<sup>2</sup>, A.N. ALIKHANOVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>NAO «Karaganda Technical University», Karaganda, Kazakhstan

<sup>2</sup>LLC «3-line», Karaganda, Kazakhstan

## POTENTIAL OPPORTUNITIES FOR MODERNIZATION OF OLD HOUSING IN CITY SARAN

**Abstract.** The study is aimed at the comprehensive modernization of outdated residential areas in the cities of the Republic of Kazakhstan. The content is focused on the study of methods of space-planning and functional-urban planning solutions, on the example of a residential area in the city of Saran.

Due to the deterioration of engineering systems, finishing and insulation materials, residential buildings of the Soviet period have a low level of energy efficiency and comfort, do not meet modern requirements for the improvement and placement of infrastructure facilities. Measures are needed to increase the socialization and commercial attractiveness of development, which contributes to the sustainable development of urban and suburban areas, as well as satellite cities.

The collection of information and technical documentation, questionnaires and surveys of residents are being carried out. The collected material is analyzed, based on the analysis, a conceptual solution is proposed. A 3-D model method of design and visualization is used.

A conceptual volumetric-spatial solution for the modernization of a two-storey residential area is being developed.

*A set of measures is being taken to increase commercial and residential space, create a comfortable and safe space within the residential area, and increase the variety of public and private spaces.*

**Keywords:** *modernization, infrastructure, multifunctionality, sustainable development.*

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Овсянников С.Н., Овсянникова Т.Ю. Повышение энергоэффективности жилых зданий в процессе реновации жилого фонда. Томский государственный архитектурно-строительный университет. Academia. Архитектура и строительство. Строительная теплофизика и энергосбережение 2009. 313 с.
2. Чувилова И.В., Кравченко В.В. Комплексные меры реконструкции и реновации массовой жилой застройки. Academia. Архитектура и строительство. Градостроительство. 2011. 94 с.
3. Овсянников С.Н., Овсянников А.Н. Перспективы реконструкции жилых домов первых массовых серий в г. Томске. Вестник ТГАСУ № 2, 2010 г. стр.105.
4. Перевозчикова А.С., Баженов Е.О. Модернизация зданий с целью повышения энергоэффективности и продления срока эксплуатации жилых зданий Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, Россия, г. Ижевск. International scientific review, 2017. 11 с.
5. «Зерновое общежитие» URL:<https://archi.ru/world/51962/zernovoe-obschezhitie>
6. Реконструкция панельных домов в Европе URL:<https://okna-germanii.com.ua/stati/rekonstrukciya-panelnykh-domov-v-evrope/>
7. Григоренко К.А., О.В. Петренева «Реконструкция домов первых массовых серий как способ увеличения полезной площади» // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. Пермский национальный исследовательский политехнический университет. 2016. Т.7. № 1. С. 47-55.
8. Комплексная реконструкция пятиэтажного жилого фонда URL: <https://docplayer.ru/60247850-Kompleksnaya-rekonstrukciya-pyatietazhnogo-zhilogo-fonda.html>
9. Программа модернизации жилищно-коммунального хозяйства РК на 2011- 2020 годы URL:<https://ndk.kz/articles/pm-zhkh>
10. Баян Абылкайрова Проект Правительства РК/ПРООН/ГЭФ «Энергоэффективное проектирование и строительство жилых зданий» 12-14 сентября, 2012, Иссык-Куль. URL:[https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/eneff/IEEForum\\_Issyk\\_Kul\\_Lake\\_Sept.2012/day\\_2/workshop\\_2/4\\_Bayan\\_Abylkairova\\_UNDP\\_RUS.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/eneff/IEEForum_Issyk_Kul_Lake_Sept.2012/day_2/workshop_2/4_Bayan_Abylkairova_UNDP_RUS.pdf)
11. Шреккенбах Л., Инициатива Жилищное хозяйство в Восточной Европе (ИВО), Берлин. ПРООН/ГЭФ «Пилотные проекты по повышению энергоэффективности теплоснабжения зданий в г. Астане, РК», «Пилотные проекты по повышению энергоэффективности систем теплоснабжения зданий: апробация механизма ЭСКО в г. Караганда, РК», презентации казахских специалистов, используемых в немецко-казахском проекте ГЧП «Разработка и реализация учебного курса повышения квалификации в Академии «Туран-Профи» Менеджмент энергосберегающей санации зданий», информация интернет - страниц [www.undp.kz](http://www.undp.kz), [www.eep.kz](http://www.eep.kz), [www.beeca.net](http://www.beeca.net)
12. Книга 1 Свод принципов комплексного развития городских территорий. Редакция от 15 марта 2019 г. По заказу фонда единого института развития в жилищной среде. Дом РФ, КБ «Стрелка. URL:<https://strelka-kb.com/>
13. Kapucu N., Ge Y.‘., Martín Y. et al. Urban resilience for building a sustainable and safe environment. Urban Governance. 2021. Pp. 1-7.
14. Yehua Dennis Wei, Reid Ewing Landscape and Urban Planning. Vol. 177. September 2018. Pp. 259-265.
15. ГУ отдел образования города Сарань. URL:<http://obrazovanie-saran.gov.kz/ru/gorod-1>
16. Фото города URL:<http://photogoroda.com/foto-524187-.html>
17. Карта города Сарань. URL:<https://yandex.kz/maps>
18. Крупнейший в СНГ фонд типовой проектной документации URL:<https://tipdoc.ru/catalog/0/925115/#pass>
19. Карта города Сарань со спутника. URL:<https://yandex.kz/maps>
20. Valença F., Moura and A. Morais de Sá Main challenges and opportunities to dynamic road space allocation: From static to dynamic urban designs. Journal of Urban Mobility 1. Lisbon, Portugal 2021. Pp 1-14. URL:<https://doi.org/10.1016/j.urbmob.2021.100008>
21. Борисевич Ю.А., Кожас А.К., Епимахова Т.Е. Архитектурно-градостроительное обоснование модернизации домов первых массовых серий для города Караганды. Архитектура и архитектурная среда:

вопросы исторического и современного развития: материалы международной научно-практической конференции: сборник статей / отв. ред. А.Б. Храмцов. Том I. Тюмень: ТИУ, 2020. 432 с.

22. РГКП «Центр по недвижимости по Карагандинской области» Комитет регистрационной службы и оказания правовой помощи Министерства Юстиции Республики Казахстан. № 5144 Технический паспорт по адресу Карагандинская область, г.Сарань, Мкр. «Горняк», д. №2.

23. Грахов В.П., Манохин П.Е., Вычужанин О.А. Анализ реконструкции застроенных территорий // Проблемы экономики и менеджмента 2014. № 12 (40). Стр 1-6.

