

Главный редактор:

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

Заместители главного редактора:

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

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

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

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

Редколлегия:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Исполнительный редактор:

Юрова О.В., (Россия)

Адрес редакции:

302030, Орловская обл., г. Орёл,

ул. Московская, д. 77.

Тел.: +79065704999

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

E-mail: str_and_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе

по надзору в сфере связи, информационных

технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство: ПИ №ФС 77-67169

от 16 сентября 2016 г.

Подписной индекс **86294**

по объединенному каталогу «Пресса России»

на сайтах www.ppressa-ru.ru и www.akc.ru

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2023

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Мамин А.Н., Авдеев К.В., Бобров В.В., Рэуцу А.В.** Реставрация архитектурного наследия В.Г. Шухова..... 3
- Мондрус В.Л., Сизов Д.К., Акимова И.В.** Определение характерных особенностей работы перфорированного резинометаллического виброизолятора с использованием программных комплексов, реализующих метод конечного элемента..... 11
- Тамразян А.Г., Сайед Й.А.К.** Экспериментальное исследование коэффициента перераспределения моментов в статически неопределимых железобетонных балках..... 24

Безопасность зданий и сооружений

- Истомин А.Д.** Влияние циклического замораживания и оттаивания на диаграмму деформирования сжатого бетона..... 36
- Мацевич Т.А., Андреев И.Ф.** Функция надежности предварительно напряженной корродированной железобетонной балки при нелинейном распространении коррозии..... 45
- Себешев В.Г., Лукин Е.К.** Надежность и долговечность трубчатых элементов стальных конструкций при неравномерных коррозионных повреждениях..... 53
- Федорова Н.В., Бушова О.Б., Колчунов В.И.** Расчет конструктивно нелинейных железобетонных рам при их хрупком разрушении по наклонному сечению..... 63

Архитектура и градостроительство

- Алборова Л.А., Мамиева И.А.** Криволинейные формы в архитектуре зданий и сооружений в начале XXI-го века..... 76
- Енин А.Е., Заплавная А.Э.** Специфика послевоенной реконструкции квартальной застройки исторического центра г. Воронежа в XX в.... 87

Строительные материалы и технологии

- Ельчищева Т.Ф., Ерофеев В.Т., Монастырев П.В., Абрамова Е.Н., Афонин В.В., Ерофеева И.В., Атманзин А.Ф.** Биостойкость цементных композитов из сухих строительных..... 103
- Макеев А.И.** Формирование маршрута магистральной трещины разрушения в многоуровневой структуре конгломератных строительных композитов..... 119
- Пузатова А.В., Дмитриева М.А., Захаров А.А., Лейцин В.Н.** Зола-уноса при производстве бетонов различного назначения и сухих строительных смесей..... 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)
Karpenko N.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Kolesnikova T.N., doc. arc., prof. (Russia)
Kolchunov V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Korobko A.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Korol E.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Krivoshapko S.N., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Lafhaj Z., doc. sc. tech., prof. (France)
Melkumov V.N., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Orlovic R.B., doc. sc. tech., prof. (Poland)
Ptichnikova G.A., doc. arc., prof. (Russia)
Rebolj D., doc. sc. tech., prof. (Slovenia)
Rimshin V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Tamrazyan A.G., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Travush V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Treschev A.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Tur V.V., doc. sc. tech., prof. (Belorussia)
Turkov A.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Fedorov V.S., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Fedorova N.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Schach R., doc. sc. tech., prof. (Germany)
Iakovenko I.A., doc. sc. tech., prof. (Ukraine)

Managing Editor:
Yurova O.V. (Russia)

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

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

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

© Orel State University, 2023

Contents

Theory of engineering structures. Building units

- Mamin A.N., Avdeev K.V., Bobrov V.V., Reutsu A.V.** Restoration of the architectural heritage of V.G. Shukhov..... 3
- Mondrus V.L., Sizov D.K., Akimova I.V.** Determination of the characteristic features of the operation of a perforated rubber-metallic vibrator insulator with the use of software packages implementing the finite element method..... 11
- Tamrazyan A.G., Sayed Y.A.K.** Experimental study of the coefficient of moment redistribution in statically indeterminate rc beams..... 24

Building and structure safety

- Istomin A.D.** The effect of cyclic freezing and thawing on the deformation diagram of compressed concrete..... 36
- Matsevich T.A., Andreev I.F.** Reliability function of a prestressed corroded reinforced concrete beam with nonlinear corrosion propagation..... 45
- Sebeshev V.G., Lukin E.K.** Reliability and durability of tubular elements of steel structures under ununiform corrosion damage..... 53
- Fedorova N.V., Bushova O.B., Kolchunov V.I.** Calculation of structurally nonlinear reinforced concrete frames during their destruction along an inclined section..... 63

Architecture and town-planning

- Alborova L.A., Mamieva I.A.** Curvilinear forms in architecture of buildings and erections..... 76
- Enin A.E., Zaplavnaya A.E.** The specifics of the post-war reconstruction of the historical center of Voronezh (1943-1959)..... 87

Construction materials and technologies

- Elchishcheva T.F., Erofeev V.T., Monastirev P.V., Abramova E.N., Afonin V.V., Erofeeva I.V., Atmanzin A.F.** Biostability of cement composites from dry building mixtures..... 103
- Makeev A.I.** Formation of the route of the main crack of destruction in the multi-level structure of conglomerate building composites..... 119
- Puzatova A.V., Dmitrieva M.A., Zakharov, A.A., Leitsin V.N.** Fly ash in the production of concrete for various purpose and dry construction mixtures..... 132

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

А.Н. МАМИН^{1,2}, К.В. АВДЕЕВ¹, В.В. БОБРОВ^{1,2,3}, А.В. РЭУЦУ¹

¹АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений – ЦНИИПромзданий», г. Москва, Россия

²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия

³Вятский государственный университет, г. Киров, Россия

РЕСТАВРАЦИЯ АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В.Г. ШУХОВА

Аннотация. Статья посвящена вопросу сохранения архитектурного наследия выдающегося русского инженера В.Г. Шухова. Рассмотрены три объекта: московская Радиобашия на Шаболовке, «Шуховский пролет» Листопрокатного цеха и Водонапорная башия, расположенные в г. Выкса Нижегородской области. Представлены основные конструктивные параметры указанных сооружений и результаты их технического обследования, проведенные противоаварийные мероприятия для обеспечения сохранности Радиобашии в Москве и рекомендации по реставрации всех трех сооружений с переносом Листопрокатного цеха и Водонапорной башии в центральную часть г. Выкса. Предусмотрено воссоздание исторического облика сооружений, а также благоустройство прилегающей территории. Предполагается восстановление геометрической формы сечения лазерным напылением порошкового металла, и только в случае невозможности восстановления элемента предусмотрена его замена. Для сохранения исторического облика соединения стальных конструкций будут на болтах, имитирующих заклёпки. В ходе проведения земляных работ запланированы археологические исследования, так как в границах территории строительства (г. Выкса) могут залегать участки сохранившихся культурных напластований объекта культурного наследия «Усадебно-промышленный комплекс, XVIII-XIX вв.».

Ключевые слова: радиобашия, водонапорная башия, коррозия, обследование, реставрация.

A.N. MAMIN^{1,2}, K.V. AVDEEV¹, V.V. BOBROV^{1,2,3}, A.V. REUTSU¹

¹JSC «Central Research and Design Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures – Tsniiipromzdaniï», Moscow, Russia

²Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia

³Vyatka State University, Kirov, Russia

RESTORATION OF THE ARCHITECTURAL HERITAGE OF V.G. SHUKHOV

Abstract. The article is devoted to the issue of preserving the architectural heritage of the outstanding Russian engineer V.G. Shukhov. Three objects are considered: the Moscow Radio Tower on Shabolovka, the "Shukhov Span" of the Sheet-rolling Shop and the Water Tower located in Vyksa, Nizhny Novgorod region. The main technical parameters of these structures and the results of their technical inspection are presented, emergency measures taken to ensure the safety of the Radio Tower in Moscow and recommendations for the restoration of all three structures with the transfer of the Sheet Rolling Shop and the Water Tower to the central part of the city Vyksa. It is planned to recreate the historical appearance of the buildings, as well as the improvement of the adjacent territory. It is supposed to restore the geometric shape of the cross-section by laser spraying of powdered metal, and only if it is impossible to restore the element, its replacement is provided. In order to preserve the historical appearance, the joints of steel structures will be on bolts imitating rivets.

© Мамин А.Н., Авдеев К.В., Бобров В.В., Рэуцу А.В., 2023

Archaeological investigations are planned during the excavation, as areas of preserved cultural strata of the cultural heritage object "Manor-industrial complex, XVIII-XIX centuries" may lie within the boundaries of the construction territory (Vyksa).

Keywords: radio tower, water tower, corrosion, inspection, restoration.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Г. Шухов (1853-1939). Искусство конструкции: Перевод с немецкого. Под ред. Р. Грефе, М.М. Гаппоева, О. Перчи. Москва: Мир, 1995. 192 с.
2. Зеленова С.В., Виноградова Т.П., Коротаева Д.И., Ометова Г.Н. Шухов В.Г. Нижегородские проекты. Территория уникальных объектов. Н. Новгород: Литера, 2016. 224 с.
3. Виноградова Т.П. Шухов В.Г. Нижегородские проекты. Гений В.Г. Шухова и современная эпоха: материалы международного конгресса. Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. С. 108-114.
4. Никитин Ю.А. Промышленные выставки России XIX – XX века. Череповец: Полиграфист, 2004. 269 с.
5. Гаппоев М.М. Арочные конструкции с системой гибких затяжек. В кн. Шухов В.Г. (1853 – 1939). Искусство конструкции. Москва: Мир, 1995. 54-59 с.
6. Мамин А.Н., Кодыш Э.Н., Бобров В.В., Рэуцу А.В. «Шуховский пролет» листопрокатного цеха Нижне-Выксунского завода // АCADEMIA. Архитектура и строительство. 2019. №2. С. 110–116. <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2019-2-110-116>
7. Водонапорная башня, Горьковская обл., г. Выкса. Паспорт памятника истории и культуры СССР. Министерство культуры СССР. Архив УГО ОКН Нижегородской области, 1976.
8. Отдел капитального строительства Выксунского металлургического завода. Технический проект водонапорной башни // Фонды Музея истории завода усадебно-промышленного комплекса Баташевых-Шепелевых, № 284/10. 1937.
9. Мамин А.Н., Кодыш Э.Н., Ершов М.Н., Бобров В.В., Рэуцу А.В. Реставрация водонапорной башни Нижне-Выксунского завода // Строительство и реконструкция. 2019. № 1. С. 67-75. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2019-81-1-67-75>
10. Гранев В.В., Мамин А.Н., Кодыш Э.Н., Кузнеченко С.А., Ершов М.Н. Техническое состояние несущих конструкций радиобашни В. Г. Шухова // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 12. С. 90-92.
11. Отчет по результатам обследования строительных конструкций Радиобашни Шухова, расположенной по адресу: г. Москва, ул. Шухова, 10, стр.2. (проектная документация на производство ремонтно-реставрационных работ по сохранению объекта культурного наследия регионального значения «Радио-башня, 1922 г., инженера В.Г.Шухова», по адресу: Москва, ул. Шухова, дом 10, стр.2). Книга №1. Москва: АО «ЦНИИПромзданий», 2011. 99 с.
12. Гранев В.В., Мамин А.Н., Кодыш Э.Н., Бобров В.В., Ершов М.Н., Матвеевский С.А. Сохраним радиобашню В.Г. Шухова // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 6. С. 14-19.
13. Гранев В.В., Мамин А.Н., Кодыш Э.Н., Еремин К.И., Ершов М.Н., Шнейдеров Г.Р. Некоторые свойства порошкового металла при его лазерном напылении для восстановления сечений стальных строительных конструкций // Строительные материалы. 2018. № 9. С. 54 – 57.
14. Кодыш Э.Н., Мамин А.Н., Бобров В.В., Рэуцу А.В. и Кузнеченко С.А. Результаты обследования радиобашни В.Г. Шухова // Строительство и реконструкция. 2017. № 6 (74). С. 43-48.

REFERENCES

1. V.G. Shukhov 1853-1939. The Art of Construction, edited by R. Grefe, M.M. Gappoev, O. Perchi. Moscow: Izdatel'stvo Mir, 1995. 192 p.
2. Zelenova S.V., Vinogradova T.P., Korotaeva D.I., Shemetova G.N. Shukhov V.G.: Nizhny Novgorod projects. Territory of unique objects. N. Novgorod: Publishing house of the Litera, 2016. 224 p. (rus)
3. Vinogradova T.P. Shukhov V.G.: Nizhegorodskie proekty. Territoriya unikal'nykh obektov [V.G. Shukhov. Nizhny Novgorod projects. The Genius of V.G. Shukhov and the Modern Era]. Proceedings of the International Congress of the International Congress. Moscow: Publishing House of the Bauman Moscow State Technical University, 2015. Pp. 108-114. (rus)
4. Nikitin Yu.A. Industrial exhibitions of Russia of the XIX – XX century. Cherepovets: Polygraphist, 2004. 269 p. (rus)
5. Gappoev M.M. Arched structures with a system of flexible puffs, in V.G. Shukhov 1853-1939. The Art of Construction. Moscow: Izdatel'stvo Mir, 1995. Pp. 54-59.

6. Mamin A.N., Kodysh E.N., Bobrov V.V., Reutsu A.V. «Shukhovskii prolet» listoprokatnogo tsekha Nizhne-Vyksunskogo zavoda ["Shukhov span" of the sheet rolling shop of the Nizhne-Vyksa plant]. *Academia. Architecture and construction*. 2019. No 2. Pp. 110 – 116 (2019). (rus) <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2019-2-110-116>
7. Vodonapornaya bashnya, Gor'kovskaya obl., g. Vyksa. Pasport pamyatnika istorii i kul'tury SSSR. Ministerstvo kul'tury SSSR. Arkhiv UGO OKN Nizhegorodskoi oblasti [Water tower, Gorky region, Vyksa. Passport of the monument of history and culture of the USSR. Ministry of Culture of the USSR. Archive of the UGO OKN of the Nizhny Novgorod region]. 1976. (rus)
8. Otdel kapital'nogo stroitel'stva Vyksunskogo metallurgicheskogo zavoda. Tekhnicheskii proekt vodonapornoj bashni. Fondy Muzeya istorii zavoda usadebno-promyshlennogo kompleksa Batashevyykh-Shepelevyykh, №284/10 [Department of capital construction of the Vyksa Metallurgical Plant. Technical project of the water tower. Funds of the Museum of the History of the Batashev-Shepelev estate and Industrial Complex]. No 284/10. 1937. (rus)
9. Mamin A.N., Kodysh E.N., Ershov M.N., Bobrov V.V., Reutsu A.V. Restoration of the water tower Nizhnyaya-Vyksa plant. *Building and Reconstruction*. 2017. No 1. Pp. 67-75. (rus) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2019-81-1-67-75>
10. Granev V.V., Ershov M.N., Mamin A.N., Kodysh E.N., Kuznechenko S.A. Operating conditions of bearing structures of the Shukhov radio tower. *Industrial and civil engineering*, 2012. No 12. Pp. 90-92. (rus)
11. Report on the results of the survey of the building structures of the Shukhov Radio Tower, located at the address: Moscow, Shukhov str., 10, p.2. (project documentation for the production of repair and restoration works for the preservation of the cultural heritage object of regional significance "Radio Tower, 1922, engineer V.G.Shukhov", at the address: Moscow, ul.Shukhov, house 10, p. 2). Book No. 1. Moscow: Publishing of the AO TsNIIPromzdaniy. 2011. 99 p. (rus)
12. Granev V.V., Mamin A.N., Kodysh E.N., Bobrov V.V., Ershov M.N., Matveyushkin S.A. Sokhranim radiobashnyu V.G. Shukhova [Save the V. G. Shukhov radio tower]. *Industrial and civil engineering*. 2012. No. 12. Pp. 14–19. (rus)
13. Granev V.V., Mamin A.N., Kodysh E.N., Eremin K.I., Ershov M.N., Schneiderov G.R. Nekotorye svoystva poroshkovogo metalla pri ego lazernom napylenii dlya vosstanovleniya sechenii stal'nykh stroitel'nykh konstruksii [Some properties of powdered metal during its laser spraying for the restoration of sections of steel building structures]. *Building materials*. 2018. No 9. Pp. 54–57. (rus) <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-54-57>
14. Kodysh E.N., Mamin A.N., Bobrov V.V., Reutsu A.V., Kuznechenko S.A. Rezul'taty obsledovaniya radiobashni V.G. Shukhova [The results of the survey of the radio tower by V. Shukhov]. *Building and Reconstruction*. 2017. No 6. Pp. 43–48. (rus).

Информация об авторах:

Мамин Александр Николаевич

АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений – ЦНИИПромзданий», г. Москва, Россия,
доктор технических наук, профессор, начальник отдела обследований зданий и сооружений.
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия,
профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: otozs@yandex.ru

Авдеев Кирилл Владимирович

АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений – ЦНИИПромзданий», г. Москва, Россия,
зам. генерального директора – главный инженер.
E-mail: 6136133@mail.ru

Бобров Владимир Викторович

АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений – ЦНИИПромзданий», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, заведующий сектором отдела обследований зданий и сооружений № 1.
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия,
доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.
Вятский государственный университет, г. Киров, Россия,
доцент кафедры строительного производства.
E-mail: vbobrov1985@bk.ru

Рэуцу Александр Викторович

АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений – ЦНИИПромзданий», г. Москва, Россия,
ведущий инженер.
E-mail: otozs@yandex.ru

Information about authors:

Mamin Aleksandr N.

JSC «Central Research and Design Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures – Tsniipromzdaniy»,
Moscow, Russia,
doctor of technical sciences, Professor, Head of the Department of Surveys of Buildings and Structures.
Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia,
professor of the department of Reinforced Concrete and Stone Structures.
E-mail: otozs@yandex.ru

Avdeev Kirill V.

JSC «Central Research and Design Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures – Tsniipromzdaniy»,
Moscow, Russia,
deputy general director – chief engineer.
E-mail: 6136133@mail.ru

Bobrov Vladimir V.

JSC «Central Research and Design Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures – Tsniipromzdaniy»,
Moscow, Russia,
candidate in technical sciences, Head of the Sector of the Department of Surveys of Buildings and Structures No. 1.
Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia,
associate professor of the department of Reinforced Concrete and Stone Structures.
Vyatka State University, Kirov, Russia,
associate professor of the Department of Construction Production.
E-mail: vbobrov1985@bk.ru

Reutsu Alexandr V.

JSC «Central Research and Design Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures – Tsniipromzdaniy»,
Moscow, Russia,
principal engineer.
E-mail: otozs@yandex.ru

В.Л. МОНДРУС¹, Д.К. СИЗОВ¹, И.В. АКИМОВА²

¹НИУ МГСУ «Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия

²ООО «ВИБРОСЕЙСМОЗАЩИТА», г. Москва, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ПЕРФОРИРОВАННОГО РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ВИБРОИЗОЛЯТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ, РЕАЛИЗУЮЩИХ МЕТОД КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Аннотация. Описываются особенности статического и динамического поведения резинометаллических виброизоляторов, планируемых к использованию для виброизоляции зданий в современном строительном комплексе. Приводятся результаты конечно-элементного моделирования виброизоляторов с целью определения статических и динамических характеристик. Рассмотрены как однослойные виброизоляторы, так и виброизоляторы, включающие в себя три резиновых слоя. Как показали результаты расчетов, наличие перфораций существенным образом сказывается на несущей способности виброизоляторов, значительно уменьшая её, однако, эффективность работы таких виброизоляторов также повышается по сравнению с полностью монолитными виброизоляторами без отверстий. Это объясняется целым рядом причин, одна из которых – это практическая несжимаемость резиновых слоев. Фактически, резиновые тела могут подвергаться сжатию только за счет деформирования боковой поверхности, таким образом, развивая боковую поверхность резиновых слоев можно добиться приемлемой жесткости виброизолятора как конструктивного элемента, что позволит снизить жесткость системы виброизоляции. Существенно важным является и пространственное расположение отверстий, так размещение отверстий вблизи от боковой поверхности резинового слоя дает существенно меньший эффект, по сравнению с размещением отверстий в центре. В процессе расчета выяснилось, что в сжатых резиновых слоях наблюдается эффект образования ярковыраженных зон всестороннего сжатия. Наличие центральных отверстий приводит к разрушению таких зон в большинстве образцов, что позволяет в большей степени понизить первую собственную частоту виброизолируемой системы, тем самым, способствуя повышению эффективности виброзащитных мероприятий. Выбор конфигурации отверстий представляет собой оптимизационную задачу, где, с одной стороны, необходимо обеспечить приемлемую с точки зрения практики виброизоляции несущую способность виброизоляторов при заданных размерах виброизолятора в плане, а, с другой стороны, максимально снизить жесткость системы, увеличивая, таким образом, эффективность виброзащитных мероприятий.

Ключевые слова: резинометаллические виброизоляторы, виброзащита, метод конечно-элементного анализа, многослойные виброизоляторы, техногенная вибрация

V.L. MONDRUS¹, D.K. SIZOV¹, I.V. AKIMOVA²

¹NRU MG SU «Moscow State Construction University», Moscow, Russia

²LLC «VIBROSEISMOZASCHITA», Moscow, Russia

DETERMINATION OF THE CHARACTERISTIC FEATURES OF THE OPERATION OF A PERFORATED RUBBER-METALLIC VIBRATOR INSULATOR WITH THE USE OF SOFTWARE PACKAGES IMPLEMENTING THE FINITE ELEMENT METHOD

Abstract. The features of the static and dynamic behavior of rubber-metal vibration isolators planned for use for vibration isolation of buildings in a modern building complex are considered.

© Мондрус В.Л., Сизов Д.К., Акимова И.В., 2023

The results of finite element modeling of vibration isolators are presented in order to determine the static and dynamic characteristics. Both single-layer vibration isolators and vibration isolators, including three rubber layers, are considered. As the calculation results showed, the presence of perforations significantly affects the bearing capacity of vibration isolators, significantly reducing it, however, the efficiency of such vibration isolators also increases compared to completely monolithic vibration isolators without holes. This is due to a number of reasons, one of which is the practical incompressibility of the rubber layers. In fact, rubber bodies can be subjected to compression only due to the deformation of the side surface, thus, by developing the side surface of the rubber layers, it is possible to achieve acceptable rigidity of the vibration isolator as a structural element, which will reduce the rigidity of the vibration isolation system. The spatial arrangement of the holes is also essential, since the placement of the holes close to the side surface of the rubber layer gives a significantly smaller effect compared to the placement of the holes in the center. In the process of calculation, it turned out that in the compressed rubber layers, the effect of the formation of pronounced zones of all-round compression is observed. The presence of central holes leads to the destruction of such zones in most samples, which makes it possible to reduce the first natural frequency of the vibration-isolated system to a greater extent, thereby contributing to an increase in the effectiveness of vibration protection measures. The choice of the hole configuration is an optimization problem, where, on the one hand, it is necessary to ensure the bearing capacity of vibration isolators acceptable from the point of view of vibration isolation for given dimensions of the vibration isolator in the plan, and, on the other hand, to minimize the rigidity of the system, thus increasing the effectiveness of vibration protection measures.

Keywords: *rubber-metal vibration isolators, vibration protection, finite element method, multilayer vibration isolators, industrial vibration.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дашевский М.А., Ковальчук О.А., Мондрус В.Л. Влияние поездного состава метрополитена на поведение крупнопанельных зданий повышенной этажности // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений (ССБС). 2004. № 3. С. 40-43.
2. Дашевский М.А., Моторин В.В., Акимова И.В. Формирование напряжённого состояния виброизолируемого здания в процессе монтажа резинометаллических виброизоляторов // Москва. Вестник МГСУ. 2015. № 12. С. 25-33.
3. Liu W.N., M.Ma, Metro Train Induced Environmental Vibrations: Prediction, Evaluation and Control // Science Press, Beijing, China. 2013. Pp. 615-626. doi:10.1007/978-981-15-2349-6_38
4. Fang L., Yao J., Xia H. Prediction on soil-ground vibration induced by high-speed moving train based on artificial neural network model // Advances in Mechanical Engineering. 2019. Vol. 11. No. 5. doi:10.1177/1687814019847290 journals.sagepub.com/home/ade
5. Tao Sheng, Gan-bin Liu, XuechengBian, Wei-xing Shi, Yue Chen, Development of a three-directional vibration isolator for buildings subject to metro- and earthquake-induced vibrations // Engineering Structures. 2022. Vol. 252. 113576, ISSN 0141-0296
6. Yang, Jianjin , Shengyang Zhu, Wanming Zhai, Georges Kouroussis, Yue Wang, Kaiyun Wang, Kai Lan, Fangzheng Xu, Prediction and mitigation of train-induced vibrations of large-scale building constructed on subway tunnel // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 668. Pp. 485-499.
7. Sheng X., Jones C.J.C., Thompson D.J. Prediction of ground vibration from trains using the wavenumber finite and boundary element methods // Journal of Sound and Vibration. 2006. Vol. 293. No. 3-5. Pp. 575-586.
8. Мондрус В.Л., Хуэн Л.Т.Т., Сизов Д.К. Распределение амплитуд виброускорений в многоэтажном административном здании от источников техногенного происхождения // Вестник МГСУ. 2010. № 1. С. 113-116.
9. Волков А.В., Калашникова Н.К., Курнавин С.А., Веретина И.А. Виброзащита зданий, расположенных вблизи линий метрополитена. [Электронный ресурс]. <http://www.mukhin.ru/stroysovet/funds/35.html> (дата обращения: 24.07.2023).
10. Дашевский М.А., Моторин В.В., Мамажанов М.А. Виброзащита крупнопанельных зданий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. № 10. [Электронный ресурс]. <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-vibrozaschity-zdaniy-i-sooruzheniy-v-pole-stroitelnyh-normativov-rf/viewer> (дата обращения: 24.07.2023).
11. Trifunac M.D., Ivanovic S.S., Todorovska M.I. Wave propagation in a seven-story reinforced concrete building: III Damage detection via changes in wavenumbers // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2003. Vol. 23. Iss. 1. Pp. 65-75.
12. Mickaitis M., Stauskis V.J. Vibration transmission through joints of walls and columns in frame buildings // Journal of civil engineering and management. 2005. Vol. XI. No. 3. Pp. 185-191.

