

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

BUILDING AND RECONSTRUCTION

№6 (122) 2025



Теория инженерных сооружений.
Строительные конструкции

The theory of engineering
constructions. Construction
design

Безопасность зданий
и сооружений

Building and structure
safety

Архитектура
и градостроительство

Architecture
and urban

Строительные материалы
и технологии

Building
materials

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL

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

Заместители главного редактора:
Гордон В.А., *советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*
Савин С.Ю., *канд. техн. наук, доц. (Россия)*
Финадеева Е.А., *канд. техн. наук, доц. (Россия)*

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

Бакаева Н.В., *советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*
Бок Т., *д-р техн. наук, проф. (Германия)*
Булгаков А.Г., *д-р техн. наук, проф. (Германия)*
Ерофеев В.Т., *акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

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

Колесникова Т.Н., *д-р арх., проф. (Россия)*
Колчунов В.И., *д-р техн. наук, проф. (Россия)*
Коробко А.В., *д-р техн. наук, проф. (Россия)*
Король Е.А., *чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Кривошапко С.Н., *д-р техн. наук, проф. (Россия)*
Кудряшов Н.Н., *канд. арх., проф. (Россия)*
Лефай З., *д-р техн. наук, проф. (Франция)*
Мелькумов В.Н., *д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Орлович Р.Б., *д-р техн. наук, проф. (Польша)*
Птичникова Г.А., *д-р арх., проф. (Россия)*
Реболж Д., *д-р техн. наук, проф. (Словения)*
Римшин В.И., *чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Себешев В.Г., *почетный чл. РААСН, канд. техн. наук, проф. (Россия)*
Тамразян А.Г., *чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*
Травуш В.И., *акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Трещев А.А., *чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*
Тур В.В., *иностран. чл. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*
Федорова Н.В., *советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

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

Исполнительный редактор:
Амелина М.А., *(Россия)*

Адрес редакции:
302030, Орловская обл., г. Орёл,
ул. Московская, д. 77.
Тел.: +79065704999
<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>
E-mail: str_and_rek@mail.ru

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

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

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2025

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Кабанцев О.В., Симаков О.А., Ле Во Фу Тоан. Испытание усиленных натурных образцов из каменной кладки	3
Колчунов В. И. «Представительный объем» в механике железобетона.....	14
Мариничев М.Б., Ляшенко П.А., Денисенко В.В. Механизм деформаций грунта при компрессионном сжатии пробы.....	25

Безопасность зданий и сооружений

Савин С.Ю., Лизогуб А.А. Деформирование приопорных зон ригелей железобетонных рамных каркасов в запредельных состояниях.....	36
Федоров В.С., Левитский В.Е. Специфика реакции бетона на воздействие высокой температуры.....	47

Архитектура и градостроительство

Волченко О.В., Чечель И.П. Реновация зданий школ в образовательные комплексы полного дня (на примере Белгородской области)	60
Гурьев А.С., Енин А.Е., Гурьев С.Н. Принципы проектирования цветовой среды общественных пространств города.....	78

Строительные материалы и технологии

Ельчищева Т.Ф., Монастырев П.В., Езерский В.А., Таскалиев А.Т. Применение опок Шиповского месторождения Республики Казахстан в дорожном строительстве.....	88
Ерофеев В.Т., Гончарова М.А., Тараканов О.В., Светлов Д.А., Максимова И.Н., Ерофеева И.В., Кучин В.Н., Светлов Д.В. Прочность и деформируемость биоцидных цементных композитов..	99
Ткач Е.В., Филимонова Ю.С., Черных А.А. Изучение эксплуатационных свойств модифицированного бетона на основе полидисперсного вяжущего для гидромелиоративного строительства.....	123

Editor-in-Chief
Kolchunov V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Editor-in-Chief Assistants:
Gordon V.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Savin S.Yu., candidate sc. tech., docent (Russia)
Finadeeva E.A., candidate sc. tech., docent (Russia)

Editorial Board
Akimov P.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Bakaeva N.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Bock T., doc. sc. tech., prof. (Germany)
Bulgakov A.G., doc. sc. tech., prof. (Germany)
Erofeev V.T., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Esaulov G.V., doc. arc., prof. (Russia)
Kaprielov S.S., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Kolesnikova T.N., doc. arc., prof. (Russia)
Kolchunov V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Korobko A.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Korol E.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Krivoshapko S.N., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Kudryashov N.N., candidate arc., prof. (Russia)
Lafhaj Z., doc. sc. tech., prof. (France)
Melkumov V.N., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Orlovic R.B., doc. sc. tech., prof. (Poland)
Ptichnikova G.A., doc. arc., prof. (Russia)
Rebolj D., doc. sc. tech., prof. (Slovenia)
Rimshin V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Sebeshev V.G., candidate sc. tech., prof. (Russia)
Tamrazyan A.G., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Travush V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Treshev A.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Tur V.V., doc. sc. tech., prof. (Belorussia)
Fedorov V.S., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Fedorova N.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)
Schach R., doc. sc. tech., prof. (Germany)

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

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

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

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

© Orel State University, 2025

Contents

Theory of engineering structures. Building units

- Kabancev O.V., Simakov O.A., Le Vo Phu Toan.** Testing of reinforced large-scale masonry samples..... 3
- Kolchunov V.I.** Representative volume element in the mechanics of reinforced concrete..... 14
- Marinichev M.V., Lyashenko P.A., Denisenko V.V.** Determination of soil creep deformations..... 25

Building and structure safety

- Savin S.Y., Lizahub A.A.** Multi-stage deformation of plastic hinges in RC frame beams at accidental actions..... 36
- Fedorov V.S., Levitsky V.E.** Specificity of concrete response to high temperature..... 47

Architecture and urban planning

- Volichenko O.V., Chechel I.P.** Renovation of school buildings to full-time educational complexes (using the example of the Belgorod region)..... 60
- Guriev A.S., Yenin A.E., Guriev S.N.** Principles of designing the color environment of public spaces in the city..... 78

Construction materials and technologies

- Elchishcheva T.F., Monastirev P.V., Yezersky V.A., Taskaliev A.T.** Application of opoka from the Shipovskoe deposit of the Republic of Kazakhstan in road construction..... 88
- Erofeev V.T., Goncharova M.A., Tarakanov O.V., Svetlov D.A., Maksimova I.N., Erofeeva I.V., Kuchin V.N., Svetlov D.V.** Strength and Deformability of Biocidal Cement Composites..... 99
- Tkach E.V., Filimonova Yu.S., Chernykh A.A.** Study of performance properties of modified concrete based on polydispersed binding agent for water reclamation construction..... 123

О.В. КАБАНЦЕВ, О.А. СИМАКОВ, ЛЕ ВО ФУ ТОАН¹

¹Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет, г. Москва, Россия

ИСПЫТАНИЕ УСИЛЕННЫХ НАТУРНЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗ КАМЕННОЙ КЛАДКИ

Аннотация. Массовое восстановление зданий и сооружений после сейсмических воздействий и в зонах боевых действий с характерными последствиями минно-взрывных повреждений требует особенных эффективных методов усиления конструкций, что влечет необходимость разработки соответствующих нормативно-методических обоснований для данных методик. Данные решения в первую очередь должны базироваться на экспериментальных исследованиях, проведенных на натурных близких к реальным образцам, и воздействиях, также соответствующих фактическим схемам нагружения конструкций. В этой связи становится вопрос выбора методик проведения испытаний с учетом важных в данном случае факторов: повторяемость и подобие, а также возможность масштабирования в случае невозможности проведения испытаний на образцах с размерами близких к реальным. Рассмотренные в настоящей статье вопросы как раз посвящены выбору методики испытания конструкций из каменной кладки после повреждений эквивалентными сейсмическими и минно-взрывными воздействиями, разработано конкретное предложение по проведению испытаний.

Ключевые слова: испытания, каменная кладка, усиление, восстановление, торкретбетон.

OL.V. KABANCEV, OL.A. SIMAKOV, LE VO PHU TOAN¹

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

TESTING OF REINFORCED LARGE-SCALE MASONRY SAMPLES

Abstract. The massive restoration of buildings and structures after seismic impacts and in combat zones with the characteristic consequences of mine and explosive damage requires particularly effective methods of strengthening structures, which necessitates the development of appropriate regulatory and methodological justifications for these techniques. These solutions should primarily be based on experimental studies conducted on field samples close to real samples, and impacts that also correspond to actual structural loading patterns. In this regard, it becomes a question of choosing test methods, taking into account important factors in this case: repeatability and similarity, as well as the possibility of scaling if it is impossible to conduct tests on samples with dimensions close to real ones. The issues discussed in this article are devoted to the choice of methods for testing masonry structures after damage caused by equivalent seismic and mine-explosive effects, and a specific test proposal has been developed.

Keywords: testing, masonry, reinforcement, restoration, shotcrete.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременок П. Л., Измайллов Ю. В. Монолитность и сейсмостойкость конструкций из естественного камня. – Кишинев, 1968. – 202 с.
2. Жунусов Т. Ж. Основы сейсмостойкого строительства. – Алма-Ата, 1990. – 270 с. Гуревич А. М., Малоглазов Б. И., Рассказовский В. Т. Комплексные конструкции стен со сборно-монолитными сердечниками // Строительство и архитектура Узбекистана. – 1970. – № 2.
3. Гуревич А. М., Малоглазов Б. И., Рассказовский В. Т. Комплексные конструкции стен со сборно-монолитными сердечниками // Строительство и архитектура Узбекистана. – 1970. – № 2.
4. Измайллов Ю. В., Буровенко В. А., Кирпий А. Ф. Усиление зданий, поврежденных землетрясением // Карпатское землетрясение 1986 г. / Под ред. Друмя А.В., Шебалина Н.В., Складнева Н.Н., Графова С.С., Ойзермана В.И. – Кишинев, 1990. – С. 303–317.
5. Кабанцев О. В., Тонких Г. П., Симаков О. А., Симаков А. Б., Баев С. М. Повышение сейсмостойкости каменных конструкций односторонними аппликациями из торкрет-бетона // Аэропорты. Прогрессивные технологии. – 2011. – № 2. – С. 26–32. – EDN: TSQAKV.
6. Кабанцев О. В., Тонких Г. П. и др. Пособие по оценке сейсмостойкости и сейсмоусилению общевоинских зданий с несущими стенами из каменной кладки. – М.: 26 ЦНИИ МО РФ, 2002.
7. Kabantsev O. V. A discrete model of masonry under conditions of biaxial stress state // Vestnik of TSUAB. – 2015. – № 4. – P. 113–134.
8. Kabantsev O. V., Tamrazyan A. G. Modeling of elastic-plastic deformation of masonry under conditions of biaxial stress state // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2015. – Vol. 11, Iss. 3. – P. 87–100.
9. Мальцев А. М. Основы железобетонного строительства. – М.: Транспечать НКПС, 1929. – 62 с.
10. Мартемьянов А. И., Ширин В. В. Способы восстановления зданий и сооружений, поврежденных землетрясением. – М., 1978. – 204 с.
11. Поляков С. В. Сейсмостойкие конструкции зданий (основы теории сейсмостойкости). – М., 1983. – 304 с.
12. Поляков С. В., Коноводченко В. И. Прочность и деформации виброкирпичных панелей при перекосе // Сейсмостойкость сборных крупноэлементных зданий. – М., 1963. – С. 131–148.
13. Поляков С. В., Садыхов З. Г. Прочность и деформации сплошных виброкаменных панелей при перекосе // Сейсмостойкость сборных крупноэлементных зданий. – М., 1963. – С. 170–183.
14. Поляков С. В., Сафаргалиев С. М. Монолитность каменной кладки. – Алма-Ата, 1991. – 160 с.
15. Симаков О. А. Анализ факторов, вызывающих необходимость усиления железобетонных конструкций // Строительство и реконструкция. – 2019. – № 1 (81). – С. 76–84. – <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2019-81-1-76-84>.
16. Тонких Г. П., Кабанцев О. В., Симаков О. А., Симаков А. Б., Баев С. М., Панфилов П. С. Экспериментальные исследования сейсмоусиления каменной кладки наружными бетонными аппликациями // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2011. – № 2. – С. 35–42. – EDN: QCWDBZ.
17. ElGawady M. A., Lestuzzi P., Badoux M. Retrofitting of Masonry Walls Using Shotcrete // Proc. NZSEE Conference. – New Zeland, 2006.

REFERENCES

1. ElGawady M. A., Lestuzzi P., Badoux M. Retrofitting of Masonry Walls Using Shotcrete. *Proc. NZSEE Conference*. 2006.
2. Eremenok P.L., Izmailov Yu.V. Monolitnost i sejsmostojkost konstrukcij iz estestvennogo kamnya [Solidity and earthquake resistance of natural stone structures]. Chisinau, 1968. 202 p. (rus).
3. Gurevich A.M., Maloglazov B.I., Rasskazovsky V.T. Kompleksnye konstrukcii sten so sborno-monolitnymi serdechnikami [Complex wall structures with prefabricated monolithic cores]. *Construction and architecture of Uzbekistan*. 1970. No. 2. Pp. ... (rus).
4. Izmailov Yu.V., Burovenko V.A., Kirpiy A.F. Usilenie zdaniy, povrezhdennyh zemletryaseniem [Reinforcement of buildings damaged by the earthquake]. The Carpathian earthquake of 1986. Ed. Drumia A.V., Shebalina N.V., Skladneva N.N., Grafova S.S., Oizerman V.I. Chisinau, 1990. Pp. 303–317. (rus).
5. Kabantsev O.V., Tamrazyan A.G. Modeling of elastic-plastic deformation of masonry under conditions of biaxial stress state. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2015. Vol. 11. Iss. 3. Pp. 87–100. (rus).
6. Kabantsev O.V. A discrete model of masonry under conditions of biaxial stress state. *Vestnik of TSUAB*. 2015. No. 4. Pp. 113–134. (rus).
7. Kabantsev O.V., Tonkikh G.P., Simakov O.A., Simakov A.B., Baev S.M. Povyshenie sejsmostojkosti kamennykh konstrukcij odnostoronnnimi aplikacijami iz torkret-betona [Increasing the seismic resistance of stone structures by single-sided applications of shotcrete]. *Airports. Advanced technologies*. 2011. No. 2. Pp. 26–32. (rus).
8. Kabantsev O.V., Tonkikh G.P. et al. The Grant according to seismic stability and to seismic-strengthening the general armies buildings with bearing walls from a stone laying. Moscow, 26 TSNII MO the Russian Federation, 2002.