24. Исмагилова С.Х., Залетова Е.А., Арсентьева Ю.П. Приемы архитектурно-градостроительной реконструкции жилых районов 70-90-х гг. XX века в планировочной системе г. Казани // Известия КГАСУ. 2020. No 4 (54). С. 153–160.

25. Котенко И.А., Дёмин Д.А. Пятиэтажная застройка: социальные практики реконструкции и капитального ремонта // Творчество и современность Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств. 2019. С. 15-23.

## REFERENCES

1. Ovsjannikov S.N., Ovsjannikova T.Ju. Povyshenie jenergojeffektivnosti zhilyh zdaniy v processe renovacii zhilogo fonda. Tomskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet. Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. Stroitel'naja teplofizika i jenergosberezhenie 2009. P. 313.

2. Chuvilova I.V., Kravchenko V.V. Kompleksnye mery rekonstrukcii i renovacii massovoj zhilozj zastrojki. Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. Gradostroitel'stvo. 2011. P. 94.

3. Ovsjannikov S.N., Ovsjannikov A.N. Perspektivy rekonstrukcii zhilyh domov pervyh massovyh serij v g. Tomske. Vestnik TGASU № 2, 2010. P.105.

4. Perevozchikova A.S., Bazhenov E.O. Modernizacija zdaniy s cel'ju povyshenija jenergojeffektivnosti i prodlenija sroka jekspluatacii zhilyh zdaniy Izhevskij gosudarstvennyj tehnickeskij universitet im. M.T. Kalashnikova, Rossija, g. Izhevsk. International scientific review 2017. P. 11.

5. «Zernovoe obshhezhitie» URL:<https://archi.ru/world/51962/zernovoe-obshezhitie>

6. Rekonstrukcija panel'nyh domov v Evrope URL:<https://okna-germanii.com.ua/stati/rekonstrukciya-panelnykh-domov-v-evrope/>

7. Grigorenko K.A., Petreneva O.V. «Rekonstrukcija domov pervyh massovyh serij kak sposob uvelichenija poleznoj ploshhadi» // Vestnik PNIPU Stroitel'stvo i arhitektura. Perm'skij nacional'nyj issledovatel'skij politehnicheskij universitet. Perm'. 2016. T.7. No 1. Pp. 47-55.

8. Kompleksnaja rekonstrukcija pjatjetazhnogo zhilogo fonda URL:<https://docplayer.ru/60247850-Kompleksnaya-rekonstrukciya-pyatjetazhnogo-zhilogo-fonda.html>

9. Programma modernizacii zhilishhno-kommunal'nogo hozjajstva RK na 2011- 2020 gody URL:<https://ndk.kz/articles/pm-zhkh>

10. Bajan Abylkairova Proekt Pravitel'stva RK/PROON/GJeF «Jenergojeffektivnoe proektirovanie i stroitel'stvo zhilyh zdaniy» 12-14 sentjabrja, 2012, Issyk-Kul'. URL:[https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/eneff/IEEForum\\_Issyk\\_Kul\\_Lake\\_Sept.2012/day\\_2/workshop\\_2/4\\_Bajan\\_Abylkairova\\_UNDP\\_RUS.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/eneff/IEEForum_Issyk_Kul_Lake_Sept.2012/day_2/workshop_2/4_Bajan_Abylkairova_UNDP_RUS.pdf)

11. Shrekkenbah L., Iniciativa Zhilishhnoe hozjajstvo v Vostochnoj Evrope (IVO), Berlin. PROON/GJeF «Pilotnye proekty po povysheniju jenergojeffektivnosti teplosnabzhenija zdaniy v g. Astane, RK», «Pilotnye proekty po povysheniju jenergojeffektivnosti sistem teplopotreblenija zdaniy: aprobacija mehanizma JeSKO v g. Karaganda, RK», prezentacii kazahskih specialistov, ispol'zuemyh v nemecko-kazahskom proekte GChP «Razrabotka i realizacija uchebnogo kursa povyshenija kvalifikacii v Akademii «Turan-Profi» Menedzhment jenergosberegajushhej sanacii zdaniy», informacija internet- stranic [www.undp.kz](http://www.undp.kz), [www.eep.kz](http://www.eep.kz), [www.beeca.net](http://www.beeca.net)

12. Kniga 1 Svod principov kompleksnogo razvitija gorodskih territorij Redakcija ot 15 marta 2019 g. Po zakazu fonda edinogo instituta razvitija v zhilishhnoj srede. Dom RF, KB «Strelka. URL: <https://strelka-kb.com/>

13. Kapucu N., Ge Y.‘., Martín Y. et al. Urban resilience for building a sustainable and safe environment. Urban Governance. 2021. Pp 1-7.

14. Yehua Dennis Wei, Reid Ewing Landscape and Urban Planning. September 2018. Vol. 177. Pp. 259-265.

15. GU otdel obrazovanija goroda Saran'. URL:<http://obrazovanie-saran.gov.kz/ru/gorod-1>

16. Foto goroda URL:<http://photogoroda.com/foto-524187-.html>

17. Karta goroda Saran'. URL:<https://yandex.kz/maps>

18. Krupnejshij v SNG fond tipovoj proektnoj dokumentacii. URL:<https://tipdoc.ru/catalog/0/925115/#pass>

19. Karta goroda Saran' so sputnika. URL:<https://yandex.kz/maps>

20. Valença, F. Moura and A. Morais de Sá Main challenges and opportunities to dynamic road space allocation: From static to dynamic urban designs. Journal of Urban Mobility 1. Lisbon, Portugal 2021. Pp 1-14. URL:<https://doi.org/10.1016/j.urbmob.2021.100008>

21. Borisevich Ju.A., Kozhas A.K., Epimahova T.E. Arhitekturno-gradostroitel'noe obosnovanie modernizacii domov pervyh massovyh serij dlja goroda Karagandy. Arhitektura i arhitekturnaja sreda: voprosy istoricheskogo i sovremennogo razvitija: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii: sbornik statej / otv. red. A. B. Hramcov. Tom I. Tjumen': TIU, 2020. 432 p.

22. RGKP «Centr po nedvizhimosti po Karagandinskoj oblasti» Komitet registracionnoj sluzhby i okazaniya pravovoj pomoshhi Ministerstva Justicii Respubliki Kazahstan. № 5144 Tehnicheskij pasport po adresu Karagandinskaja oblast', g.Saran', Mkr. «Gornjak», d. №2.

23. Grahov V.P., Manohin P.E., Vychuzhanin O.A. Analiz rekonstrukcii zastroennyh territorij // Problemy jekonomiki i menedzhmenta 2014. No 12 (40). Pp. 1-6.

24. Ismagilova S. Kh., Zaletova E. A., Arsenteva Y. P. Methods of architectural and urban reconstruction of residential areas of 70-90s of XX century in the planning system of Kazan // Izvestija KGASU. 2020. No 4 (54). Pp. 153–160.