13. Алявдин П.В., Музычкин Ю.А. Вибрация конструкций каркасного здания, вызванная движением поездов метрополитена // Вестник Белорусского национального технического университета: научно-технический журнал. 2011. № 2. С. 5-9.
14. Дашевский М.А., Мондрус В.В., Моторин В.В., Сизов Д.К. Виброзащита зданий Москва: Из-во ООО «Сам Полиграфист», 2021. 252 с.
15. Мондрус В.Л., Сизов Д.К., Хуэн Л.Т.Т. Снижение уровня сейсмического воздействия при движении грунта основания с использованием сейсмоизоляторов // Строительные материалы, оборудование, технологии XIX века. 2011. № 1(144). С. 48-49.
16. Балакин П.Д., Красотина Л.В., Кривцов А.В. Моделирование работы резинометаллического виброизолятора // Омск: Омский научный вестник. 2016. № 3 (147). С. 5-9.
17. Федорова А.С. Расчет систем виброизоляции в том числе с нелинейными характеристиками // Дни студенческой науки Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института строительства и архитектуры НИУ МГСУ (13-17 марта 2017). 2017. С. 871-874. ISBN 978-5-7264-1604-5.
18. Zhixing Li, Jingjun Lou, Shijian Zhu and Simi Tang, Simulation on performance of rubber isolator based on ANSYS, 2011 // Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, Inner Mongolia, China, 2011. Pp. 1608-1611. doi:10.1109/MACE.2011.5987260
19. Дашевский М.А. Инженерный метод нелинейного расчета резинометаллических виброизоляторов для зданий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2006. № 6. С. 37-41.
20. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/Nastran for Windows. Москва: ДМК Пресс, 2003. 448 с.
21. Басов К.А. ANSYS Справочник пользователя. Москва: ДМК Пресс, 2014. 640 с.
22. Басов К.А. ANSYS В примерах и задачах. Москва: КомпьютерПресс, 2002. 224 с.

REFERENCES

1. Dashevskyy M.A., Koval'chuk O.A., Mondrus V.L Vliyanie poyezdnogo sostava metropolitena na povedeniye krupnopanel'nykh zdaniy povyshennoy etazhnosti [The Influence of the Subway Train Composition on the Behavior of Large-Panel High-Rise Buildings] // Seysmostoykoye stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy (SSBS). 2004. No. 3. Pp. 40-43. (rus).
2. Dashevskiy M.A., Motorin V.V., Akimova I.V. Formirovaniye napryazhonogo sostoyaniya vibroizoliruyemogo zdaniya v protsesse montazha rezinometallicheskih vibroizolyatorov [Formation of a stressed state of a vibration-insulated building during the installation of rubber-metal vibration isolators] Vestnik MGSU. 2015. No. 12. Pp.25-33. (rus).
3. Liu W.N., M. Ma, Metro Train Induced Environmental Vibrations: Prediction, Evaluation and Control // Science Press, Beijing, China. 2013. Pp. 615-626. doi:10.1007/978-981-15-2349-6_38
4. Fang L., Yao J., Xia H. Prediction on soil-ground vibration induced by high-speed moving train based on artificial neural network model // Advances in Mechanical Engineering, 2019. Vol. 11. No. 5. doi:10.1177/1687814019847290 journals.sagepub.com/home/ade
5. Tao Sheng, Gan-bin Liu, XuechengBian, Wei-xing Shi, Yue Chen, Development of a three-directional vibration isolator for buildings subject to metro- and earthquake-induced vibrations // Engineering Structures. 2022. Vol. 252. 113576, ISSN 0141-0296
6. Yang, Jianjin , Shengyang Zhu, Wanming Zhai, Georges Kouroussis, Yue Wang, Kaiyun Wang, Kai Lan, Fangzheng Xu, Prediction and mitigation of train-induced vibrations of large-scale building constructed on subway tunnel // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 668. Pp. 485-499.
7. Sheng X., Jones C.J.C., Thompson D.J. Prediction of ground vibration from trains using the wavenumber finite and boundary element methods // Journal of Sound and Vibration. 2006. Vol. 293. No. 3-5. Pp. 575-586.
8. Mondrus V.L., Khuen L.T.T., Sizov D.K. Raspredeleniye amplitud vibrouskoreniy v mnogoetazhnom administrativnom zdanii ot istochnikov tekhnogennogo proiskhozhdeniya [Distribution of amplitudes of vibration accelerations in a multi-storey administrative building from sources of technogenic origin] Vestnik MGSU. 2010. No. 1. Pp. 113-116. (rus).
9. Volkov A.V., Kalashnikova N.K., Kurnavin S.A., Veretina I.A. Vibrozashchita zdaniy, raspolozhennykh vblizi liniy metropolitena [Vibration protection of buildings located near metro lines]. [Online]. <http://www.mukhin.ru/stroysovet/funds/35.html> (date of application: 24.07.2023). (rus).
10. Dashevskiy M.A., Motorin V.V., Mamazhanov M.A. Vibrozashchita krupnopanel'nykh zdaniy. [Vibration protection of large-panel buildings] // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. No. 10. [Online]. <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-vibrozaschity-zdaniy-i-sooruzheniy-v-pole-stroitelnyh-normativov-rf/viewer> (date of application: 24.07.2023). (rus).
11. Trifunac M.D., Ivanovic S.S., Todorovska M.I. Wave propagation in a seven-story reinforced concrete building: III Damage detection via changes in wavenumbers // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2003. Vol.23. Iss. 1. Pp. 65-75.
12. Mickaitis M., Stauskis V.J. Vibration transmission through joints of walls and columns in frame buildings // Journal of civil engineering and management. 2005. Vol. XI. No. 3. Pp. 185-191.

13. Alyavdin P.V., Muzychkin YU.A. Vibratsiya konstruktivnykh karkasnykh zdaniy, vyzvannaya dvizheniyem poyezdov metropolitena [Vibration of frame building structures caused by the movement of subway trains] Vestnik Belorusskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta : nauchno-tekhnicheskii zhurnal. 2011. No. 2. Pp. 5-9. (rus).
14. Dashevskiy M.A., Mondrus V.V., Motorin V.V., Sizov D.K.. Vibrozashchita zdaniy [Vibration protection of buildings]. Moscow: Iz-vo LLC «Sam Poligrafist», 2021. 252 p.
15. Mondrus V.L., Sizov D.K., Khuen L.T.T. Snizheniye urovnya seysmicheskogo vozdeystviya pri dvizhenii grunta osnovaniya s ispol'zovaniyem seismoizolyatorov [Reducing the level of seismic impact during the movement of the foundation soil using seismic isolators] Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XIX veka. 2011. No. 1(144). Pp. 48-49. (rus).
16. Balakin P.D., Krasotina L.V., Krivtsov A.V. Modelirovaniye raboty rezinometallicheskogo vibroizolyatora [Modeling the operation of a rubber-metal vibration isolator] Omskiy nauchnyy vestnik. 2016. No. 3 (147). Pp. 5-9.
17. Fedorova A.S. Raschet sistem vibroizolyatsii v tom chisle s nelineynymi kharakteristikami [Calculation of vibration isolation systems, including those with non-linear characteristics] // Dni studencheskoy nauki Sbornik dokladov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot studentov instituta stroitel'stva i arkhitektury NIU MGSU (13-17 marta 2017). 2017. Pp. 871-874. ISBN 978-5-7264-1604-5. (rus).
18. Zhixing Li, Jingjun Lou, Shijian Zhu and Simi Tang, Simulation on performance of rubber isolator based on ANSYS, 2011 // Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, Inner Mongolia, China. 2011. Pp. 1608-1611. doi:10.1109/MACE.2011.5987260
19. Dashevskiy M.A. Inzhenernyy metod nelineynogo rascheta rezinometallicheskiykh vibroizolyatorov dlya zdaniy [Engineering method for non-linear calculation of rubber-metal vibration isolators for buildings] Seysmostoynoye stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy. 2006. No. 6. Pp. 37-41. (rus).
20. Shimkovich D.G. Raschet konstruktivnykh v MSC/Nastran for Windows. [Structural Analysis in MSC/Nastran for Windows] Moscow: DMK Press, 2003. 448 p. (rus).
21. Basov K.A. ANSYS Spravochnik pol'zovatelya [ANSYS User Manual]. Moscow: DMK Press. 2014. 640 p. (rus).
22. Basov K.A. ANSYS V primerakh i zadachakh. [ANSYS In examples and tasks] Moscow: ComputerPress. 2002. 224 p. (rus).

Информация об авторах:

Мондрус Владимир Львович

НИУ МГСУ «Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия, доктор технических наук, член-корр. РААСН, заведующий кафедрой «Строительная и теоретическая механика», и.о. президента Eurasian SEISMO Association (EASA).
E-mail: mondrus@mail.ru

Сизов Дмитрий Константинович

НИУ МГСУ «Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительная и теоретическая механика».
E-mail: newfff@mail.ru

Акимова Ирина Валерьевна

ООО «ВИБРОСЕЙСМОЗАЩИТА», г. Москва, Россия, ведущий инженер.
E-mail: vibroprotect@mail.ru

Information about authors:

Mondrus Vladimir L.

NRU MGSU «Moscow State Construction University», Moscow, Russia, Professor, Corresponding Member RAASN, Head of the Department of Construction and Theoretical Mechanics, NRU MGSU, acting President of the Eurasian SEISMO Association (EASA).
E-mail: mondrus@mail.ru

Sizov Dmitry K.

NRU MGSU «Moscow State Construction University», Moscow, Russia, candidate of technical science, associate professor of the department of Construction and Theoretical Mechanics.
E-mail: newfff@mail.ru

Akimova Irina V.

LLC "VIBROSEISMOZASCHITA", Moscow, Russia, leading engineer.
E-mail: vibroprotect@mail.ru

А.Г. ТАМРАЗЯН¹, Й.А.К. САЙЕД¹

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТОВ В СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКАХ

Аннотация. В данной статье исследуется коэффициент перераспределения моментов в статически неопределимых железобетонных балках через экспериментальный и аналитический подход. Были испытаны на изгиб двухпролетные статически неопределимые железобетонные балки. Было проведено обсуждение результатов определения схемы разрушения, диаграммы прогиб-нагрузка, деформация-нагрузка и коэффициентов перераспределения моментов. Экспериментальные результаты были сравнены с аналитическими расчетами существующих моделей, включая нормы ACI 318-19 и CSA A23.3-19, и другие. Результаты показывают, что коэффициент перераспределения моментов в статически неопределимых железобетонных балках зависит от коэффициента армирования (μ_{s1}) и может быть более точно предсказан комплексным анализом. Результаты экспериментов также показывают, что коэффициенты перераспределения моментов испытанных балок превышают значения, предсказанные другими существующими моделями.

Ключевые слова: статически неопределимые железобетонные балки, перераспределение моментов, экспериментальное исследование, теоретические модели, коэффициент армирования.

A.G. TAMRAZYAN¹, Y.A.K. SAYED¹

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

EXPERIMENTAL STUDY OF THE COEFFICIENT OF MOMENT REDISTRIBUTION IN STATICALLY INDETERMINATE RC BEAMS

Abstract. This article investigates the coefficient of moments redistribution in statically indeterminate RC beams through an experimental and analytical approach. Two-span statically indeterminate RC beams were tested under bending moment. A discussion of the results of the mode of failure, load-deformation, load-strain, and the coefficient of the moments redistribution were conducted. Moreover, the experimental results were compared to the analytical predictions of the related existing models, including the ACI 318-19 and CSA A23.3-19 codes, and others. The results show that the coefficient of moment redistribution is affected by the reinforcement ratio (μ_{s1}) and can be accurately predicted by a recent mathematical analysis. The experimental results also reveal that the moment redistribution capacity of the beams exceeds the values predicted by the other existing models.

Keywords: statically indeterminate RC beams, moment redistribution, experimental investigation, theoretical existing models, reinforcement ratio.

© Тамразян А.Г., Сайед Й.А.К., 2023

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кальницкий А.А. Расчёт статически неопределимых железобетонных конструкций с учётом перераспределения усилий. М., 1970. 168 с.
2. Черняева Р.П. К определению границ перераспределения усилий при расчете статически неопределимых железобетонных балок по методу предельного равновесия // Строительство и реконструкция. 2014. № 1 (51). С. 41-45.

3. Тамразян А.Г., Рашидов Б. О влиянии некоторых факторов на уровни перераспределения моментов в статически неопределимых железобетонных балках // "Лолейтовские чтения-150". Современные методы расчета железобетонных и каменных конструкций по предельным состояниям. 2018. С. 447-454.
4. Тамразян А.Г., Рашидов Б.Т. К уровню перераспределения моментов в статически неопределимых железобетонных балках // Строительство и реконструкция. 2018. № 6 (80). С. 14-21.
5. Tamrazyan A.G., Sayed Y.A.K. A practical model for moment redistribution in statically indeterminate RC beams // European Journal of Environmental and Civil Engineering. 2023. Т. 27. № 4. С. 1503-1511.
6. Do Carmo R. N. F., Lopes S. M.R. Ductility and linear analysis with moment redistribution in reinforced high-strength concrete beams // Canadian Journal of Civil Engineering. 2005. Т. 32. № 1. С. 194-203.
7. Scott R.H., Whittle R.T. Moment redistribution effects in beams // Magazine of Concrete Research. 2005. Т. 57. № 1. С. 9-20.
8. Bagge N., O'Connor A., Elfgren L., Pedersen C. Moment redistribution in RC beams—A study of the influence of longitudinal and transverse reinforcement ratios and concrete strength // Engineering structures. 2014. Т. 80. С. 11-23.
9. Шалобыта Н.Н., Царук О.Г., Полонский М.Ч., Демчук И.Е. Численное исследование перераспределения усилий в железобетонных элементах с комбинированным армированием // Вестник Брестского государственного технического университета. 2016. № 1(97). С. 86-92.
10. Истомин А. Д., Кудрявцев А. В. Работа статически неопределимых железобетонных элементов в условиях отрицательных температур // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 7. С. 51-55.
11. Li L., Zheng W., Wang Y. Prediction of moment redistribution in statically indeterminate reinforced concrete structures using artificial neural network and support vector regression // Applied Sciences. 2018. Т. 9. № 1. С. 28.
12. ACI 318-19. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary // American Concrete Institute: Farmington Hills, MI, USA, 2019.
13. CSA, A-19. Design of concrete structures. Toronto, Ontario, Canada, 2019.
14. AS 3600-2018. Concrete structures. Sydney, Australia, 2018.
15. BS 8110-1. Structural Use of Concrete: Part 1: Code of Practice for Design and Construction // British Standards Institution. London, UK. 1997.
16. DIN, 1045-1. Concrete reinforced and prestressed concrete structures // German Institute of Standard Berlin, Germany. 2008.
17. FIB Model Code 2010. For Concrete Structures 2010 // International Federation for Structural Concrete. Ernst Sohn Publ, House, Lausanne. Switzerland. 2010.
18. BS., EN. 1992-1-1. Eurocode2. Design of concrete structures: Part 1-1: General rules and rules for buildings // British Standards Institution, London, UK. 2004.
19. Aydogan M. S., Alacali S., Arslan G. Prediction of moment redistribution capacity in reinforced concrete beams using gene expression programming // Structures. Elsevier. 2023. Т. 47. С. 2209-2219.
20. Тамразян А.Г., Сайед Й.А.К. Параметры, влияющие на перераспределение моментов в статически неопределимых железобетонных балках // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 6. С. 4-11. doi:10.33622/0869-7019.2022.06.04-11

REFERENCES

1. Kal'nitskiy A.A. Raschet staticheski neopredelimykh zhelezobetonnykh konstruksiy s uchotom pereraspredeleniya usily [Calculation of statically indefinable reinforced concrete structures, taking into account the redistribution of forces]. Moscow, 1970. 168 p. (rus)
2. Chernyayeva R.P. K opredeleniyu granits pereraspredeleniya usily pri raschete staticheski neopredelimykh zhelezobetonnykh balok po metodu predel'nogo ravnovesiya [To determine the limits of redistribution of efforts in the calculation of statically non-selectable reinforced concrete beams using the method of limiting equilibrium]. Building and Reconstruction. 2014. No. 1 (51). Pp. 41-45. (rus)
3. Tamrazyan A.G., Rashidov B.T. O vliyaniy nekotorykh faktorov na urovni pereraspredeleniya momentov v staticheski neopredelimykh zhelezobetonnykh balkakh [On the influence of certain factors on the levels of moment redistribution in statically indeterminate reinforced concrete beams] // "Loleytovskie chteniya-150". Sovremennyye metody rascheta zhelezobetonnykh i kamennykh konstruksiy po predel'nykh sostoyaniyam. 2018. Pp. 447-454. (rus)
4. Tamrazyan A.G., Rashidov B.T. K urovnyu pereraspredeleniya momentov v staticheski neopredelimykh zhelezobetonnykh balkakh [To the level of redistribution of moments in statically uncertain reinforced concrete beams] // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2018. No. 6 (80). Pp. 14-21. (rus)
5. Tamrazyan A.G., Sayed Y.A.K. A practical model for moment redistribution in statically indeterminate RC beams // European Journal of Environmental and Civil Engineering. 2023. Т. 27. No. 4. Pp. 1503-1511.
6. Do Carmo R.N.F., Lopes S.M.R. Ductility and linear analysis with moment redistribution in reinforced high-strength concrete beams // Canadian Journal of Civil Engineering. 2005. Т. 32. No. 1. Pp. 194-203.

7. Scott R.H., Whittle R.T. Moment redistribution effects in beams // Magazine of Concrete Research. 2005. T. 57. No. 1. Pp. 9-20.
8. Bagge N., O'Connor A., Elfgrén L., Pedersen C. Moment redistribution in RC beams—A study of the influence of longitudinal and transverse reinforcement ratios and concrete strength // Engineering structures. 2014. T. 80. Pp. 11-23.
9. Shalobyta N.N., Tsaruk O.G., Polonskii M.Ch., Demchuk I.E. Chislennoe issledovanie pereraspredeleniya usilii v zhelezobetonnykh elementakh s kombinirovannym armirovaniem [Numerical study of redistribution of the internal force in reinforced concrete elements with combined reinforcement] // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2016. No. 1(97). Pp. 86-92. (rus)
10. Istomin A.D., Kudryavtsev A.V. Rabota staticheski neopredelimykh zhelezobetonnykh elementov v usloviyakh otritsatel'nykh temperatur [Behavior of statically indeterminate reinforced concrete elements under negative temperature conditions] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2016. No. 7. Pp. 51-55. (rus)
11. Li L., Zheng W., Wang Y. Prediction of moment redistribution in statically indeterminate reinforced concrete structures using artificial neural network and support vector regression // Applied Sciences. 2018. T. 9. No. 1. Pp. 28.
12. ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary // American Concrete Institute: Farmington Hills, MI, USA, 2019.
13. CSA, A-19: Design of concrete structures. Toronto, Ontario, Canada, 2019.
14. AS 3600-2018: Concrete structures. Sydney, Australia, 2018.
15. BS8110-1: Structural Use of Concrete: Part 1: Code of Practice for Design and Construction // British Standards Institution. London, UK, 1997.
16. DIN, 1045-1: Concrete reinforced and prestressed concrete structures // German Institute of Standard Berlin, Germany, 2008.
17. FIB Model Code 2010: for Concrete Structures 2010 // International Federation for Structural Concrete. Ernst Sohn Publ, House, Lausanne. Switzerland, 2010.
18. BS., EN. 1992-1-1. Eurocode2: Design of concrete structures: Part 1-1: General rules and rules for buildings // British Standards Institution, London, UK, 2004.
19. Aydogan M. S., Alacali S., Arslan G. Prediction of moment redistribution capacity in reinforced concrete beams using gene expression programming // Structures. Elsevier. 2023. T. 47. Pp. 2209-2219.
20. Tamrazyan A.G., Sayed Y.A.K. Parameters Affected the Moment Redistribution in Statically Indeterminate Reinforced Concrete Beams // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2022. No. 6. Pp. 4-11. doi:10.33622/0869-7019.2022.06.04-11

Информация об авторах:

Тамразян Ашот Георгиевич

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

Сайед Йехия Ахмед Котп

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)», г. Москва, Россия,
аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: engyehia250@gmail.com

Information about authors:

Tamrazyan Ashot G.

Moscow State University of Civil Engineering (MGSU) National Research University, Moscow, Russia,
doctor of technical science, professor, and the head of reinforced concrete and masonry structures department.
E-mail: tamrazian@mail.ru

Sayed Yehia Ahmed Kotp

Moscow State University of Civil Engineering (MGSU) National Research University, Moscow, Russia,
PhD, student at the reinforced concrete and masonry structures department.
E-mail: engyehia250@gmail.com

А.Д. ИСТОМИН¹

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ И ОТТАИВАНИЯ НА ДИАГРАММУ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СЖАТОГО БЕТОНА

Аннотация. При расчете железобетонных конструкций широко применяются деформационные модели материалов. При этом используются диаграммы бетона при сжатии с учетом нисходящей ветви. Аналитическое описание диаграммы работы бетона связано с определением таких параметров бетона, как начальный модуль упругости; призматическая прочность; предельные деформации сжатия в вершине диаграммы; значение деформаций на нисходящей ветви при 85% от призматической прочности. Воздействие знакопеременных температур на железобетонные конструкции зданий и сооружений приводит к развитию деструктивных процессов в бетоне. При этом мало исследованным остается вопрос о влиянии циклического замораживания и оттаивания на полные диаграммы бетона, включая предельные деформации сжатия. Определяющим фактором, влияющим на деформативно-прочностные свойства бетона в условиях замораживания и оттаивания, является его влажность. В связи с этим проведены исследования по влиянию циклических замораживаний и оттаиваний на диаграммы состояния бетона различной влажности, результаты которых представлены в данной работе.

Ключевые слова: циклическое замораживание и оттаивание, диаграмма деформирования, влажность бетона, предельные деформации, прочность, модуль упругости.

A.D. ISTOMIN¹

¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

THE EFFECT OF CYCLIC FREEZING AND THAWING ON THE DEFORMATION DIAGRAM OF COMPRESSED CONCRETE

Abstract. Deformation models of materials are widely used in the calculation of reinforced concrete structures. At the same time, concrete compression diagrams are used, taking into account the descending branch. The analytical description of the concrete work diagram is associated with the determination of such concrete parameters as the initial modulus of elasticity; prismatic strength; extreme compression deformations at the top of the diagram; the value of deformations on the descending branch at 85% of the prismatic strength. The influence of alternating temperatures on reinforced concrete structures of buildings and structures leads to the development of destructive processes in concrete. At the same time, the question of the effect of cyclic freezing and thawing on the complete diagrams of concrete, including the ultimate compression deformations, remains poorly investigated. The determining factor affecting the deformation and strength properties of concrete under freezing and thawing conditions is its humidity. In this regard, studies have been conducted on the effect of cyclic freezing and thawing on the diagrams of the state of concrete of various humidity, the results of which are presented in this paper.

Keywords: cyclic freezing and thawing, deformation diagram, concrete moisture, ultimate deformations, strength, modulus of elasticity.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко В.М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона. Харьков, ХГУ. 1968. 324 с.
2. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 411 с.
3. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радаikin О.В. Анализ и совершенствование криволинейных диаграмм деформирования бетона для расчета железобетонных конструкций по деформационной модели // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 1. С. 28-30.
4. Байков В.Н., Горбатов С.В., Димитров З.А. Построение зависимости между напряжениями и деформациями сжатого бетона по системе нормируемых показателей // Изв. вузов. Сер.: Стр-во и архитектура. 1977. № 6. С. 15–18.
5. Карпенко Н.И., Мухамендиев Т.А., Петров Н.А. Исходные и трансформированные диаграммы деформирования бетона и арматуры // Сб. тр. «Напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций», М. НИИЖБ, 1986. С. 7-25.
6. Михайлов В.В. Расчет прочности нормальных сечений изгибаемых элементов с учетом полной диаграммы деформирования бетона // Бетон и железобетон. 1993. № 3. С. 26.
7. Залесов А.С., Чистяков Е.А., Ларичева И.Ю. Деформационная расчетная модель железобетонных элементов при действии изгибающих моментов и продольных сил // Бетон и железобетон. 1996.
8. Мурашкин Г.В., Мордовский С.С. Применение диаграмм деформирования для расчета несущей способности внецентренно сжатых железобетонных элементов // Жилищное строительство. Москва, 2013. № 3. С. 38–40.
9. Майоров В.И., Рацриниву Де Руссель Ж. Исследование и аналитическое описание диаграммы работы бетона при расчете железобетонных конструкций по деформационной модели // Вестник РУДН, серия Инженерные исследования. 2000. № 3. С. 97-102.
10. Михайлов В.В., Емельянов М.П., Дудолов Л.С., Митасов В.М. Некоторые предложения по описанию диаграммы деформаций бетона при загрузении // Изв. вузов. Сер.: Стр-во и архитектура. 1983. № 2. С. 23-27.
11. Мурашкин Г.В., Мурашкин В.Г. Моделирование диаграммы деформирования бетона и схемы НДС // Изв. вузов. Сер.: Стр-во и архитектура. 1997. № 10. С. 4–6.
12. Бабич Е.М., Крусь Ю.А., Гарницкий Ю.В. Новые аппроксимации зависимости «напряжения–деформации», учитывающие нелинейность деформирования бетонов // Изв. вузов. Сер.: Стр-во и архитектура. 1996. № 2. С. 39-44.
13. Карпенко Н.И., Ерышев В.А., Латышева Е.В. Методика расчета параметров деформирования бетона при разгрузке с напряжений сжатия // Вестник МГСУ. 2014. № 3. С. 168-178.
14. Совгира В.В. Полные равновесные диаграммы деформирования одноосно сжатого и растянутого бетона // Проблемы современного бетона и железобетона. Минск, 2016. Вып. 8. С. 270–289.
15. Назаренко В.Г., Боровских А.В. Диаграмма деформирования бетонов с учетом ниспадающей ветви // Бетон и железобетон. 1999. № 2. С. 18–22.
16. Дзюба Р.Р. Исследование диаграмм деформирования бетона для расчета железобетонных конструкций // Символ науки. 2016. № 3. С. 42-45.
17. Бондаренко В.М., Римшин В.И. Квазилинейные уравнения силового сопротивления и диаграмма σ – ϵ бетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. № 6. С. 40–44.
18. Карпенко С.Н., Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. Диаграммный метод расчета стержневых железобетонных конструкций, эксплуатируемых при воздействии низких климатических (до -70 °С) и технологических (до -150 °С) температур // Строительные науки. № 1. 2017. С. 104-108.
19. Алмазов В.О. Проектирование железобетонных конструкций по ЕВРОНОРМАМ. Научное издание. М.: Из-во АСВ. Строительство и архитектура. 2011. 216 с.
20. Струлев В.М., Яркин Р.А. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Вестник ТГТУ. 2003. Т. 9. № 2. С. 277-281.
21. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Т. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 1. С. 93-103.
22. Пинус Б.И., Пинус Ж.Н., Хомякова И.В. Изменение конструктивных свойств бетонов при охлаждении и замораживании // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 2(97). С. 111-116.
23. Истомин А.Д., Назаров Т.А. Влияние природных циклов замораживания — оттаивания на прочность и деформативность бетона // Технология текстильной промышленности. 2019. № 3(381). С. 52-56.