9. Malcev A.M. Osnovy zhelezobetonного stroitelstva [Fundamentals of reinforced concrete construction]. Moscow: Transpechat NKPS, 1929. (rus).
10. Martemyanov A.I., Shirin V.V. Spособы vosstanovleniya zdaniy i sooruzhenij, povrezhdennyh zemletryaseniem [Methods of restoring buildings and structures damaged by an earthquake]. Moscow, 1978. 204 p. (rus).
11. Polyakov S.V. Sejsmostojkie konstrukcii zdaniy (osnovy teorii sejsmostojkosti) [Earthquake-resistant structures of buildings (fundamentals of the theory of seismic resistance)]. Moscow, 1983. 304 p. (rus).
12. Polyakov S.V., Konovodchenko V.I. Strength and deformation of vibro-brick panels during skewing. Earthquake resistance of prefabricated large-element buildings. Moscow, 1963. Pp. 131-148.
13. Polyakov S.V., Sadykhov Z.G. Prochnost i deformacii sploshnyh vibro-kamennyh panelej pri perekose [Strength and deformation of continuous vibrating wall panels during skewing]. Earthquake resistance of prefabricated large-element buildings. Moscow, 1963. Pp. 170-183. (rus).
14. Polyakov S.V., Safargaliev S.M. Monolitnost kamennoj kladki [Monolithic masonry]. Alma Ata, 1991. 160 p. (rus).
15. Simakov O.A. Analysis of factors causing the need for strengthening of reinforced concrete constructions. *Building and Reconstruction*. 2019. No. 1(81). Pp. 76-84. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2019-81-1-76-84> (rus).
16. Tonkikh G.P., Kabantsev O.V., Simakov O.A., Simakov A.B., Baev S.M., Panfilov P.S. Eksperimentalnye issledovaniya sejsmousileniya kamennoj kladki naruzhnymi betonnymi aplikacijami [Experimental studies of seismic reinforcement of masonry by external concrete applications]. *Earthquake-resistant construction. Safety of structures*. 2011. No. 2. Pp. 35-42. (rus).
17. Zhunusov T.J. Osnovy sejsmostojkogo stroitelstva [Fundamentals of earthquake-resistant construction]. Alma Ata, 1990. 270 p. (rus).

Информация об авторе:

Кабанцев Олег Васильевич

Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет, г. Москва, Россия,
доктор технических наук, профессор кафедры Железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: ovk53@mail.ru

Симаков Олег Александрович

Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет, г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры Железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: simakov-ne@mail.ru

Ле Во Фу Тоан

Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет, г. Москва, Россия,
аспирант кафедры Железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: hskdtoan@gmail.com

Information about author:

Kabantsev Oleg V.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.
E-mail: ovk53@mail.ru

Simakov Oleg A.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.
E-mail: simakov-ne@mail.ru

Le Vo Phu Toan

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Postgraduate student of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.
E-mail: hskdtoan@gmail.com

Статья поступила в редакцию 01.10.2025
Одобрена после рецензирования 09.11.2025
Принята к публикации 13.11.2025

The article was submitted 01.10.2025
Approved after reviewing 09.11.2025
Accepted for publication 13.11.2025

ВЛ. И. КОЛЧУНОВ^{1,2}

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

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

«ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫЙ ОБЪЕМ» В МЕХАНИКЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Аннотация. В статье рассмотрен новый инструментарий для построения расчетных моделей сопротивления железобетона построенный на понятии «представительного объема» для моделирования характерных сложно напряженных зон конструкции. В основу инструментария положена идея блочных физических моделей сопротивления и сочетание энергетического подхода механики разрушения железобетона с трещинами и деформационных моделей теории железобетона. Для определения жесткости и трещиностойкости железобетонных стержневых элементов в зонах совместного действия моментов и поперечных сил предложена модель «единичной составной полоски» в поперечных сечениях элемента с наклонными трещинами. Раскрытие нормальных и наклонных трещин моделируется «представительным объемом» в виде армированной призмы и двухконсольным элементом (ДКЭ). Напряженно-деформированное состояние в окрестности трещины определяется с учетом открытого автором в механике разрушения железобетона деформационного эффекта.

Ключевые слова: железобетон, представительный объем, деформационный эффект, гипотезы, двухконсольный элемент, механика разрушения, раскрытие - закрытие трещин, жесткость.

VL. I. KOLCHUNOV^{1,2}

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

²Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF), Moscow, Russia

REPRESENTATIVE VOLUME ELEMENT IN THE MECHANICS OF REINFORCED CONCRETE

Abstract. The article presents a novel computational framework for developing constitutive models of reinforced concrete (RC) behavior, based on the concept of a Representative Volume Element (RVE) for simulating characteristic complex stress states in structural members. The framework is founded on the idea of block-based physical models of material response, combining the energy approach of fracture mechanics for cracked RC with deformation models of reinforced concrete theory. To determine the stiffness and crack resistance of RC members in regions subjected to combined bending moments and shear forces, a "single composite strip" model within cross-sections containing inclined cracks is proposed. The opening of normal and inclined cracks is simulated using RVEs represented by a reinforced prism and a double-cantilever element (DCE), respectively. The stress-strain state in the vicinity of a crack is determined taking into account a deformation effect in the fracture mechanics of RC, discovered by the author.

Keywords: reinforced concrete, representative volume element (RVE), deformation effect, hypotheses, double-cantilever element (DCE), fracture mechanics, crack opening-closing, stiffness.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В.М., Колчунов Вл.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 472 с.
2. Голышев А.Б., Колчунов Вл.И. Сопротивление железобетона. – К.: Основа, 2009. – 432 с.
3. Голышев А.Б., Колчунов Вл.И., Яковенко И.А. Сопротивление железобетонных конструкций, зданий и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях: монография. – К.: Талком, 2015. – 371 с.
4. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат, 1996. – 410 с.
5. Карпенко С.Н. О построении общего расчета железобетонных плоских конструкций в конечных приращениях // Бетон и железобетон. – 2005. – № 3. – С. 22–26.
6. Колчунов Вл.И. Метод расчетных моделей сопротивления для железобетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2023. – Т. 19. – № 3. – С. 261–275.
7. Kolchunov V.I. The Effect of Reinforced Concrete for Crack Resistance and Rigidity Based on Mechanics of Fracture Under Bending // Modern Problems in Construction: Selected Papers from MPC 2021. – Cham: Springer, 2022. – (Lecture Notes in Civil Engineering; Vol. 287). – P. 79–97.
8. Savin S., Fedorova N., Korenkov P. Experimental Investigation of RC Frame with Sway Columns Under Corner Column Removal Scenario // Modern Problems in Construction: Selected Papers from MPC 2022. – Cham: Springer, 2023. – (Lecture Notes in Civil Engineering; Vol. 372). – P. 291–313.
9. Федоров В.С., Баширов Х.З., Колчунов Вл.И. Элементы теории расчета железобетонных составных конструкций // Academia. Архитектура и строительство. – 2014. – № 2. – С. 116–118.
10. Iakovenko I., Kolchunov V.I. The development of fracture mechanics hypotheses applicable to the calculation of reinforced concrete structures for the second group of limit states // Journal of Applied Engineering Science. – 2017. – Vol. 15. – № 3. – P. 366–375. – DOI 10.5937/jaes15-14662.
11. Dem'yanov A.I., Salnikov A.S. The estimation of spatial cracks formation in reinforced concrete structures under the action torsion with bending // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 365. – № 5. – P. 052019.
12. Кумпяк О.Г., Галяутдинов З.Р., Галяутдинов Д.Р. Влияние распора на прочность железобетонных балок на податливых опорах при кратковременном динамическом нагружении // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2023. – № 1 (769). – С. 5–16. – DOI 10.32683/0536-1052-2023-769-1-5-16.
13. Kumpyak O., Galyautdinov Z., Galyautdinov D., Rakhimova T. Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Beams on Yielding Supports // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 170. – P. 303–312. – DOI 10.1007/978-3-030-79983-0_28.
14. Коянкин А.А., Митасов В.М. Расчет сборно-монолитного изгибаемого элемента по деформациям и трещиностойкости // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 2 (65). – С. 48–54. – DOI 10.52170/1815-9265_2023_65_48.
15. Митасов В.М., Адищев В.В. О применении энергетических соотношений в теории сопротивления железобетона // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1990. – № 4. – С. 33–37.
16. Алексейцев А.В. Поиск рациональных параметров строительных конструкций на основе многокритериальной эволюционной оптимизации // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 9. – С. 45–50.
17. Rahal K.N. Combined Torsion and Bending in Reinforced and Prestressed Concrete beams Using Simplified Method for Combined Stress-Resultants // ACI Structural Journal. – 2007. – Vol. 104. – № 4. – P. 402–411.
18. Rahal K.N. Torsional strength of normal and high strength reinforced concrete beams // Engineering Structures. – 2013. – Vol. 56. – P. 2206–2216.
19. Faron A., Rombach G.A. Simulation of crack growth in reinforced concrete beams using extended finite element method // Engineering Failure Analysis. – 2020. – Vol. 116. – P. 104698.
20. Fu Q.-L., Tan L., Long B., Kang S.-B. Numerical Investigations of Progressive Collapse Behaviour of Multi-Storey Reinforced Concrete Frames // Buildings. – 2023. – Vol. 13. – № 2. – P. 533. – DOI 10.3390/buildings13020533.
21. Rahal K.N. A unified approach to shear and torsion in reinforced concrete // Structural Engineering and Mechanics. – 2021. – Vol. 77. – № 5. – P. 691–703. – DOI 10.12989/sem.2021.77.5.691.
22. Родевич В.В., Арзамасцев С.А. К расчету железобетонных элементов на изгиб с кручением // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2015. – № 9. – С. 99–109.
23. Thomas F.G. Cracking in reinforced concrete // The Structural Engineer. – 1936. – Vol. 14. – № 8. – P. 298–320.
24. Tan E.L., Varsani H., Liao F. Experimental study on demountable steel-concrete connectors subjected to combined shear and tension // Engineering Structures. – 2019. – Vol. 183. – P. 110–123.

25. Колчунов Вл.И. Модель расчета параметров предельных состояний железобетонных конструкций // Строительство и реконструкция. – 2025. – № 2 (118). – С. 4–13. – DOI 10.33979/2073-7416-2025-118-2-4-13.
26. Kolchunov V.I., Fedorova N.V., Savin S.Y., Moskovtseva V.S. Analytical Model of Crack Opening in Reinforced Concrete Structures Based on DCE // Buildings. – 2025. – Vol. 15. – № 12. – P. 2096. – DOI 10.3390/buildings15122096.

REFERENCES

1. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. *Raschetnyye modeli silovogo soprotivleniya zhelezobetona* [Calculation Models of Reinforced Concrete Strength Resistance]. Moscow: ASV Publishing House, 2004. 472 p. (In Russian).
2. Golyshev A.B., Kolchunov V.I. *Soprotivleniye zhelezobetona* [Resistance of Reinforced Concrete]. Kyiv: Osnova, 2009. 432 p. (In Russian).
3. Golyshev A.B., Kolchunov V.I., Yakovenko I.A. *Soprotivleniye zhelezobetonnykh konstruksiy, zdaniy i sooruzheniy, vozvodimyykh v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh* [Resistance of Reinforced Concrete Structures, Buildings and Constructions Erected in Complex Engineering-Geological Conditions: Monograph]. Kyiv: Talkom, 2015. 371 p. (In Russian).
4. Karpenko N.I. *Obshchiye modeli mekhaniki zhelezobetona* [General Models of Reinforced Concrete Mechanics]. Moscow: Stroyizdat, 1996. 410 p. (In Russian).
5. Karpenko S.N. O postroyenii obshchego rascheta zhelezobetonnykh ploskikh konstruksiy v konechnykh prirashcheniyakh [On the Construction of a General Calculation of Reinforced Concrete Plane Structures in Finite Increments]. *Beton i Zhelezobeton*, 2005, no. 3, pp. 22–26. (In Russian).
6. Kolchunov V.I. Metod raschetnykh modeley soprotivleniya dlya zhelezobetona [The Method of Calculation Models of Resistance for Reinforced Concrete]. *Stroitel'naya Mekhanika Inzhenernykh Konstruksiy i Sooruzheniy*, 2023, vol. 19, no. 3, pp. 261–275. (In Russian).
7. Kolchunov V.I. The Effect of Reinforced Concrete for Crack Resistance and Rigidity Based on Mechanics of Fracture Under Bending. *Modern Problems in Construction: Selected Papers from MPC 2021*. Cham: Springer, 2022. (Lecture Notes in Civil Engineering; Vol. 287), pp. 79–97.
8. Savin S., Fedorova N., Korenkov P. Experimental Investigation of RC Frame with Sway Columns Under Corner Column Removal Scenario. *Modern Problems in Construction: Selected Papers from MPC 2022*. Cham: Springer, 2023. (Lecture Notes in Civil Engineering; Vol. 372), pp. 291–313.
9. Fedorov V.S., Bashirov Kh.Z., Kolchunov V.I. Elementy teorii rascheta zhelezobetonnykh sostavnykh konstruksiy [Elements of the Theory of Calculation of Reinforced Concrete Composite Structures]. *Academia. Arkhitektura i Stroitel'stvo*, 2014, no. 2, pp. 116–118. (In Russian).
10. Iakovenko I., Kolchunov V.I. The development of fracture mechanics hypotheses applicable to the calculation of reinforced concrete structures for the second group of limit states. *Journal of Applied Engineering Science*, 2017, vol. 15, no. 3, pp. 366–375. DOI: 10.5937/jaes15-14662.
11. Dem'yanov A.I., Salnikov A.S. The estimation of spatial cracks formation in reinforced concrete structures under the action torsion with bending. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 365, no. 5, p. 052019.
12. Kumpyak O.G., Galyautdinov Z.R., Galyautdinov D.R. Vliyaniye rasporya na prochnost' zhelezobetonnykh balok na podatlivykh oporakh pri kratkovremennom dinamicheskom nagruzhenii [Influence of Thrust on the Strength of Reinforced Concrete Beams on Flexible Supports Under Short-Term Dynamic Loading]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Stroitel'stvo*, 2023, no. 1 (769), pp. 5–16. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-769-1-5-16. (In Russian).
13. Kumpyak O., Galyautdinov Z., Galyautdinov D., Rakhimova T. Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Beams on Yielding Supports. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2022, vol. 170, pp. 303–312. DOI: 10.1007/978-3-030-79983-0_28.
14. Koyankin A.A., Mitasov V.M. Raschet sborno-monolitnogo izgibayemogo elementa po deformatsiyam i treshchinostoykosti [Calculation of a Precast-Monolithic Bending Element by Deformations and Crack Resistance]. *Vestnik Sibirskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya*, 2023, no. 2 (65), pp. 48–54. DOI: 10.52170/1815-9265_2023_65_48. (In Russian).
15. Mitasov V.M., Adishchev V.V. O primenenii energeticheskikh sootnosheniy v teorii soprotivleniya zhelezobetona [On the Application of Energy Ratios in the Theory of Reinforced Concrete Resistance]. *Izvestiya Vuzov. Stroitel'stvo i Arkhitektura*, 1990, no. 4, pp. 33–37. (In Russian).
16. Alexeytsev A.V. Poisk ratsional'nykh parametrov stroitel'nykh konstruksiy na osnove mnogokriterial'noy evolyutsionnoy optimizatsii [Search for Rational Parameters of Building Structures Based on Multi-Criteria Evolutionary Optimization]. *Promyshlennoye i Grazhdanskoye Stroitel'stvo*, 2019, no. 9, pp. 45–50. (In Russian).
17. Rahal K.N. Combined Torsion and Bending in Reinforced and Prestressed Concrete beams Using Simplified Method for Combined Stress-Resultants. *ACI Structural Journal*, 2007, vol. 104, no. 4, pp. 402–411.