25. Kotenko I.A., Djomin D.A. Pjatiyetazhnaja zastrojka: social'nye praktiki rekonstrukcii i kapital'nogo remonta // Tvorchestvo i sovremennost' Novosibirskij gosudarstvennyj universitet arhitektury, dizajna i iskusstv. 2019. Pp. 15-23.

#### **Информация об авторах:**

**Борисевич Юлия Адамовна**

НАО «Карагандинский технический университет» г. Караганда, Казахстан,  
член СА РК, магистр технических наук, старший преподаватель кафедры архитектуры и дизайна.  
E-mail: [julya-2006@list.ru](mailto:julya-2006@list.ru)

**Абдрахманова Каламкас Аманбековна**

НАО «Карагандинский технический университет» г. Караганда, Казахстан,  
доктор PhD кафедры архитектура и дизайна.  
E-mail: [kagaip@mail.ru](mailto:kagaip@mail.ru)

**Саморай Денис Николаевич**

Корпоративный университет КарТУ на базе предприятия ТОО «3-line» г. Караганда, Казахстан,  
архитектор, директор ТОО «3-line».  
E-mail: [3-line3212@mail.ru](mailto:3-line3212@mail.ru)

**Алиханова Айым Наурызбаевна**

НАО «Карагандинский технический университет» г. Караганда, Казахстан,  
студентка кафедры архитектура и дизайна, гр. Арх 16-3.  
E-mail: [aimaalikhanova@gmail.com](mailto:aimaalikhanova@gmail.com)

#### **Information about authors:**

**Borisevich Julija Ad.**

NJSC «Karaganda Technical University», Karaganda, Kazakhstan,  
member of the CA RK, master of technical sciences, senior lecturer of the department of architecture and design.  
E-mail: [julya-2006@list.ru](mailto:julya-2006@list.ru)

**Abdrahmanova Kalamkas Am.**

NJSC «Karaganda Technical University», Karaganda, Kazakhstan,  
PhD, department of architecture and design.  
E-mail: [kagaip@mail.ru](mailto:kagaip@mail.ru)

**Samoraj Denis N.**

Corporate University KTU on the basis of the enterprise LLP «3-line», Karaganda, Kazakhstan,  
architect, director of LLP «3-line».  
E-mail: [3-line3212@mail.ru](mailto:3-line3212@mail.ru)

**Alihanova Ajym N.**

NJSC «Karaganda Technical University», Karaganda, Kazakhstan,  
student of the department of architecture and design, gr. Arch 16-3.  
E-mail: [aimaalikhanova@gmail.com](mailto:aimaalikhanova@gmail.com)

S.N. KRIVOSHAPKO<sup>1</sup>, CHRISTIAN A. BOCK HYENG<sup>2</sup>, GIL-OULBE MATHIEU<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>North Carolina Agricultural and Technical State University, Greensboro, USA

## STAGES AND ARCHITECTURAL STYLES IN DESIGN AND BUILDING OF SHELLS AND SHELL STRUCTURES

**Abstract.** *In a paper, architectural styles, constructive solutions, information on the history of appearance of structural building materials are briefly set forth and the stages of passion of thin-walled space large-span erections are analyzed. Particular attention is given to establishment of the exact dates in the chronology of appearance of styles, constructive solutions, and in the dates of erection of the first shells of corresponding styles and their authors. Elicit reasons of destructions of some well-known space structures are described and the influence of these destructions and damages for the subsequent designing and building of analogous type is analyzed. It is adduced, in general, positive views of noted architects on the role of shell structures in industrial, public, and civil building at present time. On the basis of the manuscripts published in specialized editions, varieties of points of view of architects to designing space structures are characterized. It was shown that interest of designers and architects in designing of shells in the form of analytically non-given surfaces, polyhedrons, and hipped plate structures is intensively extending. At present, bar metal architecture obtained subsequent development and came to be competitor for reinforcement concrete. In the XXI century, steel net and structural shells are the main means of forming vanguard buildings. Now, architects and structural engineers have wide potential in the selection of form, building material, methods of strength analysis, constructive solutions, styles, and examples of application of large-span thin-walled shell structures. All conclusions of the present work are corroborated by the results of researches containing in 54 references.*

**Keywords:** *large-span spatial erection, shell, grid system, architectural style, structural building materials, analytical surfaces in architecture, chronology of architectural styles.*

С.Н. КРИВОШАПКО<sup>1</sup>, КРИСТИАН А. БОК Х.<sup>2</sup>, ЖИЛЬ-УЛБЕ МАТЬЕ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Инженерная академия ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Сельскохозяйственный и технический государственный университет Северной Каролины, Гринсборо, США

## ЭТАПЫ И АРХИТЕКТУРНЫЕ СТИЛИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБОЛОЧЕК И ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Аннотация.** *В статье кратко изложены архитектурные стили, конструктивные решения, сведения об истории появления конструкционных строительных материалов и проанализированы этапы увлечения тонкостенными пространственными большепролетными сооружениями. Особое внимание уделено установлению точных дат в хронологии появления стилей, конструктивных решений и появлению первых сооружений соответствующих стилей и их авторов. Описаны выявленные причины разрушения некоторых знаковых пространственных сооружений и как эти аварии и разрушения повлияли на дальнейшее проектирование и строительство сооружений аналогичного типа. Приведены, в основном, положительные высказывания известных архитекторов о месте оболочечных сооружений в промышленном, гражданском и жилищном строительстве в настоящее время. На основании опубликованных в специализированных изданиях материалов охарактеризованы разновидности подходов архитекторов к проектированию пространственных сооружений. Показано усиление интереса дизайнеров и архитекторов к проектированию оболочек, очерченных по аналитически задаваемым поверхностям и в форме многогранников и складок. Установлено, что в наше время архитектура из стержневого металла получила свое дальнейшее развитие и стала*

конкурентом железобетона. В XXI веке стальные сетчатые и структурные оболочки стали одним из главных средств формообразования авангардных зданий. Сейчас у архитектора и инженера-проектировщика имеется большой потенциал в выборе формы, материала, методов расчета, конструктивных решений, стилей и примеров применения большепролетных тонкостенных оболочечных конструкций.

**Ключевые слова:** большепролетные пространственные сооружения, оболочки, архитектурные стили, конструкционные строительные материалы, аналитические поверхности в архитектуре, хронология архитектурных стилей.