REFERENCES

1. Bondarenko V.M. Nekotory`e voprosy` nelinejnoj teorii zhelezobetona. Har`kov, XGU. 1968. 324 p.
2. Karpenko N.I. Obshhie modeli mexaniki zhelezobetona. M.: Strojizdat, 1996. 411 p.

3. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radajkin O.V. Analiz i sovershenstvovanie krivolinejny`x diagramm deformirovaniya betona dlya rascheta zhelezobetonny`x konstrukcij po deformacionnoj modeli // Promy`shlennoe i grazhdanskoe stroitel`stvo. 2013. No. 1. Pp. 28-30.
4. Bajkov V.N., Gorbatov S.V., Dimitrov Z.A. Postroenie zavisimosti mezhdru napryazheniyami i deformაციyami szhatogo betona po sisteme normiruemy`x pokazatelej // Izv. vuzov. Ser.: Str-vo i arxitektura. 1977. No. 6. Pp. 15–18.
5. Karpenko N.I., Muxamendiev T.A., Petrov N.A. Isxodny`e i transformirovanny`e diagrammy` deformirovaniya betona i armatury` // Sb. tr. «Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie betonny`x i zhelezobetonny`x konstrukcij», M. NIIZhB, 1986. Pp. 7-25.
6. Mixajlov V.V. Raschet prochnosti normalny`x sechenij izgibaemy`x e`lementov s uchedom polnoj diagrammy` deformirovaniya betona // Beton i zhelezobeton. 1993. No. 3. Pp. 26.
7. Zalesov A.S., Chistyakov E.A., Laricheva I.Yu. Deformacionnaya raschetnaya model` zhelezobetonny`x e`lementov pri dejstvii izgibayushhix momentov i prodolny`x sil // Beton i zhelezobeton, 1996.
8. Murashkin G.V., Mordovskij S.S. Primenenie diagramm deformirovaniya dlya rascheta nesushhej sposobnosti vnecentrenno szhaty`x zhelezobetonny`x e`lementov // Zhilishhnoe stroitel`stvo. Moskva, 2013. No. 3. Pp. 38–40.
9. Majorov V.I., Raciriniv De Russel` Zh. Issledovanie i analiticheskoe opisanie diagrammy` raboty` betona pri raschete zhelezobetonny`x konstrukcij po deformacionnoj modeli // Vestnik RUDN, seriya Inzhenerny`e issledovaniya. 2000. No. 3. Pp. 97-102.
10. Mixajlov V.V., Emel`yanov M.P., Dudoladov L.S., Mitasov V.M. Nekotory`e predlozheniya po opisaniyu diagrammy` deformacij betona pri zagruzhennii // Izv. vuzov. Ser.: Str-vo i arxitektura. 1983. No. 2. Pp. 23-27.
11. Murashkin G. V., Murashkin V. G. Modelirovanie diagrammy` deformirovaniya betona i sxemy` NDS // Izv. vuzov. Ser.: Str-vo i arxitektura. 1997. No. 10. Pp. 4–6.
12. Babich E. M., Krus` Yu. A., Garniczkiy Yu. V. Novy`e approksimacii zavisimosti «napryazheniya–deformacii», uchityvayushhie nelinejnost` deformirovaniya betonov // Izv. vuzov. Ser.: Str-vo i arxitektura. 1996. No. 2. Pp. 39-44.
13. Karpenko N.I., Ery`shev V.A., Laty`sheva E.V. Metodika rascheta parametrov deformirovaniya betona pri razgruzke s napryazhenij szhatiya // Vestnik MGSU. 2014. No. 3. Pp. 168-178.
14. Sovgira V.V. Polny`e ravnoesny`e diagrammy` deformirovaniya odnoosno szhatogo i rastyanutogo betona // Problemy` sovremennogo betona i zhelezobetona. Minsk. 2016. V. 8. Pp. 270–289.
15. Nazarenko V. G., Borovskix A.V. Diagramma deformirovaniya betonov s uchedom nispadayushhej vetvi // Beton i zhelezobeton. 1999. No. 2. Pp. 18–22.
16. Dzyuba R.R. Issledovanie diagramm deformirovaniya betona dlya rascheta zhelezobetonny`x konstrukcij // Simvol nauki. 2016. No. 3. Pp. 42-45.
17. Bondarenko V.M., Rimshin V.I. Kvazilinejny`e uravneniya silovogo soprotivleniya i diagramma σ – ϵ betona // Stroitel`naya mexanika inzhenerny`x konstrukcij i sooruzhenij. 2014. No. 6. Pp. 40–44.
18. Karpenko S.N., Karpenko N.I., Yarmakovskij V.N. Diagrammny`j metod rascheta sterzhnevny`x zhelezobetonny`x konstrukcij, e`kspluatiруemy`x pri vozdejstvii nizkix klimaticheskix (do –70 °C) i texnologicheskix (do –150 °C) temperatur // Stroitel`ny`e nauki. 2017. No. 1. Pp. 104-108.
19. Almazov V.O. Proektirovanie zhelezobetonny`x konstrukcij po EVRONORMAM. Nauchnoe izdanie. – M.:Iz-vo ASV. Stroitel`stvo i arxitektura. 2011. 216 p.
20. Strulev V.M., Yarkin R.A. O sovremenny`x metodax obespecheniya dolgovechnosti zhelezobetonny`x konstrukcij // Vestnik TGTU. 2003. T. 9. No. 2. Pp. 277-281.
21. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskij V.N., Erofeev V.T. O sovremenny`x metodax obespecheniya dolgovechnosti zhelezobetonny`x konstrukcij // Academia. Arxitektura i stroitel`stvo. 2015. No. 1. Pp. 93-103.
22. Pinus B.I., Pinus Zh.N., Xomyakova I.V. Izmenenie konstruktivny`x svoystv betonov pri oxlazhdenii i zamorazhivanii // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. 2015. No. 2(97). Pp. 111-116.
23. Istomin A.D., Nazarov T.A. Vliyanie prirodny`x ciklov zamorazhivaniya — ottaivaniya na prochnost` i deformativnost` betona // Texnologiya tekstil`noj promy`shlennosti. 2019. No. 3(381). Pp. 52-56.

Информация об авторе:

Истомин Андрей Дмитриевич

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

E-mail: nauka.07@mail.ru

Information about author:

Istomin Andrey D.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

candidate of technical sciences, associate professor of the department «Reinforced concrete and stone structures».

E-mail: nauka.07@mail.ru

Т.А. МАЦЕЕВИЧ¹, И.Ф. АНДРЕЕВ¹¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

ФУНКЦИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ КОРРОДИРОВАННОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ ПРИ НЕЛИНЕЙНОМ РАСПРОСТРАНЕНИИ КОРРОЗИИ

Аннотация. В статье рассматривается функция предельного состояния в контексте анализа надежности корродированных балок. Обсуждаются методы определения предельной нагрузки для балок, подверженных коррозии. Рассматриваются различные подходы к определению функции предельного состояния, в том числе базирующиеся на статистических данных о коррозии и моделировании напряжений в железобетонной балке. Общая модель оценки надежности железобетонных конструкций должна включать распространение коррозии. Большинство предыдущих исследований были сосредоточены на проблемах одномерной диффузии с предполагаемой постоянной скоростью коррозии. Нелинейная модель скорости коррозии, в отличие от линейных моделей, рассматривает плотность тока коррозии не постоянной в течение срока службы железобетонной конструкции. Разработан подход к анализу надежности вместе с нелинейной моделью роста коррозии. В данной статье рассмотрены основные проблемы, связанные с надежностью при нелинейной модели коррозии преднапряженного арматурного каната железобетонных балок. Представлена функция уменьшения диаметра стержня арматуры от времени. Проведен анализ чувствительности для определения влияния параметров роста коррозии на индекс надежности железобетонной тавровой балки. Нелинейная модель роста коррозии вместе с другими соответствующими вероятностными моделями, используемыми для описания случайных переменных, была применена для анализа надежности железобетонной подкрановой балки. Выражение плотности тока коррозии показывает, что скорость коррозии увеличивается экспоненциально при увеличении значения расчетного параметра модели. Для дальнейшей оценки влияния предложенной модели роста коррозии по времени на надежность железобетонной балки рассматриваются два конкретных случая. Первый - с фиксированной плотностью тока коррозии, второй - с фиксированным ростом коррозии в заданное время.

Ключевые слова: функция надежности, плотность тока, нелинейное распространение коррозии, надежность, предельное состояние.

Т.А. MATSEEVICH¹, I.F. ANDREEV¹¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

RELIABILITY FUNCTION OF A PRESTRESSED CORRODED REINFORCED CONCRETE BEAM WITH NONLINEAR CORROSION PROPAGATION

Abstract. The paper considers the limit state function in the context of reliability analysis of corroded beams. Methods for determining the ultimate load limit for corroded beams are discussed. Various approaches to the determination of the limit state function are considered, including those based on statistical data on corrosion and modelling of stresses in a reinforced concrete beam. A general reliability assessment model for reinforced concrete structures should include corrosion propagation. Most previous studies have focused on one-dimensional diffusion problems with an assumed constant corrosion rate. A nonlinear corrosion rate model, unlike linear models, considers the corrosion current density not constant over the service life of a reinforced concrete structure. An approach to reliability analysis together with a nonlinear corrosion growth model is developed. In this paper, the main problems related to reliability under a nonlinear model of prestressed reinforcement rope corrosion of reinforced concrete beams are discussed. A function for the reduction of reinforcing

bar diameter from time is presented. Sensitivity analysis is performed to determine the effect of corrosion growth parameters on the reliability index of reinforced concrete T-beam. The nonlinear corrosion growth model, together with other relevant probabilistic models used to describe random variables, was applied to analyze the reliability of a reinforced concrete crane girder. The expression of corrosion current density shows that the corrosion rate increases exponentially as the value of the design parameter of the model increases. To further evaluate the effect of the proposed time corrosion growth model on the reliability of reinforced concrete beam, two specific cases are considered. The first one is with fixed corrosion current density, and the second one is with fixed corrosion growth at a given time.

Keywords: reliability function, current density, non-linear corrosion propagation, reliability, limit state.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меркулов С.И. Развитие теории конструктивной безопасности объектов в условиях коррозионных воздействий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 3. С. 44-46.
2. Tamrazyan A.G., Koroteev D.D. [Assessment of the durability of corrosion-damaged prefabricated reinforced concrete structures](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1687/1/012009) // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1687. Pp. 012009. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1687/1/012009>.
3. Смоляго Г.А., Дронов В.И., Дронов А.В., Меркулов С.И. Изучение влияния дефектов железобетонных конструкций на развитие коррозионных процессов арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 12. С. 49-51. https://doi.org/10.12737/article_5c506209065dd6.02007715.
4. Nogueira K.G., Leonel E.D., Coda H.B. Reliability algorithms for assessing the durability of reinforced concrete structures // Journal of IBRACON Structures and Materials. 2012. Vol. 5. No. 4. Pp. 440-450.
5. Тамразян А.Г., Мацеевич Т.А. Анализ надежности железобетонной плиты с корродированной арматурой // Строительство и реконструкция. 2022. № 1 (99). С. 89-98. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-99-1-89-98>.
6. Меркулов С.И., Дворников В.М., Пахомова Е.Г. Работоспособность железобетона в условиях воздействия агрессивных сред // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. 2006. № 10. С. 10.
7. Ягупов Б.А., Мигаль Р.Е. К вопросу оценки несущей способности эксплуатируемых железобетонных конструкций, поврежденных коррозией // Бетон и железобетон. 2007. № 3. С. 28-30.
8. Тамразян А.Г., Попов Д.С. Напряженно-деформированное состояние коррозионно-поврежденных железобетонных элементов при динамическом нагружении // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 2. С. 19-26.
9. Ting S.C., Nowak A.S. Effect of reinforcing steel area loss on flexural behavior of reinforced concrete beams. ACI Structural Journal, 88(3), 1991.
10. Lushnikova V.Y., Tamrazyan A.G. The effect of reinforcement corrosion on the adhesion between reinforcement and concrete // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 4(80). Pp. 128-137. <https://doi.org/10.18720/MCE.80.12>.
11. Browne R.D. Mechanisms of Corrosion of Steel in Relation to Design, Inspection, and Repair of Offshore and Coastal Structure. ACISP-65, U.S. Detroit.
12. Andrade C. Calculation of Chloride Diffusion Coefficients in Concrete from Ionic Migration Measurements. *Cement and Concrete Research*. 1993. Vol. 23. Pp. 724-742. doi:10.1016/0008-8846(93)90023-3.
13. Мацеевич Т.А., Андреев И.Ф. Конечно-элементная модель диффузии хлорида в предварительно напряженной корродированной арматуре железобетонных конструкций // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 11. С. 1462-1470. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.11.1462-1470>.
14. Frangopol D.M., Lin K.Y., Estes A.C. Reliability of Reinforced Concrete Girders Under Corrosion Attack // Journal of Structural Engineering. 1997. Vol. 123. No. 3. Pp. 286-297.
15. Fu X., Chung D.D.L. Effect of corrosion on the bond between concrete and steel rebar // Cement and Concrete Research. 1997. Volume 27. Issue 12. Pp. 1811-1815. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(97\)00172-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(97)00172-5).
16. Tuutti K. Service Life of Structures with Regard to Corrosion of Embedded Steel, Quality Control. *Concrete Structures*. 1980. Vol. 1. Pp. 293-301.
17. Atkinson A., Hearne J.A. Mechanistic Model for the Durability of Concrete Barriers Exposed to Sulphate-Bearing Groundwaters. MRS Online Proceedings Library. 1989. Vol. 176. Art.n. 149. <https://doi.org/10.1557/PROC-176-149>.
18. Stewart M.G., Rosowsky D.V. Time dependent reliability deteriorating reinforced concrete bridge decks // Structural Safety. 1998. Vol. 20. Issue 1. Pp. 91-109. [https://doi.org/10.1016/S0167-4730\(97\)00021-0](https://doi.org/10.1016/S0167-4730(97)00021-0).

19. Ting S.-C. The effects of corrosion on the reliability of concrete bridge girders. Dissertation of the University of Michigan, 1989. [https://doi.org/10.1016/0167-4730\(89\)90007-6](https://doi.org/10.1016/0167-4730(89)90007-6).
20. Ржаницын А.Р. Теория длительной прочности при произвольном одноосном и двухосном нагружении // Строительная механика и расчет сооружений. 1975. № 4. С. 25-29.
21. Тамразян А.Г., Мацевич Т.А. Надежностная оптимизация конструкций с учетом неопределенностей при проектировании // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования - 2022. Сборник докладов Третьей Национальной научной конференции. Москва, 2023. С. 50-54.
22. Тамразян А.Г. Методология анализа и оценки надежности состояния и прогнозирование срока службы железобетонных конструкций // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 1. № 1. С. 5-18.

REFERENCES

1. Merkulov S.I. Razvitiye teorii konstruktivnoy bezopasnosti ob"yektov v usloviyakh korrozionnykh vozdeystviy [Development of the theory of constructive safety of objects in the conditions of corrosion impacts]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2014. No. 3. Pp. 44-46.
2. Tamrazyan A.G., Koroteev D.D. Assessment of the durability of corrosion-damaged prefabricated reinforced concrete structures // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1687. Pp. 012009. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1687/1/012009>.
3. Smolyago G.A., Dronov V.I., Dronov A.V., Merkulov S.I. Investigation Of Influence Of Defects Of Reinforced Concrete Structures On Corrosion Processes Of Steel Reinforcement. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2014. No. 12. Pp. 49-51. https://doi.org/10.12737/article_5c506209065dd6.02007715.
4. Nogueira K.G., Leonel E.D., Coda H.B. Reliability algorithms for assessing the durability of reinforced concrete structures. *Journal of IBRACON Structures and Materials*. 2012. Vol. 5. No. 4. Pp. 440-450.
5. Tamrazyan A.G., Matseevich T.A. Reliability analysis of reinforced concrete slabs with corroded reinforcements. *Building and Reconstruction*. 2022. No. 1(99). Pp. 89-98. (in russ.) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-99-1-89-98>
6. Merkulov S.I., Dvornikov V.M., Pakhomova E.G. Performance of reinforced concrete under the influence of aggressive media // *Construction materials, equipment and technologies of the XXI century*. 2006. No. 10. Pp. 10. (in russ.)
7. Yagupov B.A., Migal R.E. On the issue of assessing the bearing capacity of operated reinforced concrete structures damaged by corrosion // *Concrete and reinforced concrete*. 2007. No. 3. Pp. 28-30. (in russ.)
8. Tamrazyan A.G., Popov D.S. Stress-strain state of corrosion-damaged reinforced concrete elements under dynamic loading. *Industrial and civil construction*. 2019. No. 2. Pp. 19-26. (in russ.)
9. Ting S.C., Nowak A.S. Effect of reinforcing steel area loss on flexural behavior of reinforced concrete beams. *ACI Structural Journal*, 88(3), 1991.
10. Lushnikova V.Y., Tamrazyan A.G. The effect of reinforcement corrosion on the adhesion between reinforcement and concrete // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. No. 4(80). Pp. 128-137. <https://doi.org/10.18720/MCE.80.12>.
11. Browne R.D. Mechanisms of Corrosion of Steel in Relation to Design, Inspection, and Repair of Offshore and Coastal Structure. ACISP-65, U.S. Detroit.
12. Andrade C. Calculation of Chloride Diffusion Coefficients in Concrete from Ionic Migration Measurements. *Cement and Concrete Research*. 1993. Vol. 23. Pp. 724-742. doi:10.1016/0008-8846(93)90023-3.
13. Matseevich T.A., Andreev I.F. The finite element model of chloride diffusion in pre-stressed corroded reinforcement bars of reinforced concrete structures. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2022. T. 17(11). Pp. 1462-1470. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.11.1462-1470> (in russ.)
14. Frangopol D.M., Lin K.Y., Estes A.C. Reliability of Reinforced Concrete Girders Under Corrosion Attack // *Journal of Structural Engineering*. 1997. Vol. 123. No. 3. Pp. 286-297.
15. Fu X., Chung D.D.L. Effect of corrosion on the bond between concrete and steel rebar // *Cement and Concrete Research*. 1997. Volume 27. Issue 12. Pp. 1811-1815. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(97\)00172-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(97)00172-5).
16. Tuutti K. Service Life of Structures with Regard to Corrosion of Embedded Steel, Quality Control. *Concrete Structures*. 1980. Vol. 1. Pp. 293-301.
17. Atkinson A., Hearne J.A. Mechanistic Model for the Durability of Concrete Barriers Exposed to Sulphate-Bearing Groundwaters. *MRS Online Proceedings Library*. 1989. Vol. 176. Art.n. 149. <https://doi.org/10.1557/PROC-176-149>.
18. Stewart M.G., Rosowsky D.V. Time dependent reliability deteriorating reinforced concrete bridge decks. *Structural Safety*. 1998. Vol. 20. Issue 1. Pp. 91-109. [https://doi.org/10.1016/S0167-4730\(97\)00021-0](https://doi.org/10.1016/S0167-4730(97)00021-0).
19. Ting S.-C. The effects of corrosion on the reliability of concrete bridge girders. Dissertation of the University of Michigan, 1989. [https://doi.org/10.1016/0167-4730\(89\)90007-6](https://doi.org/10.1016/0167-4730(89)90007-6)
20. Rzhantsyn A. R. Teoriya dlitel'noy prochnosti pri proizvol'nom odnoosnom i dvukhosnom zagruzhennii [Theory of long-term strength for arbitrary uniaxial and biaxial loading]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*. 1975. No 4. Pp. 25-29.

21. Tamrazyan A.G., Matseyevich T.A. Nadezhnostnaya optimizatsiya konstruksiy s uchetom neopredelennostey pri proyektirovanii [Reliability optimization of structures taking into account uncertainties in design]. Aktual'nyye problemy stroitel'noy otrasli i obrazovaniya - 2022. Sbornik dokladov Tret'yey Natsional'noy nauchnoy konferentsii [Actual problems of the construction industry and education - 2022. Collection of reports of the Third National Scientific Conference.]. Moscow, 2023. Pp. 50-54.

22. Tamrazyan A.G. Methodology for the Analysis and Assessment of the Reliability of the State and Prediction the Service Life of Reinforced Concrete Structures. *Reinforced concrete structures*. 2023. T. 1(1). Pp. 5-18. (in russ.)

Информация об авторах:

Мацевич Татьяна Анатольевна

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

доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры высшей математики.

E-mail: MatseevichTA@mgsu.ru

Андреев Илья Федорович

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

аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: yfyf@gmx.com

Information about authors:

Matseevich Tatyana A.

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

doctor of physical and mathematical sciences, associate professor, professor of the department of Higher Mathematics.

E-mail: MatseevichTA@mgsu.ru

Andreev Ilya F.

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

postgraduate student of the department of Reinforced Concrete and Stone Structures.

E-mail: yfyf@gmx.com

В.Г. СЕБЕШЕВ¹, Е.К. ЛУКИН¹

¹ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»,
г. Новосибирск, Россия

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ТРУБЧАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ НЕРАВНОМЕРНЫХ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЯХ

***Аннотация.** Современные подходы и требования к проектированию и экспертной оценке состояния зданий и сооружений предписывают определение количественных показателей их надежности. Этим обусловлена актуальность вопросов разработки методик расчетов надежности строительных систем с учетом их свойств и условий работы.*

Коррозионные повреждения элементов металлических конструкций могут с течением времени приводить к утрате их работоспособности. Цель исследований, представленных в статье, – выявление и количественные описания изменения во времени характеристик надежности, по критерию прочности, первоначально центрально растягиваемого стального стержневого конструктивного элемента кольцевого сечения с учетом неравномерного коррозионного износа, вызывающего возникновение сложного сопротивления стержня – растяжения с изгибом. На основе предложенной пространственно-временной модели коррозии с использованием методов теории надежности построены расчетный аппарат и алгоритм определения надежности и долговечности элемента. Выполнены расчеты этих характеристик при варьировании стохастических свойств параметров геометрии сечения стержня, его напряженного состояния и модели коррозии при различных степенях агрессивности среды. Нагружение стержня моделировалось стационарной случайной функцией. Результаты расчетов надежности, вероятности отказа, коэффициента коррозии и временной плотности вероятности отказа представлены графиками зависимостей этих величин от времени.

Выполнены оценки влияния на надежность и долговечность конструктивного элемента основных расчетных характеристик стержня и модели коррозионных повреждений. Выявлен эффект значительного увеличения вероятности отказа и снижения долговечности при коррозионном износе, неравномерном по контуру сечения, в сравнении со случаем постоянной толщины слоя коррозии, при сопоставимых значениях коэффициентов коррозии.

Представленные в статье методика и результаты расчетов могут быть использованы для получения решений аналогичных задач в иных постановках (по форме сечения, модели коррозии, при нестационарных режимах нагружения и др.), а также для выполнения инженерных расчетов надежности при проектировании металлических конструкций.

Ключевые слова: надежность, долговечность, трубчатый стержень, неравномерная коррозия, сложное сопротивление, индекс надежности, вероятность отказа, коэффициент коррозии.

V.G. SEBESHEV¹, E.K. LUKIN¹

¹Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia

RELIABILITY AND DURABILITY OF TUBULAR ELEMENTS OF STEEL STRUCTURES UNDER UNUNIFORM CORROSION DAMAGE

***Abstract.** Modern approaches and requirements for the design and expert assessment of the buildings and structures state require the quantitative determination of their reliability indicators. This determines the relevance of the development of methods for calculating the reliability of building systems, taking into account their properties and operating conditions.*

Corrosion damage to elements of metal structures can lead to loss of their functionality over time. The purpose of the research presented in the article is to identify and quantitatively describe changes

over time in the reliability characteristics, according to the strength criterion, of an initially centrally tensile steel rod structural element of an annular section, taking into account uneven corrosive wear, which causes the occurrence of complex resistance of the rod, namely tension with bending. A calculation apparatus and an algorithm for determining the reliability and durability of an element were constructed using methods of reliability theory and the proposed spatio-time corrosion model. Calculations of these characteristics were carried out by varying the stochastic properties of the parameters of the rod's cross section geometry, its stress state and the corrosion model at various degrees of corrosion factor aggressiveness. The loading of the rod was modeled by a stationary random function. The results of calculations of reliability, failure probability, corrosion coefficient and time density of failure probability are presented in graphs of the dependences of these values on time.