18. Rahal K.N. Torsional strength of normal and high strength reinforced concrete beams. *Engineering Structures*, 2013, vol. 56, pp. 2206–2216.
19. Faron A., Rombach G.A. Simulation of crack growth in reinforced concrete beams using extended finite element method. *Engineering Failure Analysis*, 2020, vol. 116, p. 104698.
20. Fu Q.-L., Tan L., Long B., Kang S.-B. Numerical Investigations of Progressive Collapse Behaviour of Multi-Storey Reinforced Concrete Frames. *Buildings*, 2023, vol. 13, no. 2, p. 533. DOI: 10.3390/buildings13020533.
21. Rahal K.N. A unified approach to shear and torsion in reinforced concrete. *Structural Engineering and Mechanics*, 2021, vol. 77, no. 5, pp. 691–703. DOI: 10.12989/sem.2021.77.5.691.
22. Rodevich V.V., Arzamastsev S.A. K raschetu zhelezobetonnykh elementov na izgib s krushcheniyem [On the Calculation of Reinforced Concrete Elements for Bending with Torsion]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Stroitel'stvo*, 2015, no. 9, pp. 99–109. (In Russian).
23. Thomas F.G. Cracking in reinforced concrete. *The Structural Engineer*, 1936, vol. 14, no. 8, pp. 298–320.
24. Tan E.L., Varsani H., Liao F. Experimental study on demountable steel-concrete connectors subjected to combined shear and tension. *Engineering Structures*, 2019, vol. 183, pp. 110–123.
25. Kolchunov V.I. Model' rascheta parametrov predel'nykh sostoyaniy zhelezobetonnykh konstruktsiy [Model for Calculating Limit State Parameters of Reinforced Concrete Structures]. *Stroitel'stvo i Rekonstruktsiya*, 2025, no. 2 (118), pp. 4–13. DOI: 10.33979/2073-7416-2025-118-2-4-13. (In Russian).
26. Kolchunov V.I., Fedorova N.V., Savin S.Y., Moskovtseva V.S. Analytical Model of Crack Opening in Reinforced Concrete Structures Based on DCE. *Buildings*, 2025, vol. 15, no. 12, p. 2096. DOI: 10.3390/buildings15122096.

Информация об авторах:

Колчунов Владимир Иванович

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия, Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры инженерной графики и компьютерного моделирования. Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия, ведущий научный сотрудник. E-mail: vlik52@mail.ru

Information about authors:

Kolchunov Vladimir Iv.

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

Статья поступила в редакцию 18.11.2025
Одобрена после рецензирования 21.11.2025
Принята к публикации 01.12.2025

The article was submitted 18.11.2025
Approved after reviewing 21.11.2025
Accepted for publication 01.12.2025

М.Б. МАРИНИЧЕВ¹, П.А. ЛЯШЕНКО¹, В.В. ДЕНИСЕНКО²¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия²ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар, Россия

МЕХАНИЗМ ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТА ПРИ КОМПРЕССИОННОМ СЖАТИИ ПРОБЫ

Аннотация. Деформации пробы глинистого грунта являются следствием сдвигов по поверхностям скольжения. Фронт поверхности скольжения, перемещаясь в нагружаемом грунтовом теле, тормозится на деформационных неоднородностях. Преодоление упругого сопротивления на них происходит со скачком перемещения. Перемещения на группе деформационных неоднородностей кооперативно проявляются в виде скачка осадки пробы грунта при компрессионном сжатии. Деформационные неоднородности представлены, в рамках 2-х компонентной модели деформации, наиболее крупными жёсткими включениями в матрице глинистых частиц и микроагрегатов. Показаны схематично связь перемещения поверхности скольжения с деформациями сжатия пробы, механизм скачкообразности осадки и цикличности скорости осадки. Эффект скачкообразности осадки проявляется как при нагружении пробы, так и при ползучести. Преодоление вязкого трения в глинистой матрице и упругого сопротивления на деформационных неоднородностях вызывает отклонение физической поверхности скольжения от поверхности максимальных касательных напряжений, что создаёт эффект внутреннего трения.

Ключевые слова: деформационная неоднородность, деформация, напряжение, поверхность скольжения, микроагрегат, скорость деформации, ползучесть, скачок скорости.

M.B. MARINICHEV¹, P.A. LYASHENKO¹, V.V. DENISENKO²¹Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation²Kuban State Technological University, Krasnodar, Russian Federation

DETERMINATION OF SOIL CREEP DEFORMATIONS

Abstract. Deformations of a clay soil sample are a consequence of shearing along sliding surfaces. The sliding surface front, moving in the loaded soil body, is slowed down by deformation heterogeneities. Overcoming the elastic resistance on them occurs with a displacement jump. Displacements on a group of deformation heterogeneities cooperatively manifest themselves in the form of a jump in the soil sample's settlement under compression. Deformational heterogeneities are represented, within the framework of a 2-component deformation model, by the largest rigid inclusions in the matrix of clay particles and microaggregates. The schematic diagram shows the relationship between the displacement of the sliding surface and the compression deformations of the sample, as well as the mechanism of stepwise settlement and the cyclicity of the settlement rate. The effect of stepwise settlement is observed both during the loading of the sample and during creep. Overcoming viscous friction in the clay matrix and elastic resistance on deformation heterogeneities causes the physical sliding surface to deviate from the surface of maximum tangential stresses, which creates the effect of internal friction.

Keywords: deformation heterogeneities, deformation, stress, sliding surface, microaggregate, settlement rate, creep, velocity jump.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цытович Н.А., Зарецкий Ю.К., Малышев М.В. и др. Прогноз скорости осадок оснований сооружений (консолидация и ползучесть многофазных грунтов). М.: Стройиздат, 1967. 239 с.
2. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: Высш. шк., 1983. 288 с.
3. Вялов С.С. Кинетическая теория деформирования грунтов // Тр. второго Всесоюз. симп. по реологии грунтов. Ереван: Изд-во Ереванского ун-та, 1976. С. 22-40.
4. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов (Основные компоненты грунта и их взаимодействие). М.: Стройиздат, 1973. 375 с.
5. Малышев М.В. Прочность грунтов и устойчивость оснований сооружений. М.: Стройиздат, 1980. 136 с.
6. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. М.: ГЕОС, 2013. 576 с.
7. Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы / Под ред. акад. Е.М. Сергеева. М.: Недра, 1985. 288 с.
8. Покровский Г.И. Исследования по физике грунтов. М.-Л.: Главная редакция строительной литературы, 1937.
9. Тер-Степанян Г.И. Теория ползучести глины при сдвиге и её экспериментальное подтверждение // Тр. Всесоюз. симпози. по реологии грунтов. Ереван: Изд-во Ереванского ун-та, 1976. С. 74-97.
10. Yang A., Liu T., Zhang H.*, Zhang B. A study on the creep characteristics of gassy clay mixed with silt // *Applied Sciences (Basel)*. 2025. Vol. 15, № 9. Pp. 5106. DOI: 10.3390/app15095106.
11. Zhou F., Wang L., Liu H. A fractional elasto-viscoplastic model for describing creep behavior of soft soil // *Acta Geotechnica*. 2021. Vol. 16, № 1. Pp. 67-76. DOI: 10.1007/s11440-020-01008-5.
12. Мирзоев К.М., Николаев А.В. Скачкообразность пластических деформаций и возможности управляемого снятия накопленных напряжений // *Геофизические исследования*. 2015. Т. 16. № 3. С. 12-30.
13. Sharafutdinov R. F. Laboratory and in-situ investigations of deviatoric creep in overconsolidated clay soils // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2025. Vol. 62. Pp. 25-33. DOI: 10.1007/s11204-025-10024-0.
14. Денисов Н.Я. Некоторые особенности деформаций глинистых пород // *Природа прочности и деформаций грунтов*. М.: Стройиздат, 1972. С. 85-89.
15. Han J., Yin Z.Y., Dano C. et al. Cyclic and creep combination effects on the long-term undrained behavior of overconsolidated clay // *Acta Geotechnica*. 2021. Vol. 16, № 4. Pp. 1027-1041. DOI: 10.1007/s11440-020-01078-5.
16. Olek B.S. Experimental insights into consolidation rates during one-dimensional loading with special reference to excess pore water pressure // *Acta Geotechnica*. 2020. Vol. 15, № 12. Pp. 3571-3591. DOI: 10.1007/s11440-020-01042-3.
17. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Физика почвы: монография. М.: Изд-во Наука, 1967. 583 с.
18. Xue K., Wang S., Hu Y. et al. Creep behavior of red-clay under triaxial compression condition // *Frontiers in Earth Science*. 2019. Vol. 7. P. 345. DOI: 10.3389/feart.2019.00345.
19. Mohammad Rezania M., Bagheri M., Mousavi Nezhad M. Creep and consolidation of a stiff clay under saturated and unsaturated conditions // *Canadian Geotechnical Journal*. 2020. Vol. 57, № 5. Pp. 728-741. DOI: 10.1139/cgj-2018-0398.
20. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Влияние процесса упрочнения на прочность глинистого грунта при режимном трехосном нагружении // *Известия КГСАУ*, 2017, № 1(39) С. 145-152.
21. Yin Q., Zhao Y., Gong W. et al. A fractal order creep-damage constitutive model of silty clay // *Acta Geotechnica*. 2023. Vol. 18, № 12. Pp. 3997-4016. DOI: 10.1007/s11440-023-01815-6.
22. Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. Испытания грунта и расчёты основания фундамента: монография. Краснодар: КубГАУ, 2025. 152 с.
23. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов. М.: Изд-во АСВ, 2005. 488 с.
24. Денисенко В.В., Ляшенко П.А. Совершенствование метода компрессионных испытаний грунтов постоянно возрастающей нагрузкой: монография. Краснодар: Изд-во КубГТУ, 2017. 173 с.

REFERENCES

1. Tsytovich N.A., Zaretsky Yu.K., Malyshev M.V., et al. *Forecast of settlement rate of foundations of structures (consolidation and creep of multiphase soils)*. Moscow: Stroyizdat, 1967. 239 p.
2. Tsytovich N.A. *Soil mechanics*. Moscow: Vysshaya Shkola, 1983. 288 p.
3. Vyalov S.S. Kinetic theory of soil deformation. *Proceedings of the Second All-Union Symposium on Soil Rheology*. Yerevan: Yerevan University Press, 1976. Pp. 22-40.
4. Goldstein M.N. *Mechanical properties of soils (Main components of soil and their interaction)*. Moscow: Stroyizdat, 1973. 375 p.
5. Malyshev M.V. *Soil strength and stability of building foundations*. Moscow: Stroyizdat, 1980. 136 p.
6. Osipov V.I., Sokolov V.N. *Clays and their properties*. Moscow: GEOS, 2013. 576 p.

7. Sergeev E.M. (Ed.) *Theoretical foundations of engineering geology. Physical and chemical foundations*. Moscow: Nedra, 1985. 288 p.
8. Pokrovsky G.I. *Research in soil physics*. Moscow-Leningrad: Main editorial office of construction literature, 1937.
9. Ter-Stepanyan G.I. Theory of clay creep under shear and its experimental confirmation. *Proceedings of the All-Union Symposium on Soil Rheology*. Yerevan: Yerevan University Press, 1976. Pp. 74-97.
10. Yang A., Liu T., Zhang H., Zhang B. A study on the creep characteristics of gassy clay mixed with silt. *Applied Sciences (Basel)*. 2025. Vol. 15. No. 9. P. 5106. DOI: 10.3390/app15095106.
11. Zhou F., Wang L., Liu H. A fractional elasto-viscoplastic model for describing creep behavior of soft soil. *Acta Geotechnica*. 2021. Vol. 16. No. 1. Pp. 67-76. DOI: 10.1007/s11440-020-01008-5.
12. Mirzoev K.M., Nikolaev A.V. Jump-like nature of plastic deformations and possibilities of controlled removal of accumulated stresses. *Geophysical research*. 2015. Vol. 16. No. 3. Pp. 12-30.
13. Sharafutdinov R.F. Laboratory and in-situ investigations of deviatoric creep in overconsolidated clay soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2025. Vol. 62. Pp. 25-33. DOI: 10.1007/s11204-025-10024-0.
14. Denisov N.Ya. Some features of deformations of clay rocks. *The nature of strength and deformations of soils*. Moscow: Stroyizdat, 1972. Pp. 85-89.
15. Han J., Yin Z.Y., Dano C. et al. Cyclic and creep combination effects on the long-term undrained behavior of overconsolidated clay. *Acta Geotechnica*. 2021. Vol. 16. No. 4. Pp. 1027-1041. DOI: 10.1007/s11440-020-01078-5.
16. Olek B.S. Experimental insights into consolidation rates during one-dimensional loading with special reference to excess pore water pressure. *Acta Geotechnica*. 2020. Vol. 15. No. 12. Pp. 3571-3591. DOI: 10.1007/s11440-020-01042-3.
17. Nerpin S.V., Chudnovsky A.F. *Soil Physics: monograph*. Moscow: Nauka Publishing House, 1967. 583 p.
18. Xue K., Wang S., Hu Y. et al. Creep behavior of red-clay under triaxial compression condition. *Frontiers in Earth Science*. 2019. Vol. 7. P. 345. DOI: 10.3389/feart.2019.00345.
19. Mohammad Rezania M., Bagheri M., Mousavi Nezhad M. Creep and consolidation of a stiff clay under saturated and unsaturated conditions. *Canadian Geotechnical Journal*. 2020. Vol. 57. No. 5. Pp. 728-741. DOI: 10.1139/cgj-2018-0398.
20. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Influence of the hardening process on the strength of clay soil under regime triaxial loading. *Izvestiya KGS AU*. 2017. No. 1(39). Pp. 145-152.
21. Yin Q., Zhao Y., Gong W. et al. A fractal order creep-damage constitutive model of silty clay. *Acta Geotechnica*. 2023. Vol. 18. No. 12. Pp. 3997-4016. DOI: 10.1007/s11440-023-01815-6.
22. Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. *Soil testing and foundation base calculations: monograph*. Krasnodar: KubSAU, 2025. 152 p.
23. Ter-Martirosyan Z.G. *Soil mechanics*. Moscow: ASV Publishing House, 2005. 488 p.
24. Denisenko V.V., Lyashenko P.A. *Improving the method of compression testing of soils with constantly increasing load: monograph*. Krasnodar: KubSTU Publishing House, 2017. 173 p.