## REFERENCES

1. Kas'yanov N.V. To the problem of the evolution of architectural spatial forms in the context of scientific and technological achievements. *Academia. Architecture and Construction*. 2019. № 3. Pp. 34-43 [doi:10.22337/2077-9038-2019-3-34-43] (rus).
2. Bratukhin A.G., Sirotkin O.S., Sabodash P.F., Egorov V.N. *Materiali Budushego i ih Udi vitelnie Svoistva* [Materials of the Future and their Properties]. Moscow: «Mashinostroenie», 1995. 128 p. [ISBN 5-217-02739-8] (rus).
3. Kottas Dimitris. *Architecture and Construction in Plastic*. Links International, 2012. 240 p.
4. Krivoshapko S.N., Pyatikrestovskiy K.P. On history of building of wooden shells and their opportunities at present and in the future. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2014. № 1. Pp. 3-18 (rus).
5. Krivoshapko S.N., Alborova L.A., Mamieva I.A. Shell structures: genesis, materials, and subtypes. Part 2. Constructive building materials. *Academia. Architecture and Construction*. 2021. № 4. Pp. 110-119 [doi:10.22337/2077-9038-2021-4-110-119].
6. Krivoshapko S.N., Galishnikova V.V. *Arhitekturno-Stroitelnie Konstruktzii* [Architectural-and-Building Structures]. Moscow: Izd-vo "YuRAIT", 2022. 476 p. [ISBN 978-5-9916-4821-9].
7. Antuña Bernardo, Joaquín. The Evolution of the work of Eduardo Torroja: shell roofs with and without reinforcement rings. In: *"International Congress on Construction History"*, 2006, Cambridge. Pp. 179-194 [ISBN 0-7017-0203-6].
8. Hines E.M., Billington D.P. Anton Tedesko and the introduction of thin shell concrete roofs in the United States. *Journal of Structural Engineering*. 2004. November. Pp. 1639-1650.
9. Massimiliano Savorra, Giovanni Fabbrocino. Félix Candela between philosophy and engineering: the meaning of shape. Conference: *Structures and Architecture: Concepts, Applications and Challenges*. July 2013. Pp.253-260 [doi:10.1201/b15267-33].
10. Krivoshapko S.N. *The History of Architecture of Spatial Structures and Shells with Elements of Analysis*. Moscow: Izd-vo RUDN, 2014. 104 p. [eLIBRARY ID: 24769307; ISBN: 978-5-209-05970-7] (rus).
11. Bradshaw R., Campbell D., Gargari M., Mirmiran A., and Tripeny P. Special structures. Past, present, and future. *Journal of Structural Engineering*. June 2002. Pp. 691-701 [doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(2002)128:6(691)].
12. Scheerer, Silke; Chudoba, Rostislav; Garibaldi, Maria Patricia; Curbach, Manfred. Shells made of textile reinforced concrete – Applications in Germany. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*. 2017. Vol. 58. No. 1. March n. 191. Pp. 79-93(15) [doi:https://doi.org/10.20898/j.iass.2017.191.846].
13. Sylwester Kobiela, Zenon Zamiar. Oval concrete domes. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2017. 17 (3). Pp. 486 – 501 [https://doi.org/10.1016/j.acme.2016.11.009].
14. Grinko E.A. Drop-shaped shells. *Stroitel'naya Mehanika i Raschet Sooruzheniy* [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2019. № 6 (287). Pp. 50-56 [eLIBRARY ID: 41468543] (rus).
15. Zordan Luigi, Morganti Renato. Large roofs, large spaces. Suspended cable roofing in Italy 1948-1970. *Proc. of the First Int. Congress on Construction History*, Madrid, 20<sup>th</sup>-24<sup>th</sup> January 2003. Pp. 2139-2148.
16. Harris James B., Pui-K Li Kevin. *Masted Structures in Architecture*. Taylor & Francis, 1996. 160 p.
17. Krivoshapko S.N. Cable-stayed structures for public and industrial buildings. *Building and Reconstruction*. 2019. № 1 (81). Pp. 23-47 [doi:10.33979/2073-7416-2019-81-1-23-47].
18. Meek John L., Xia Xiaoyan. Computer shape finding of form structures. *Int. Journal of Space Structures*. 1999. Vol. 14, No 1. Pp. 35-54.
19. Ereemeev P.G. Metal structures of roofs of unique large-span buildings. *Industrial and Civil Engineering*. 2007. № 3. Pp. 19-21 (rus).
20. Saman Siavashi, Mahsa Rostami. Study of the concept of cable structures and structural behavior in wide span system. *International Conference on Research in Science and Technology*. 14 December 2015. Kuala Lumpur – Malaysia. 23 p.
21. Schlaich J., Bergermann R., Sobek W. Membranes. *Ing. Civ.* 1990. № 75. Pp. 33-34, 37-44, 45-50.
22. Ereemeev P.G., Kiselev D.B. Modern large-span complex spatial structures. *Prostranstv. Konstruktzii Zdanii i Sooruzheniy (Issledovanie, Raschet, Proektirovanie, Primenenie)*: Sb. statey. 2004. Vyp. 9. Moscow: «Devyatka Print». Pp. 159-166 [ISBN 5-9800-74-004-X] (rus).
23. Ermolov V.V., Bird W.W., Bubner U. et. *Pnevmaticheskie Stroitelnie Konstruktzii* [Pneumatic Building Structures]. Moscow: Stroyizdat, 1983. 439 p. (rus).