The influence of the main design characteristics of the rod and the corrosion damage model on the reliability and durability of the structural element was assessed. The effect of a significant increase in the probability of failure and a decrease in durability with corrosion wear, uneven along the contour of the section, was revealed, in comparison with the case of a constant thickness of the corrosion layer, with comparable values of corrosion coefficients.

The methodology and calculation results presented in the article can be used to obtain solutions to similar problems in other formulations (by cross-sectional shape, corrosion model, under non-stationary loading conditions, etc.), as well as to perform engineering reliability calculations when designing metal structures.

Keywords: reliability, durability, tubular rod, ununiform corrosion, complex resistance, reliability index, probability of failure, corrosion coefficient.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розенфельд И.Л. Атмосферная коррозия металлов. М.: Изд-во АН СССР, 1980. 250 с.
2. Каблов Е.Н., Старцев О.В. Фундаментальные и прикладные исследования коррозии и старения материалов в климатических условиях (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 4(37). С. 38–52. doi:10.18577/2071-9140-2015-0-4-38-52.
3. Uhlig H.H., Revie R.W. Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering. John Wiley & Sons, Inc., 1985. 441 p.
4. Козлов В.Г., Титова И.В., Коноплин А.Н., Булыгин Н.Н. Методы борьбы с коррозией металлов // Фундаментальные исследования. 2017. № 6. С. 53–57.
5. Виноградов С.С., Никифоров А.А., Демин С.А., Чесноков Д. В. Защита от коррозии углеродистых сталей // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 8. С. 242–263. doi:10.18577/2071-9140-2017-0-S-242-263.
6. Черепашкин С.Е., Латыпов О.Р., Кравцов В.В. Методы исследования коррозии оборудования нефтегазового комплекса. Уфа: ООО "Изд-во науч.-техн. литературы "Монография", 2016. 104 с.
7. Голдобина Л. А. Анализ причин коррозионных разрушений подземных трубопроводов и новые решения повышения стойкости стали к коррозии // Записки Горного института. 2016. Т. 219. С. 459–464.
8. O'Grady P. T. J., Hissey D. T., Kiefner J. F. Pressure Calculation for Corroded Pipe Development // Oil & Gas Journal. 1992. Oct. 19. Pp. 84–89.
9. Ибрагимов А.А., Подорожников С.Ю., Шабаров А.Б. Расчетная модель и алгоритм определения остаточного ресурса трубопровода в условиях периодических изменений напряжений и коррозии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 4. С. 199–206.
10. Антонов А.В., Острейковский В.А. Ресурс и срок службы оборудования энергоблоков атомных станций. М.: Инновационное машиностроение, 2017. 536 с.
11. Вольберг Ю.Л., Коряков А.С. Учет воздействия агрессивной среды на несущую способность стальных конструкций // Труды МИСИ, 1983. № 183. С. 30–31.
12. Гладштейн Л.И., Лактюшин В.С. Применение атмосферостойких сталей без защитных покрытий в строительных конструкциях. Госстрой СССР. Центральный институт научной информации по строительству и архитектуре, 1979. Вып. 6. 53 с.
13. Голубев А.И. Влияние коррозии металлов на долговечность металлических конструкций // Исследования надежности металлических конструкций: Труды ЦНИИПроектстальконструкция, 1979. С. 85–94.
14. Лашенко М.Н. Повышение надежности металлических конструкций зданий и сооружений при реконструкции. Ленинград: Стройиздат, 1987. 134 с.
15. Бондаренко В.М., Прохоров В.Н. К вопросу об оценке силового сопротивления железобетона повреждению коррозионными воздействиями // Изв. вузов. Строительство, 1998. № 3. С. 30–41.
16. Ржаницын А.Р. Теория расчёта строительных конструкций на надёжность. М.: Стройиздат, 1978. 239 с.
17. Raizer V. Reliability of Structures. Analysis and Applications. Backbone Publishing Company (USA). 2009. 146 p.
18. Ведяков И.И., Райзер В.Д. Надежность строительных конструкций. Теория и расчет: Научное издание. М.: Изд-во АСВ, 2018. 414 с.

19. Vrouwenvelder T. Treatment of risk and reliability in the Euro-codes. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Structures and Buildings. 2008. Volume 161, issue SB4 (August). Pp. 209–214.
20. Себешев В.Г. Расчеты надежности сооружений и конструкций по поликритериальным и обобщенным условиям безотказности // Известия Петербургского университета путей сообщения, 2017. Т. 14. № 1. С. 165–174.
21. Бирюлев В.В., Кошин И.И., Крылов И.И., Сильвестров А.В. Проектирование металлических конструкций. Спец. курс. Учеб. пособие для вузов. Ленинград: Стройиздат, 1990. 432 с.
22. Себешев В.Г. Надежность и долговечность растянутых элементов стержневых конструкций при коррозионных повреждениях // Изв. вузов. Строительство. 2006. № 11–12. С. 100–107.

REFERENCES

1. Rozenfeld I.L. Atmosfernaya korroziya metallov [Atmospheric corrosion of metals]. Moscow: Izdatel'stvo AN SSSR [Publishing house of the USSR Academia of Sciences]. 1980. 250 p. (rus).
2. Kablov E.N., Startsev O.V. Fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya korrozii i stareniya materialov v klimaticheskikh usloviyakh (obzor) Фундаментальные и прикладные исследования коррозии и старения материалов в климатических условиях (обзор) [Fundamental and applied researches on corrosion and aging of materials under climatic conditions (review)]. Aviatsionnyye materialy i tekhnologii [Aviation materials and technologies]. 2015. No. 4(37). Pp. 38–52. doi:10.18577/2071-9140-2015-0-4-38-52. (rus).
3. Uhlig H.H., Revie R.W. Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering. John Wiley & Sons, Inc., 1985. 441 p.
4. Kozlov V.G., Titova I.V., Konoplin A.N., Bulygin N.N. Metody bor'by s korroziyey metallov [Methods of combating metals' corrosion]. Fundamental'nyye issledovaniya [Fundamental researches]. 2017. No. 6. Pp. 53–57. (rus).
5. Vinogradov S.S., Nikiforov A.A., Dyomin S.A., Chesnokov D.V. Zashchita ot korrozii uglerodistykh staley [Corrosion protection for carbon steels]. Aviatsionnyye materialy i tekhnologii [Aviation materials and technologies]. 2017. No. 8. Pp. 242–263. doi:10.18577/2071-9140-2017-0-S-242-263. (rus).
6. Cherepashkin S.E., Latypov O.R., Kravtsov V.V. Metody issledovaniya korrozii oborudovaniya neftegazovogo kompleksa [Methods for studying corrosion of equipment in oil and gas complex]. Ufa: OOO "Izdatel'stvo nauchno-tekhnicheskoy literatury "Monografiya" [Publishing house of scientific and technical literature "Monograph", Ltd.]. 2016. 104 с.
7. Goldobina L.A. Analiz prichin korroziyonnykh razrusheniy podzemnykh truboprovodov i novyye resheniya povysheniya stoykosti stali k korrozii [Analysis of the causes of corrosion damage in underground pipelines and new solutions to improve the resistance of steel to corrosion]. Zapiski Gornogo instituta [Notes of the Mining Institute]. 2016. Vol. 219. Pp. 459–464. (rus).
8. O'Grady II T.J., Hissey D.T., Kiefner J.F. Pressure Calculation for Corroded Pipe Development // Oil & Gas Journal. 1992. Oct. 19. Pp. 84–89.
9. Ibragimov A.A., Podorozhnikov S.Yu., Shabarov A.B. Raschetnaya model' i algoritm opredeleniya ostatochnogo resursa truboprovoda v usloviyakh periodicheskikh izmeneniy napryazheniy i korrozii [Calculation model and algorithm for determining the residual life of the pipeline under conditions of periodic changing stresses and corrosion]. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) [Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)]. 2014. No. 84. Pp. 199–206. (rus).
10. Antonov A.V., Ostreykovskiy V.A. Resurs i srok sluzhby oborudovaniya energoblokov atomnykh stantsiy [Resource and service life of the power units' equipment of nuclear power plants]. Moscow: Innovatsionnoye mashinostroeniye [Innovative engineering]. 2017. 536 p. (rus).
11. Vol'berg Yu.L., Korjakov A.S. Uchët vozdeystviya agressivnoy sredy na nesushchuyu sposobnost' stal'nykh konstruksiy [Taking into consideration the impact of an aggressive environment on the bearing capacity of steel structures]. Trudy MISI [Proceedings of Moscow Institute of Civil Engineering]. 1983. No. 183. Pp. 30–31. (rus).
12. Gladshteyn L.I., Laktyushin V.S. Primeneniye atmosferostoykikh staley bez zashchitnykh pokrytiy v stroitel'nykh konstruksiyah [The use of atmospheric-resistant steels without protective coatings in building structures]. Gosstroy SSSR. Tsentral'nyy institut nauchnoy informatsii po stroitel'stvu i arkhitekture [Gosstroy of the USSR. Central Institute of Scientific Information on Construction and Architecture]. 1979. Iss. 6. 53 p. (rus).
13. Golubev A.I. Vliyaniye korrozii metallov na dolgovechnost' metallicheskih konstruksiy [Influence of metal corrosion on the durability of metal structures]. Issledovaniya nadëzhnosti metallicheskih konstruksiy. Trudy CNIIProektstal'konstruksiya [Reliability studies of metal structures: Proceedings of the Central Research Institute of Projectsteelconstruction]. 1979. Pp. 85–94. (rus).
14. Lashchenko M.N. Povysheniye nadëzhnosti metallicheskih konstruksiy zdaniy i sooruzheniy pri rekonstruksii [Increase the reliability of metal structures of buildings and structures during reconstruction]. Leningrad: Stroyizdat. 1987. 134 p. (rus).
15. Bondarenko V.M., Prokhorov V.N. K voprosu ob otsenke silovogo soprotivleniya zhelezobetona povrezhdeniyu korroziyonnyimi vozdeystviyami [On the issue of assessing the force resistance of reinforced concrete to damage by corrosion]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 1998. No. 3. Pp. 30–41. (rus).
16. Rzhantsyn A.R. Teoriya raschëta stroitel'nykh konstruksiy na nadëzhnost' [The theory of building structures' reliability analysis]. Moscow: Stroyizdat. 1978. 239 p. (rus).

17. Raizer V. Reliability of Structures. Analysis and Applications. Backbone Publishing Company (USA). 2009. 146 p.
18. Vedyakov I.I., Raizer V.D. Nadëzhnost' stroitel'nykh konstruktsiy. Teoriya i raschët: Nauchnoye izdaniye [Reliability of constructional structures. Theory and analysis: Scientific publication]. Moscow: Izdatel'stvo ASV [Publishing office of the Association of Construction Higher Educational Institutions]. 2018. 414 p. (rus).
19. Vrouwenvelder T. Treatment of risk and reliability in the Euro-codes. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Structures and Buildings. 2008. Vol. 161, issue SB4 (August). Pp. 209–214.
20. Sebeshev V.G. Raschëty nadëzhnosti sooruzheniy i konstruktsiy po polikriterial'nym i obobshchënym usloviyam bezotkaznosti [Analysis of the reliability of buildings and structures according to polycriteria and generalized conditions of serviceability]. Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya [Proceedings of the Petersburg State Transport University]. 2017. Vol. 14. No. 1. Pp. 165–174. (rus).
21. Biryulyov V.V., Koshin I.I., Krylov I.I., Sil'vestrov A.V. Proektirovaniye metallicheskikh konstruktsiy. Spetsial. kurs. Uchebn. posobiye dlya vuzov [Design of metal structures. Special course. Textbook for universities]. Leningrad: Stroyizdat. 1990. 432 p. (rus).
22. Sebeshev V.G. Nadëzhnost' i dolgovechnost' rastyanutykh elementov sterzhnevykh konstruktsiy pri korrozionnykh povrezhdeniyakh [Reliability and durability of tensioned elements of bar structures in case of corrosion damage]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2006. No. 11–12. Pp. 100–107. (rus).

Информация об авторах:

Себешев Владимир Григорьевич

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстри)»,
г. Новосибирск, Россия,
кандидат технических наук, профессор, почетный член РААСН, профессор кафедры строительной механики.
E-mail: sebeshev@sibstrin.ru

Лукин Егор Константинович

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстри)»,
г. Новосибирск, Россия,
студент Института строительства.
E-mail: e.lukin@sibstrin.ru

Information about authors:

Sebeshev Vladimir G.

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia,
candidate of technical science, professor, honorary member of the RAACS, professor of the department of structural mechanics.
E-mail: sebeshev@sibstrin.ru

Lukin Egor K.

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia,
student of the Institute of Construction.
E-mail: e.lukin@sibstrin.ru

Н.В. ФЕДОРОВА², О.Б. БУШОВА¹, В.И. КОЛЧУНОВ^{1,2}

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

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

РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНО НЕЛИНЕЙНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАМ ПРИ ИХ ХРУПКОМ РАЗРУШЕНИИ ПО НАКЛОННОМУ СЕЧЕНИЮ

Аннотация. Построена пространственная расчетная модель сложнапряженного железобетонного элемента при совместном действии поперечной силы и изгибающего момента. Получены аналитические зависимости для расчета поперечного армирования такого элемента наклонными (поперечными) стержнями при рассматриваемом напряженном состоянии. Прямоугольное сечение приводится к эквивалентному коробчатому сечению с двумя случаями положения сжатой зоны. Расчетная модель достаточно полно отражает физические явления силового сопротивления ригелей железобетонных рам в предельных и запредельном состояниях установленные экспериментально. Проведены результаты численных исследований конструкций рам, поперечное армирование которых принято в виде наклонных или перекрестных наклонных стержней при использовании предложенной и других моделей расчета. Сравнительный анализ полученных результатов показал эффективность более строгого учета совместного действия изгибающих моментов и поперечных сил и возможность за счет этого заметного снижения расчетного поперечного армирования железобетонных конструкций при рассматриваемом напряженном состоянии. Предложенные аналитические зависимости могут быть использованы для расчета железобетонных ригелей конструктивно и физически нелинейных рам при их хрупком разрушении по наклонному сечению в запредельных состояниях.

Ключевые слова: железобетонная рама, пространственная расчетная схема, поперечная сила, наклонное сечение, деформирование, особое воздействие, запредельное состояние.

N.V. FEDOROVA², O.B. BUSHOVA¹, V.I. KOLCHUNOV^{1,2}

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «National Research Moscow State University of Civil Engineering» (MGSU), Moscow, Russia

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

CALCULATION OF STRUCTURALLY NONLINEAR REINFORCED CONCRETE FRAMES DURING THEIR DESTRUCTION ALONG AN INCLINED SECTION

Abstract. A spatial calculation model of a complexly stressed reinforced concrete element is constructed under the combined action of a transverse force and a bending moment. Analytical dependences are obtained for calculating the transverse reinforcement of such an element with inclined (transverse) rods under the stress state under consideration. The rectangular section is reduced to an equivalent box section with two cases of the compressed zone position. The computational model sufficiently fully reflects the physical phenomena of the force resistance of the crossbars of reinforced concrete frames in the limiting and exorbitant states established experimentally. The results of numerical studies of frame structures, the transverse reinforcement of which is accepted in the form of inclined or cross inclined rods when using the proposed and other calculation models, are carried out. A comparative analysis of the results obtained showed the effectiveness of a stricter account of the

combined action of bending moments and transverse forces and the possibility of a noticeable reduction in the calculated transverse reinforcement of reinforced concrete structures under the stress state under consideration due to this. The proposed analytical dependences can be used to calculate reinforced concrete crossbars of structurally and physically nonlinear frames with their brittle destruction along an inclined section in exorbitant states.

Keywords: reinforced concrete frame, spatial design scheme, transverse force, inclined section, deformation, special impact, beyond condition.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алмазов В.О., Као Зуй Кхой. Динамика прогрессирующего разрушения монолитных многоэтажных каркасов. М.: АСВ, 2013. 128 с.
2. Еремеев П.Г. Методы проектирования на прогрессирующее обрушение: гармонизация российских и международных нормативных документов // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 4. С. 23-28.
3. Федорова Н.В., Фан Динь Гуок, Нгуен Тхи Чанг. Экспериментальные исследования живучести железобетонных рам с ригелями, усиленными косвенным армированием // Строительство и реконструкция. 2020. № 1. С. 92-100.
4. Ильющенко Т.А., Колчунов В.И., Федоров С.С. Трещиностойкость преднапряженных железобетонных рамно-стержневых конструкций при особых воздействиях // Строительство и реконструкция. 2021. № 1. С. 74-84.
5. Ву Нгок Туен Исследование живучести железобетонной конструктивно нелинейной рамно-стержневой системы каркаса многоэтажного здания в динамической постановке // Строительство и реконструкция. 2020. № 4. С. 73-84.
6. Федорова Н. В., Халина Т.А. Исследование динамических догрузений в железобетонных конструктивных системах при внезапных структурных перестройках// Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 8. С. 32-36.
7. Alogla K., Weekes L., Augusthus-Nelson L. A new mitigation scheme to resist progressive collapse of RC structures // Construction and Building Materials. 2016. No. 125. Pp. 533-545.
8. Alshaikh I. M. H. [и др.]. Progressive collapse of reinforced rubberised concrete: Experimental study // Construction and Building Materials. 2019. No. 226. Pp. 307-316.
9. Li J., Hao H. Numerical study of structural progressive collapse using substructure technique // Engineering Structures. 2013. No. 52. Pp.101-113.
10. Xuan W., Wang L., Liu C., Xing G., Zhang L., Chen H. Experimental and theoretical investigations on progressive collapse resistance of the concrete-filled square steel tubular column and steel beam frame under the middle column failure scenario // Shock and Vibration. 2019. Vol. 2019. Pp. 1-12.
11. Lin K., Lu X., Li Y., Guan H. Experimental study of a novel multi-hazard resistant prefabricated concrete frame structure // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2019. Vol. 119. Pp. 390-407
12. Колчунов В.И., Бушова О.Б., Кореньков П.А. Деформирование и разрушение железобетонных рам с ригелями, армированными наклонными стержнями, при особых воздействиях // Строительство и реконструкция. 2022. № 1. С. 18-28.
13. Колчунов В.И., Бушова О.Б. Деформирование железобетонных каркасов многоэтажных зданий в предельных состояниях при особых воздействиях// Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2022. № 4. С. 297-306.
14. Карпенко Н.И., Колчунов В.И., Колчунов В.И., Травуш В.И., Демьянов А.И. Деформирование железобетонных конструкций при изгибе с кручением// Строительные материалы. 2021. № 6. С. 47-56.
15. Федоров В.С., Фам Фук Тунг, Колчунов В.И. Расчет ширины раскрытия трещин в железобетонных конструкциях при центральном растяжении с учетом эффекта нарушения сплошности // Известия Орловского государственного технического университета. 2007. № 1(13). С. 29-34.
16. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003 (с Изменением N 1). Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 г.
17. Колчунов В.И., Пимочкин В.Н. деформационный эффект при сопротивлении растянутого бетона между трещинами в железобетонном элементе (или вскрытие истинных причин расхождения внешних и внутренних усилий в поперечном сечении железобетонного элемента, рассчитываемого по теории В.И. Мурашева) // Известия орловского государственного технического университета. 2005. № 3-4. С. 49-55.

18. Колчунов В.И., Колчунов Вл.И., Федорова Н.В. Деформационные модели железобетона при особых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 8. С. 54-60.
19. Демьянов А.И., Наумов Н.В., Колчунов В.И. Методика определения параметров деформирования и трещиностойкости железобетонных составных конструкций, испытывающих кручение с изгибом // Известия вузов. 2018. № 7. С. 5-16.

REFERENCES

1. Almazov V.O., Kao Zui Khoi. Dynamics of progressive destruction of monolithic multi-storey frames. M.: DIA, 2013. 128 p.
2. Ereemeev P.G. Design methods for progressive collapse: harmonization of Russian and international regulatory documents // Industrial and civil construction. 2022. No. 4. Pp. 23-28.
3. Fedorova N.V., Fan Dinh Guok, Nguyen Thi Chang. Experimental studies of the survivability of reinforced concrete frames with crossbars reinforced with indirect reinforcement // Construction and reconstruction. 2020. No. 1. Pp. 92-100.
4. Ilyushenko T.A., Kolchunov V.I., Fedorov S.S. Crack resistance of prestressed reinforced concrete frame-rod structures under special influences // Construction and reconstruction. 2021. No. 1. Pp. 74-84.
5. Wu Ngoc Tuen Study of the survivability of a reinforced concrete structurally nonlinear frame-rod system of a multi-storey building frame in a dynamic formulation // Construction and Reconstruction. 2020. No. 4. Pp.73-84.
6. Fedorova N.V., Khalina T.A. Investigation of dynamic overloads in reinforced concrete structural systems during sudden structural rearrangements// Industrial and civil construction. 2017. No. 8. Pp. 32-36.
7. Alogla K., Weekes L., Augustus-Nelson L. A new mitigation scheme to resist progressive collapse of RC structures // Construction and Building Materials. 2016. No. 125. Pp. 533-545.
8. Alshaikh I. M. H. [et al.]. Progressive collapse of reinforced rubberized concrete: Experimental study // Construction and Building Materials. 2019. No. 226. Pp. 307-316.
9. Li J., Hao H. Numerical study of structural progressive collapse using substructure technique // Engineering Structures. 2013. No. 52. Pp.101-113.
10. Xuan W., Wang L., Liu C., Xing G., Zhang L., Chen H. Experimental and theoretical investigations on progressive collapse resistance of the concrete-filled square steel tubular column and steel beam frame under the middle column failure scenario // Shock and Vibration. 2019. Vol. 2019. Pp. 1-12.
11. Lin K., Lu X., Li Y., Guan H. Experimental study of a novel multi-hazard resistant prefabricated concrete frame structure // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2019. Vol. 119. Pp. 390-407.
12. Kolchunov V.I., Bushova O.B., Korenkov P.A. Deformation and destruction of reinforced concrete frames with crossbars reinforced with inclined rods, under special influences // Construction and reconstruction. 2022. No. 1. Pp. 18-28.
13. Kolchunov V.I., Bushova O.B. Deformation of reinforced concrete frames of multi-storey buildings in extreme conditions under special influences// Construction mechanics of engineering structures and structures. 2022. No. 4. Pp. 297-306.
14. Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Kolchunov V.I., Travush V.I., Demyanov A.I. Deformation of reinforced concrete structures during bending with torsion// Building materials. 2021. No. 6. Pp. 47-56
15. Fedorov V.S., Pham Fuk Tung, Kolchunov V.I. Calculation of crack opening width in reinforced concrete structures at central tension taking into account the effect of continuity violation // Izvestiya Orel State Technical University. 2007. No. 1(13). Pp. 29-34.
16. SP 63.13330.2018 Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. SNiP 52-01-2003 (with Change N 1). Official publication. Moscow: Standartinform, 2019
17. Kolchunov V.I., Pimochkin V.N. deformation effect in the resistance of stretched concrete between cracks in a reinforced concrete element (or the disclosure of the true causes of the divergence of external and internal forces in the cross section of a reinforced concrete element calculated according to the theory of V.I. Murashev) // Izvestiya Orel State Technical University. 2005. No. 3-4. Pp. 49-55.
18. Kolchunov V.I., Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Deformation models of reinforced concrete under special influences // Industrial and civil construction. 2018. No. 8. Pp. 54-60.
19. Demyanov A.I., Naumov N.V., Kolchunov V.I. Methodology for determining the parameters of deformation and crack resistance of reinforced concrete composite structures experiencing torsion with bending // Izvestiya vuzov. 2018. No. 7. Pp. 5-16.

Информация об авторах:

Федорова Наталия Витальевна

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

ведущий научный сотрудник НИИСФ РААСН.

E-mail: fenavit@mail.ru

Бушова Олеся Борисовна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия, аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций НИУ МГСУ.

E-mail: bushova96@mail.ru

Колчунов Виталий Иванович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций.

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

член-корреспондент НИИСФ РААСН.

E-mail: asiorel@mail.ru.

Information about authors:

Fedorova Natalia V.

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

leading researcher of the NIISF RAASN.

E-mail: fenavit@mail.ru

Bushova Olesya B.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «National Research Moscow State University of Civil Engineering» (MGSU), Moscow, Russia,

postgraduate student of the department of Reinforced Concrete and Stone Structures of the MGSU.

E-mail: bushova96@mail.ru

Kolchunov Vitaly Iv.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «National Research Moscow State University of Civil Engineering» (MGSU), Moscow, Russia,

professor of the department of Reinforced Concrete and Stone Structures.

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

corresponding member of NIISF RAASN.