Информация об авторах:

Мариничев Максим Борисович

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры оснований и фундаментов.
E-mail: marinichev@list.ru

Ляшенко Павел Алексеевич

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры оснований и фундаментов.
E-mail: lyseich1@yandex.ru

Денисенко Виктор Викторович

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар, Россия, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры кадастра и геоинженерии.
E-mail: denvivi@yandex.ru

Information about authors:

Marinichev Maxim B.

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, Russia,
doctor of technical sciences, associate professor, professor of the department of foundations and foundations.
E-mail: marinichev@list.ru

Lyashenko Pavel Al.

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor, professor of the department of foundations and foundations.
E-mail: lyseich1@yandex.ru

Denisenko Viktor V.

Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of cadastre and
geoengineering.
E-mail: denvivi@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 10.10.2025
Одобрена после рецензирования 09.11.2025
Принята к публикации 11.11.2025

The article was submitted 10.10.2025
Approved after reviewing 09.11.2025
Accepted for publication 11.11.2025

С.Ю. САВИН¹, А.А. ЛИЗОГУБ²¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия²Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь

ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПРИОПОРНЫХ ЗОН РИГЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАМНЫХ КАРКАСОВ В ЗАПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЯХ

Аннотация: В современных условиях возрастает риск аварийных воздействий на здания, что делает традиционные стратегии проектирования, основанные на исключении таких воздействий или проектировании ключевых элементов, недостаточно эффективными и экономически неоправданными. Наиболее перспективным подходом является обеспечение живучести конструкций путем ограничения масштабов обрушения после начального локального разрушения. Целью исследования является разработка расчетной модели сопротивления приопорного участка ригеля железобетонного рамного каркаса здания при многоуровневом деформировании в предельном состоянии, возникающем в результате аварийной ситуации. Приводится обоснование выбора физической модели сопротивления в виде конструктивного узла с приопорными участками ригелей и колонн. Разработана расчетная модель сопротивления приопорных участков ригелей железобетонного рамного каркаса здания при многоуровневом деформировании в предельном состоянии, возникающем в результате аварийной ситуации. Получены аналитические выражения для характерных точек диаграммы «Момент – угол поворота в пластическом шарнире» при работе конструкций перекрытия над местом начального локального разрушения по изгибной и арочной схемам, а также диаграммы «Продольная сила – удлинение» при работе по цепной схеме. Предложенный подход позволяет оценить несущую способность железобетонных каркасов в предельных состояниях, возникающих после аварийного воздействия. Полученные результаты могут быть использованы для практического расчета и проектирования конструкций, направленного на повышение их живучести.

Ключевые слова: живучесть, прогрессирующее обрушение, арочная стадия, цепная стадия, железобетон, каркас, узел

S.Y. SAVIN¹, A.A. LIZAHUB²¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia²Brest State Technical University, Brest, Belarus

MULTI-STAGE DEFORMATION OF PLASTIC HINGES IN RC FRAME BEAMS AT ACCIDENTAL ACTIONS

Abstract. The risk of accidental damage to buildings is currently increasing. This makes traditional design strategies, which focus on eliminating such impacts or designing key elements, ineffective and economically unreasonable. The most promising approach is to ensure the robustness of structures by limiting the extent of collapse after initial local failure. The goal of this study is to develop a calculation model for the resistance of a beam support section of a reinforced concrete frame under multi-level deformation in an accidental situation. The rationale for selecting a physical resistance model in the form of a structural node with support sections of beams and columns is explained. A calculation model has been developed to determine the resistance of support sections of beams in a reinforced concrete frame building under multi-level deformation in an extreme state resulting from an accidental situation. Analytical expressions have been obtained for the characteristic points of the "moment-rotation angle in a plastic hinge" diagram for flexural and compressive arch action, as well as for the "axial force-elongation" diagram for tensile catenary action.

The proposed approach enables the evaluation of the load-bearing capacity of reinforced concrete frames under extreme conditions resulting from accidental events. The results of the study can be used to design structures that are more robust.

Keywords: *robustness, progressive collapse, compressive arch action, tensile catenary action, reinforced concrete, frame, joint*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колчунов В.И., Ильющенко Т.А., Федорова Н.В., Савин С.Ю., Тур В.В., Лизогуб А.А. Живучесть конструктивных систем зданий и сооружений: аналитический обзор исследований // Строительство и реконструкция. 2024;(3):31-71. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2024-113-3-31-71>
2. Тамразян А.Г. Концептуальные подходы к оценке живучести строительных конструкций, зданий и сооружений // Железобетонные конструкции. 2023;3(3):62-74. <https://doi.org/10.22227/2949-1622.2023.3.62-74>
3. Травуш В. И., Колчунов В. И., Ключева Н. В. Некоторые направления развития теории живучести конструктивных систем зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 3. С. 4–11.
4. Лизогуб А.А., Тур А.В., Тур В.В. Вероятностный подход к оценке живучести конструктивных систем из сборного и монолитного железобетона // Строительство и реконструкция. 2023;(4):93-105. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-108-4-93-105>
5. Савин С.Ю. Уровни напряженно-деформированного состояния конструкций железобетонных рам при аварийных воздействиях // Известия вузов. Строительство. 2025. № 6. С. 5–21. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2025-798-6-5-21>.
6. Pham A. T., Tan K. H. Experimental study on dynamic responses of reinforced concrete frames under sudden column removal applying concentrated loading // Eng Struct. 2017. Т. 139. Pp. 31–45. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.02.002>
7. Pham A.T., Brennei, C., Roller C., Tan, K. H. Blast-induced dynamic responses of reinforced concrete structures under progressive collapse // Magazine of Concrete Research. 2022. Т. 74, № 16. Pp. 850–863. <https://dx.doi.org/10.1680/jmacr.21.00115>
8. Wang S., Peng J., Kang S.-B. Evaluation of compressive arch action of reinforced concrete beams and development of design method // Eng Struct. 2019. Т. 191. Pp. 479–492. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.04.083>
9. Bao Y., Tan K. H. Analytical approach and design method for evaluation of compressive arch action of precast concrete beams // Eng Struct. Elsevier Ltd, 2023. Т. 280. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.04.083>
10. Almusallam T. et al. ElsanadedyShow all 6 authorsH. AbbasH. AbbasDevelopment limitations of compressive arch and catenary actions in reinforced concrete special moment resisting frames under column-loss scenarios // Structure and Infrastructure Engineering. 2020. Т. 16, № 12. Pp. 1616–1634. <https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1719166>
11. Tao Y., Huang Y., Yi W. Analytical model for compressive arch action in unbonded prestressed concrete beam-column subassemblages under a column-loss scenario // Eng Struct. 2022. Т. 273. С. 115090. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115090>
12. Kolchunov V.I. Deplanation hypotheses for angular deformations in reinforced concrete structures under combined torsion and bending // Building and reconstruction. 2022. Т. 100, № 2. Pp. 3–12. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-100-2-3-12>
13. Колчунов В.И. Метод расчетных моделей сопротивления для железобетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2023. Т. 19, № 3. С. 261–275. <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2023-19-3-261-275>
14. Колчунов В. И., Федоров В. С. Понятийная иерархия моделей в теории сопротивления строительных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2020. С. 16–23. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.08.16-23>
15. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Расчетные модели сопротивления. М.: Издательство АСВ, 2004. 472 с.
16. Trekin, N., Kodysh, E., Shmakov, S., Terekhov, T., & Kudyakov, K. (2021). Determination of the criteria of deformation in a special limiting state // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. 17(1). 108–116. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2021-17-1-108-116>
17. Trekin N. N., Kodysh E. N. Special Limit Condition of Reinforced Concrete Structures and Its Normalization // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering], 2020, no. 5, pp. 4-9. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.05.04-09>
18. UFC. UFC 4-023-03. Design of Buildings To Resist Progressive Collapse // Design of Buildings To Resist Progressive Collapse. 2016. № November. С. 34–37.

19. Kolchunov V.I., Fedorova N.V., Savin S.Y., Kaydas P.A. Progressive Collapse Behavior of a Precast Reinforced Concrete Frame System with Layered Beams // *Buildings* 2024, 14, 1776. <https://doi.org/10.3390/buildings14061776>
20. Kolchunov V. I., Moskovtseva V. S. Robustness of reinforced concrete frames with elements experiencing bending with torsion // *Eng Struct.* 2024. T. 314. 118309. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.118309>
21. Adam J. M. et al. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century // *Eng Struct.* Elsevier, 2018. T. 173, № March. С. 122–149. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.082>
22. Adam J. M. и др. Dynamic performance of a real-scale reinforced concrete building test under a corner-column failure scenario // *Eng Struct.* 2020. T. 210. С. 110414. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110414>
23. Savin S. Yu. Stages of Resistance of Reinforced Concrete Frames in Accidental Design Situation // *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings.* 2025. T. 21, № 4. С. 321–333. <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2025-21-4-321-333>
24. СП 63.13330.2018 "СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М.: Минстрой РФ, 2020. 150 с.
25. FIB Model Code 2010. CEB and FIP, 2011.
26. Тур В.В., Тур А.В., Лизогуб А.А. Проверка живучести конструктивных систем из сборного железобетона по методу энергетического баланса // *Вестник МГСУ.* 2021. № 8. С. 1015–1033. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.8.1015-1033>

REFERENCES

1. Kolchunov V.I., Iliushchenko T.A., Fedorova N.V., Savin S.Y., Tur V.V., Lizahub A.A. Structural robustness: an analytical review. *Building and Reconstruction.* 2024;(3):31-71. (In Russ.) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2024-113-3-31-71>
2. Tamrazyan A.G. Conceptual Approaches to Robustness Assessment of Building Structures, Buildings and Facilities. *Reinforced concrete structures.* 2023;3(3):62-74. (In Russ.) <https://doi.org/10.22227/2949-1622.2023.3.62-74>
3. Travush V.I., Kolchunov V.I., Klyueva N.V. Some directions of development of survivability theory of structural systems of buildings and structures. *Industrial and civil engineering.* 2015. No. 3. pp. 4–11.
4. Lizahub A.A., Tur A.V., Tur V.V. Probabilistic approach for assessing the robustness of structural systems made of precast and monolithic reinforced concrete. *Building and Reconstruction.* 2023;(4):93-105. (In Russ.) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-108-4-93-105>
5. Savin S.Yu. Levels of stress-strain state of reinforced concrete frame structures under accidental impacts. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2025; (6): 5–21. (In Russ.). <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2025-798-6-5-21>.
6. Pham A. T., Tan K. H. Experimental study on dynamic responses of reinforced concrete frames under sudden column removal applying concentrated loading. *Eng Struct.* 2017. T. 139. Pp. 31–45. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.02.002>
7. Pham A.T., Brennei, C., Roller C., Tan, K. H. Blast-induced dynamic responses of reinforced concrete structures under progressive collapse. *Magazine of Concrete Research.* 2022. T. 74, № 16. Pp. 850–863. <https://dx.doi.org/10.1680/jmacr.21.00115>
8. Wang S., Peng J., Kang S.-B. Evaluation of compressive arch action of reinforced concrete beams and development of design method. *Eng Struct.* 2019. T. 191. С. 479–492. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.04.083>
9. Bao Y., Tan K. H. Analytical approach and design method for evaluation of compressive arch action of precast concrete beams. *Eng Struct.* 2023. T. 280. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.04.083>
10. Almusallam T. et al. ElsanadedyShow all 6 authorsH. AbbasH. AbbasDevelopment limitations of compressive arch and catenary actions in reinforced concrete special moment resisting frames under column-loss scenarios. *Structure and Infrastructure Engineering.* 2020. T. 16, № 12. Pp. 1616–1634. <https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1719166>
11. Tao Y., Huang Y., Yi W. Analytical model for compressive arch action in unbonded prestressed concrete beam-column subassemblages under a column-loss scenario. *Eng Struct.* 2022. T. 273. 115090. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115090>
12. Kolchunov V.I. Deplanation hypotheses for angular deformations in reinforced concrete structures under combined torsion and bending. *Building and reconstruction.* 2022. T. 100, № 2. Pp. 3–12. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-100-2-3-12>
13. Kolchunov V. I. Method of computational models of resistance for reinforced concrete // *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings.* 2023. T. 19, № 3. Pp. 261–275. <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2023-19-3-261-275>
14. Kolchunov V.I., Fedorov V.S. Conceptual hierarchy of models in the theory of resistance of building structures. *Industrial and civil engineering.* 2020. Pp. 16–23. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.08.16-23>
15. Bondarenko V. M., Kolchunov V.I. Design models of reinforced concrete structures resistance. Moscow: Publishing ASV, 2004. 472 p.