24. Jens G. Pohl. *Multi-Story Air-Supported and Fluid-Inflated Building Structures – Revised Edition: Concept, Design Principles, and Prototypes*. California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California: 2014. 406 p.
25. Krivoschapko S.N. Tent architecture. *Building and Reconstruction*. 2015. № 3(59). Pp. 100-109 (rus).
26. Myskova O.V., Kazus I.A. Tent structures in architecture of soviet vanguard of 1920<sup>th</sup>. *Tehnologii Stroitelstva*. 2003. № 1. Pp. 134-137 (rus).
27. Meyer Christian, Sheer Michael H. Do concrete shells deserve another look? *Concrete International*. 2005. October. Pp. 43-50.
28. Krivoschapko S.N. The types of failures and collapses of spatial structures and shells. *Building and Reconstruction*. 2015. № 1(57). Pp. 22-32 (rus).
29. Godoy L.A., Lopez-Bobonis S. On the collapse of a reinforced concrete digester tank. *Oxford: Thin-Walled Structures*. 2001. Pp. 669-676 [doi:10.1016/B978-008043955-6/50074-4].
30. Călbureanu Popescu, Mădălina Xenia. Aspects about the influence of the different factors in famous collapse of roof concrete structures. *Journal of Engineering Sciences and Innovation*. 2017. Vol. 2, Iss.1. Pp. 121-136.
31. Krasic Sonja. *Geometrijske Površni u Arhitekturi*. Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerzitet u Nišu, 2012. 238 p. [ISBN 978-86-88601-02-3]
32. Mamieva I.A., Gbaguidi-Aisse G.L. Influence of the geometrical researches of rare type surfaces on design of new and unique structures. *Building and Reconstruction*. 2019. № 5(85). Pp. 23-34 [doi:10.33979/2073-7416-2019-85-5-23-34].
33. Krivoschapko S.N. Shells and rod structures in the form of analytically non-given surfaces in modern architecture. *Building and Reconstruction*. 2020. № 3. Pp. 20-30 [doi:10.33979/2073-7416-2020-89-3-20-30] (rus).
34. Kotnik Toni, Schwartz Joseph. The architecture of Heinz Isler. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*. 2011. Vol. 52. No 3. Pp. 185-190 [ISSN: 1028-365X].
35. Glaeser Georg, Gruber Franz. Developable surfaces in contemporary architecture. *Journal of Mathematics and the Arts*. March 2007. Vol.1, Iss. 1. Pp. 59-71.
36. Hyeng Christian A. Bock, Yamb E.B. Application of cyclic shells in architecture, machine design, and bionics. *International Journal of Modern Engineering Researches*. 2012. Vol. 2. Iss. 3. Pp. 799-806.
37. Gil-oulbe Mathieu. Reserve of analytical surfaces for architecture and construction. *Building and Reconstruction*. 2021. № 6 (98). Pp. 63-72 [doi:10.33979/2073-7416-2021-98-6-63-72].
38. Bondarenko I.A. On the appropriateness and moderation of architectural innovation. *Academia. Arkhitektura i Stroitel'stvo [Academia. Architecture and Construction]*, 2020. № 1. Pp. 13-18 [http://aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/185] (rus).
39. Mamieva I.A. Analytical surfaces for children playgrounds. *Biosfernaya Sovmestimost': Chelovek, Region, Tekhnologii [Biosphere Compatibility: Human, Region, Technologies]*. 2021. № 1. Pp. 92-100 [doi:10.21869/2311-1518-2021-33-1-92-100] (rus).
40. Krivoschapko S.N., Alborova L.A., Mamieva I.A. Shell structures: genesis, materials, and subtypes. Part 1. Subtypes and directions. *Academia. Architecture and Construction*. 2021. № 3. Pp. 125-134 [doi:10.22337/2077-9038-2021-3-125-134] (rus).
41. Mamieva I.A. Analytical surfaces for parametrical architecture in contemporary buildings and structures. *Academia. Architecture and Construction*. 2020. No 1. Pp. 150-165 [http://aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/201] (rus).
42. Heidari A., Sahebzadeh S., Sadeghfard M., B. Erfanian Taghvaei. Parametric architecture in its second phase of evolution. *Journal of Building Performance*. 2018. Vol. 9. Iss. 1. Pp. 13-20 [ISSN: 2180-2106; http://spaj.ukm.my/jsb/index.php/jbp/index].
43. Pottmann H., Eigensatz M., Vaxman A., Wallner J. Architectural Geometry. *Computers & Graphics*. 2015. 47. April. Pp. 145-164 [https://doi.org/10.1016/j.cag.2014.11.002].
44. 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. [URI http://hdl.handle.net/1721.1/16899].
45. Akulova O.A., Kitaevskiy E.V., Nasaruk K.R. Peculiarities of modeling bionic geometrical forms. *Innovatziionnie Tehnologii v Inzhenernoy Grafike: Problems and Perspectives*. Sb. Tr. Mezhd. Nauchno-Praktich. Konfer. Novosibirski y Gos. Archit.-Stoit. Univ. (Sibstrin); Brestsk. Gos. Tehn. Univ. Novosibirsk: 2019. Pp. 7-12 [ISBN 978-5-7795-0884-1] (rus).
46. Umorina Z. Application of bionic architecture methods as future-oriented approach of modern architecture development in Russia. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2019. 687 055065. 6 p. [doi:10.1088/1757-899X/687/5/055065].
47. Pakowska Marta. Parametric, generative, evolutionary, organic and bionic architecture – A new look at an old problem. *Architecture et Artibus*. 2014. № 1. Pp. 42-45.
48. Kurbatov Yu.I. Architecture in context of environment. *Stroitel'stvo i Arkhitektura Leningrada*. 1977. № 4. Pp. 28-32 (rus).
49. Zvi Hecker. The cube and the dodecahedron in my polyhedral architecture. *Leonardo*. 1980. Vol. 13. Pp. 272-275.
50. Krivoschapko S.N. Polyhedra and quasi- polyhedra in architecture of civil and industrial erection. *Building and Reconstruction*. 2020. № 4 (90). Pp. 48-64 [doi:10.33979/2073-7416-2020-90-4-48-64].