E-mail: asiorel@mail.ru

Л.А. АЛБОРОВА¹, И.А. МАМИЕВА²

¹Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений (ЦНИИПромзданий), г. Москва, Россия

²Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, г. Москва, Россия

КРИВОЛИНЕЙНЫЕ ФОРМЫ В АРХИТЕКТУРЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В НАЧАЛЕ XXI-го ВЕКА

Аннотация. До настоящего времени систематизированы существующие архитектурные стили со своими модификациями, подвидами и стилевыми течениями применительно к тонким оболочкам и оболочечным структурам. Имеются несколько хронологий развития архитектурных стилей. Установлено, что интенсивность и разнообразие применения аналитических и аналитически незадаваемых поверхностей в архитектуре оболочечных структур, тонких оболочек и во внешних формах разнообразных сооружений поддаются разбиению на пять временных периодов. Последний пятый период было решено назвать «Возрождение интереса к оболочкам и сооружениям криволинейной формы, возникновение новых архитектурных стилей». Согласно материалам исследования он начался в начале XXI-го века. В данной статье показано, что до сегодняшнего времени нашли применение 37 аналитических поверхностей из более шести сотен известных поверхностей. Авторы констатируют реальное положение в архитектуре криволинейных форм и показывают возрастающий интерес архитекторов и строителей к таким объектам. Показано, что с 2000-го года использованы 16 основных архитектурных стилей, не считая новейшие стили, заявленные архитекторами, но обозначенные одним-двумя сооружениями. Перечислены с конкретными примерами аналитические и аналитически незадаваемые поверхности нашедшие применение в реальных сооружениях. Указаны архитекторы, участвовавшие в проектировании наиболее значимых зданий и сооружений.

Ключевые слова: архитектура оболочек, аналитические поверхности, этапы строительства оболочек.

L.A. ALBOROVA¹, I.A. MAMIEVA²

¹Central Scientific Research Institute for Industrial Buildings and Structure, Moscow, Russia

²RUDN University, Moscow, Russia

CURVILINEAR FORMS IN ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND ERECTIONS

Abstract. To date, the existing architectural styles have been systematized with their modifications, subspecies and style trends in relation to thin shells and shell structures. There are several chronologies of the development of architectural styles. It has been established that the intensity and variety of the use of analytical and analytically non-assignable surfaces in the architecture of shell structures, thin shells and in the external forms of various structures can be divided into five time periods. The last fifth period was decided to be called "The revival of interest in shells and curvilinear structures, the emergence of new architectural styles." According to the research materials, it began at the beginning of the XXI century. This article shows that up to now 37 analytical surfaces out of more than six hundred known surfaces have been used. The authors constate the real situation in the architecture of curvilinear forms and show the increasing interest of architects and builders in such objects. It is shown that since 2000, 16 main architectural styles have been used, not counting the latest styles declared by architects, but designated by one or two structures. Analytical and analytically undetectable surfaces that have found

© Алборова Л.А., Мамиева И.А., 2023

application in real structures are listed with specific examples. The architects who participated in the design of the most significant buildings and structures of curvilinear forms at the beginning of the XXI century are indicated. The literature used contains 32 titles.

Keywords: *shell architecture, analytical surfaces, shell construction stages.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Krivoshapko S.N., Christian A. Bock Hyeng, Mamieva I.A. Chronology of erection of the earliest reinforced concrete shells // *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*. 2014. Vol. 18. Iss. 2. Pp. 95-108.
2. Krsić S. Geometrijske površi u arhitekturi. Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerzitet u Nišu. Štampa Galaksija, Niš. 2012. 238 p.
3. Butelski K. The Architecture of Curved Shapes // *Nexus Network Journal*. January. 2000. Vol. 2. No. 1. Pp. 19-23. doi:10.1007/s00004-999-0004-x.
4. Encyclopedia of 20-th Century Architecture. R. Stephen Sennot, Editor. Taylor & Francis Group. NY. 2003. doi:4324/9780203483886
5. Krivoshapko S.N. Shell structures and shells at the beginning of the 21st century // *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2021. Vol. 17. No. 6. Pp. 553-561. doi:10.22363/1815-5235-2021-17-6-553-561
6. Adnan F., Yunus R.M. The influence of curvilinear architectural forms on environment behaviour // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. December 2012. Vol. 49. Pp. 341-349. doi:10.1016/j.sbspro.2012.07.032
7. Krivoshapko S.N., Christian A. Bock Hyeng, Gil-oulbe Mathieu. Stages and architectural styles in design and building of shells and shell structures // *Building and Reconstruction*. 2022. № 4(102). С. 112-131. doi:10.33979/2073-7416-2022-102-4-112-131
8. 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
9. Сысоева Е.В. Научные подходы к расчету и проектированию большепролетных конструкций // *Вестник МГСУ*. 2017. Т. 12. № 2(101). С. 131-141. doi:10.22227/1997-0935.2017.2.131-141
10. Братухин А.Г., Сироткин О.С., Сабодаш П.Ф., Егоров В.Н. Материалы будущего и их удивительные свойства. М. : Машиностроение, 1995. 128 с.
11. Киселева И.А. Применение кривых поверхностей в строительстве и инженерной практике / В сб.: *Дни студенческой науки. Сб. докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института строительства и архитектуры. Министерство образования и науки Российской Федерации. МГСУ*. 2018. С. 319-321.
12. Gil-oulbe Mathieu. Reserve of analytical surfaces for architecture and construction // *Building and Reconstruction*. 2021. No. 6 (98). Pp. 63-72. doi:10.33979/2073-7416-2021-98-6-63-72
13. Zhou F.-X. A constant slope surface and its application / *3rd International Conference on Geology, Mapping and Remote Sensing (ICGMRS)*, 2022. Pp. 78-81. doi:10.1109/ICGMRS55602.2022.9849334
14. Иванов В.Н., Алешина О.О. Геометрия прямых коноидов с ортогональной системой координат // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2023. № 2 (307). С. 53-62. doi:10.37538/0039-2383.2023.2.53.62
15. Zhang J., Wang M., Wang W., Tang W. Buckling of egg-shaped shells subjected to external pressure // *Thin-Walled Structures*. 2017. Vol. 113. Pp. 122-128
16. Иванов В.Н. Геометрия и формообразование многогранных коробчатых криволинейных поверхностей на базовой циклической поверхности // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2012. № 2. С. 3-10.
17. Krivoshapko S.N. Geometry and strength of general helicoidal shells // *Applied Mechanics Reviews*. May 1999. Vol. 52. No. 5. Pp. 161-175. doi:10.1115/1.3098932
18. Velimirović L.S., Radivojević G., Stanković M.S., Kostić D. Minimal surfaces for architectural constructions // *Facta Universitatis. Series: Architecture and Civil Engineering*. 2008. Vol. 6. No 1. Pp. 89-96. doi:10.2298/FUACE0801089V
19. Алборова Л.А. Минимальные поверхности в строительстве и архитектуре // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2021. № 1. С. 3-11. doi:10.21869/2311-1518-2021-33-1-3-11
20. Чешкова М.А. Тор Клиффорда и бутылка Клейна // *Известия Алтайского государственного университета*. 2017. № 1 (93). С. 144-14. doi:10.14258/izvasu(2017)1-29

21. Ганеева М.С., Скворцова З.В. Напряженно-деформированное состояние катеноидной оболочки вращения из ортотропного материала // Актуальные проблемы механики сплошной среды. К 20-летию ИММ КазНЦ РАН: сб. статей. Том II. Казань: ИММ КазНЦ РАН, 2011. С. 153-160.
22. 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>.
23. Иванов В.Н., Рынковская М.И. Применение циклических поверхностей в архитектуре зданий, конструкций и изделий // Вестник РУДН. Инженерные исследования. 2015. № 3. С. 111-119.
24. Гринько Е.А. Поверхности плоскопараллельного переноса конгруэнтных кривых // Строительная механика и расчет сооружений. 2021. № 3. С. 71–77. doi:10.37538/0039-2383.2021.3.71.77
25. Барчугова Е.В. Параметризм как направление современной проектной деятельности // Архитектура и современные информационные технологии. 2013. № 4(25). 4 с. EDN: RRETSJ
26. Маяцкая И.А., Беловолов М.Г. Применение фрактальных поверхностей при проектировании сооружений // Актуальные проблемы науки и техники: Материалы Национ. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону, Дон. гос. техн. ун-т (ДГТУ). Ростов-на-Дону, 2020. С. 1695-1697.
27. Кривошапко С.Н. К вопросу об основных архитектурных стилях, направлениях и стилевых течениях для оболочек и оболочечных структур // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2022. Т. 18. № 3. С. 255-268. doi:10.22363/1815-5235-2022-18-3-255-268
28. Марченко Л.А., Негай Г.А. Анализ криволинейности в архитектуре // Новые идеи нового века: Материалы Международной научной конференции. ФАД ТОГУ. 2013. Т. 1. С. 191-197. [EDN: PZAIAB].
29. Hyeng Christian A. Bock, Yamb Emmanuel B. Application of cyclic shells in architecture, machine design, and bionics // Int. J. of Modern Engineering Research. 2012. Vol. 2. No. 3. Pp. 799-806.
30. Бойков И.К. Геометрия циклид Дюпена и их применение в строительных объектах // Расчет оболочек строительных конструкций. М.: УДН. 1982. С. 116-129.
31. Иващенко Н.А. Архитектура брутализма в зарубежном и российском искусствознании после Рейнера Бэнема // Артикульт. 2022. №4(48). С. 6-16. doi:10.28995/2227-6165-2022-4-6-16
32. 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>. (дата обращения: 24.03.2023).

REFERENCES

1. Krivoshapko S.N., Christian A. Bock Hyeng, Mamieva I.A. Chronology of erection of the earliest reinforced concrete shells. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*. 2014. Vol. 18. No. 2. Pp. 95-108.
2. Krsić Sonja. Geometrijske površi u arhitekturi. Građevinsko- arhitektonski fakultet Univerzitet u Nišu. Štampa Galaksija, Niš, 2012. 238 p.
3. Butelski K. The Architecture of Curved Shapes. *Nexus Network Journal*. January 2000. Vol. 2(1). Pp. 19-23. doi:10.1007/s00004-999-0004-x.
4. Encyclopedia of 20-th Century Architecture. R. Stephen Sennot, Editor. Taylor & Francis Group. NY. 2003. doi:4324/9780203483886
5. Krivoshapko S.N. Shell structures and shells at the beginning of the 21st century. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2021. Vol. 17. No. 6. Pp. 553-561. doi:10.22363/1815-5235-2021-17-6-553-561
6. Adnan F., Yunus R.M. The influence of curvilinear architectural forms on environment behavior. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. December 2012. No. 49. Pp. 341-349. doi:10.1016/j.sbspro.2012.07.032
7. Krivoshapko S.N., Christian A. Bock Hyeng, Gil-oulbe Mathieu. Stages and architectural styles in design and building of shells and shell structures. *Building and Reconstruction*. 2022. No. 4 (102). Pp. 112-131. doi:10.33979/2073-7416-2022-102-4-112-131
8. Krivoshapko S.N., Alborova L.A., Mamieva I.A. Shell structures: genesis, materials, and subtypes. Part 1. Subtypes and directions. *Academia. Architecture and Construction*. 2021. No. 3. Pp. 125-134. doi:10.22337/2077-9038-2021-3-125-134. (rus)
9. Sysoeva E.V. Nauchnye podkhody k raschetu i proektirovaniyu bol'sheproletnykh konstruksiy [Scientific Approaches to Calculation and Design of Large-Span Structures]. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2017. Vol. 12. No. 2(101). Pp. 131-141. doi:10.22227/1997-0935.2017.2.131-141 (rus.)

10. Bratukhin A.G., Sirotkin O.S., Sabodash P.F., Egorov V.N. Materials of Future and their Wonderful Properties. Moscow: Mashinostroenie Publ.; 1995. 128 p. (rus)
11. Kiseleva I.A. The application of curvilinear surfaces in building and engineering practice. In book: Dni Studencheskoy Nauki [Days of Student Science]. Proc.: Reports of Scientific-and-Technical Conference under the Final Results of Scientific-and-Research Works of Students of Institute of Building and Architecture of MONRF, MGSU, 2018. Pp. 319-321.
12. Gil-oulbe Mathieu. Reserve of analytical surfaces for architecture and construction // Building and Reconstruction. 2021. No. 6 (98). Pp. 63-72. doi:10.33979/2073-7416-2021-98-6-63-72
13. Zhou F.-X. A constant slope surface and its application. 2022 3rd International Conference on Geology, Mapping and Remote Sensing (ICGMRS). 2022. Pp. 78-81. doi:10.1109/ICGMRS55602.2022.9849334
14. Ivanov V.N., Aleshina O.O. Geometry of right conoids with an orthogonal coordinate system. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2023. No. 2(307). Pp. 53-62. doi:10.37538/0039-2383.2023.2. 53.62 (rus)
15. Zhang J., Wang M., Wang W., Tang W. Buckling of egg-shaped shells subjected to external pressure. *Thin-Walled Structures*. 2017. Vol. 113. Pp. 122-128.
16. Ivanov V.N. Geometry and forming of the polyhedral box type surfaces on base cyclic surface. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2012. No. 2. Pp. 3-10. (rus)
17. Krivoshapko S.N. Geometry and strength of general helicoidal shells. *Applied Mechanics Reviews*. May 1999. Vol. 52. No. 5. Pp. 161-175. doi:10.1115/1.3098932
18. Velimirović L.S., Radivojević G., Stanković M.S., Kostić D. Minimal surfaces for architectural constructions. *Facta Universitatis. Series: Architecture and Civil Engineering*. 2008. Vol. 6. No 1. Pp. 89-96. doi:10.2298/FUACE0801089V
19. Alborova L.A. Minimal surfaces in building and architecture. *Biosfernaya sovmestimost': chelovek, region, tekhnologii [Biosphere compatibility: human, region, technologies]*. 2021. No. 1. Pp. 3-11. doi:10.21869/2311-1518-2021-33-1-3-11 (rus)
20. Cheshkova M.A. Clifford torus and Klein bottle. *Izvestiya Altaiskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. 2017. No. 1 (93). Pp. 144-147. doi:10.14258/izvasu(2017)1-29 (rus)
21. Ganeyeva M.S., Skvortzova Z.V. Stress-strain state of catenoid shell of revolution from orthotropic material. *Aktualnie Problemi Mehaniki Sploshnoy Sredy [Actual Problems of Mechanics of Solid Body]*. IMM KazNTz RAN. Vol. II. Kazan, 2011. Pp. 153-160. (rus)
22. 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> (date of application: 24.03.2023). (rus)
23. Ivanov V.N., Rynkovskaya M.I. Application of circular surfaces to the architecture of the buildings, structures and products. *RUDN journal of engineering research*. 2015. No. 3. Pp. 111-119. (rus)
24. Grinko E.A. Surfaces of plane-parallel transfer of congruent curves. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2021. No. 3. Pp. 71-77. doi:10.37538/0039-2383.2021.3.71.77 (rus)
25. Barchugova E.V. Parametrisation as direction of the modern project. *Architecture and modern information technologies*. 2013. No. 4(25). 4 p. EDN: RRETSJ. (rus)
26. Mayatzkaya I.A., Belovolov M.G. Application of fractal surfaces in design of erections. *Aktualnie Problemi Nauki i Techniki [Actual Problems of Science and Engineering]*. DGTU, Rostov-na-Donu. 2020. Pp. 1695-1697. (rus)
27. Krivoshapko S.N. On the basic architectural styles, directions, and style flows for shells and shell structures. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2022. Vol. 18. No. 3. Pp. 255-268. doi:10.22363/1815-5235-2022- 18-3-255-268. (rus)
28. Marchenko L.A., Negay G.A. Curvilinear analysis in architecture. *Novie Idei Novogo Veka [New Ideas of New Century]*. Proc. of International Scientific Conference FAD TOGU. 2013. Vol. 1. Pp. 191-197. (rus)
29. Hyeng Christian A. Bock, Yamb Emmanuel B. Application of cyclic shells in architecture, machine design, and bionics. *Int. J. of Modern Engineering Research*. 2012. Vol. 2. No. 3. Pp. 799-806.
30. Boikov I.K. Geometry of Dupin cyclides and their application for building structures. *Raschet Obolochek Stroitelnykh Konstruktsiy [Analysis of Shells of Building Structures]*. Moscow: UDN, 1982. Pp. 116-129. (rus)
31. Ivaschenko N.A. Brutalist architecture in Russian and foreign art history after Reyner Banham. *Articult*. 2022. No. 4(48). Pp. 6-16. doi:10.28995/2227-6165-2022-4-6-16. (rus)
32. Bondarenko I.A. On the appropriateness and moderation of architectural innovation. *Academia. Arkhitektura i Stroitel'stvo. Academia. Architecture and Construction*. 2020. Vol. 1. Pp. 13-18. <http://aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/185>. (date of application: 24.03.2023). (rus)

Информация об авторах:

Алборова Лана Анатольевна

Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений (ЦНИИПромзданий), г. Москва, Россия,
архитектор отдела архитектурно-строительной мастерской -1.

E-mail: dikko@yandex.ru

Мамиева Ираида Ахсарбеговна

Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, г. Москва, Россия,
ведущий специалист инженерной академии РУДН.

E-mail: i_mamieva@mail.ru

Information about authors:

Alborova Lana A.

Central Scientific Research Institute for Industrial Buildings and Structure, Moscow, Russia,
architect of the department of architectural and construction workshop -1.

E-mail: dikko@yandex.ru

Mamieva Iraida A.

RUDN University, Moscow, Russia,
lead specialist at the Engineering Academy.

E-mail: i_mamieva@mail.ru

А.Е. ЕНИН¹, А.Э. ЗАПЛАВНАЯ¹¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия

СПЕЦИФИКА ПОСЛЕВОЕННОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ КВАРТАЛЬНОЙ ЗАСТРОЙКИ ИСТОРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА Г. ВОРОНЕЖА В XX В.

Аннотация. В настоящей статье рассматриваются аспекты формирования и модернизации исторических морфотипов квартальной застройки центральной части г. Воронежа в период послевоенной реконструкции (1945–1950-е гг.). Выдвигается гипотеза о значимости в современных архитектурно-градостроительных исследованиях онтологического познания основных этапов модернизации архитектурно-планировочной структуры современного исторического городского центра, в том числе в процессе создания принципов ее функционально-пространственной организации. Объектом настоящего исследования является сложившаяся к моменту периода послевоенного восстановления архитектурно-градостроительная среда исторического центра г. Воронежа. Проводится системный ретроспективный анализ архитектурно-планировочной структуры г. Воронежа в период послевоенного восстановления: системным подходом выявляются внешние и внутренние факторы, определяющие принципы реконструкции исторического городского центра в период послевоенного восстановления СССР как сложного многоуровневого объекта; определяются и фиксируются в соответствии с выявленными факторами границы исследования; систематизируются параметры исследуемой территории в определенный временной период на различных иерархических уровнях, а также определяется фонд преемственных историко-градостроительных ценностей, выраженных в материально-пространственном и функциональном эквиваленте.

В результате настоящего исследования определяются устойчивые архитектурно-градостроительные тенденции пространственного и функционального преобразования исследуемой территории в период послевоенного восстановления г. Воронежа, необходимые для организации корректного процесса реконструкции в настоящее время. Историко-архитектурный и градостроительный анализ, проведенный на основе историко-архивных и библиографических исследований, позволил сформировать типологию исторических морфотипов застройки г. Воронежа в период послевоенного восстановления, а также определить крайние преобразования, несущие в себе историко-культурный код. Сформированы системные принципы послевоенной реконструкции архитектурно-планировочной структуры по двум направлениям, дифференцированные на основе выявленных в результате системного подхода типологических групп планировочных элементов функционально-пространственной организации городского центра в рассматриваемый период.

Ключевые слова: реконструкция, ретроспективный анализ, конструктивизм, советский неоклассицизм, послевоенное восстановление, исторический городской центр.

А.Е. ENIN¹, А.Э. ZAPLAVNAYA¹¹Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

THE SPECIFICS OF THE POST-WAR RECONSTRUCTION OF THE HISTORICAL CENTER OF VORONEZH (1943-1959)

Abstract. This article discusses the aspects of the formation and modernization of historical morphotypes of the block development of the central part of Voronezh during the post-war reconstruction (1945-1950-ies). The hypothesis is put forward about the importance in the present architectural and urban studies of ontological knowledge of the main stages of modernization of the architectural and planning structure of the modern historical urban center, including in the process of creating the principles of its functional and spatial organization.

The object of this study is the architectural and urban planning environment of the historical center of Voronezh that has developed by the time of the post-war reconstruction period. A systematic retrospective analysis of the architectural and planning structure of Voronezh is carried out: the external and internal factors determining the principles of reconstruction of the historical urban center during the post-war restoration of the USSR as a complex multilevel object of the "population and environment" type are identified and fixed in accordance with the identified factors of the boundaries of the study; the parameters of the studied territory are systematized in a certain time period at various hierarchical levels, and the fund of successive historical and urban values expressed in material, spatial and functional equivalents is determined.

As a result of this study, the stable architectural and urban planning trends of spatial and functional modernization of the studied territory during the post-war reconstruction of Voronezh are determined, which are necessary for the organization of a correct reconstruction process at the present time. The historical-architectural and urban planning analysis carried out on the basis of historical-archival and bibliographic studies allowed us to form a typology of historical morphotypes of the city's buildings. Voronezh in the period of post-war reconstruction, as well as to identify extreme modernizations that carry a historical and cultural code. The system principles of the post-war reconstruction of the architectural and planning structure in two directions have been formed, differentiated on the basis of typological groups of planning elements of the functional and spatial organization of the urban center identified as a result of the systematic approach in the period under consideration.

Keywords: reconstruction, retrospective analysis, constructivism, Soviet neoclassicism, post-war reconstruction, historical city center.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов В.Н., Шабо Ж. и др. Реконструкция центров исторических городов: Сов.-фр. науч.-техн. сотрудничество. Центр. н.-и. и проект. ин-т по градостроительству, М-во градостроительства, жилища и трансп. Франции, Техн. упр. по градостроительству. М. : Стройиздат, 1987. 223 с.
2. Вельможко И.Н. Социальные трансформации в период "хрущевской оттепели" // Вестник Удмуртского университета. Серия История и филология. 2016. Т. 26. № 4. С. 93-100.
3. Гафурова С.В. Морфотипы многоквартирной жилой застройки и их размещение в планировочной структуре крупных городов Татарстана // Архитектура и строительство России. 2022. № 2(242). С. 26-33. EDN MJFGFU.
4. Гутнов А.Э. Эволюция градостроительства. Москва : Стройиздат, 1984. 256 с.
5. Енин А.Е., Заплавная А.Э. Режимы градостроительной реконструкции квартальной жилой застройки исторического центра города Воронежа // Архитектурные исследования. 2022. № 4(32). С. 82-92. EDN BIWZMK.
6. Енин А.Е., Танкеев А.С., Заплавная А.Э. Проблемы сохранения и оптимального обновления архитектурно-планировочной структуры исторического центра г. Воронежа // Известия вузов. Строительство. 2021. № 12. С. 77-87.
7. Заплавная А.Э., Танкеев А.С. Эволюция архитектурной стилистики конструктивизма в городе Воронеже в 1920–1950-е гг. // Архитектон: известия вузов. 2020. № 4(72). http://archvuz.ru/2020_4/15/ doi:10.47055/1990-4126-2020-4(72)-15
8. Зиятдинов З.З., Михалчева С.Г., Херувимова И.А., Зиятдинов Т.З. Морфотипы жилой застройки в структуре крупного города // Архитектон: известия вузов. 2020. № 2(70). С. 10. doi:10.47055/1990-4126-2020-2(70)-10
9. Москаленко И.А. Особенности послевоенного восстановления фасадов зданий исторического центра города Ростова-на-Дону // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2020. № 8. С. 18-31. doi:10.34031/2071-7318-2020-5-8-18-31 EDN TWUSEU.
10. Пасхина М. В. Выявление, типология и оценка городских морфотипов (на примере г. Ярославля) // Ярославский педагогический вестник. 2012. Т. 3. № 4. С. 245-250. EDN PXMNIX.
11. Попов П.А. Воронеж: История города в названиях улиц. Воронеж: Кварта, 2003. 235 с.
12. Птичкинова Г.А. Трансформации пространственной структуры крупнейших городов России в постсоветский период // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2020. № 1(29). С. 42-56. doi:10.21869/2311-1518-2020-29-1-42-56. – EDN IYQGKH.
13. Сосновский В.А., Русакова Н.С. Прикладные методы градостроительных исследований : учебное пособие по направлению 630100 "Архитектура". Москва : Архитектура-С, 2006 (Ульяновск : Ульяновский Дом печати). 110 с.
14. Стадников В.Э. Исторические территории. Нормативные и ненормативные подходы к обновлению (hard & soft) // Архитектон: известия вузов. 2019. № 2(66). С. 13.

15. Троицкий Н.В. Облик будущего Воронежа. Воронеж: Воронежское книжное издательство, 1953. 63 с.
16. Федченко И.Г. Современные морфотипы жилой среды, сложившиеся под влиянием динамических процессов жизнедеятельности в начале XXI века // Современная архитектура мира. 2019. № 1(12). С. 178-192. doi: 10.25995/NIITIAG.2019.12.1.026
17. Хан-Магомедов С.О. Архитектура советского авангарда. В 2-х кн. Кн. 1: Проблемы формообразования. Мастера и течения. М.: Стройиздат. 1996. 709 с.
18. Хмельницкий Д.С. Предисловие. Архитектура Сталина: Психология и стиль. Под общей ред. Е.П. Крюкова. М.: Прогресс-Традиция, 2007. 376 с.
19. Чесноков Г.А. Архитектура Воронежа: история и современность. Воронеж: Воронеж. гос. арх.-строит. академия, 1999. 394 с.
20. Biddau G.M., Marotta A., Sanna G. Abandoned landscape project design // City Territ Archit. 2020. Vol. 7. Iss. 10. Pp. 1–17. doi:10.1186/s40410-020-00118-7.
21. Kropf K. Urbanism, politics and language: the role of urban morphology. Urban Morphology. 2011. No. 15. Pp. 157–161.
22. Pittaluga P. Pioneering urban practices in transition spaces // City Territ Archit, 2020. Vol. 7. Iss. 18. Pp. 1–10. doi:10.1186/s40410-020-00127-6
23. Whitehand J.W.R. British urban morphology: the Conzenian tradition. Urban Morphology. 2001. No. 5(2). Pp. 32-35.