16. Trekin, N., Kodysh, E., Shmakov, S., Terekhov, T., & Kudyakov, K. (2021). Determination of the criteria of deformation in a special limiting state. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2021. 17(1). 108-116. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2021-17-1-108-116>
17. Trekin N. N., Kodysh E. N. Special Limit Condition of Reinforced Concrete Structures and Its Normalization. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]*, 2020, no. 5, pp. 4-9. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.05.04-09>
18. UFC. UFC 4-023-03. Design of Buildings To Resist Progressive Collapse // Design of Buildings To Resist Progressive Collapse. 2016. № November. C. 34–37.
19. Kolchunov V.I., Fedorova N.V., Savin S.Y., Kaydas P.A. Progressive Collapse Behavior of a Precast Reinforced Concrete Frame System with Layered Beams. *Buildings*. 2024, 14, 1776. <https://doi.org/10.3390/buildings14061776>
20. Kolchunov V. I., Moskovtseva V. S. Robustness of reinforced concrete frames with elements experiencing bending with torsion // *Eng Struct*. 2024. T. 314. 118309. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.118309>
21. Adam J. M. et al. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century. *Eng Struct*. Elsevier, 2018. T. 173, № March. C. 122–149. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.082>
22. Adam J. M. и др. Dynamic performance of a real-scale reinforced concrete building test under a corner-column failure scenario. *Eng Struct*. 2020. T. 210. C. 110414. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110414>
23. Savin S. Yu. Stages of Resistance of Reinforced Concrete Frames in Accidental Design Situation // *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2025. T. 21, № 4. C. 321–333. <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2025-21-4-321-333>
24. SP 63.13330.2018 "SNiP 52-01-2003 Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Moscow: Minstroy RF, 2020. 150 p.
25. FIB Model Code 2010. CEB and FIP, 2011.
26. Tur V. V., Tur A. V., Lizahub A. A. Checking of the robustness of precast structural systems based on the energy balance method. *Vestnik MGSU*. 2021. № 8. Pp. 1015–1033. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.8.1015-1033>

Информация об авторах:

Савин Сергей Юрьевич

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

Лизогуб Александр Александрович

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Беларусь,
м.т.н., младший научный сотрудник ОЛ «НИЦИС».
E-mail: p_332_14lizogub@mail.ru

Information about authors:

Savin Sergey Yu.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Candidate of Tech. Sc., associate professor of the department of Reinforced Concrete and Masonry Structures
E-mail: savinsyu@mgsu.ru

Aliaksandr Al. Lizahub

Brest State Technical University, Brest, Belarus,
master of eng. science, junior research fellow of BL «RCIC»
E-mail: p_332_14lizogub@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18.11.2025
Одобрена после рецензирования 21.11.2025
Принята к публикации 25.11.2025

The article was submitted 18.11.2025
Approved after reviewing 21.11.2025
Accepted for publication 25.11.2025

В.С. ФЕДОРОВ, В.Е. ЛЕВИТСКИЙ¹¹ Российский университет транспорта, Москва, Россия

СПЕЦИФИКА РЕАКЦИИ БЕТОНА НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Аннотация. Данная статья является второй в цикле статей, посвященных обобщению и анализу многочисленных опубликованных материалов по исследованию термомеханических свойств бетона при высокотемпературном воздействии. В этой статье приведен обзор опытных данных, касающиеся исследования свойств бетона при кратковременном нагреве и предпринята попытка анализа и структурирования результатов многочисленных, разноплановых испытаний, касающиеся исследования свойств бетона при кратковременном высокотемпературном нагреве. Рассмотрена физика процесса деформирования бетона при нагреве и его причины. Отражена зависимость получаемых характеристик от условий испытаний. Показаны основные наиболее значимые факторы, оказывающие влияние на прочностные и деформативные характеристики бетона при нагреве. Развита представления о механизмах термической деструкции и термосилового сопротивления бетона, подтвержденные специальными методами исследования бетона и его компонентов. Приводятся основные причины изменения прочностных и деформативных характеристик бетона при кратковременном высокотемпературном нагреве, при этом акцент сделан на выявление влияющих факторов и степени их влияния, а также на обобщение существующих трактовок деградиционных механизмов.

Ключевые слова: бетон, температура, прочность, модуль упругости, деформации, компоненты деформации, связь напряжение-деформации.

V.S. FEDOROV, V.E. LEVITSKY¹¹ Russian University of Transport, Moscow, Russia

SPECIFICITY OF CONCRETE RESPONSE TO HIGH TEMPERATURE

Abstract. This article is the second in a series devoted to summarizing and analyzing numerous published materials on the thermomechanical properties of concrete exposed to high temperatures. This article provides an overview of experimental data related to the study of concrete properties under short-term heating and attempts to analyze and structure the results of numerous, diverse tests related to the study of concrete properties under short-term high-temperature heating. The physics of concrete deformation during heating and its causes are discussed. The dependence of the obtained characteristics on test conditions is demonstrated. The key factors influencing the strength and deformation properties of concrete during heating are highlighted. Concepts regarding the mechanisms of thermal degradation and thermal resistance of concrete are developed, supported by specialized methods for studying concrete and its components. The main causes of changes in the strength and deformation properties of concrete during short-term high-temperature heating are presented, with an emphasis on identifying the influencing factors and their degree of influence, as well as summarizing existing interpretations of degradation mechanisms.

Keywords: concrete, temperature, strength, elastic modulus, deformation, strain components, stress-strain relationship.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. – М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.
2. Bazant Z.P., Xi Y. Drying Creep of Concrete: Constitutive Model and New Experiments Separating Its Mechanisms // *Materials and Structures*. 1994. Vol. 27. pp. 3-14.
3. Anderberg Y., Thelandersson S. Stress and Deformation Characteristics of Concrete: Part 2 - Experimental Investigation and Material Behavior Model. Bulletin 54. Lund Institute of Technology, Sweden. 1976. 85 p.
4. Malik M., Bhattacharyya S.K., Barai S.V. Thermal and mechanical properties of concrete and its constituents at elevated temperatures: A review // *Construction and Building Materials*. 2021. 270.121398.
5. Hager I. Behaviour of Cement Concrete at High Temperature // *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*. 2013. Vol. 61. No. 1. DOI: 10.2478/bpasts-2013-0013
6. Malhotra H.L. The Effect of Temperature on the Compressive Strength of Concrete // *Magazine of Concrete Research*. 1956. Vol. 8. No. 3. pp. 85-94.
7. Schneider U. Verhalten von Beton bei hohen Temperaturen (Behaviour of Concrete at High Temperatures). Heft 337 des Deutscher Ausschuss fur Stahlbeton. Wilhelm Ernst & Sohn, Munich, Germany, 1982.
8. Schneider U. Concrete at High Temperatures – a General Review // *Fire Safety Journal*. 1988. No. 13. pp. 55-68.
9. Van der Merwe J.E. Evaluation of Concrete Tensile Strength as a Function of Temperature // *Construction and Building Materials*. 2022. No. 329. 127179.
10. Khoury G.A. Compressive Strength of Concrete at High Temperatures: a Reassessment // *Magazine of Concrete Research*. 1992. Vol. 44. No. 161. pp. 291–309.
11. fib Bulletins No. 38: Fire design of concrete structures – materials, structures and modeling. State-of-art Report. 2007. 105 p.
12. Purkiss J.A., Long-Yuan Li. Fire Safety Engineering Design of Structures. 2013. CRC Press Publ., 3rd edition. 442 p.
13. Harmathy T.Z. Thermal Properties of Concrete at Elevated Temperatures // *Journal of Materials*. 1970. No. 5. Pp. 47-74.
14. Verbeck G., Copeland L.E. Some Physical and Chemical Aspects of High Pressure Steam Curing / Menzel Symposium on High Pressure Steam Curing. ACI SP-32. 1972. pp. 1-131.
15. Piasta J. Heat Deformation of Cement Phases and Microstructure of Cement Paste // *Materials and Structures*. 1989. Vol. 17. No. 102. pp. 415-420.
16. Kottas R., Seeberger J., Hisdorf H. Strength characteristics of concrete in the temperature range 20°C to 200°C / Paper H1/2. 5th SMIRT Int. Conference, Berlin, 1979.
17. Castellote M., Alonso C., Andrade C., Turrillasa X., Campoc J. Composition and Microstructural Changes of Cement Pastes Upon Heating, as Studied by Neutron Diffraction // *Cement and Concrete Research*. 2004. No. 34. pp. 1633-1644.
18. Quon D.H.H. Phase Changes in Concrete Exposed to Sustained High Temperatures / Division Report MRP/MSL 80-111(TR), Mineral Sciences Laboratories, CAANMET. Ottawa, Canada, 1980.
19. Harmathy T.Z., Allen L.W. Thermal Properties of Selected Masonry Unit Concretes // *Journal of American Concrete Institute*. 1973. No. 70. Pp. 132–142.
20. Phan L.T. Fire Performance of High-Strength Concrete: A Report of the State-of-the Art / NISTIR 5934. Building and Fire Research Laboratory. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland. 1996. 105 p.
21. Schneider U. Properties of Materials at High Temperatures – Concrete / RILEM Committee 44-PHT. Kassel Universität, Germany. 1985.
22. Fire Design of Concrete Structures – In Accordance With CEB/FIP Model Code 90 / Comité Euro International Du Beton. CEB Bulletin D'Information No. 208. Switzerland, July 1991.
23. Furumura F. Stress-strain Curve of Concrete at High Temperatures // *Transactions of the Architectural Institute of Japan*, Abstract No 7004. 1966. p. 686.
24. Purkiss J.A., Bali A. The transient behaviour of concrete at temperature up to 800°C / *Proceedings of the 10th Ibaasil*, Section 2/1. Hochschule fur Architektur und Bauwesen, Weimar. 1988. pp. 234–239.
25. Khoury G.A., Majorana C.E., Pesavento F., Schrefler B.A. Modelling of heated concrete // *Magazine of Concrete Research*. 2002. Vol. 54. No. 2. pp. 77-101.
26. Gawin D., Pesavento F., Schrefler B.A. Modelling of deformations of high strength concrete at elevated temperatures // *Materials and Structures*. 2004. Vol. 37. No. 268. pp. 218-236.
27. Bažant Z.P., Chern J.C. Concrete creep at variable humidity: constitutive law and mechanism // *Materials and Structures*. 1985. Vol. 18. No.103. pp. 1-20.

REFERENCES

1. Sheykin A.Ye., Chekhovskiy Yu.V., Brusser M.I. *Struktura i svoystva tsementnykh betonov* (Structure and properties of cement concrete). – M.: Stroyizdat, 1979. – 344 s.
2. Bazant Z.P., Xi Y. Drying Creep of Concrete: Constitutive Model and New Experiments Separating Its Mechanisms // *Materials and Structures*. 1994. Vol. 27. pp. 3-14.
3. Anderberg Y., Thelandersson S. Stress and Deformation Characteristics of Concrete: Part 2 - Experimental Investigation and Material Behavior Model. Bulletin 54. Lund Institute of Technology, Sweden. 1976. 85 p.
4. Malik M., Bhattacharyya S.K., Barai S.V. Thermal and mechanical properties of concrete and its constituents at elevated temperatures: A review // *Construction and Building Materials*. 2021. 270.121398.
5. Hager I. Behaviour of Cement Concrete at High Temperature // *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*. 2013. Vol. 61. No. 1. DOI: 10.2478/bpasts-2013-0013
6. Malhotra H.L. The Effect of Temperature on the Compressive Strength of Concrete // *Magazine of Concrete Research*. 1956. Vol. 8. No. 3. pp. 85-94.
7. Schneider U. Verhalten von Beton bei hohen Temperaturen (Behaviour of Concrete at High Temperatures). Heft 337 des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton. Wilhelm Ernst & Sohn, Munich, Germany, 1982.
8. Schneider U. Concrete at High Temperatures – a General Review // *Fire Safety Journal*. 1988. No. 13. pp. 55-68.
9. Van der Merwe J.E. Evaluation of Concrete Tensile Strength as a Function of Temperature // *Construction and Building Materials*. 2022. No. 329. 127179.
10. Khoury G.A. Compressive Strength of Concrete at High Temperatures: a Reassessment // *Magazine of Concrete Research*. 1992. Vol. 44. No. 161. pp. 291–309.
11. fib Bulletins No. 38: Fire design of concrete structures – materials, structures and modeling. State-of-art Report. 2007. 105 p.
12. Purkiss J.A., Long-Yuan Li. *Fire Safety Engineering Design of Structures*. 2013. CRC Press Publ., 3rd edition. 442 p.
13. Harmathy T.Z. Thermal Properties of Concrete at Elevated Temperatures // *Journal of Materials*. 1970. No. 5. Pp. 47-74.
14. Verbeck G., Copeland L.E. Some Physical and Chemical Aspects of High Pressure Steam Curing / Menzel Symposium on High Pressure Steam Curing. ACI SP-32. 1972. pp. 1-131.
15. Piasta J. Heat Deformation of Cement Phases and Microstructure of Cement Paste // *Materials and Structures*. 1989. Vol. 17. No. 102. pp. 415-420.
16. Kottas R., Seeburger J., Hisdorf H. Strength characteristics of concrete in the temperature range 20°C to 200°C / Paper H1/2. 5th SMIRT Int. Conference, Berlin, 1979.
17. Castellote M., Alonso C., Andrade C., Turrillasa X., Campoc J. Composition and Microstructural Changes of Cement Pastes Upon Heating, as Studied by Neutron Diffraction // *Cement and Concrete Research*. 2004. No. 34. pp. 1633-1644.
18. Quon D.H.H. Phase Changes in Concrete Exposed to Sustained High Temperatures / Division Report MRP/MSL 80-111(TR), Mineral Sciences Laboratories, CAANMET. Ottawa, Canada, 1980.
19. Harmathy T.Z., Allen L.W. Thermal Properties of Selected Masonry Unit Concretes // *Journal of American Concrete Institute*. 1973. No. 70. Pp. 132–142.
20. Phan L.T. Fire Performance of High-Strength Concrete: A Report of the State-of-the Art / NISTIR 5934. Building and Fire Research Laboratory. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland. 1996. 105 p.
21. Schneider U. Properties of Materials at High Temperatures – Concrete / RILEM Committee 44-PHT. Kassel Universität, Germany. 1985.
22. Fire Design of Concrete Structures – In Accordance With CEB/FIP Model Code 90 / Comité Euro International Du Beton. CEB Bulletin D'Information No. 208. Switzerland, July 1991.
23. Furamura F. Stress-strain Curve of Concrete at High Temperatures // *Transactions of the Architectural Institute of Japan*, Abstract No 7004. 1966. p. 686.
24. Purkiss J.A., Bali A. The transient behaviour of concrete at temperature up to 800°C / *Proceedings of the 10th Ibaasil*, Section 2/1. Hochschule für Architektur und Bauwesen, Weimar. 1988. pp. 234–239.
25. Khoury G.A. Majorana C.E., Pesavento F., Schrefler B.A. Modelling of heated concrete // *Magazine of Concrete Research*. 2002. Vol. 54. No. 2. pp. 77-101.
26. Gawin D., Pesavento F., Schrefler B.A. Modelling of deformations of high strength concrete at elevated temperatures // *Materials and Structures*. 2004. Vol. 37. No. 268. pp. 218-236.
27. Bazant Z.P., Chern J.C. Concrete creep at variable humidity: constitutive law and mechanism // *Materials and Structures*. 1985. Vol. 18. No.103. pp. 1-20.