51. Wong, Yunn Chii. *The Geodesic Works of Richard Buckminster Fuller, 1948–1968* (The Universe as a Home of Man), PhD thesis, Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, Department of Architecture, 1999.
52. 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].
53. Lytkin K.A. Architectural elements noospheric. *Architektura i Stroitelstvo Rossii*. 2013. № 1. Pp. 30-39 (rus).
54. Holgate Alan. Aesthetics of thin-walled structures. *Thin-Walled Structures*. 1990. 9.№ 1-4. Pp. 437-457.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Касьянов Н.В. К проблеме эволюции пространственных форм архитектуры в контексте научно-технологических достижений // *Academia. Архитектура и строительство*. 2019. № 3. С. 34-43 [doi:10.22337/2077-9038-2019-3-34-43].
2. Братухин А.Г., Сироткин О.С., Сабодаш П.Ф., Егоров В.Н. Материалы будущего и их удивительные свойства. М.: «Машиностроение», 1995. 128 с. [ISBN 5-217-02739-8].
3. Kottas Dimitris. *Architecture and Construction in Plastic*. Links International. 2012. 240 p.
4. Кривошапко С.Н., Пятикрестовский К.П. Из истории строительства деревянных оболочек и их возможности в настоящем и будущем // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2014. № 1. С. 3-18.
5. Krivoshapko S.N., Alborova L.A., Mamieva I.A. Shell structures: genesis, materials, and subtypes. Part 2. Constructive building materials. *Academia. Architecture and Construction*. 2021. № 4. Pp. 110-119. [doi:10.22337/2077-9038-2021-4-110-119].
6. Кривошапко С.Н., Галишникова В.В. Архитектурно-строительные конструкции: Учебник. М.: Изд-во «ЮРАЙТ», 2022. 476 p. [ISBN 978-5-9916-4821-9].
7. Antuña Bernardo, Joaquín. The Evolution of the work of Eduardo Torroja: shell roofs with and without reinforcement rings // In: "International Congress on Construction History", 2006. Cambridge. Pp. 179-194 [ISBN 0-7017-0203-6].
8. Hines E.M., Billington D.P. Anton Tedesco and the introduction of thin shell concrete roofs in the United States // *Journal of Structural Engineering*. 2004. November. Pp. 1639-1650.
9. Massimiliano Savorra, Giovanni Fabbrocino. Félix Candela between philosophy and engineering: the meaning of shape // *Conference: Structures and Architecture: Concepts, Applications and Challenges*. July 2013. Pp.253-260 [doi:10.1201/b15267-33].
10. Кривошапко С.Н. История развития архитектуры пространственных структур и оболочек с элементами расчета: Учебно-методический комплекс. М.: Изд-во РУДН, 2014. 104 с. [eLIBRARY ID: 24769307; ISBN: 978-5-209-05970-7].
11. Bradshaw R., Campbell D., Gargari M., Mirmiran A., and Tripeny P. Special structures. Past, present, and future // *Journal of Structural Engineering*. June 2002. Pp. 691-701 [doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(2002)128:6(691)].
12. Scheerer, Silke; Chudoba, Rostislav; Garibaldi, Maria Patricia; Curbach, Manfred. Shells made of textile reinforced concrete – Applications in Germany // *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*. 2017. Vol. 58. No. 1. March n. 191. Pp. 79-93(15) [doi:https://doi.org/10.20898/j.iass.2017.191.846].
13. Sylwester Kobiela, Zenon Zamiar. Oval concrete domes // *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2017. 17 (3). Pp. 486 - 501. [https://doi.org/10.1016/j.acme.2016.11.009].
14. Гринько Е.А. Каплевидные оболочки // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2019. № 6 (287). С. 50-56. [eLIBRARY ID: 41468543].
15. Zordan Luigi, Morganti Renato. Large roofs, large spaces. Suspended cable roofing in Italy 1948-1970 // *Proc. of the First Int. Congress on Construction History, Madrid, 20<sup>th</sup>-24<sup>th</sup> January 2003*. Pp. 2139-2148.
16. Harris James B., Pui-K Li Kevin. *Masted Structures in Architecture*. Taylor & Francis, 1996. 160 p.
17. Krivoshapko S.N. Cable-stayed structures for public and industrial buildings // *Building and Reconstruction*. 2019. № 1 (81). Pp. 23-47 [doi:10.33979/2073-7416-2019-81-1-23-47].
18. Meek John L., Xia Xiaoyan. Computer shape finding of form structures // *Int. Journal of Space Structures*. 1999. Vol. 14. No 1. Pp. 35-54.
19. Еремеев П.Г. Металлические конструкции покрытий уникальных большепролетных сооружений // *Промышленное и гражданское строительство*. 2007. № 3. С. 19-21.
20. Saman Siavashi, Mahsa Rostami. Study of the concept of cable structures and structural behavior in wide span system // *International Conference on Research in Science and Technology*. 14 December 2015. Kuala Lumpur. Malaysia. 23 p.
21. Schlaich J., Bergermann R., Sobek W. Membranes // *Ing. Civ*. 1990. № 75. Pp. 33-34, 37-44, 45-50.
22. Еремеев П.Г., Киселев Д.Б. Современные большепролетные комбинированные пространственные конструкции // *Пространственные конструкции зданий и сооружений (исследование, расчет, проектирование, применение): Сб. статей. Вып. 9. М.: ООО «Девятка Принт», 2004. С. 159-166 [ISBN 5-9800-74-004-X].*
23. Ермолов В.В., Бэрд У.У., Бубнер У. и др. Пневматические строительные конструкции. Под ред. В.В. Ермолова. М.: Стройиздат, 1983. 439 с.



24. Jens G. Pohl. Multi-Story Air-Supported and Fluid-Inflated Building Structures – Revised Edition: Concept, Design Principles, and Prototypes. California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California: 2014. 406 p.
25. Кривошапко С.Н. Тентовая архитектура // Строительство и реконструкция. 2015. № 3(59). С. 100-109.
26. Мыскова О.В., Казусь И.А. Тентовые конструкции в архитектуре советского авангарда 1920-х годов // Технологии строительства. 2003. № 1.С. 134-137.
27. Meyer Christian, Sheer Michael H. Do concrete shells deserve another look? // Concrete International. 2005. October. Pp. 43-50.
28. Кривошапко С.Н. Виды аварий и разрушений пространственных структур и оболочек // Строительство и реконструкция. 2015. № 1(57). С. 22-32.
29. Godoy L.A., Lopez-Bobonis S. On the collapse of a reinforced concrete digester tank // Oxford: Thin-Walled Structures. 2001. Pp. 669-676 [doi:10.1016/B978-008043955-6/50074-4].
30. Călbureanu Popescu, Mădălina Xenia. Aspects about the influence of the different factors in famous collapse of roof concrete structures // Journal of Engineering Sciences and Innovation. 2017. Vol. 2, Iss.1. Pp. 121-136.
31. Krasic Sonja. Geometrijske Površi u Arhitekturi. Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerzitet u Nišu, 2012. 238 p. [ISBN 978-86-88601-02-3]
32. Mamieva I.A., Gbaguidi-Aisse G.L. Influence of the geometrical researches of rare type surfaces on design of new and unique structures // Building and Reconstruction. 2019. № 5(85). Pp. 23-34 [doi:10.33979/2073-7416-2019-85-5-23-34].
33. 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].
34. Kotnik Toni, Schwartz Joseph. The architecture of Heinz Isler // Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures. 2011. Vol. 52. No 3. Pp. 185-190 [ISSN: 1028-365X].
35. Glaeser Georg, Gruber Franz. Developable surfaces in contemporary architecture // Journal of Mathematics and the Arts. March 2007. Vol. 1. Iss. 1. Pp. 59-71.
36. Hyeng Christian A. Bock, Yamb E.B. Application of cyclic shells in architecture, machine design, and bionics // International Journal of Modern Engineering Researches. 2012. Vol. 2. Iss. 3. Pp. 799-806.
37. Gil-oulbe Mathieu. Reserve of analytical surfaces for architecture and construction // Building and Reconstruction. 2021. № 6 (98). Pp. 63-72 [doi:10.33979/2073-7416-2021-98-6-63-72].
38. Бондаренко И.А. Об уместности и умеренности архитектурных новаций // Academia. Архитектура и строительство. 2020. № 1. С. 13-18. [http://aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/185].
39. Мамиева И.А. Аналитические поверхности для детских площадок // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии.. 2021. № 1. С. 92-100 [doi:10.21869/2311-1518-2021-33-1-92-100].
40. 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].
41. 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].
42. Heidari A., Sahebzadeh S., Sadeghfhar M., B. Erfanian Taghvaei. Parametric architecture in its second phase of evolution. Journal of Building Performance. 2018. Vol. 9. Iss. 1. Pp. 13-20 [ISSN: 2180-2106; http://spaj.ukm.my/issb/index.php/jbp/index].
43. Pottmann H., Eigensatz M., Vaxman A., & Wallner J. Architectural Geometry. Computers & Graphics. 2015. 47. April. Pp. 145-164 [https://doi.org/10.1016/j.cag.2014.11.002].
44. 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. [URI http://hdl.handle.net/1721.1/16899].
45. Акулова О.А., Китаевский Е.В., Назарук К.Р. Особенности моделирования бионических геометрических форм// Инновационные технологии в инженерной графике: Проблемы и перспективы: Сб. тр. Межд. научно-практической конференции. Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин); Брестский государственный технический университет. 2019. С. 7-12. [ISBN 978-5-7795-0884-1].
46. Umorina Z. Application of bionic architecture methods as future-oriented approach of modern architecture development in Russia // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2019. 687 055065. 6 p. [doi:10.1088/1757-899X/687/5/055065].
47. Pakowska Marta. Parametric, generative, evolutionary, organic and bionic architecture – A new look at an old problem. Architecture et Artibus. 2014. № 1. Pp. 42-45.
48. Курбатов Ю.И. Архитектура в контексте среды // Строительство и архитектура Ленинграда. 1977. № 4. С. 28-32.
49. Zvi Hecker. The cube and the dodecahedron in my polyhedric architecture. Leonardo. 1980. Vol. 13. Pp.272-275.