REFERENCES

1. Belousov V.N., Shabo J. and others Reconstruction of the centers of historical cities : Soviet-French scientific-technical cooperation. Center. n.-I. and the project. in-t on urban planning, M-in urban planning, housing and transport. France, Technical Department of Urban Planning. M.: Stroyizdat, 1987. 223 p.
2. Velmozhko I.N. Social transformations during the "Khrushchev thaw" // Bulletin of the Udmurt University. History and Philology series. 2016. Vol. 26. No. 4. Pp. 93-100.
3. Gafurova S.V. Morphotypes of multi-apartment residential buildings and their placement in the planning structure of large cities of Tatarstan // Architecture and construction of Russia. 2022. No. 2(242). Pp. 26-33. EDN MJFGFU.
4. Gutnov A.E. Evolution of urban planning. Moscow : Stroyizdat, 1984. 256 p.
5. Enin A.E., Zaplavnaya A.E. Modes of urban-planning reconstruction of the residential quarter of the historical center of the city of Voronezh // Architectural studies. 2022. No. 4(32). Pp. 82-92. EDN BIWZMK.
6. Enin A.E., Tankeev A.S., Zaplavnaya A.E. Problems of preservation and optimal renewal of the architectural and planning structure of the historical center of Voronezh // News of universities. Construction. 2021. No. 12. Pp. 7-87.
7. Zaplavnaya A.E., Tankeev A.S. Evolution of architectural stylistics of constructivism in the city of Voronezh in the 1920s-1950s // Architecton: izvestiya vuzov. 2020. No. 4(72). http://archvuz.ru/2020_4/15/ / doi:10.47055/1990-4126-2020-4(72)-15.
8. Ziyatdinov Z.Z., Mikhalcheva S.G., Cheruvimova I.A., Ziyatdinov T.Z. Morphotypes of residential development in the structure of a large city // Architecton: izvestiya vuzov. 2020. № 2(70). Pp. 10. doi:10.47055/1990-4126-2020-2(70)-10
9. Moskalenko I.A. Features of the consistent restoration of facades of the common sense of the city of Rostov-on-Don // Bulletin of Belgorod State Technological University named after S.D. Shukhov. 2020. No. 8. Pp. 18-31. doi:10.34031/2071-7318-2020-5-8-18-31. – EDN TWUSEU.
10. Pashkina M.V. Identification, typology and evaluation of urban morphotypes (on the example of Yaroslavl) // Yaroslavl Pedagogical Bulletin. 2012. Vol. 3. No. 4. Pp. 245-250. EDN PXMNIX.
11. Ptichnikova G. A. Transformations of the spatial structure of Russia's largest cities in the post-Soviet period // Biosphere compatibility: man, region, technologies. 2020. No. 1(29). Pp. 42-56. doi:10.21869/2311-1518-2020-29-1-42-56. EDN IYQGKH.
12. Stadnikov V.E. Historical territories. Normative and non-normative approaches to updating (hard & soft) // Architecton: izvestiya vuzov. 2019. No. 2(66). Pp. 13.
13. Sosnovsky V.A., Rusakova N.S. Applied methods of urban planning research: a textbook in the direction 630100 "architecture" - Moscow: Architecture-c, 2006 (Ulyanovsk: Ulyanovsk House of Printing). 110 p.
14. Stadnikov V.E. Historical territories. Normative and non-normative approaches to updating (hard & soft) // Architecton: izvestiya vuzov. 2019. No. 2(66). Pp. 13.
15. Troitsky N.V. The image of the future of Voronezh. Voronezh : Voronezh Book Publishing House, 1953. 63 p.
16. Fedchenko I.G. Modern morphotypes of the living environment, formed under the influence of dynamic life processes at the beginning of the XXI century // Modern architecture of the world. 2019. No. 1(12). Pp. 178-192. doi:10.25995/NIITIAG.2019.12.1.026.
17. Khan-Magomedov S.O. Architecture of the Soviet avant-garde. In 2 books. Book 1: Problems of shaping. Masters and currents. M.: Stroyizdat. 1996. 709 p.

18. Khmelnsky D.S. Preface. Stalin's Architecture: Psychology and style. Under the general ed. E.P. Kryukova. Moscow : Progress-Tradition, 2007. 376 p.
19. Chesnokov G.A. Architecture of Voronezh: history and modernity. Voronezh: Voronezh. state Arch.-builds. academy, 1999. 394 p.
20. Biddau G.M., Marotta A., Sanna G. Abandoned landscape project design // City Territ Archit. 2020. Vol. 7. Iss. 10. Pp. 1–17. doi:10.1186/s40410-020-00118-7
21. Kropf K. Urbanism, politics and language: the role of urban morphology. Urban Morphology. 2011. No. 15. Pp. 157–161.
22. Pittaluga P. Pioneering urban practices in transition spaces // City Territ Archit. 2020. Vol. 7. Iss. 18. Pp. 1–10. doi:10.1186/s40410-020-00127-6
23. Whitehand J.W.R. British urban morphology: the Conzenian tradition. Urban Morphology. 2001. No. 5(2). Pp. 32-35.

Информация об авторах:

Енин Александр Егорович

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия, кандидат архитектуры, профессор, декан факультета архитектуры и градостроительства.
E-mail: a_yenin@mail.ru

Заплавная Алеся Эдуардовна

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия, аспирант факультета архитектуры и градостроительства.
E-mail: A.zaplavnaya@yandex.ru

Information about authors:

Enin Alexander E.

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, candidate of architecture, professor, dean of the Faculty of Architecture and Urban Planning.
E-mail: a_yenin@mail.ru

Zaplavnaya Alesya E.

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, post-graduate student of the Faculty of Architecture and Urban Planning.
E-mail: A.zaplavnaya@yandex.ru

Т.Ф. ЕЛЬЧИЩЕВА², В.Т. ЕРОФЕЕВ¹, П.В. МОНАСТЫРЕВ², Е.Н. АБРАМОВА¹,
В.В. АФОНИН¹, И.В. ЕРОФЕЕВА³, А.Ф. АТМАНЗИН¹

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Огарева»,
г. Саранск, Республика Мордовия, Россия,

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

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

БИОСТОЙКОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ИЗ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Аннотация. Проведено исследование воздействия модельной биологической среды продуктов метаболизма мицелиальных грибов на биостойкость цементных композитов из сухих строительных смесей промышленного производства для наружных и внутренних работ. Установлена низкая сопротивляемость образцов без дополнительной биозащиты воздействию биологической среды. Актуальна разработка цементных композитов с биоцидными добавками для обеспечения стойкости к биологически и химически агрессивной среде без снижения прочностных свойств. Определена степень обрастаемости образцов из различных видов сухих строительных смесей в модельной среде продуктов метаболизма мицелиальных грибов. Исследовано восемь композитов различного состава при воздействии 13 видов модельной среды. Установлена стойкость образцов при концентрации компонентов среды от 0 до 5% по массе. Плиточный клей «UNIS 2000», плиточный клей «Старатели», шпатлевка «Старатели», штукатурка фасадная «KNAUF» обладают грибостойкими свойствами. Шпатлевка «СТ29 Ceresit», гидроизоляция «ВодоStopGlims», штукатурка «IvsilGross» и наливной пол «Магма» являются негрибостойкими. Выявлены наиболее неблагоприятные для образцов концентрации продуктов метаболизма мицелиальных грибов. Выявлена эффективность применения биоцидных добавок на полимерной основе серии «Текфлекс» (ООО «СофтПРОТЕКТОР», Россия) на сопротивляемость цементных композитов биоразрушению. Наибольшую эффективность показали добавки «АнтиСоль смывка», «Для металла» и «Универсальный», их применение обеспечивает грибостойкость и фунгицидность строительных материалов.

Ключевые слова: сухие строительные смеси, биостойкость, биоцидные добавки, фунгицидность, грибостойкость, прочностные свойства.

T.F. ELCHISHCHEVA², V.T. EROFEEV¹, P.V. MONASTYREV², E.N. ABRAMOVA¹,
V.V. AFONIN¹, I.V. EROFEEVA³, A.F. ATMANZIN¹

¹National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

²Tambov State Technical University, Tambov, Russia

³Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

BIOSTABILITY OF CEMENT COMPOSITES FROM DRY BUILDING MIXTURES

Abstract. A study was made of the influence of a model biological environment of the products of the metabolism of filamentous fungi on the biostability of cement composites from industrial dry building mixes for outdoor and indoor work. The low resistance of samples without additional bioprotection to the influence of the biological environment was established. Relevant is the development of cement composites with biocidal additives to ensure resistance to biologically and chemically aggressive environments without reducing the strength properties. The degree of fouling of samples from various types of dry building mixtures in a model environment of metabolic products of filamentous fungi was determined. Eight composites of different composition were studied under the

influence of 13 types of model medium. The stability of the samples was established at a concentration of medium components from 0 to 5% by weight. Tile adhesive "UNIS 2000", tile adhesive "Prospectors", putty "Prospectors", facade plaster "KNAUF" have fungus-resistant properties. Putty "CT29 Ceresit". Waterproofing "VodoStopGlims", plaster "IvsilGross" and self-leveling floor "Magma" are non-mushroom resistant. The most unfavorable concentrations of filamentous fungi metabolism products for the samples were revealed. The effectiveness of the use of polymer-based biocidal additives of the Teflex series (OOO SoftPROTECTOR, Russia) on the resistance of cement composites to biodegradation was revealed. The additives "Anti-Salt Wash", "For Metal" and "Universal" showed the greatest efficiency, their use provides fungi resistance and fungicidal properties of building materials.

Keywords: *dry building mixtures, biostability, biocidal additives, fungicide, fungal resistance, strength properties.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ботка Е.Н. Рынок сухих строительных смесей России // Цемент и его применение. 2021. № 2. С. 32-33.
2. Рынок сухих строительных смесей в России: исследование и прогноз до 2025 г. Вып.: апрель, 2021 г. [Электронный ресурс]. <https://roif-expert.ru/stroitelstvo/stroitel-nye-smesi/rynok-suhih-stroitel-nyh-smesej/rynok-suhih-stroitel-nyh-smesej-v-rossii-issledovanie-i-prognoz.html> (дата обращения: 22.12.2022).
3. Perevozchikova S.V., Belov V.V. Dry Mix Mortar for Restoration of Buildings // Smart Composite in Construction. 2021. Vol. 2. No. 1. Pp. 14-18. doi:10.52957/27821919_2021_1_14
4. Остроух А.В., Вэй П.А., Суркова Н.Е. Анализ современного состояния автоматизации процесса производства сухих строительных смесей // Механизация строительства. 2014. № 7 (841). С. 59-63.
5. Бабешко А.В., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х. Теплоизоляционные сухие строительные смеси на основе композиционного вяжущего // Университетская наука. 2021. № 2 (12). С. 13-15.
6. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С. и др. Сухие строительные смеси для отделочных изделий и производства внутренних работ // Строительство и реконструкция. 2020. № 5 (91). С. 106-115. doi:10.33979/2073-7416-2020-91-5-106-115
7. Еферица Т.В., Хиллов К.В. Рынок сухих строительных смесей: специфика продвижения // Строительные материалы – Бизнес. 2005. № 8. С. 10-11.
8. Медведева И.Н., Зозуля П.В., Корнеев В.И. Технология сухих строительных смесей. М.: Лань, 2019. 372 с.
9. Barabanshchikov Yu., Gorodilova A., Popova E. Sulphate resistance of waterproofing compounds based on cement containing dry construction mixtures // Alfa Build. 2018. No. 4 (6). Pp. 65-70. doi:10.34910/ALF.6.6
10. Кузьмина В.П. Особенности применения сухих строительных смесей при проведении отделочных работ в различных климатических условиях. Часть 2 // Сухие строительные смеси. 2018. № 6. С. 30-36.
11. Abramov R., Sokolov M., Surilov M. et al. Dry Mixes for Self-Leveling Floors Based on Composite Binder // Key Engineering Materials. 2019. No. 802. Pp. 101-112. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.802.101
12. Rudenko I., Runova R., Omelchuk V. et al. Features of macromolecular compounds in dry mixes based on alkaline cement // Conference: 19. Ibausil. Internationale Baustofftagung At: Weimar, Germany. 2015. Vol. 2. Pp. 101-112. doi:10.13140/RG.2.1.4059.2089.
13. Abramova M.G., Panchenko Y.M., Vetrova E.Y. et al. Corrosiveness of the Atmosphere in Various Climatic Regions of the Russian Federation // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2021. Vol. 57. No. 7. Pp. 1272-1282. doi:10.1134/S2070205121070029.
14. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М. Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 2 (35). С. 76. doi:10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87
15. Каблов Е.Н., Лаптев А.Б., Прокопенко А.Н. и др. Релаксация полимерных композиционных материалов под длительным действием статической нагрузки и климата (обзор) часть 1. Связующие // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 4(65). С. 70-80. doi:10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80
16. Ветрова Е.Ю., Щекин В.К., Курс М.Г. Сравнительная оценка методов определения коррозионной агрессивности атмосферы // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 1 (54). С. 74-81. doi:10.18577/2071-9140-2019-0-1-74-81
17. Erofeev V.T., Smirnov V.F., Myshkin A.V. The study of species composition of the mycoflora, selected surface samples poliferation composites in humid maritime climate // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. No. 698 (2). Pp. 022082. doi:10.1088/1757-899X/698/2/022082

18. Dergunova A., Pksaykina A., Bogatov A. et al. The economic damage from biodeterioration in building sector// IOP Conference (Series: Materials Science and Engineering). 2019. Vol. 698 (7). Pp. 077020. doi:10.1088/1757-899X/698/7/077020
19. Erofeev V., Smirnov V., Myshkin A. The study of polyester-acrylate composite's stability in the humid maritime operating conditions // Materials Today: Proceedings. 2019. Vol. 19. Pp. 2255. doi:10.1016/j.matpr.2019.07.547
20. Ерофеев В.Т., Ельчищева Т.Ф. Исследование накопления солей в наружных ограждающих конструкциях зданий промышленных предприятий // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2020. № 2 (386). С. 193-200.
21. Ерофеев В.Т., Ельчищева Т.Ф. Изменение влажности и теплопроводности строительных материалов при наличии в их составе солей // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2020. № 4 (388). С. 18-27.
22. Чикичев А.А., Белых С.А., Кудяков А.И. Гидрофобно-фунгицидная добавка и штукатурная сухая смесь на ее основе // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 105. С. 661-668. doi:10.22227/1997-0935.2017.6.661-668
23. Urkhanova L., Lkhasaranov S., Badmaeva E. Research of composite binders with nanomodifiers for dry mixes // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. No. 880. Pp. 012028. doi:10.1088/1757-899X/880/1/012028
24. Вентцель В.И. Теория вероятности М.: Наука, 1969. 576 с.
25. Евдокимов Ю.А., Колесников В.И., Тетерин А.И. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа. М.: Наука, 1980. 228 с.
26. Афонин В.В., Никулин В.В. Методы моделирования и оптимизации с примерами на языке C/C++ и MATLAB. Ч. 2. Методы безусловной оптимизации. Саранск: Издатель Афанасьев В.С., 2017. 231 с.
27. Гольдштейн А.Л. Оптимизация в среде MATLAB. Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2015. 192 с.
28. Glover F. A template for scatter search and path relinking // Lecture Notes in Computer Science. 1997. Pp. 1-51. doi:10.1007/BFb0026589
29. Сидняев Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных. М.: Юрайт, 2019. 495 с.

REFERENCES

1. Botka E.N. Rynok sukhikh stroitel'nykh smesey Rossii: rost nesmotrya ni na chto [Market of dry construction mixtures in Russia: growth in spite of everything] // *Cement and its application*. 2021. No. 2. Pp. 32-33. (rus)
2. Rynok sukhikh stroitel'nykh smesey v Rossii: issledovaniye i prognoz do 2025 g. [The market of dry building mixes in Russia: research and forecast until 2025]. Issue: April, 2021 [Online] <https://roif-expert.ru/stroitelstvo/stroitel-nye-smesi/rynok-suhih-stroitel-nyh-smesey/rynok-suhih-stroitel-nyh-smesey-v-rossii-issledovanie-i-prognoz.html>. (date of application: 22.12.2022) (rus)
3. Perevozchikova S.V., Belov V.V. Dry Mix Mortar for Restoration of Buildings // *Smart Composite in Construction*. 2021. Vol. 2. No. 1. Pp. 14-18. doi:10.52957/27821919_2021_1_14.
4. Ostroukh A.V., Wei P.A., Surkova N.E. Analiz sovremennoy sostoyaniya avtomatizatsii protsessa proizvodstva sukhikh stroitel'nykh smesey [Analysis of the current state of automation of the process of production of dry building mixtures]. *Mekhanizatsiya stroitel'stvo*. 2014. No. 7 (841). Pp. 59-63. (rus)
5. Babeshko A.V., Lesovik V.S., and L. Kh. Teploizolyatsionnyye sukhiye stroitel'nyye smesi na osnove kompozitsionnogo vyazhushchego [Heat-insulating dry building mixtures based on composite binder] // *Universitetskaya nauka*. 2021. No. 2 (12). Pp. 13-15. (rus)
6. Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Petropavlovskii K.S. and others. Sukhiye stroitel'nyye smesi dlya otdelochnykh izdeliy i proizvodstva vnutrennikh rabot [Dry construction mixtures for finishing products and interior works] // *Construction and Reconstruction*. 2020. No. 5 (91). Pp.106-115. doi:10.33979/2073-7416-2020-91-5-106-115 (rus)
7. Eferina T.V., Khilov K.V. Rynok sukhikh stroitel'nykh smesey: spetsifika prodvizheniya [The market of dry building mixes: the specifics of promotion] // *Building materials – Business*. 2005. No. 8. Pp. 10-11. (rus)
8. Medvedeva I.N., Zozulya P.V., Korneev V.I. [Technology of dry building mixtures]. Moscow: Lan, 2019. 372 p. (rus)
9. Barabanshchikov Yu., Gorodilova A., Popova E. Sulphate resistance of waterproofing compounds based on cement containing dry construction mixtures // *Alfa Build*. 2018. No. 4 (6). Pp. 65-70. doi:10.34910/ALF.6.6
10. Kuzmina V.P. Osobennosti primeneniya sukhikh stroitel'nykh smesey pri provedenii otdelochnykh rabot v razlichnykh klimaticheskikh usloviyakh [Features of the use of dry building mixes during finishing work in various climatic conditions]. Part 2 // *Dry building mixes*. 2018. No. 6. Pp. 30-36. (rus)

11. Abramov R., Sokolov M., Surilov M. et al. Dry Mixes for Self-Leveling Floors Based on Composite Binder // *Key Engineering Materials*. 2019. No. 802. Pp. 101-112. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.802.101
12. Rudenko I., Runova R., Omelchuk V. et al. Features of macromolecular compounds in dry mixes based on alkaline cement // Conference: 19. Ibausil. Internationale Baustofftagung At: Weimar, Germany. 2015. Vol. 2. Pp.101-112. doi:10.13140/RG.2.1.4059.2089.
13. Abramova M.G., Panchenko Y.M., Vetrova E.Y. et al. Corrosiveness of the Atmosphere in Various Climatic Regions of the Russian Federation // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2021. Vol. 57, No. 7. Pp. 1272-1282. doi:10.1134/S2070205121070029.
14. Kablov E.N., Startsev O.V., Medvedev I.M. Obzor zarubezhnogo opyta issledovaniy korrozii i sredstv zashchity ot korrozii [Review of foreign experience in corrosion research and corrosion protection] // *Aviation materials and technologies*. 2015. No. 2 (35). Pp. 76. doi:10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87 (rus)
15. Kablov E.N., Laptev A.B., Prokopenko A.N. and others. Relaksatsiya polimernykh kompozitsionnykh materialov pod dlitel'nym deystviyem staticheskoy nagruzki i klimata (obzor chast' 1. Svyazuyushchiye [Relaxation of polymeric composite materials under prolonged action of static load and climate (review), part 1. Binders] // *Aviation materials and technologies*. 2021. No. 4(65). Pp. 70-80. doi:10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80 (rus)
16. Vetrova E.Yu., Shchekin V.K., Kurs M.G. Cravnitel'naya otsenka metodov opredeleniya korroziionnoy agressivnosti atmosfery [Comparative evaluation of methods for determining the corrosive aggressiveness of the atmosphere] // *Aviation materials and technologies*. 2019. No. 1 (54). Pp. 74-81. doi:10.18577/2071-9140-2019-0-1-74-81. (rus)
17. Erofeev V.T., Smirnov V.F., Myshkin A.V. The study of species composition of the mycoflora, selected surface samples poliferation composites in humid maritime climate // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. No. 698 (2). Pp. 022082. doi:10.1088/1757-899X/698/2/022082.
18. Dergunova A., Piksaykina A., Bogatov A. et al. The economic damage from biodeterioration in building sector// IOP Conference (Series: Materials Science and Engineering). 2019. Vol. 698 (7). Pp. 077020. doi:10.1088/1757-899X/698/7/077020
19. Erofeev V., Smirnov V., Myshkin A. The study of polyester-acrylate composite's stability in the humid maritime operating conditions // *Materials Today: Proceedings*. 2019. Vol. 19. Pp. 2255. doi:10.1016/j.matpr.2019.07.547.
20. Erofeev V.T., Elchishcheva T.F. Issledovaniye nakopleniya soley v naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruktsiyakh zdaniy promyshlennykh predpriyatiy [Investigation of salt accumulation in the external enclosing structures of buildings of industrial enterprises] // *Izvestiya of higher educational institutions. Technology of the textile industry*. 2020. No. 2 (386). Pp. 193-200. (rus)
21. Erofeev V.T., Elchishcheva T.F. Izmeneniye vlazhnosti i teploprovodnosti stroitel'nykh materialov pri nalichii v ikh sostave soley [Change in humidity and thermal conductivity of building materials in the presence of salts in their composition]. *Izvestiya of higher educational institutions. Technology of the textile industry*. 2020. No. 4 (388). Pp. 18-27. (rus)
22. Chikichev A.A., Belykh S.A., Kudyakov A.I. Gidrofobno-fungitsidnaya dobavka i shtukатурnaya sukhaya smes' na yeye osnove [Hydrophobic-fungicidal additive and plaster dry mix based on it] // *Bulletin of MGSU*. 2017. Vol. 12. Issue. 105. Pp. 661-668. doi:10.22227/1997-0935.2017.6.661-668. (rus)
23. Urkhanova L., Lkhasaranov S., Badmaeva E. Research of composite binders with nanomodifiers for dry mixes // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. No. 880. Pp. 012028. doi:10.1088/1757-899X/880/1/012028
24. Wentzel V.I. Teoriya veroyatnosti [Probability Theory]. Moscow: Nauka, 1969. 576 p. (rus)
25. Evdokimov Yu.A., Kolesnikov V.I., Teterin A.I. Planirovaniye i analiz eksperimentov pri reshenii zadach treniya i iznosa [Planning and analysis of experiments in solving problems of friction and wear]. Moscow: Nauka, 1980. 228 p. (rus)
26. Afonin V.V., Nikulin V.V. Metody modelirovaniya i optimizatsii s primerami na yazyke S/S++ i MATLAB. CH. 2. Metody bezuslovnoy optimizatsii [Modeling and optimization methods with examples in C/C++ and MATLAB. Part 2. Methods of unconditional optimization]. Saransk: Publisher Afanasiev V.S., 2017. 231 p. (rus)
27. Goldstein A.L. Optimizatsiya v srede MATLAB [Optimization in the MATLAB environment]. Perm: Perm National Research Polytechnic University. 2015. 192 p. (rus)
28. Glover F. A template for scatter search and path relinking // *Lecture Notes in Computer Science*. 1997. Pp. 1-51. doi:10.1007/BFb0026589.
29. Sidnyaev N.I. Teoriya planirovaniya eksperimenta i analiz statisticheskikh dannykh. [Theory of experiment planning and analysis of statistical data]. Moscow: Yurayt, 2019. 495 p. (rus)

Информация об авторах:

Ельчищева Татьяна Федоровна

ФГБОУ ВО «Гамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия,
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Архитектура и градостроительство».
E-mail: elschevat@mail.ru

Ерофеев Владимир Трофимович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Огарева»,
г. Саранск, Республика Мордовия, Россия,
академик Российской академии архитектуры и строительных наук, доктор технических наук, профессор,
директор института архитектуры и строительства, директор НИИ «Материаловедение», заведующий кафедрой
строительных материалов и технологий.
E-mail: yerofeevvt@mail.ru

Монастырев Павел Владиславович

ФГБОУ ВО «Гамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия,
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, доцент, директор института архитектуры,
строительства и транспорта.
E-mail: monastyrev68@mail.ru

Абрамова Екатерина Николаевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Огарева»,
г. Саранск, Республика Мордовия, Россия,
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры зданий, сооружений и автомобильных дорог.
E-mail: surekat86@yandex.ru

Афонин Виктор Васильевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Огарева»,
г. Саранск, Республика Мордовия, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и
управления.
E-mail: vvafonin53@yandex.ru

Ерофеева Ирина Владимировна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Основы архитектуры и художественных
коммуникаций».
E-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru

Атманзин Алексей Федорович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Огарева»,
г. Саранск, Республика Мордовия, Россия,
аспирант кафедры строительных материалов и технологий.
E-mail: Af@atassa.ru

Information about authors:

Elchishcheva Tatyana F.

Tambov State Technical University, Tambov, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor, head of the department of Architecture and Urban Planning.
E-mail: elschevat@mail.ru

Erofeev Vladimir T.

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,
academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, doctor of technical sciences,
professor, director of the Institute of Architecture and Construction, director of the Materials Science Research Institute,
Head of the Department of Building Materials and Technologies.
E-mail: yerofeevvt@mail.ru

Monastyrev Pavel V.