Федоров Виктор Сергеевич

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», г. Москва, Россия,
академик Российской академии архитектуры и строительных наук, докт. техн. наук, проф., заведующий кафедрой
«Строительные конструкции, здания и сооружения»,
E-mail: fvs_skzs@mail.ru

Левитский Валерий Евгеньевич

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

Information about authors:

Fedorov Viktor S.

Russian University of Transport, Moscow, Russia,
Academician of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of Building Construction, Buildings and Structures
E-mail: fvs_skzs@mail.ru

Levitsky Valery E.

Russian University of Transport, Moscow, Russia,
candidate in tech. sc., docent, associated prof. of the dep. of Building Construction, Buildings and Structures,
E-mail: dobriy_vecher@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18.11.2025
Одобрена после рецензирования 21.11.2025
Принята к публикации 01.12.2025

The article was submitted 18.11.2025
Approved after reviewing 21.11.2025
Accepted for publication 01.12.2025

О.В. ВОЛИЧЕНКО^{1,2,3}, И.П. ЧЕЧЕЛЬ³

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

²ФГАОУ ВО «Российский университет Дружбы народов им. Патриса Лумумбы (РУДН); г. Москва, Россия

³ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)»; г. Белгород, Россия

РЕНОВАЦИЯ ЗДАНИЙ ШКОЛ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПОЛНОГО ДНЯ (НА ПРИМЕРЕ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ)

Аннотация. В работе рассматриваются здания общеобразовательных школ действующего школьного фонда Белгородской области, нуждающиеся в реновации для формирования на их основе современных полудневных образовательных комплексов нового поколения. Расцвет школьное строительство в регионе получило в 1960-1980 годах, в это время особенно интенсивно строились новые школы на сельских территориях. Сегодня здания морально устарели, за последнее время часть из них была подвергнута модернизации или капитально отремонтирована, однако многие продолжают работать в прежнем виде, что не соответствует предъявляемым сегодня требованиям к организации образовательной деятельности, включая внеурочную составляющую. Материально-техническая база зданий школ и их устаревшая пространственная среда не располагают необходимыми условиями и ресурсом площадей для расширения внеурочной функции. Существует противоречие между запросом потребителей к содержательной части и условиям получения основных и дополнительных образовательных услуг в школе и ограниченными возможностями архитектурно-планировочной структуры действующих школьных зданий. Это противоречие является характерной проблемой как для Белгородской области, так и для других регионов РФ — необходим переход от монофункциональной школы к многофункциональному образовательному комплексу полного дня. С целью решения проблемы изучены приемы и методы реновации морально устаревших зданий школ, определены основные тенденции в проектировании и строительстве школ (на основе мирового опыта). Анализ существующей типологии региональных школ позволил выявить основные композиционные схемы зданий, необходимые для проектирования дополнительных блок-модулей внеурочных центров и введения их в структуру новых комплексов при выполнении работ по реновации. Целесообразность внедрения альтернативных функций в монофункциональное здание школы обусловлена современными тенденциями в развитии архитектуры общеобразовательных зданий и комплексов полного дня и социологическими исследованиями, проведенными в рамках данной работы. К обсуждению предлагается разработанная с опорой на модульный подход и с учетом сложившейся типологии зданий регионального фонда, стратегия реновации школ в образовательные комплексы полного дня; предложен вариативный ряд, функциональная и архитектурно-планировочная организация блок-модулей внеурочных центров с использованием элементов устойчивой архитектуры; предложено экспериментальное проектное решение образовательного комплекса полного дня с блок-модулями внеурочных центров различной направленности. Стратегия реновации, предлагаемая авторами работы, позволит быстро и качественно видоизменить, и модернизировать действующие здания школ, что особенно важно в условиях утраты значительной части регионального фонда и представляет собой наиболее короткий путь для перехода от устаревшей к современной архитектуре образовательных комплексов нового поколения.

Ключевые слова: региональный фонд школьных зданий, стратегия реновации, модульный подход, блок-модуль, внеурочный центр, образовательный комплекс полного дня.

O.V. VOLICHENKO^{1,2}, I.P. CHECHEL³

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

² P. Lumumba Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University); Moscow, Russia

³ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov)", Belgorod, Russia

RENOVATION OF SCHOOL BUILDINGS TO FULL-TIME EDUCATIONAL COMPLEXES (USING THE EXAMPLE OF THE BELGOROD REGION)

Abstract. The paper considers the buildings of secondary schools of the current school fund of the Belgorod region, which need renovation to form modern full-day educational complexes of a new generation on their basis. School construction in the region flourished in the 1960s and 1980s, during which time new schools were built especially intensively in rural areas. Today, the buildings are outdated, and recently some of them have been modernized or overhauled, but many continue to operate as they were, which does not meet the current requirements for organizing educational activities, including extracurricular activities. The material and technical base of school buildings and their outdated spatial environment do not have the necessary conditions and space resources to expand the extracurricular function. There is a contradiction between consumers' demands for the content and conditions for obtaining basic and additional educational services at school and the limited possibilities of the architectural and planning structure of existing school buildings. This contradiction is a characteristic problem both for the Belgorod region and for other regions of the Russian Federation — a transition from a monofunctional school to a multifunctional full-time educational complex is necessary. In order to solve the problem, techniques and methods of renovation of obsolete school buildings have been studied, and the main trends in school design and construction have been identified (based on international experience). The analysis of the existing typology of regional schools made it possible to identify the main compositional schemes of buildings necessary for the design of additional block modules of extracurricular centers and their introduction into the structure of new complexes during renovation work. The expediency of introducing alternative functions into a monofunctional school building is due to current trends in the development of architecture in general education buildings and full-time complexes and sociological research conducted within the framework of this work. A strategy for the renovation of schools into full-day educational complexes, based on a modular approach and taking into account the established typology of buildings of the regional fund, is proposed for discussion; a variable range, functional and architectural planning organization of block modules of extracurricular centers using elements of sustainable architecture is proposed; an experimental design solution for a full-day educational complex with block modules is proposed extracurricular centers of various types. The renovation strategy proposed by the authors of the work will make it possible to quickly and efficiently modify and modernize existing school buildings, which is especially important in the context of the loss of a significant part of the regional fund and represents the shortest path for the transition from outdated to modern architecture of new-generation educational complexes.

Keywords: regional school building fund, renovation strategy, modular approach, block module, extracurricular center, full-day educational complex.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Региональный проект «Организация образовательной деятельности в общеобразовательных учреждениях Белгородской области в режиме «Школа полного дня» URL: <https://obr.belregion.ru/devatelnost/proekty/organizaciya-obrazovatelnoj-devatelnosti-v-obsheobrazovatelnyh-uchrezhdeniyah-belgorodskoj-oblasti-v/> (дата обращения: 26.04.2025).
2. Степанов В. И. Школьные здания. М., Стройиздат. 1975. 239 с.
3. Смирнов, В. В. Архитектурное проектирование зданий общеобразовательных школ: учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 270301 – архитектура Санкт-Петербурга: С.-Петерб. гос. архитектурно–строительный ун–т, 2006 . 59 с.
4. Пименова Е. В. Методические основы архитектурно–планировочной реконструкции школьного фонда: Исследования и рекомендации на примере города Ростова–на–Дону: автореферат дис....кандидата архитектуры: 18:00:02. Санкт–Петербург, 2003. 24 с.

5. Бенаи Х. А., Радионов Т. В. Совершенствование архитектурно градостроительной типологии зданий и сооружений, подлежащих реконструкции // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2019. № 2(136). С. 9-14. EDN HCIDKF.
6. Бенаи Х. А., Радионов Т. В. Современные научные и практические подходы в области архитектурно-градостроительной реконструкции жилых и общественных зданий и сооружений // Строитель Донбасса. 2019. № 1(6). С. 27-31. EDN NQFWBH.
7. Радионов Т. В., Откидач М. Ю. Современные направления развития архитектуры зданий и сооружений общеобразовательных школ, подлежащих реконструкции // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2021. № 2(148). С. 78-83.
8. Воличенко О. В., Огородников С. Н., Халиль И. Мобильная система для труднодоступных регионов // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. №2(46). С.76–86. DOI 10.22227/2311-1518.2024.2.76-86.
9. Ахмедов А. З. Модернизация школьных зданий на основе блока пристроек // АМІТ. 2017. №2 (39).
10. Чечель И. П., Галдин Р. Е., Нетикова А. Д. Блок-пристройка как инструмент создания центров дополнительного образования и индивидуализации учебных заведений // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова [Электронный ресурс]: Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, май 2024. Ч. 1. С. 42-47.
11. Fernandes A., Bacharel M., Lourenço P., Alegre A. Renovation of Modern Secondary School Buildings: Two Case Studies in Portugal // Metamorphosis. The Continuity of Change: Proc. of the 15th International DOCOMOMO Conference. Ljubljana, 2018. P. 352–358.
12. Bergman K. A School of Architecture Addition & Renovation: A Design Pertaining to Our Process of Education: Master's thesis. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, 1994. 113 p.
13. McLaughlin, J. Birr Community School – A Case Study in Retrofitting and Conserving Modern Architecture // Engineering Education for Sustainable Development Conference, 14-16 June. Cork, Ireland. – Cork: University College Cork, 2021.
14. Dovey K., Fisher K. Designing for adaptation: The school as socio-spatial assemblage // The Journal of Architecture. 2014. Vol. 19, № 1. DOI: 10.1080/13602365.2014.882376.
15. Manual for Planning and Construction of School Buildings. – Concord, NH: New Hampshire Department of Education, 2024. – 72 p.
16. Кучма В. Р., Степанова М. И. Гигиенические требования к современным архитектурно-планировочным решениям школьных зданий. Гигиена и санитария. 2021; 100 (9): 998–1003. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-998-1003>
17. Каганович Н. Н., Гриднева Е. С. Архитектурное проектирование общеобразовательной школы : учебное пособие / Н. Н. Каганович, Е. С. Гриднева ; — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2020. — 118 с.
18. Воличенко О. В., Вялых Р. Д. Методы экологического проектирования школ и детских садов // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2023. № 2. С. 81-97. DOI: 10.21869/2311-1518-2023-42-2-23-36
19. Воличенко О. В., Чечель И. П. Теоретическая модель образовательного комплекса полного дня / О. В. Воличенко, И. П. Чечель // Строительство и реконструкция. – 2025. – №5 (121) – С.87-108. – DOI: 10.33979/2073-7416-2025-121-5-87-108.
20. Чечель И.П. Архитектурно-планировочная структура сельского учебно-воспитательного комплекса – как основа современного образовательного комплекса полного дня // Международная молодежная научная конференция. Курск: ЗАО «Университетская книга», сентябрь 2024. Т. 3. С. 95 – 101.
21. Задвернюк Л. В. Проблемы реализации современной модели организации школьного пространства в архитектуре России // Ноэма (Архитектура. Урбанистика. Искусство). 2020. № 2(5). С. 125-139. EDN VYOOJW.
22. Воличенко, О. В. Влияние мейнстримов западного авангарда в архитектуре Центральной Азии // Архитектон: известия вузов. 2013. № 1(41). С. 3. EDN PXSQHF.

REFERENCES

1. Regional project "Organization of educational activities in educational institutions of the Belgorod region in the "Full-time school" [«Organizaciya obrazovatel'noj deyatel'nosti v obshheobrazovatel'ny'x uchrezhdeniyax Belgorodskoj oblasti v rezhime«Shkola polnogo dnya»] mode - URL: <https://obr.belregion.ru/deyatelnost/proekty/organizaciya-obrazovatelnoj-deyatelnosti-v-obshheobrazovatelnyh-uchrezhdeniyah-belgorodskoj-oblasti-v/> (date of access: 26/04/2025). — Text : electronic. (rus)
2. Stepanov V.I. School buildings [Shkol'ny'e zdaniya]. Moscow, Stroyizdat. 1975. 239 (rus)
3. Smirnov V. V. Architectural design of buildings of secondary schools [Arxitekturnoe proektirovanie zdaniy obshheobrazovatel'ny'x shkol] : a textbook for course and diploma design for students of specialty 270301 – architecture / V. V. Smirnov. – St. Petersburg: St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2006. – 59 p. – Text : direct. (rus)