50. 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].
51. Wong, Yunn Chii. The Geodesic Works of Richard Buckminster Fuller, 1948–1968 (The Universe as a Home of Man), PhD thesis, Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, Department of Architecture, 1999.
52. 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].
53. Лыткин К.А. Элементы ноосферной архитектуры // Архитектура и строительство России. 2013. №1. С. 30-39.
54. Holgate Alan. Aesthetics of thin-walled structures. Thin-Walled Structures. 1990. 9, № 1-4. Pp. 437-457.

**Информация об авторах:**

**Кривошапко Сергей Николаевич**

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия,  
доктор технических наук, профессор, профессор-консультант Инженерной академии.  
E-mail: [sn.krivoshapko@mail.ru](mailto:sn.krivoshapko@mail.ru)

**Кристиан А. Бок Хьенг**

Сельскохозяйственный и технический государственный университет Северной Каролины, Гринсборо,  
Северная Каролина, США,  
доктор философии, доцент кафедры искусственной среды.  
E-mail: [hyengbock@hotmail.com](mailto:hyengbock@hotmail.com)

**Жиль-улбе Матье**

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия,  
кандидат технических наук, доцент департамента строительства Инженерной академии.  
E-mail: [gil-oulbem@hotmail.com](mailto:gil-oulbem@hotmail.com)

**Information about authors:**

**Krivoshapko S.N.**

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

**Christian A. Bock Hyeng**

North Carolina Agricultural and Technical State University, Greensboro, USA,  
PhD, Associate Professor of the Department of Built Environment.  
E-mail: [hyengbock@hotmail.com](mailto:hyengbock@hotmail.com)

**Mathieu Gil-oulbé**

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia,  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Civil Engineering of Engineering Academy.  
E-mail: [gil-oulbem@hotmail.com](mailto:gil-oulbem@hotmail.com)

В.З. АБДРАХИМОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Самарский государственный экономический университет, г. Самара, Россия

## ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МОНТМОРИЛЛОНИТОВОЙ ГЛИНЫ И «ХВОСТОВ» ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД

**Аннотация.** Исследования показали, что в глиняные массы с числом пластичности 12-15 не рекомендуется вводить отощающие материалы более 10-15%. Введение более 15% отощителей в керамические массы (шихта) снижает пластичность шихты с последующим ухудшением формовочных свойств, а менее 15% – не улучшает сушильных свойств кирпича-сырца (полуфабриката). С учетом появившейся проблемы, связанной с уменьшением глинистых материалов с числом пластичности более 12-15, необходимо изучить и исследовать возможности замещения таких традиционных глинистых материалов на монтмориллонитовые глины. Монтмориллонитовые глины, добавляемые даже в малых количествах, значительно улучшают формовочные свойства керамических масс, в составе которых преобладают непластичные минеральные компоненты. Для получения стенового материала в качестве глинистой связующей использовалась монтмориллонитовая глина, а в качестве отощителя «хвосты» обогащения полиметаллических руд. Получить керамический кирпич из монтмориллонитовой глины без отощителей практически невозможно, так как она обладает наибольшей влагоемкостью среди других глин. Введение в составы керамических масс на основе монтмориллонитовой глины обогащения полиметаллических руд позволяет получить керамические стеновые материалы марок М125.

**Ключевые слова:** монтмориллонит, «хвосты» флотации полиметаллических руд, стеновые материалы, отощители.

V.Z. ABDRAKHIMOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Samara state University of Economics, Samara, Russia

## PRODUCTION OF CERAMIC WALL MATERIALS BASED ON MONTMORILLONITE CLAY AND "TAILINGS" OF POLYMETALLIC ORES ENRICHMENT

**Abstract.** Studies have shown that it is not recommended to introduce thinning materials of more than 10-15% into clay masses with a number of 12-15. The introduction of more than 15% of thinners into ceramic masses (charge) reduces the plasticity of the charge with subsequent deterioration of molding properties, and less than 15% does not improve the drying properties of raw bricks (semi-finished products). Taking into account the emerging problem associated with the reduction of clay materials with a plasticity number of more than 12-15, it is necessary to study and explore the possibilities of replacing such traditional clay materials with montmorillonite clays. Montmorillonite clays, added even in small quantities, significantly improve the molding properties of ceramic masses, in which non-plastic mineral components predominate. To obtain the wall material, montmorillonite clay was used as a clay binder, and "tails" of polymetallic ore enrichment were used as a thinner". To get a ceramic brick from montmorillonite clay without thinners prak.