Tambov State Technical University, Tambov, Russia,

corresponding member of RAASN, doctor of technical sciences, associate professor, director of the Institute of Architecture, Construction and Transport.

E-mail: monastyrev68@mail.ru

Abramova Ekaterina N.

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,

candidate of technical science, Senior Lecturer of the Department of Buildings, Structures and Highways.

E-mail: surekat86@yandex.ru

Afonin Viktor V.

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,

candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of Automated Information Processing and Control Systems.

E-mail: vvafonin53@yandex.ru

Erofeeva Irina V.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

candidate of technical sciences, senior lecturer of the department «Fundamentals of Architecture and Artistic Communications».

E-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru

Atmanzin Alexey F.

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,

postgraduate student of the department of building materials and technologies.

E-mail: Af@atassa.ru

А.И. МАКЕЕВ¹¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия

ФОРМИРОВАНИЕ МАРШРУТА МАГИСТРАЛЬНОЙ ТРЕЩИНЫ РАЗРУШЕНИЯ В МНОГОУРОВНЕВОЙ СТРУКТУРЕ КОНГЛОМЕРАТНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ¹

Аннотация. В публикации конгломератные строительные композиты (бетоны) идентифицируются как гетерогенные твёрдые тела с иерархически организованной пространственно-геометрической структурой характеристической размерностью от 10^{-10} до 10^{-1} м, обладающей минимум 5-6 масштабными уровнями и тремя типами конструкции подструктур, различающихся по своему масштабу, генезису и механике проявления свойств. Первый тип характерен для макро-, мезо- и микромасштабного уровней и принимается в виде двухкомпонентной «конструкции» из пространственно непрерывной матрицы и детерминировано-стохастически распределённых в ней дискретных твёрдых и газообразных (макропоры) включений; второй тип относится к субмикро-, ультрамикро- и наномасштабным уровням и полагается в виде «микромасштабной пространственной конструкции» новообразований цементирующего вещества из консолидированных индивидуальных кристаллических разностей; третий тип, наконец, соответствует атомно-молекулярному строению новообразований цементирующего вещества. Дается характеристика выделяемых типов подструктур по масштабу слагающих их компонентов, особенностям формирования, механике проявления свойств, критериям конструирования и средствам синтеза каждой подструктуры.

Анализируются закономерности формирования маршрута трещины разрушения в подструктурах всех типов и субстанции каждого масштабного уровня. При этом развитие напряженно-деформированного состояния конгломератного композита по принципу диссипации энергии, локализации и повышения (концентрации) напряжений реализуется в направлении от макро- к атомно-молекулярному уровню структуры композита, а само же разрушение и, соответственно, формирование маршрута трещины во времени и в пространстве композита проходит в направлении от атомно-молекулярного уровня к макроуровню каскадно через все промежуточные структурные уровни. В рамках интегрированного механо-физико-химического подхода показывается место термофлуктуационной теории (физика разрушения) на этапах разрыва единичных атомно-молекулярных связей и механики трещин на этапах развития микро- и макроповреждений. Обсуждаются возможности применения теоретических закономерностей формирования маршрута трещины для постановки и решения практических задач конструирования и синтеза оптимальных структур конгломератных строительных композитов.

Ключевые слова: конгломератные строительные композиты, масштабные уровни структуры композитов, физика разрушения, механика трещин, маршрут трещины в многоуровневой структуре.

А.И. МАКЕЕВ¹¹Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

FORMATION OF THE ROUTE OF THE MAIN CRACK OF DESTRUCTION IN THE MULTI-LEVEL STRUCTURE OF CONGLOMERATE BUILDING COMPOSITES¹

Abstract. In the publication, conglomerate building composites (concrete) are identified as heterogeneous solids with a hierarchically organized spatial-geometric structure with a characteristic

© Макеев А.И., 2023

¹ Статья посвящена памяти академика РААСН, д.т.н., профессора Евгения Михайловича Чернышова (1936-2021)

dimension from 10-10 to 10-1 m, with a minimum of 5-6 scale levels and three types of substructure design that differ in scale, genesis and mechanics of properties manifestation. The first type is characteristic of the macro-, meso- and microscale levels and is taken in the form of a two-component "construction" of a spatially continuous matrix and discrete solid and gaseous (macropores) inclusions deterministically and stochastically distributed in it; the second type refers to the submicro-, ultra-micro- and nanoscale levels and is believed to be in the form of a "microscale spatial structure" of new formations of a cementitious substance from consolidated individual crystalline differences; the third type, finally, corresponds to the atomic-molecular structure of new formations of the cementing substance. Characteristics of the distinguished types of substructures are given according to the scale of their components, the peculiarities of formation, the mechanics of manifestation of properties, design criteria and means of synthesis of each substructure.

The patterns of formation of the fracture route in substructures of all types and substances of each scale level are analyzed. In this case, the development of the stress-strain state of the conglomerate composite according to the principle of energy dissipation, localization and increase (concentration) of stress is realized in the direction from the macro- to the atomic-molecular level of the structure of the composite, and the destruction itself and, accordingly, the formation of the crack route in time and in space of the composite passes in the direction from the atomic-molecular level to the macrolevel in a cascade through all intermediate structural levels. Within the framework of an integrated mechano-physico-chemical approach, the place of thermofluctuation theory (fracture physics) at the stages of breaking single atomic-molecular bonds and crack mechanics at the stages of development of micro- and macrodamage is shown. The possibilities of using theoretical principles of crack route formation to formulate and solve practical problems of designing and synthesizing optimal structures of conglomerate building composites are discussed.

Keywords: conglomerate building composites, scale levels of the structure of composites, fracture physics, fracture mechanics, crack path in a multilevel structure.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беликов В.Т. Условия реализации возможных режимов развития процесса разрушения твердого тела // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2020. № 2. С. 28-39. doi:10.31857/S0572329920010055
2. Dong W., Wu Z., Zhou X. On fracture process zone and crack extension resistance of concrete based on initial fracture toughness // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 49. Pp. 352-363. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.08.041
3. Дамаскинская Е.Е., Фролов Д.И., Пантелеев И.А., Гафурова Д.Р. Идентификация критического состояния деформированных горных пород // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2018. № 1(34). С. 116-123. doi:10.5281/zenodo.1196713
4. Колчунов В.И., Кузнецова К.Ю., Федоров С.С. Модель критерия трещиностойкости и прочности плоскотянутых конструкций из высокопрочного фибробетона и фиброжелезобетона // Строительство и реконструкция. 2021. № 3(95). С. 15-26. doi:10.33979/2073-7416-2021-95-3-15-26
5. Леденев В.В., Однолюк В.Г., Нгуен З.Х. Теоретические основы механики деформирования и разрушения. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. 312 с.
6. Miura T., Sato K., Nakamura H. The role of microcracking on the compressive strength and stiffness of cracked concrete with different crack widths and angles evaluated by DIC // Cement and Concrete Composites. 2020. Vol. 114. Pp. 103768. doi:10.1016/j.cemconcomp.2020.103768.
7. Трещев А.А., Захарова И.А., Судакова И.А. О вариантах выбора диаграмм деформирования композитных материалов и не только // Эксперт: теория и практика. 2022. № 2(17). С. 81-90. doi:10.51608/26867818_2022_2_81
8. Чернышов Е.М., Макеев А.И. Материаловедение и технология строительных композитов как система научного знания и предмет развития исследований. Часть 3. Системная идентификация "конструкции структуры" конгломератных строительных композитов (в качественной постановке проблемы) // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 3(747). С. 5-26.
9. Чернышов Е.М., Макеев А.И., Коротких Д.Н. Базовые положения механики проявления конструктивных свойств конгломератных строительных композитов. Часть 1. Обзор результатов теоретических исследований проблемы конструирования и синтеза структур современных высокотехнологичных бетонов // Известия вузов. Строительство. 2020. № 8. С. 43-51
10. Соколова Ю.А., Кондращенко В.И., Кесарийский А.Г. и др. Расчетно-экспериментальные исследования внутренних напряжений в строительных материалах // Эксперт: теория и практика. 2020. № 4(7). С. 60-65. doi:10.24411/2686-7818-2020-10037.

11. Селяев В.П., Селяев П.В., Лазарев А.Л. и др. Фрактальная квантово-механическая модель деформирования и разрушения бетона // Региональная архитектура и строительство. 2022. № 4(53). С. 31-40. doi:10.54734/20722958_2022_4_31.
12. Карапетьянц М.Х. Строение вещества. М.: Либроком, 2014. 312 с.
13. Илюхин В.В., Кузнецов В.А., Лобачёв А.Н., Бакшуттов В.С. Гидросиликаты кальция. Синтез монокристаллов и кристаллохимия. М.: Наука. 1979. 184 с.
14. Kulik D. A., Miron G. D., Lothenbach B. A structurally-consistent CASH+ sublattice solid solution model for fully hydrated C-S-H phases: Thermodynamic basis, methods, and Ca-Si-H₂O core sub-model // Cement and Concrete Research. 2022. Vol. 151. Pp. 106585. doi:10.1016/j.cemconres.2021.106585.
15. Shkolnik I.E. Effect of nonlinear response of concrete on its elastic modulus and strength // Cement and Concrete Composites, 2005. V. 27. I. 7-8. Pp. 747-757.
16. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Наука, 1974. 535 с.
17. Ярцев В.П., Киселева О.А. Прогнозирование поведения строительных материалов при неблагоприятных условиях эксплуатации. Тамбов: Изд-во Тамбовского государственного технического университета, 2009. 124 с.
18. Чернышов Е.М., Макеев А.И. Типы подструктур в целостной полиструктуре бетона и закономерности формирования параметров поля напряжений в композите (к развитию теории конструирования и синтеза структур конгломератных строительных композитов) // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году : Сборник научных трудов РААСН: в 2 томах / Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН). Том 2. М: Изд-во АСВ, 2021. С. 304-314.
19. Вычислительные методы в механике разрушения / Под. ред. С. Алтури. М.: Мир, 1990. 392 с.
20. Актуальные проблемы численного моделирования зданий, сооружений и комплексов. Том 2. К 25-летию Научно-исследовательского центра СтаДиО / Под общ. ред. А.М. Белостоцкого и П.А. Акимова. М.: Изд-во АСВ, 2016. 596 с.
21. Коротких Д.Н. Трещиностойкость современных цементных бетонов (проблемы материаловедения и технологии). Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2014. 141 с.
22. Карпенко Н.И. Общие модели механики бетона. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.
23. Селяев В.П., Селяев П.В. Физико- химические основы механики разрушения цементных композитов. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2018. 220 с.
24. Максимова И.Н., Макридин Н.И., Ерофеев В.Т., Скачков Ю.П. Структура и прочность конструкционных цементных композитов. Саранск, 2015. 360 с.
25. Tran N.T., Park J.K., Kim D.J. [et al.] Fracture energy of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete at high strain rates // Cement and Concrete Research. 2016. Vol. 79. Pp. 169-184. doi:10.1016/j.cemconres.2015.09.011
26. Чернышов Е.М., Коротких Д.Н., Макеев А.И. Базовые положения механики проявления конструкционных свойств конгломератных строительных композитов. Часть 2. Обзор результатов прикладных исследований по проблеме конструирования и синтеза структур современных высокотехнологичных бетонов // Известия вузов. Строительство, 2020. № 9. С. 48-57
27. Valavi M., Casar Z., Bowen P. [et al.] Molecular dynamic simulations of cementitious systems using a newly developed force field suite ERICA FF // Cement and Concrete Research, 2022. Vol. 154. Pp. 106712. doi:10.1016/j.cemconres.2022.106712.

REFERENCES

1. Belikov V.T. Usloviya realizatsii vozmozhnykh rezhimov razvitiya protsessa razrusheniya tverdogo tela [Conditions for the implementation of possible modes of development of the process of destruction of a solid body]. Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Mekhanika tverdogo tela. 2020. No. 2. Pp. 28-39. doi:10.31857/S0572329920010055
2. Dong W., Wu Z., Zhou X. On fracture process zone and crack extension resistance of concrete based on initial fracture toughness // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 49. Pp. 352-363. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.08.041
3. Damaskinskaya E.E., Frolov D.I., Panteleev I.A., Gafurova D.R. Identifikatsiya kriticheskogo sostoyaniya deformirovannykh gornykh porod [Identification of the critical state of deformed rocks]. Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University. 2018. No. 1(34). Pp. 116-123. doi:10.5281/zenodo.1196713
4. Kolchunov V.I., Kuznetsova K.Yu., Fedorov S.S. Model' kriteriya treshchinostoykosti i prochnosti plosknapryazhennykh konstruktsiy iz vysokoprochnogo fibrobetona i fibrozhelezobetona [Model of crack resistance and strength criterion for plane stressed structures made of high-strength fiber-reinforced concrete and fiber-reinforced concrete]. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2021. No. 3(95). Pp. 15-26. doi:10.33979/2073-7416-2021-95-3-15-26

5. Ledenev V.V., Odnolko V.G., Nguyen Z.Kh. Teoreticheskiye osnovy mekhaniki deformirovaniya i razrusheniya [Theoretical Foundations of Deformation and Fracture Mechanics]. Tambov: Publishing House of FGBOU VPO "TSTU", 2013. 312 p.
6. Miura T., Sato K., Nakamura H. The role of microcracking on the compressive strength and stiffness of cracked concrete with different crack widths and angles evaluated by DIC. / Cement and Concrete Composites, 2020. Vol. 114. Pp. 103768. doi:10.1016/j.cemconcomp.2020.103768
7. Treschev A.A., Zakharova I.A., Sudakova I.A. O variantakh vybora diagramm deformirovaniya kompozitnykh materialov i ne tol'ko [On options for choosing deformation diagrams for composite materials and not only]. Ekspert: teoriya i praktika. 2022. No. 2(17). Pp. 81-90. doi:10.51608/26867818_2022_2_81
8. Chernyshov E.M., Makeev A.I., Korotkikh D.N. Bazovyye polozheniya mekhaniki proyavleniya konstruksionnykh svoystv konglomeratnykh stroitel'nykh kompozitov. Chast' 1. Obzor rezul'tatov teoreticheskikh issledovaniy problemy konstruirovaniya i sinteza struktur sovremennykh vysokotekhnologichnykh betonov [Basic provisions of the mechanics of manifestation of structural properties of conglomerate building composites. Part 1. Review of the results of theoretical studies of the problem of designing and synthesizing the structures of modern high-tech concretes]. Izvestiya vuzov. Construction. 2020. No. 8. Pp. 43-51 (rus)
9. Chernyshov E.M. Makeev A.I. Materialovedeniye i tekhnologiya stroitel'nykh kompozitov kak sistema nauchnogo znaniya i predmet razvitiya issledovaniy. Chast' 3. Sistemnaya identifikatsiya "konstruktsii struktury" konglomeratnykh stroitel'nykh kompozitov (v kachestvennoy postanovke problemy) [Material science and technology of building composites as a system of scientific knowledge and subject of research development. Part 3. System identification of the "structural structure" of conglomerate building composites (in a qualitative formulation of the problem)] // Izvestia of higher educational institutions. Construction. 2021. No. 3(747). Pp. 5-26. (rus)
10. Sokolova Yu.A., Kondrashchenko V.I., Kesariysky A.G. et al. Raschetno-eksperimental'nyye issledovaniya vnutrennikh napryazheniy v stroitel'nykh materialakh [Calculation and experimental studies of internal stresses in building materials]. Ekspert: teoriya i praktika, 2020. No. 4(7). Pp. 60-65. doi:10.24411/2686-7818-2020-10037
11. Selyaev V.P., Selyaev P.V., Lazarev A.L. et al. Fraktal'naya kvantovo-mekhanicheskaya model' deformirovaniya i razrusheniya betona [Fractal quantum-mechanical model of deformation and destruction of concrete]. Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo. 2022. No. 4(53). Pp. 31-40. doi:10.54734/20722958_2022_4_31
12. Karapetyants M.Kh. Stroyeniye veshchestva [The structure of matter]. M.: Librokom, 2014. 312 p. (rus)
13. Ilyukhin V.V., Kuznetsov V.A., Lobachev A.N., Bakshutov V.S. Gidrosilikaty kal'tsiya. Sintez monokristallov i kristallokhimiya [Calcium hydrosilicates. Synthesis of single crystals and crystal chemistry]. M.: Science. 1979. 184 p. (rus)
14. Kulik D.A., Miron G.D., Lothenbach B. A structurally-consistent CASH+ sublattice solid solution model for fully hydrated C-S-H phases: Thermodynamic basis, methods, and Ca-Si-H₂O core sub-model. Cement and Concrete Research. 2022. Vol. 151. Pp. 106585. doi:10.1016/j.cemconres.2021.106585
15. Shkolnik I.E. Effect of nonlinear response of concrete on its elastic modulus and strength. Cement and Concrete Composites, 2005. V. 27. I. 7-8. Pp. 747-757.
16. Regel V.R., Slutsker A.I., Tomashevsky E.E. Kineticheskaya priroda prochnosti tverdykh tel [Kinetic nature of the strength of solids]. M.: Nauka, 1974. 535 p. (rus)
17. Yartsev V.P., Kiseleva O.A. Prognozirovaniye povedeniya stroitel'nykh materialov pri neblagopriyatnykh usloviyakh ekspluatatsii [Predicting the behavior of building materials under adverse operating conditions]. Tambov: Publishing House of the Tambov State Technical University, 2009. 124 p.
18. Chernyshov E. M., Makeev A. I. Tipy podstruktur v tselostnoy polistrukture betona i zakonomernosti formirovaniya parametrov polya napryazheniy v kompozite (k razvitiyu teorii konstruirovaniya i sinteza struktur konglomeratnykh stroitel'nykh kompozitov) [Types of substructures in the integral polystructure of concrete and patterns of formation of stress field parameters in the composite (to the development of the theory of design and synthesis of structures of conglomerate building composites)] // Fundamental, search and applied research of RAASN on scientific ensuring the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2020: Collection of scientific papers of the RAACS: in 2 volumes / Russian Academy of Architecture and Building Sciences (RAASN). Volume 2. M: DIA Publishing House, 2021. Pp. 304-314. (rus)
19. Vychislitel'nyye metody v mekhanike razrusheniya [Computational methods in fracture mechanics] / Pod. ed. S. Alturi. M.: Mir, 1990. 392 p. (rus)
20. Aktual'nyye problemy chislennoy modelirovaniya zdaniy, sooruzheniy i kompleksov. Tom 2. K 25-letiyu Nauchno-issledovatel'skogo tsentra StaDiO [Actual problems of numerical modeling of buildings, structures and complexes. Volume 2. To the 25th anniversary of the StaDiO Research Center] / Under the general ed. A.M. Belostotsky and P.A. Akimov. M.: Izd-vo ASV, 2016. 596 p. (rus)
21. Korotkikh D.N. Treshchinostoykost' sovremennykh tsementnykh betonov (problemy materialovedeniya i tekhnologii) [Crack resistance of modern cement concretes (problems of materials science and technology)]. Voronezh: Voronezh GASU, 2014. 141 p. (rus)
22. Karpenko N.I. Obshchiye modeli mekhaniki betona [General models of concrete mechanics]. M.: Stroyizdat, 1996. 416 p. (rus)

23. Selyaev V.P., Selyaev P.V. Fiziko- khimicheskiye osnovy mekhaniki razrusheniya tsementnykh kompozitov [Physico-chemical foundations of fracture mechanics of cement composites]. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2018. 220 p. (rus)
24. Maksimova I.N., Makridin N.I., Erofeev V.T., Skachkov Yu.P. Struktura i prochnost' konstruktsionnykh tsementnykh kompozitov [Structure and strength of structural cement composites]. Saransk, 2015. 360 p.
25. Tran N.T., Park J.K., Kim D.J. [et al.] Fracture energy of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete at high strain rates. Cement and Concrete Research, 2016. Vol. 79. Pp. 169-184. doi:10.1016/j.cemconres.2015.09.011
26. Chernyshov E.M., Korotkikh D.N., Makeev A.I. Bazovyye polozheniya mekhaniki proyavleniya konstruktsionnykh svoystv konglomeratnykh stroitel'nykh kompozitov. Chast' 2. Obzor rezul'tatov prikladnykh issledovaniy po probleme konstruirovaniya i sinteza struktur sovremennykh vysokotekhnologichnykh betonov [Basic provisions of the mechanics of manifestation of structural properties of conglomerate building composites. Part 2. Review of the results of applied research on the problem of designing and synthesizing the structures of modern high-tech concretes]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. 2020. No. 9. Pp. 48-57.
27. Valavi M., Casar Z., Bowen P. [et al.] Molecular dynamic simulations of cementitious systems using a newly developed force field suite ERICA FF. Cement and Concrete Research, 2022. Vol. 154. Pp. 106712. doi:10.1016/j.cemconres.2022.106712

Информация об авторе:

Makeev Алексей Иванович

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

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций.

E-mail: makeev@vgasu.vrn.ru

Information about author:

Makeev Alexey Iv.

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia,

candidate of sciences, associate professor, associate professor of the department of Technology of Building Materials, Products and Structures.

E-mail: makeev@vgasu.vrn.ru

А.В. ПУЗАТОВА¹, М.А. ДМИТРИЕВА¹, А.А. ЗАХАРОВ¹, В.Н. ЛЕЙЦИН¹
¹ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград, Россия

ЗОЛА-УНОСА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОНОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ И СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Аннотация. В последние годы поиск и использование альтернативных вяжущих строительных материалов становится предметом многих исследований как в России, так и за рубежом. Это связано с тенденцией к сокращению вредного воздействия от производства строительных материалов и к более рациональному использованию доступного сырья. Зола-уноса, являясь отходом энергетической промышленности, накопленным в больших объемах в золоотвалах по всей территории России, является перспективным материалом для использования в производстве цементосодержащих строительных материалов и изделий. В статье дан обзор научной литературы и патентов по использованию золы-уноса в бетонах различного вида, а также при производстве сухих строительных смесей. На основании проведенного обзора выявлены положительные и отрицательные воздействия от введения добавки золы-уноса на свойства бетона, способы повышения эффективности использования рассматриваемых отходов при производстве строительных материалов. В экспериментальной части работы представлены результаты по определению прочности и водонепроницаемости образцов тяжелого бетона с частичной заменой цемента золой-уноса, полученной при сжигании угля на новой тепловой электростанции в Калининградской области.

Ключевые слова: зола-уноса, цемент, вяжущее, ячеистый бетон, бетон, специальные виды бетонов, сухие строительные смеси.

A.V. PUZATOVA¹, M.A. DMITRIEVA¹, A.A. ZAKHAROV¹, V.N. LEITSIN¹
¹Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

FLY ASH IN THE PRODUCTION OF CONCRETE FOR VARIOUS PURPOSE AND DRY CONSTRUCTION MIXTURES

Abstract. In recent years, the search for and use of alternative binder building materials has become the subject of many studies both in Russia and abroad. This is due to the trend to reduce the harmful effects of the production of building materials and to more rational use of available raw materials. Fly ash, being a waste of the energy industry, accumulated in large volumes in ash dumps throughout Russia, is a promising material for use in the production of cement-containing building materials and products. The article provides a review of scientific literature and patents on the use of fly ash in various types of concrete, as well as in the production of dry building mixtures. On the basis of the review, positive and negative effects from the introduction of fly ash additives on the properties of concrete, ways to increase the efficiency of using the considered waste in the production of building materials were identified. The experimental part of the work presents the results of determining the strength and water resistance of heavy concrete samples with partial replacement of cement with fly ash obtained by burning coal at a new thermal power plant in the Kaliningrad region.

Keywords: fly ash, cement, binder, cellular concrete, concrete, special types of concrete, dry mixes.

© Пузатова А.В., Дмитриева М.А., Захаров А.А., Лейцин В.Н., 2023

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бикбау М.Я., Жарко В.И. Энергосбережение и экология производства наноцементов. О возможности снижения удельных затрат топлива и выбросов газов при производстве цемента // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2015. № 7-8 (198-199). С. 22-25.