4. Pimenova, E. V. Methodological foundations of architectural and planning reconstruction of the school fund: Research and recommendations on the example of the city of Rostov-on-Don [Metodicheskie osnovy` arxitekturno-planirovochnoj rekonstrukcii shkol'nogo fonda: Issledovaniya i rekomendacii na primere goroda Rostova-na-Donu] : abstract of the dissertation....Candidate of Architecture: 18:00:02 / Elena Valeryevna Pimenova; [Place of defense: St. Petersburg State University of Architecture. "He's building. university]. – St. Petersburg, 2003. – 24 p. –Text : direct. (rus)
5. Benai H. A., Radionov T.V. Improving the architectural and urban typology of buildings and structures to be reconstructed [Sovershenstvovanie arxitekturno gradostroitel'noj tipologii zdanij i sooruzhenij, podlehashhix rekonstrukcii] // Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture. 2019. No. 2(136). pp. 9-14. EDN HCIDKF. (rus)
6. Benai H. A., Radionov T.V. Modern scientific and practical approaches in the field of architectural and urban reconstruction of residential and public buildings and structures [Sovremennyye nauchny'e i prakticheskie podxody` v oblasti arxitekturno-gradostroitel'noj rekonstrukcii zhilyx i obshchestvennyx zdanij i sooruzhenij] // The builder of Donbass. 2019. No. 1(6). pp. 27-31. EDN NQFWBH. (rus)
7. Radionov T. V., Otkidach M.Yu. Modern trends in the development of architecture of buildings and structures of secondary schools subject to reconstruction [Sovremennyye napravleniya razvitiya arxitektury` zdanij i sooruzhenij obshheobrazovatel'nyx shkol, podlehashhix rekonstrukcii] // Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture. 2021. No. 2(148). pp. 78-83. (rus)
8. Volichenko O.V., Ogorodnikov S.N., Khalil I. Mobile system for remote regions [Mobil'naya sistema dlya trudnodostupnyx regionov] / Biospheric compatibility: man, region, technology. 2024. No. 2(46). pp.76-86 (rus)
9. Akhmedov A.Z. Modernization of school buildings based on block extensions [Modernizatsiya shkol'nyx zdanij na osnove blok pristoeck] // AMIT. 2017. №2 (39). (rus)
10. Chechel I.P., Galdin R.E., Netikova I.P. Block-extension as a tool for creating centers of additional education and individualization of educational institutions [Blok-pristrojka kak instrument sozdaniya centrov dopolnitel'nogo obrazovaniya i individualizacii uchebnyx zavedenij]. // International scientific and technical conference of young scientists of BSTU named after V.G. Shukhov [Electronic resource]: Belgorod: BSTU named after V.G. Shukhov, May 2024. - Part 1. –pp. 42-47. (rus)
11. Fernandes A., Bacharel M., Lourenço P., Alegre A. Renovation of Modern Secondary School Buildings: Two Case Studies in Portugal // Metamorphosis. The Continuity of Change: Proc. of the 15th International DOCOMOMO Conference. Ljubljana, 2018. P. 352–358.
12. Bergman K. A School of Architecture Addition & Renovation: A Design Pertaining to Our Process of Education: Master's thesis. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, 1994. 113 p.
13. McLaughlin, J. Birr Community School – A Case Study in Retrofitting and Conserving Modern Architecture // Engineering Education for Sustainable Development Conference, 14-16 June. Cork, Ireland. – Cork: University College Cork, 2021.
14. Dovey K., Fisher K. Designing for adaptation: The school as socio-spatial assemblage // The Journal of Architecture. 2014. Vol. 19, № 1. DOI: 10.1080/13602365.2014.882376.
15. Manual for Planning and Construction of School Buildings. – Concord, NH: New Hampshire Department of Education, 2024. – 72 p.
16. Kuchma V.R., Stepanova M.I. Hygienic requirements for modern architectural and planning solutions for school buildings. Hygiene and Sanitation. [Gigienicheskie trebovaniya k sovremennym arxitekturno-planirovochnym resheniyam shkol'nyx zdanij. Gigiena i sanitariya]. 2021; 100 (9): 998–1003. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-998-1003> (rus)
17. N.N.Kaganovich N.N., E.I.Gridneva E.I. Architectural design of secondary schools : textbook. manual / N.N. Kaganovich, E. N.I. Gridneva ; Yekaterinburg : Ural Publishing House. University, 2020.118 p.
18. O. V. Volichenko, R. D. Vyalykh. Methods of ecological design of schools and kindergartens // Biospheric compatibility: man, region, technology. 2023. No. 2. DOI: 10.21869/2311-1518-2023-42-2-23-36
19. Volichenko, O.V.; Chechel, I.P.; Theoretical Model of a Full-Day Educational Complex [Teoreticheskaya model` obrazovatel'nogo kompleksa polnogo dnya] / I.P. Chechel, O.V. Volichenko // Construction and Reconstruction. — 2025. — No. 5 (121). — Pp. 87–108. — DOI: 10.33979/2073-7416-2025-121-5-87-108.(rus)
20. Chechel I.P. Architectural and planning structure of rural educational complex – as the basis of a modern full-time educational complex [Arxitekturno-planirovochnaya struktura sel'skogo uchebno-vospitatel'nogo kompleksa – kak osnova sovremennogo obrazovatel'nogo kompleksa polnogo dnya] / I.P.Chechel. //International Youth Scientific Conference [Electronic resource]: Kursk: ZAO Universitetskaya Kniga, September 2024, vol. 3, pp. 95-101 (rus)
21. Zadvernyuk, L. V. Problems of implementing the modern model of school space organization in Russian architecture [Problemy` realizacii sovremennoj modeli organizacii shkol'nogo prostranstva v arxitekture Rossii] // Noema (Architecture. Urbanistics. Art). 2020. No. 2(5). pp. 125-139. EDN VYOOJW. (rus)
22. O. V. Volichenko The influence of the Western avant-garde mainstream in Central Asian architecture // Architecton: izvestiya vuzov. 2013. No. 1(41). p. 3. EDN PXSQHF.

Информация об авторах:

Воличенко Ольга Владимировна

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

ФГАОУ ВО «Российский университет Дружбы народов им. Патриса Лумумбы (РУДН); г. Москва, Россия;

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

(БГТУ им. В.Г. Шухова)», г. Белгород, Россия,

доктор архитектуры, профессор кафедры архитектуры, реставрации и дизайна

E-mail: wolitschenko@mail.ru

Чечель Иван Павлович

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

(БГТУ им. В.Г. Шухова)», г. Белгород, Россия,

старший преподаватель кафедры «Архитектура и градостроительство»

E-mail: golden-line7@yandex.ru

Information about authors:

Volichenko Olga V.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Moscow State University of Civil Engineering" (NRU MGSU); Moscow, Russia;

FGAOU HE "Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University); Moscow, Russia;

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov)", Belgorod, Russia,

Doctor of Architecture, Professor of the Department of Architecture, Restoration and Design

E-mail: wolitschenko@mail.ru

Chechel, Ivan P.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov)", Belgorod, Russia, Senior Lecturer at the Department of Architecture and Urban Planning

E-mail: golden-line7@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 03.08.2025

Одобрена после рецензирования 21.10.2025

Принята к публикации 01.11.2025

The article was submitted 03.08.2025

Approved after reviewing 21.10.2025

Accepted for publication 01.11.2025

А.С. ГУРЬЕВ¹, А.Е. ЕНИН¹, С.Н. ГУРЬЕВ¹

¹ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦВЕТОВОЙ СРЕДЫ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ ГОРОДА

Аннотация. Статья посвящена выявлению основополагающих принципов и приёмов, способствующих управлению городской колористикой и развитием цветовой проектной среды общественных пространств, с учётом социально-культурной обусловленности, структурно-морфологической основы архитектурно-градостроительной формы, цветовой динамики природного контекста и других факторов, влияющих на создание уникального своеобразия города и его цветовой среды. Определены основные принципы и приёмы, способные оказывать существенное влияние на формирование цветовой среды общественных пространств города и уникальность колористического образа города при проектировании его предметно-пространственной и архитектурной среды. Авторами делается вывод о том, что применение представленных принципов формирования цветовой среды общественных пространств города будет способствовать совершенствованию и оптимизации процесса проектирования колористики предметно-пространственной и архитектурной среды города.

Ключевые слова: колористика, общественное пространство, принципы проектирования, цвет.

A.S. GURYEV¹, A.E. YENIN¹, S.N. GURYEV¹

¹ Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

PRINCIPLES OF DESIGNING THE COLOR ENVIRONMENT OF PUBLIC SPACES IN THE CITY

Abstract. This article is devoted to identifying the fundamental principles and techniques for managing urban coloristics and developing the color design of public spaces. This is considered in the context of socio-cultural factors, the structural-morphological basis of architectural and urban form, the color dynamics of the natural setting, and other elements that contribute to a city's unique character and its visual color identity. The authors define the key principles and techniques capable of significantly influencing the formation of the color environment in a city's public spaces and the uniqueness of its color image in the design of its object-spatial and architectural environment. It is concluded that applying these principles for shaping the color environment of urban public spaces will enhance and optimize the process of designing the coloristics of the city's object-spatial and architectural setting.

Keywords: coloristics, public space, design principles, color.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ожегов, С.И. Толковый словарь русского языка / С. И. Ожегов; Российская АН, Ин-т рус. яз., Российский фонд культуры. – М.: Азъ, 1994. – 907 с.
2. Елизаров В.Ж. Влияние региональных особенностей на формирование колористики современного города: автореферат дис. ... кандидата архитектуры: 18.00.01 / ВНИИ теории архитектуры и градостроительства. – Москва, 1992. – 24 с.
3. Грибер Ю.А. Монохромная модель городской колористики // Урбанистика. 2017. № 2. С. 58-64.
4. Lenclos J.-Ph., Lenclos D. Colors of the world: the geography of color; preface by F. Barré; translated by G. Bruhn. New York: Norton, 2004. 288 p.
5. Цвет в пространстве города: сборник статей зарубежных авторов / под ред. Ю.А. Грибер. Смоленск: Изд-во СмолГУ, 2015. 156 с.
6. Железняк О. Е. Цвет, город, культура: монография / О. Е. Железняк; М-во образования и науки РФ, Иркутский гос. технический ун-т. — Иркутск: Изд-во Иркутского гос. технического ун-та, 2013. — 306 с.
7. Гурьев С. Н. Колористика в реконструкции исторически сложившихся районов города: на примере ЦЧЭР: дис. ... канд. архитектуры: 18.00.04: защищена 22.02.90: утв. 15.07.05 / Гурьев С. Н. – Ленинград: ЛИСИ., 1990. – 211 с.: ил.
8. Янковская, Ю. С. Образ и морфология архитектурного объекта / Ю. С. Янковская. – Екатеринбург: изд-во УрГАХУ, 2004.
9. Яргина З.Н. Эстетика города / З. Н. Яргина. – М.: Стройиздат, 1991. – 365,[1] с.: ил.
10. Иконников, А.В. Основы архитектурной композиции. / А.В. Иконников, Г.П. Степанов. – М.: Искусство, 1971. – 224 с.
11. Ганзен В.А. Восприятие целостных объектов / Ленингр. гос. ун-т им. А. А. Жданова. - Ленинград: Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. - 152 с.
12. Ганзен В.А. О принципах гармонии // Техническая эстетика. - 1969, №4 – С. 1-3.
13. Мис ван дер Роэ, Л. О форме в архитектуре // Мастера архитектуры об архитектуре / под общ. ред. А.В. Иконникова [и др.]. М.: Искусство, 1972. С. 365–36
14. Ефимов А.В. Колористика города. / А. В. Ефимов - М.: Стройиздат, 1990. – 272 с.: ил.
15. Датчук Ю.Н. Формирование полихромии общественного центра крупного города: Автореф. дис. ... канд. архитектуры. –Л., ЛИСИ, 1983. -25 с.
16. Кравец В.И. Функция цвета в городской застройке // Архитектура СССР, 1978, № 9, с. 10-12.
17. Кравец, В.И. Структура и функции цветовой гармонии в композиции жилой застройки: Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата архитектуры. (00.01) / Харьк. инж.-строит. ин-т. - Харьков: [б. и.], 1972. - 28 с.
18. Грибер Ю. А. Теория цветового проектирования городского пространства: монография / Ю. А. Грибер. – М.: Согласие, 2017. - 176, [1] с.: ил.
19. Радулова, Я.И. Особенности интеграции внутреннего и внешнего пространства в архитектуре малоэтажного жилища: автореферат дис. ... кандидата архитектуры: 05.23.20 / Я.И. Радулова; [Место защиты: Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т]. – Нижний Новгород, 2017. – 27 с.
20. Ефимов, А.В. Дизайн архитектурной среды – архитектурная профессия // ACADEMIA, Архитектура и строительство, 2019, № 3, с. 18-27.
21. Ефимов А.В. Из опыта проектирования колористики исторических городов. Архитектура и современные информационные технологии. / А.В. Ефимов, Н.Г. Панова. МАРХИ, № 4 (37), 2016, С. 250-265
22. Brino, G. Il Piano del Colore di Torino (1979–1980) / G. Brino. – Casabella 476/477. – P. 59–60
23. Yu B., Bell S. Emerging colours: new trends, demands and challenges in contemporary urban environments //Cultura e Scienza del Colore-Color Culture and Science. – 2020. – Т. 12. – №. 01. – С. 32-39.
24. Cabarkapa A., Djokic L. Importance of the color of light for the illumination of urban squares //Color Research & Application. – 2019. – Т. 44. – №. 3. – С. 446-453.
25. Грибер Ю.А. Цветовое поле города в истории европейской культуры: Монография / Ю. А. Грибер. – М.: Согласие, 2012. – 302 с.

REFERENCES

1. Ozhegov, S.I. Explanatory Dictionary of the Russian language / S. I. Ozhegov; Russian Academy of Sciences, Institute of Russian Language, Russian Cultural Foundation. Moscow: Az, 1994. 907 p.
2. Elizarov V.J. The influence of regional features on the formation of the coloristics of a modern city: abstract of the dissertation of the Candidate of Architecture: 18.00.01 / All-Russian Research Institute of Theory of Architecture and Urban Planning. - Moscow, 1992. - 24 p.
3. Griber Yu.A. Monochrome model of urban coloristics // Urbanistics. 2017. No. 2. pp. 58-64.
4. Lenclos J.-Ph., Lenclos D. Colors of the world: the geography of color; preface by F. Barré; translated by G. Bruhn. New York: Norton, 2004. 288 p.

5. Color in the city space: a collection of articles by foreign authors / edited by Yu.A. Griber. Smolensk: SmolGU Publishing House, 2015. 156 p.
6. Zheleznyak O. E. Color, city, culture: a monograph / O. E. Zheleznyak; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Irkutsk State Technical University. Irkutsk: Publishing House of Irkutsk State Technical University, 2013. 306 p.
7. Guryev S. N. Coloristics in the reconstruction of historically developed areas of the city: on the example of the Central Research Institute: dissertation of the cand. Architecture: 18.00.04: protected on 22.02.90: approved on 15.07.05 / Guryev S. N. – Leningrad: LISI., 1990. – 211 p.: ill.
8. Yankovskaya, Yu.S. The image and morphology of an architectural object / Yu. S. Yankovskaya. Yekaterinburg: publishing house of Urgakha, 2004.
9. Yargina Z.N. Aesthetics of the city / Z. N. Yargina. Moscow: Stroyizdat, 1991. 365,[1] p.: ill.
10. Ikonnikov, A.V. Fundamentals of architectural composition. / A.V. Ikonnikov, G.P. Stepanov. Moscow: Iskusstvo Publ., 1971. 224 p.
11. Ganzen V.A. Perception of integral objects / Leningrad State University named after A. A. Zhdanov. Leningrad: Publishing House of the Leningr University, 1974. 152 p.
12. Ganzen V.A. On the principles of harmony // Technical aesthetics. 1969, No. 4– pp. 1-3.
13. Mies van der Rohe, L. On form in architecture // Masters of architecture on architecture / under the general editorship of A.V. Ikonnikov [et al.]. Moscow: Iskusstvo, 1972. pp. 365-36
14. Efimov A.V. Coloristics of the city. / A.V. Efimov, Moscow: Stroyizdat, 1990, 272 p. (in Russian)
15. Datchuk Yu.N. Formation of polychromy of the public center of a large city: Abstract of the dissertation. ... kand. architecture. –L., LISI, 1983. –25 p.
16. Kravets V.I. The function of color in urban buildings // Architecture of the USSR, 1978, No. 9, pp. 10-12.
17. Kravets, V.I. The structure and functions of color harmony in the composition of residential buildings: Abstract of the dissertation. for the degree of Candidate of Architecture. (00.01) / Kharkiv. eng.-builds. in-T. - Kharkov: [B. I.], 1972. - 28 p.
18. Griber Yu. A. Theory of color design of urban space: a monograph / Yu. A. Griber. – M.: Consent, 2017. - 176, [1] p.: ill.
19. Radulova, Ya.I. Features of the integration of internal and external space in the architecture of low-rise housing: abstract of the dissertation. ... candidate of Architecture: 05.23.20 / Ya.I. Radulova; [Place of protection: Nizhegorod State Architectural-builds. university]. – Nizhny Novgorod, 2017. – 27 p.
20. Efimov, A.V. Design of the architectural environment is an architectural profession // ACADEMIA, Architecture and Construction, 2019, No. 3, pp. 18-27.
21. Efimov A.V. From the experience of designing the coloristics of historical cities. Architecture and modern information technologies. / A.V. Efimov, N.G. Panova. MARKHI, No. 4 (37), 2016, pp. 250-265
22. Brino, G. Il Piano del Colore di Torino (1979–1980) / G. Brino. – Casabella 476/477. – P. 59–60
23. Yu B., Bell S. Emerging colours: new trends, demands and challenges in contemporary urban environments //Cultura e Scienza del Colore-Color Culture and Science. – 2020. – T. 12. – №. 01. – C. 32-39.
24. Cabarkapa A., Djokic L. Importance of the color of light for the illumination of urban squares //Color Research & Application. – 2019. – T. 44. – №. 3. – C. 446-453.
25. Griber Yu.A. The color field of the city in the history of European culture: a monograph / Yu. A. Griber. – M.: Consent, 2012. – 302 p.