**Keywords:** montmorillonite, "tails" of polymetallic ore flotation, wall materials, thinners.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Морозов В.И. Физические основы пластического формования глиняного кирпича. М.: Стройиздат, 1973. 136 с.
2. Абдрахимов В.З. Производство керамических изделий на основе отходов цветной металлургии. Усть-Каменогорск: Восточно-Казахстанский государственный технический университет, 1997. 290 с.
3. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С., Денисов Д.Ю. Керамические строительные материалы. Самара: Самарская академия государственного управления, 2010. 364 с.
4. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С., Ковков И.В. Технология керамических материалов. Самара. Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2009. 92 с.
5. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. The influence of ferrous metallurgy waste in the Aktobe region on the frost resistance of ceramic bricks based on low-melting clay // Conference Paper Key Engineering Materials. 2021. 887 KEM. Pp. 453-459.
6. Safronov E.G., Silinskaya S.M., Naryzhnaya N.Y., Abdrakhimov V.Z. Ecological feasibility of ash slag recycling in the production of wall materials and optimization of ceramic masses according to technical indicators Authors // Ugol, 2021. No 6. Pp. 44-49.
7. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Innovative Approaches to Using Kazakhstan's Industrial Ferrous and Nonferrous Tailings in the Production of Ceramic Materials // Materials Science Forum. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland. 2020. Vol. 989. Pp 54-61.
8. Каныгина О.Н., Четвертникова А.Г., Лазарев Д.А., Сальникова Е.В. Высокотемпературные фазовые превращения в железосодержащих глинах Оренбуржья // Вестник ОГУ 2010. № 6. С. 113-118.
9. Турсынбаева А.Т., Курбаниязов С.К. Изучение различных свойств бентонитовых глин для получения строительных материалов // V-Международная студенческая научная конференция. Студенческий научный форум. Международный Казахско-турецкий университет. 2013. С. 78-88.
10. Белоусов П.Е., Крупская В.В. Бентонитовые глины России и стран ближнего зарубежья // Георесурсы. 2019. Т. 21. №3. С. 79-90.
11. Аксенова Л.Л., Хлебених Л.В. Использование отходов предприятий черной и цветной металлургии в строительной индустрии // Технические науки в России и за рубежом: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Москва, июль 2014 г.). Москва: Буки-Веди, 2014. С. 106-108. URL:<https://moluch.ru/conf/tech/archive/90/5669/> (дата обращения: 12.07.2022).
12. Raut S.P., Ralegaonkar R.V., Mandavgane S.A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks // Construction and Building Materials. 2011. V.25. P. 4037-4042.
13. Павлов В. Ф. Способ вовлечения в производство строительных материалов промышленных отходов // Строительные материалы. 2003. № 8. С. 28-30.
14. Роговой М.И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики. М.: Стройиздат, 1974. 319 с.
15. Сайбулатов С.Ж., Пиевский И.М., Степанова А.И., Нурбатуров К.А. Исследование реологических свойств и напряженного состояния зологлиняных керамических масс в процессе сушки // Промышленная теплотехника. 1982. Т4. №3. С. 62-65.
16. Науменко Н.О., Турк Г.Г. Негативное влияние пыли, образующейся в сушильных камерах кирпичного завода // Международный студенческий научный вестник. 2019. № 1. С. 21-24. URL:<https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19555> (дата обращения: 12.07.2022).

**REFERENCES**

1. Morozov V.I. Physical bases of plastic molding of clay bricks. M.: Stroyizdat, 1973. 136 p.
2. Abdrakhimov V.Z. Production of ceramic products based on non-ferrous metallurgy waste. Ust-Kamenogorsk: East Kazakhstan State Technical University, 1997. 290 p.
3. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S., Denisov D.Yu. Ceramic building materials. Samara: Samara Academy of Public Administration, 2010. 364 p.
4. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S., Kovkov I.V. Technology of ceramic materials. Samara. Samara State University of Architecture and Civil Engineering. 2009. 92 p.
5. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. The influence of ferrous metallurgy waste in the Aktobe region on the frost resistance of ceramic bricks based on low-melting clay // Conference Paper Key Engineering Materials. 2021. 887 KEM. Pp. 453-459.
6. Safronov E.G., Silinskaya S.M., Naryzhnaya N.Y., Abdrakhimov V.Z. Ecological feasibility of ash slag recycling in the production of wall materials and optimization of ceramic masses according to technical indicators Authors //Ugol, 2021. No 6. Pp. 44-49.

7. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Innovative Approaches to Using Kazakhstan's Industrial Ferrous and Nonferrous Tailings in the Production of Ceramic Materials // Materials Science Forum. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland. 2020. Vol. 989. Pp 54-61.
8. Kanygina O.N., Chetvertnikova A.G., Lazarev D.A., Salnikova E.V. High-temperature phase transformations in iron-containing clays of the Orenburg region // Bulletin of OSU 2010. No.6. Pp. 113-118.
9. Tursynbaeva A.T., Kurbaniyazov S.K. The study of various properties of bentonite clays for the production of building materials // V-International Student Scientific Conference. Student Scientific Forum. International Kazakh-Turkish University. 2013. Pp. 78-88.
10. Belousov P.E., Krupskaya V.V. Bentonite clays of Russia and neighboring countries // Geo resources. 2019. Vol. 21. No. 3. Pp. 79-90.
11. Aksenova L.L., Khlebenskikh L.V. The use of waste from ferrous and non-ferrous metallurgy enterprises in the construction industry // Technical sciences in Russia and abroad: materials of the III International Scientific Conference (Moscow, July 2014). Moscow: Buki-Vedi, 2014. Pp. 106-108. URL:<https://moluch.ru/conf/tech/archive/90/5669/> (accessed 12.07.2022).
12. Raut S.P., Ralegaonkar R.V., Mandavgane S.A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks // Construction and Building Materials. 2011. V.25. P. 4037-4042.
13. Pavlov V.F. The method of involving industrial waste in the production of building materials // Building materials. 2003. No. 8. Pp. 28-30.
14. Rogovoy M.I. Technology of artificial porous fillers and ceramics. M.: Stroyizdat, 1974. 319 p.
15. Saibulatov S.Zh., Pievsky I.M., Stepanova A.I., Nurbaturov K.A. Investigation of rheological properties and stress state of zologlin ceramic masses during drying // Industrial Heat Engineering. 1982. T4. No.3. Pp. 62-65.
16. Naumenko N.O., Turk G.G. The negative impact of dust formed in the drying chambers of a brick factory // International Student Scientific Bulletin. 2019. No. 1. Pp. 21-24. URL:<https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19555> (accessed: 12.07.2022).

### Информация об авторе:

#### **Абдрахимов Владимир Закирович**

Самарский государственный экономический университет, г. Самара, Россия,  
доктор технических наук, профессор (профессор кафедры «Землеустройство и кадастры»), почетный работник  
высшего и профессионального образования.

E-mail: [3375892@mail.ru](mailto:3375892@mail.ru)

### Information about author:

#### **Abdrakhimov Vladimir Z.**

Samara State University of Economics, Samara, Russia,  
doctor of technical sciences, professor (Professor of the Department of Land Management and Cadastre).

E-mail: [3375892@mail.ru](mailto:3375892@mail.ru)

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

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

**В тексте статьи** не рекомендуется применять:

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

**Обязательные элементы:**

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

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

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

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

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

---

*Адрес издателя:*

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

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

*Адрес редакции*

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

<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>  
E-mail: str\_and\_rek@mail.ru

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

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

Подписано в печать 30.08.2022 г.  
Дата выхода в свет 14.09.2022 г.  
Формат 70×108/16. Печ. л. 8,75  
Цена свободная. Тираж 1000 экз.  
Заказ №

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