2. Данакин Д.Н., Кожухова Н.И. Разработка ячеистых бетонов на основе зол-уноса // VII Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство»: сборник материалов. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. С. 554-558.
3. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1986. 464 с.
4. Боженков П.И. Технология автоклавных материалов. Л.: Стройиздат, 1978. 327 с.
5. Галибина Е.А. Автоклавные строительные материалы из отходов ТЭЦ. Л.: Стройиздат. Ленингр. Отд-ние, 1986. 128 с.
6. Костин В.В. Получение и свойства газобетонов, наполненных золами. Автореферат на соискание учёной степени к.т.н. М., 1993.
7. Чернышов Е.М. Закономерности развития структуры автоклавных материалов // Строительные материалы. 1992. №11. С. 28-31.
8. Овчаренко Г.И. Зола углей КАТЭКа в строительных материалах. Красноярск: Изд-во Краснояр. Ун-та, 1992. 216 с.
9. Рунова Р.Ф., Плохий В.П., Дехно А.Л., Яменко А.Б. Особенности структурообразования вяжущего на основе высокоуглеродистых зол // Цемент. 1995. № 3. С. 38-41.
10. Андреев В.В., Халин В.А., Политов И.П. Автоклавные материалы на основе зол ТЭЦ // Сб. Тр./ВНИИЭСМ. М.:1992. № 9. С. 23-43.
11. Козлова В.К. Основные направления использования зол и золошлаковых смесей ТЭЦ Сибири в производстве строительных материалов и в строительстве // Изв. вузов. Сер. стр-во и архитектура. 1990. № 10. С. 60-63.
12. Ощепков И.А., Худоносова З.А. Активизация вяжущих свойств высококальциевых зол-уноса тепловых электростанций и перспектива экономии цемента в строительстве // Изв. вузов. Сер. стр-во и архитектура. 1995. № 12. С. 64-69.
13. Chen Y., Guan L., Zhu S., Chen W. Foamed concrete containing fly ash: Properties and application to backfilling // Construction and Building Materials. 2021. № 273. 121685.
14. Черных К.П., Овчаренко Г.И., Францен В.Б. Технология, стабилизирующая свойства газобетона на основе высококальциевых зол // Труды научно-технической юбилейной конференции «Современные строительные материалы». Новосибирск: Изд-во НГАСУ, 2000. С. 47-48.
15. Овчаренко Г.И., Францен В.Б., Черных К.П. Зола ТЭЦ углей КАБ в качестве сырьевого компонента для производства газобетона // Международной научно-практической конференции «Гуманизм и строительство на пороге третьего тысячелетия»: тезисы докладов. Барнаул: изд-во Алт ГТУ. 1999. С. 129.
16. Gao H., Wang W., Liao H., Cheng F. Characterization of light foamed concrete containing fly ash and desulfurization gypsum for wall insulation prepared with vacuum foaming process // Construction and Building Materials. 2021. No. 281. 122411.
17. She W., Du Y., Zhao G., Feng P., Zhang Y., Cao X., Influence of coarse fly ash on the performance of foam concrete and its application in high-speed railway roadbeds // Construction and Building Materials. 2018. No. 170. С. 153-166.
18. Gökçe H.S., Hatungimana D., Ramyar K. Effect of fly ash and silica fume on hardened properties of foam concrete // Construction and Building Materials. 2019. No. 194. С. 1-11.
19. Mugahed Amran Y.H., Alyousef R., Alabduljabbar H., Khudhair M.H.R., Hejazi F., Alaskar A., Alrshoudi F., Siddika A. Performance properties of structural fibred-foamed concrete // Results in Engineering. 2020. No. 5. 100092.
20. Liu X., Ni C., Meng K., Zhang L., Liu D., Sun L. Strengthening mechanism of lightweight cellular concrete filled with fly ash // Construction and Building Materials. 2020. No. 251. 118954.
21. Патент RU 2237041 C1, Российская Федерация, МПК C04B 38/10. Сырьевая смесь для изготовления конструктивного теплоизоляционного пенобетона: № 2003111123/03, Заявл. 17.04.2003; Оpubл. 27.09.2004 / П.Ф. Собкалов, В.М. Бертов; патентообладатель(и): Открытое акционерное общество "Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б.Е. Веденеева".
22. Патент RU 2543847 C2, Российская Федерация, МПК C04B 38/02, C04B 38/10, B82B 3/00. Способ приготовления смеси для производства композиционного ячеистого бетона: № 2013131123/03, Заявл. 05.07.2013; Оpubл. 10.03.2015 / Е. Н. Ястремский, И. А. Емельянов.
23. Патент RU 2719895 C1, Российская Федерация, МПК C04B 38/10. Бетонная смесь: № 2019121054, Заявл. 03.07.2019; Оpubл. 23.04.2020 / Р.С. Федюк, А.В. Баранов, Ю.Л. Лисейцев, В.С. Лесовик, Е.А. Попов; патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Владивостокский государственный университет экономики и сервиса" (ВГУЭС).
24. Патент RU 2635687 C1, Российская Федерация, МПК C04B 38/02, C04B 38/10, C04B 40/02. Сырьевая смесь для газобетона: № 2016122858, Заявл. 08.06.2016; Оpubл. 15.11.2017 / О.В. Чемисенко, Ю.Л. Брейтер, Е.Н. Полоумова; патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Омский государственный технический университет".

25. Фомина И.В., Капустин Ф.Л. Эффективный заполнитель для конструкционных бетонов на основе золы-уноса // Апробация. 2013. № 3(6). С. 56-60.
26. Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Хмелевский М.В., Стась П.П. Режим перемешивания компонентов при изготовлении бетона с добавкой золы уноса // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2019. № 1. С. 201-210.
27. Коровкин М.О., Калашников В.И., Ерошкина Н.А. Влияние высококальциевой золы-уноса на свойства самоуплотняющегося бетона // Региональная архитектура и строительство. 2015. № 1(22). С. 49-53.
28. Jani P., Imqam A. Class C fly ash-based alkali activated cement as a potential alternative cement for CO₂ storage applications // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2021. № 201. 108408.
29. Fuzail Hashmi A., Shariq M., Baqi A. An investigation into age-dependent strength, elastic modulus and deflection of low calcium fly ash concrete for sustainable construction // Construction and Building Materials. 2021. № 283. 122772.
30. She W., Du Y., Zhao G., Feng P., Zhang Y., Cao X. Influence of coarse fly ash on the performance of foam concrete and its application in high-speed railway roadbeds // Construction and Building Materials. 2018. №170. С. 153-166.
31. Патент RU 2745041 C1, Российская Федерация, МПК E21B 33/138, C04B 28/02, C09K 8/467, C04B 22/08, C04B 40/00, C04B 22/16, C04B 103/14. Ускорители для композитных цементных составов: № 2019121706, Заявл. 22.02.2017; Оpubл. 18.03.2021 / Т.Д. Писклак, Ш.У. Риджо, Р.Г. Морган, Т.С. Содхи, С.Е.А. Ламзден, С.Дж. Льюис; Хэллибертон энерджи сервисиз, Инк.
32. Chindaprasart P., Rattanasak U. Shrinkage behavior of structural foam lightweight concrete containing glycol compounds and fly ash // Materials & Design. 2011. № 32(2). С. 723-727.
33. Патент RU 2479518 C1, Российская Федерация, МПК C04B 18/06. Сырьевая смесь для производства легкого заполнителя бетонов (пеносола): № 2011137771/03, Заявл. 13.09.2011; Оpubл. 20.04.2014 / В.А. Кутолин, В.А. Широких; патентообладатель(и): Учреждение Российской академии наук Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН (Институт геологии и минералогии СО РАН, ИГМ СО РАН).
34. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Повышение эффективности малопроницаемых цементных композитов // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 10. С. 1346-1356.
35. Попов С.В., Брагинский В.Г., Давиденко В.П. Исследование специальных свойств бетона на заполнителях из золошлаковых смесей ТЭС // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2010. № 5-1(85). С. 135-139.
36. Патент RU 2717436 C1, Российская Федерация, МПК C04B 28/36, C01B 17/00, C04B 7/28, C04B 111/20. Вяжущее: № 2019115562, Заявл. 21.05.2019; Оpubл. 24.03.2020 / Р.Т. Ахметова, Г.А. Медведева, А.А. Юсупова, Л.Р. Бараева, А.Ю. Ахметова, А.И. Хацринов; патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский национальный исследовательский технологический университет" (ФГБОУ ВО "КНИТУ").
37. Патент RU 2482146 C2, Российская Федерация, МПК C09D 5/00, C09D 1/00. Высокотемпературное теплозащитное покрытие: № 2011136161/05, Заявл. 31.05.2011; Оpubл. 20.05.2013 / Ю.А. Григорьев; патентообладатель: Общество с ограниченной ответственностью "ОВК-Россия"
38. Amran M., Debbarma S., Ozbakkaloglu T. Fly ash-based eco-friendly geopolymer concrete: A critical review of the long-term durability properties // Construction and Building Materials. 2021. №270. 121857.
39. Moghaddam S.C., Madandoust R., Jamshidi M., Nikbin I.M. Mechanical properties of fly ash-based geopolymer concrete with crumb rubber and steel fiber under ambient and sulfuric acid conditions // Construction and Building Materials. 2021. № 281. 122571.
40. Шалаев А.Г., Шалаева М.А., Антоненко Н.А. Использование золы-уноса для решения экологических проблем сухих строительных смесей // Новые технологии в учебном процессе и производстве: Материалы XVIII Международной научно-технической конференции, Рязань, 17–19 апреля 2019 года. Рязань: Рязанский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет», 2020. С. 200-203.
41. Бондарь А.В., Ковальский В.П. Использование отходов для производства строительных материалов // Северная Пальмира: IX Молодежной экологической конференции: сборник научных трудов. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, 2018. С. 148-151.
42. Дворкин Л.И., Житковский В.В. Сухие строительные смеси с добавкой известково-карбонатной пыли // Сухие строительные смеси. 2018. № 4. С. 13-16.
43. Бадмаева Э.В., Урханова Л.А., Лхасаранов С.А. Исследование влияния минеральных добавок на вязкость композиционных вяжущих для сухих строительных смесей // Актуальные вопросы строительного материаловедения: материалы всероссийской научно-практической конференции. Улан-Удэ: Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова. 2021. С. 6-9.

44. Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Бадмаева Э.В. Исследование влияния минеральных добавок на свойства и фазовый состав композиционных вяжущих для сухих строительных смесей // Вестник ВСГУТУ. 2021. № 4(83). С. 79-84.
45. Ращупкина М.А., Симачева Э.Э., Скворцова Н.В. Получение эффективных сухих строительных смесей для кладочных и штукатурных работ // III Международной научно-практической конференции «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации»: сборник материалов. Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2019. С. 385-390.
46. Чернышева Н.В., Муртазаев С.А.Ю., Аслаханова А.Х. Сухие строительные смеси на основе КГВ // Сухие строительные смеси. 2012. № 1. С. 12-13.
47. Zakharov A., Puzatova A, Dmitrieva M., Leitsin V. Prospects for the Use of Fly Ash from a Thermal Power Plant of the Kaliningrad Region in the Construction Industry // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. № 168. С. 105-116.

REFERENCES

1. Bikbau M.YA., Zharko V.I. Energoberezheniye i ekologiya proizvodstva nanotsementov. O vozmozhnosti snizheniya udel'nykh zatrat topliva i vybrosov gazov pri proizvodstve tsementa [Energy saving and ecology of nanocement production. On the possibility of reducing the specific fuel consumption and gas emissions in the production of cement]. *Building materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2015. No. 7-8 (198-199). Pp. 22-25. (rus)
2. Danakin D.N., Kozhukhova N.I. Razrabotka yacheistyykh betonov na osnove zol-unosa [Development of cellular concrete based on fly ash]. *VII International Youth Forum "Education. The science. Production": Conference Proceedings*. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2015. Pp. 554-558. (rus)
3. Volzhenskiy A.B. Mineral'nyye vyazhushchiye veshchestva [Mineral binders]. Moscow: Stroyizdat, 1986. 464 p. (rus)
4. Bozhenov P.I. Tekhnologiya avtoklavnykh materialov [Technology of autoclave materials]. Leningrad: Stroyizdat, 1978. 327 p. (rus)
5. Galibina E.A. Avtoklavnyye stroitel'nyye materialy iz otkhodov TETS [Autoclave building materials from CHP waste]. Leningrad: Stroyizdat. Leningrad. Department, 1986. 128 p. (rus)
6. Kostin V.V. Polucheniye i svoystva gazobetonov, napolnennykh zolami [Obtaining and properties of aerated concrete filled with ash]. Abstract for the degree of Ph.D. M., 1993. (rus)
7. Chernyshov Ye.M. Zakonomernosti razvitiya struktury avtoklavnykh materialov [Patterns of the development of the structure of autoclave materials]. *Stroitel'nyye materialy*. 1992. No. 11. Pp. 28-31. (rus)
8. Ovcharenko G.I. Zoly ugley KATEKa v stroitel'nykh materialakh [Ashes of KATEK coals in building materials]. Krasnoyarsk: Izd-vo Krasnoyar. Un-ta, 1992. 216 p. (rus)
9. Runova R.F., Plokhii V.P., Dekhno A.L., Yamenko A.B. Osobennosti strukturoobrazovaniya vyazhushchego na osnove vysokouglerodistykh zol [Peculiarities of structure formation of a binder based on high-carbon ash]. *Cement*. 1995. No. 3. Pp. 38-41. (rus)
10. Andreyev V.V., Khalin V.A., Politov I.P. Avtoklavnyye materialy na osnove zol TETS [Autoclave materials based on CHP ash]. Moscow: VNIIESM. 1992. No. 9. Pp.23-43. (rus)
11. Kozlova V.K. Osnovnyye napravleniya ispol'zovaniya zol i zoloshlakovykh smesey TETS Sibiri v proizvodstve stroitel'nykh materialov i v stroitel'stve [The main directions of the use of ashes and ash and slag mixtures from Siberian thermal power plants in the production of building materials and in construction]. *Izvestiya vuzov. Seriya str-vo i arkhitektura*. 1990. No. 10. Pp. 60-63. (rus)
12. Oshchepkov I.A., Khudonosova Z.A. Aktivizatsiya vyazhushchikh svoystv vysokokal'tsiyevykh zol-unosa teplovykh elektrostantsiy i perspektiva ekonomii tsementa v stroitel'stve [Activation of binding properties of high-calcium fly ash from thermal power plants and the prospect of saving cement in construction]. *Izvestiya vuzov. Seriya str-vo i arkhitektura*. 1995. No. 12. Pp. 64-69. (rus)
13. Chen Y., Guan L., Zhu S., Chen W. Foamed concrete containing fly ash: Properties and application to backfilling. *Construction and Building Materials*. 2021. No. 273. 121685. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.121685
14. Chernykh K.P., Ovcharenko G.I., Frantsen V.B. Tekhnologiya, stabiliziruyushaya svoystva gazobetona na osnove vysokokal'tsiyevykh zol [Technology stabilizing the properties of aerated concrete based on high-calcium ash]. *Proceedings of the scientific and technical anniversary conference "Modern Building Materials"*. Novosibirsk: Izd-vo NGASU, 2000. Pp. 47-48. (rus)
15. Ovcharenko G.I., Frantsen V.B., Chernykh K.P. Zoly TETS ugley KAB v kachestve syr'yevogo komponenta dlya proizvodstva gazobetona [Ashes of thermal power plant of KAB coals as a raw material component for the production of aerated concrete]. International scientific-practical conference "Humanism and construction on the threshold of the third millennium": abstracts. Barnaul: publishing house Alt GTU. 1999. Pp. 129. (rus)

16. Gao H., Wang W., Liao H., Cheng F. Characterization of light foamed concrete containing fly ash and desulfurization gypsum for wall insulation prepared with vacuum foaming process. *Construction and Building Materials*. 2021. No. 281. 122411. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.122411.
17. She W., Du Y., Zhao G., Feng P., Zhang Y., Cao X., Influence of coarse fly ash on the performance of foam concrete and its application in high-speed railway roadbeds. *Construction and Building Materials*. 2018. No. 170. Pp. 153-166. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.02.207.
18. Gökçe H.S., Hatungimana D., Ramyar K. Effect of fly ash and silica fume on hardened properties of foam concrete. *Construction and Building Materials*. 2019. No. 194. Pp. 1-11. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.11.036.
19. Mugahed Amran Y.H., Alyousef R., Alabduljabbar H., Khudhair M.H.R., Hejazi F., Alaskar A., Alrshoudi F., Siddika A. Performance properties of structural fibred-foamed concrete. *Results in Engineering*. 2020. No. 5. 100092. doi:10.1016/j.rineng.2019.100092.
20. Liu X., Ni C., Meng K., Zhang L., Liu D., Sun L. Strengthening mechanism of lightweight cellular concrete filled with fly ash. *Construction and Building Materials*. 2020. No. 251. 118954. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118954.
21. Patent RU 2237041 C1, Russian Federation, IPC C04B 38/10. Raw mix for the manufacture of structural heat-insulating foam concrete: No. 2003111123/03, Appl. 04/17/2003: Published. 09/27/2004 / P.F. Sobkalov, V.M. Bertov; patentee(s): Open Joint Stock Company "All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering named after B.E. Vedenev".
22. Patent RU 2543847 C2, Russian Federation, IPC C04B 38/02, C04B 38/10, B82B 3/00. Method for preparing a mixture for the production of composite cellular concrete: No. 2013131123/03, Appl. 07/05/2013: Published. 03/10/2015 / E. N. Yastremsky, I. A. Emelyanov.
23. Patent RU 2719895 C1, Russian Federation, IPC C04B 38/10. Concrete mix: No. 2019121054, Appl. 07/03/2019: Published. 04/23/2020 / R.S. Fedyuk, A.V. Baranov, Yu.L. Liseytshev, V.S. Lesovik, E.A. Popov; patent holder(s): Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vladivostok State University of Economics and Service" (VGUES).
24. Patent RU 2635687 C1, Russian Federation, IPC C04B 38/02, C04B 38/10, C04B 40/02. Raw mix for aerated concrete: No. 2016122858, Appl. 06/08/2016: Published. 11/15/2017 / O.V. Chemisenko, Yu.L. Breiter, E.N. Poloumova; patent holder(s): Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Omsk State Technical University".
25. Fomina I.V., Kapustin F.L. Effektivnyy zapolnitel' dlya konstruktsionnykh betonov na osnove zoly-unos [Efficient filler for structural concrete based on fly ash]. *Aprobatsiya*. 2013. No. 3(6). Pp. 56-60. (rus)
26. Golik V.I., Dmitrak YU.V., Khmelevskiy M.V., Stas' P.P. Rezhim peremeshivaniya komponentov pri izgotovlenii betona s dobavkoy zoly unosa [The mode of mixing components in the manufacture of concrete with the addition of fly ash]. *Bulletin of the Tula State University. Earth Sciences*. 2019. No. 1. Pp. 201-210. (rus)
27. Korovkin M.O., Kalashnikov V.I., Yeroshkina N.A. Vliyaniye vysokokal'tsiyevoy zoly-unosa na svoystva samouplotnyayushchegosya betona [Influence of high-calcium fly ash on the properties of self-compacting concrete]. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2015. No. 1(22). Pp. 49-53. (rus)
28. Jani P., Imqam A. Class C fly ash-based alkali activated cement as a potential alternative cement for CO₂ storage applications. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2021. No. 201. 108408. doi:10.1016/j.petrol.2021.108408
29. Fuzail Hashmi A., Shariq M., Baqi A. An investigation into age-dependent strength, elastic modulus and deflection of low calcium fly ash concrete for sustainable construction. *Construction and Building Materials*. 2021. No. 283. 122772. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.122772.
30. She W., Du Y., Zhao G., Feng P., Zhang Y., Cao X. Influence of coarse fly ash on the performance of foam concrete and its application in high-speed railway roadbeds. *Construction and Building Materials*. 2018. No. 170. Pp. 153-166. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.02.207.
31. Patent RU 2745041 C1, Russian Federation, IPC E21B 33/138, C04B 28/02, C09K 8/467, C04B 22/08, C04B 40/00, C04B 22/16, C04B 103/14. Accelerators for composite cement compositions: No. 2019121706, Appl. 02/22/2017: Published. 03/18/2021 / T.D. Pisklak, Sh.U. Rijo, R.G. Morgan, T.S. Sodhi, S.E.A. Lamzden, S.J. Lewis; Halliburton Energy Services, Inc.
32. Chindaprasirt P., Rattanasak U. Shrinkage behavior of structural foam lightweight concrete containing glycol compounds and fly ash. *Materials & Design*. 2011. No. 32(2). Pp. 723-727. doi:10.1016/j.matdes.2010.07.036
33. Patent RU 2479518 C1, Russian Federation, IPC C04B 18/06. Raw mix for the production of lightweight concrete aggregate (penosol): No. 2011137771/03, Appl. 09/13/2011: Published. 04/20/2014 / V.A. Kutolin, V.A. wide; patentee(s): Establishment of the Russian Academy of Sciences Institute of Geology and Mineralogy im. V.S. Sobolev of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, IGM SB RAS).
34. Lesovik V.S., Fedyuk R.S. Povysheniye effektivnosti malopronitsayemykh tsementnykh kompozitov [Improving the efficiency of low-permeability cement composites]. *Vestnik MGSU*. 2021. Vol. 16. No. 10. Pp. 1346-1356. (rus)

35. Popov S.V., Braginskiy V.G., Davidenko V.P. Issledovaniye spetsial'nykh svoystv betona na zapolnitelyakh iz zoloshlakovykh smesey TES [Investigation of the special properties of concrete on aggregates from ash and slag mixtures at TPPs]. *Vestnik Donbasskoy natsional'noy akademii stroitel'stva i arkhitektury*. 2010. No. 5-1(85). Pp. 135-139. (rus)
36. Patent RU 2717436 C1, Russian Federation, IPC C04B 28/36, C01B 17/00, C04B 7/28, C04B 111/20. Binder: No. 2019115562, Appl. 05/21/2019; Published. 03/24/2020 / R.T. Akhmetova, G.A. Medvedev, A.A. Yusupova, L.R. Baraeva, A.Yu. Akhmetova, A.I. Khatsrinov; patent holder: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technological University" (FGBOU VO "KNRTU").
37. Patent RU 2482146 C2, Russian Federation, IPC C09D 5/00, C09D 1/00. High-temperature heat-shielding coating: No. 2011136161/05, Appl. 05/31/2011; Published. 05/20/2013 / Yu.A. Grigoriev; patent holder: Limited Liability Company "OVK-Russia"
38. Amran M., Debbarma S., Ozbakkaloglu T. Fly ash-based eco-friendly geopolymer concrete: A critical review of the long-term durability properties. *Construction and Building Materials*. 2021. No. 270. 121857. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.121857
39. Moghaddam S.C., Madandoust R., Jamshidi M., Nikbin I.M. Mechanical properties of fly ash-based geopolymer concrete with crumb rubber and steel fiber under ambient and sulfuric acid conditions. *Construction and Building Materials*. 2021. No. 281. 122571. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.122571
40. Shalayev A.G., Shalayeva M.A., Antonenko N.A. Ispol'zovaniye zoly-unosa dlya resheniya ekologicheskikh problem sukhikh stroitel'nykh smesey [The use of fly ash to solve the environmental problems of dry building mixtures]. *New technologies in the educational process and production: Proceedings of the XVIII International Scientific and Technical Conference*. Ryazan: Ryazan Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow Polytechnic University", 2020. Pp. 200-203. (rus)
41. Bondar' A.V., Koval'skiy V.P. Ispol'zovaniye otkhodov dlya proizvodstva stroitel'nykh materialov [The use of waste for the production of building materials]. *Northern Palmyra: IX Youth Ecological Conference: Conference Proceedings*. St. Petersburg: St. Petersburg Research Center for Environmental Safety of the Russian Academy of Sciences, 2018. Pp. 148-151. (rus)
42. Dvorkin L.I., Zhitkovskiy V.V. Sukhiye stroitel'nyye smesi s dobavkoy izvestkovo-karbonatnoy pyli [Dry construction mixtures with the addition of lime-carbonate dust]. *Sukhiye stroitel'nyye smesi*. 2018. No. 4. Pp. 13-16. (rus)
43. Badmayeva E.V., Urkhanova L.A., Lkhasaranov S.A. Issledovaniye vliyaniya mineral'nykh dobavok na vyazkost' kompozitsionnykh vyazhushchikh dlya sukhikh stroitel'nykh smesey [Investigation of the influence of mineral additives on the viscosity of composite binders for dry building mixtures]. *Topical issues of building materials science: Conference Proceedings*. Ulan-Ude: Buryat State University named after Dorzhi Banzarov, 2021. Pp. 6-9. (rus)
44. Urkhanova L.A., Lkhasaranov S.A., Badmayeva E.V. Issledovaniye vliyaniya mineral'nykh dobavok na svoystva i fazovyy sostav kompozitsionnykh vyazhushchikh dlya sukhikh stroitel'nykh smesey [Study of the influence of mineral additives on the properties and phase composition of composite binders for dry building mixtures]. *Vestnik VSGUTU*. 2021. No. 4(83). Pp. 79-84. (rus)
45. Rashchupkina M.A., Simacheva E.E., Skvortsova N.V. Polucheniye effektivnykh sukhikh stroitel'nykh smesey dlya kladochnykh i shtukaturnykh rabot [Obtaining effective dry building mixes for masonry and plastering]. *III International Scientific and Practical Conference "Architectural and construction and road transport complexes: problems, prospects, innovations": Conference Proceedings*. Omsk: Siberian State Automobile and Road University (SibADI), 2019. Pp. 385-390. (rus)
46. Chernysheva N.V., Murtazayev S.A.YU., Aslakhanova A.KH. Sukhiye stroitel'nyye smesi na osnove KGV [Dry building mixes based on KGV]. *Sukhiye stroitel'nyye smesi*. 2012. No. 1. Pp. 12-13. (rus)
47. Zakharov A., Puzatova A, Dmitrieva M., Leitsin V. Prospects for the Use of Fly Ash from a Thermal Power Plant of the Kaliningrad Region in the Construction Industry. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022. No. 168. Pp. 105-116. doi:10.1007/978-3-030-91145-4_11.

Информация об авторах:

Пузатова Анастасия Вячеславовна

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград, Россия, старший преподаватель ОНК «Институт высоких технологий», зав. лабораторией строительных материалов.
E-mail: asharanova@kantiana.ru

Дмитриева Мария Александровна

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград, Россия, доктор физико-математических наук, профессор ОНК «Институт высоких технологий».
E-mail: ADmitrieva@kantiana.ru

Захаров Александр Анатольевич

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград, Россия,
студент магистратуры направления «Современные строительные материалы и технологии».

E-mail: zakhorov2@gmail.com

Лейцин Владимир Нояхович

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград, Россия,
доктор физико-математических наук, профессор ОНК «Институт высоких технологий».

E-mail: VLeitsin@kantiana.ru

Information about authors:

Puzatova Anastasiia V.

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia,
senior lecturer of the Institute of High Technologies, head of building materials laboratory.

E-mail: asharanova@kantiana.ru

Dmitrieva Maria Al.

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia,
doctor of physical and mathematical sciences, professor of the Institute of High Technologies.

E-mail: ADmitrieva@kantiana.ru

Zakharov Alexander An.

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia,
master's degree student of Modern building materials and technologies.

E-mail: zakhorov2@gmail.com

Leitsin Vladimir N.

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia,
doctor of physical and mathematical sciences, professor of the Institute of High Technologies.

E-mail: VLeitsin@kantiana.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 27.10.2023 г.
Дата выхода в свет 08.11.2023 г.
Формат 70×108/16. Печ. л. 9,3
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ № 244

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