Информация об авторах:

Гурьев Александр Сергеевич

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия, старший преподаватель кафедры основ проектирования и архитектурной графики,
E-mail: alex.s.guru@gmail.com

Енин Александр Егорович

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия, канд. архитектуры, профессор, заведующий кафедрой основ проектирования и архитектурной графики,
E-mail: a_yenin@mail.ru

Гурьев Сергей Николаевич

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия, кандидат архитектуры, профессор кафедры основ проектирования и архитектурной графики,

E-mail: gurudesign@mail.ru

Information about authors:

Guryev, Alexander S.

VSTU, Russia, Voronezh, Senior Lecturer at the Department of OP and AG,

E-mail: alex.s.guru@gmail.com

Yenin Alexander E.

VSTU, Russia, Voronezh, Candidate of Sciences. Architecture, Professor, Head of the Department of OP and AG,

E-mail: a_yenin@mail.ru

Guryev Sergey N.

VSTU, Russia, Voronezh, Candidate of Architecture, Professor of the Department of OP and AG,

E-mail: gurudesign@mail.ru

Статья поступила в редакцию 19.11.2025
Одобрена после рецензирования 21.11.2025
Принята к публикации 25.11.2025

The article was submitted 18.11.2025
Approved after reviewing 21.11.2025
Accepted for publication 25.11.2025

Т.Ф. ЕЛЬЧИЩЕВА¹, П.В. МОНАСТЫРЕВ¹, В.А. ЕЗЕРСКИЙ¹, А.Т. ТАСКАЛИЕВ²

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия

²ЧВПОУ «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет»,
г. Уральск, Республика Казахстан

ПРИМЕНЕНИЕ ОПОКИ ШИПОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

***Аннотация.** Проведено исследование возможности применения в дорожном строительстве опоки Шиповского месторождения республики Казахстан в качестве самостоятельного материала и термолита, полученного из опоки. Целью исследования является разработка технологических параметров производства новых строительных материалов – опоки и термолита, а также регламента их применение в дорожном строительстве. Объект исследования – опока и полученный из неё термолит Шиповского месторождения республики Казахстан. Предмет исследования – свойства опоки и термолита и технологические параметры их включения в состав дорожной одежды автомобильных дорог III категории. Научная гипотеза – опока Шиповского месторождения республики Казахстан может использоваться в качестве самостоятельного материала или в виде термолита в составе дорожной одежды автомобильных дорог III категории. Научная новизна – с использованием современных методов исследования получены новые данные о физико-механических свойствах и минералогическом составе опоки Шиповского месторождения; получены новые данные о физикомеханических свойствах и химическом составе термолита, полученного из опоки. Теоретическая значимость исследования заключается в получении экспериментальных данных о свойствах опоки и термолита, практическая значимость работы заключается в использовании результатов исследования для разработки состава асфальтобетонной смеси на основе термолита и применения ее в дорожном строительстве. Установлены основные физико механические свойства опоки Шиповского месторождения Западно-Казахстанской области. Разработаны технологические параметры применения опоки в строительстве автомобильной дороги на участке Уральск (Республика Казахстан) – р. п. Озинки (Российская Федерация). В результате проведенных работ по исследованию состояния участка дороги после шестилетней эксплуатации установлено преимущество применения для строительства основания дороги опоки по сравнению с глиной. Разработана технология получения термолита, на которую по результатам проведенных испытаний получен сертификат качества продукции. Разработка технологии производства асфальтобетонной смеси на основе термолита для строительства дорог, особенно в тех районах, где отсутствуют месторождения твердых горных пород для производства щебня, является весьма актуальной. Разработан состав асфальтобетонной смеси с использованием термолита, отличающийся преимуществом показателей по сравнению с существующими аналогами, что подтверждено результатами испытаний, проведенных в аккредитованных испытательных лабораториях, разрешающих применение разработанного состава асфальтобетонной смеси для строительства дорожного полотна автомобильных дорог III категории.*

***Ключевые слова:** опока, термолит, асфальтобетон, дорожное полотно, основание дороги.*

T.F. ELCHISHCHEVA¹, P.V. MONASTYREV¹, V.A. YEZERSKY¹, A.T. TASKALIEV².

¹Tambov State Technical University, Tambov, Russia

²HUE «West Kazakhstan University of Innovation and Technology», Uralsk, Republic of Kazakhstan

APPLICATION OF OPOKA FROM THE SHIPOVSKOE DEPOSIT OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN IN ROAD CONSTRUCTION

©Ельчищева Т.Ф., Монастырев П.В., Езерский В.А., Таскалиев А.Т., 2025

Abstract. A study was conducted on the use of opoka from the Shipovskoye deposit in the Republic of Kazakhstan and thermolite obtained from opoka in road construction. The aim of the study is to develop new technologies for the production of building materials - opoka and thermolite, and their use in road construction. The object of the study is opoka from the Shipovskoye deposit in the Republic of Kazakhstan. The subject of the study is the properties of opoka and thermolite and their work in the composition of the road pavement of category III highways. Scientific hypothesis - opoka from the Shipovskoye deposit in the Republic of Kazakhstan can be used as an independent material or as a thermolite in the composition of the road pavement of category III highways. Scientific novelty - using modern research methods, new data were obtained on the physical and mechanical properties and mineralogical composition of opoka from the Shipovskoye deposit; new data were obtained on the physical and mechanical properties and chemical composition of thermolite obtained from opoka. The theoretical significance of the study lies in obtaining experimental data on the properties of opoka and thermolite, the practical significance of the work lies in using the research results to develop the composition of asphalt concrete mixture based on thermolite and its application in road construction. The main physical and mechanical properties of opoka from the Shipovskoye deposit in the West Kazakhstan region were established. The use of opoka in the construction of a road on the section Uralsk (Republic of Kazakhstan) - the village of Ozinki (Russian Federation) was studied. As a result of the work carried out to study the state of the road section after six years of operation, the advantage of using opoka for the construction of the road base was established compared to clay. A technology for producing thermolite was developed, for which a product quality certificate was received based on the results of the tests. The development of a technology for the production of asphalt concrete mixture based on thermolite for road construction, especially in those areas where there are no deposits of hard rocks for the production of crushed stone, is very relevant. An asphalt concrete mixture composition has been developed using thermolite, which has an advantage in terms of indicators compared to existing analogues, which is confirmed by the results of tests conducted in accredited testing laboratories, permitting the use of the developed asphalt concrete mixture composition for the construction of road surfaces of category III highways.

Keywords: opoka, thermolite, asphalt concrete, road surface, road base.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Здорик Т.Б., Фельдман Л.Г., Тимофеев И.Н., Матиас В.В. Минералы и горные породы СССР. Москва: Мысль, 1970. 488 с.
2. Cecile S. Rousseaux, Watson W. Gregg. Recent decadal trends in global phytoplankton composition // Journal of Global Biogeochemical Cycles. 2015. Vol. 29, No. 10. Pp. 1674-1688.
3. Камалов С.М., Ли К.А.. География размещения месторождений природных ископаемых Уральской области и их народнохозяйственное значение. Уралск: Диалог, 1992. 156 с.
4. Смирнов П.В., Жакипбаев Б.Е., Староселец Д.А. [и др.]. Диатомиты и опоки месторождений Западного Казахстана: литология, структурно-текстурные параметры, потенциал использования // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334, № 7. С. 187-201. DOI 10.18799/24131830/2023/7/4046.
5. Баранова М.Н., Коренькова С.Ф., Чумаченко Н.Г. История освоения кремнистых пород // Строительные материалы. 2011. № 8. С. 1-4.
6. Падалкин Н.В., Евшин П.Н. Модифицированные сорбенты на основе опоки для очистки вод // Труды Кольского научного центра РАН. 2019. Т. 10, № 1-3. С. 262-269. DOI 10.25702/KSC.2307-5252.2019.10.1.262-269.
7. Петров В.П., Макридин Н.И., Соколова Ю.А., Ярмаковский В.Н. Технология и материаловедение пористых заполнителей и легких бетонов // Москва: Палеотип, 2013. 332 с.
8. Петров В.П., Макридин Н.И., Ярмаковский В.Н. Пористые заполнители и легкие бетоны. Материаловедение. Технология производства // Самара: Самарский ГАУ, 2009. 436 с.
9. Mizuriaev S. A., Montaevev S. A., Taskaliev A. T. Artificial broken stone production for industrial and civil engineering: Technological Parameters // Procedia Engineering. Elsevier Ltd. 2015. Vol. 111, Pp. 534-539. DOI 10.1016/j.proeng.2015.07.037

10. Тяпкин В.А., Калашников В.И., Ерофеева И.В. Получение термолита из опочного гравия и бетона на его основе (Часть 1) // Современные научные исследования и инновации. 2015. №4 (48). [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2015/04/51697> (дата обращения 30.12.2024).
11. Шитова Т.И. Нетканый геотекстиль для дорожного строительства // Сборник научных трудов по итогам Международной научной конференции, посвященной 135-летию со дня рождения профессора В.Е. Зотикова, Часть 3. М.: ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина, 2022. С. 142-147.
12. Пичугин Д.А. Геотекстильные материалы в дорожном строительстве // Фундаментальные и прикладные научные исследования в современном мире: Сборник научных статей по материалам II Международной научно-практической конференции, Часть 3. Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр «Вестник науки», 2023. С. 48–53.
13. Комбаров В.А., Обухов П.Д., Чербаева Ж.П. Применение геосинтетических материалов в дорожном строительстве // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: Материалы X-й Международной научно-практической конференции, посвященной 45-летию Института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2024. С. 60-64.
14. Бартош С.А. Дорожное строительство: проблемы строительства и пути их решения // Вызовы современности и стратегии развития общества в условиях новой реальности: Сборник материалов XXIV Международной научно-практической конференции. М.: 2024. С. 208-210.
15. Стородубцева Т.Н., Шакирова О.И., Болгов А.В. Актуальность проблемы строительства дорожных покрытий, износа и повреждений верхнего слоя дорожной одежды // Сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2023. С. 119-124.
16. Русских К.Ю., Ульрих С.А., Каширский Д.Ю. Современные технологии в дорожном строительстве // Организация и безопасность дорожного движения: материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2021. С. 50-55.
17. Ремнев В.В. Применение новых технологий и материалов в дорожном и аэродромном строительстве // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2020. №5-6 (256-257). С. 47–55.
18. Филатова А.В., Коробов Н.А. Инновационные методы дорожного строительства // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии: Сборник статей 79-й всероссийской научно-технической конференции. Самара: Самарский государственный технический университет, 2022. С. 281-289.
19. Щербаков Б.П., Стачук А.А. Инновационные технологии в дорожном строительстве и ремонте // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева. 2021. № 2(26). С. 133-139.
20. Монтаева А.С., Щучкин С.В., Монтаев С.А., Таскалиев А.Т. [и др.]. Исследование свойств стеновой керамики с использованием опоки // Успехи современного естествознания. 2012. № 6. С. 41-42.
21. Джармухамбетов К.Г., Монтаева А.С., Монтаев С.А., Таскалиев А.Т. Разработка технологии микропористого гранулированного теплоизоляционного материала // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-1. С. 30-31. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/viewid=33679> (дата обращения: 01.01.2025).
22. Shakeshev B.T., Narikov K.A., Taskaliev A.T. [et al.]. Prospects of creating the technology of composite adsorbent for water purification based on the composition of siliceous and clay rocks of Kazakhstan // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2018. Vol. 9, No. 1. Pp. 805-813.

REFERENCES

1. Zdorik T.B., Fel'dman L.G., Timofeev I.N., Matias V.V. Mineraly i gornye porody SSSR [Minerals and rocks of the USSR]. Moscow: Mysl', 1970. 488 p. (rus).
2. Cecile S. Rousseaux, Watson W. Gregg. Recent decadal trends in global phytoplankton composition // Journal of Global Biogeochemical Cycles. 2015. Vol. 29, No. 10. Pp. 1674-1688.
3. Kamalov S.M., Li K.A.. Geografiya razmeshcheniya mestorozhdeniy prirodnykh iskopayemykh Ural'skoy oblasti i ikh narodnokhozyaystvennoye znachenie [Geography of the deposits of natural resources of the Ural region and their national economic importance]. Uralsk: Dialog, 1992. 156 p. (rus).
4. Smirnov P.V., Zhakipbaev B.E., Staroselec D.A. [i dr.]. Diatomity i opoki mestorozhdeniy Zapadnogo Kazakhstana: litologiya, strukturno-teksturnye parametry, potencial ispol'zovaniya [Diatomites and flanks of deposits in Western Kazakhstan: lithology, structural and textural parameters, potential use] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov. 2023. T. 334, No. 7. Pp. 187-201. DOI: 10.18799/24131830/2023/7/4046. (rus).
5. Baranova M.N., Koren'kova S.F., Chumachenko N.G. Istoriya osvoeniya kremnistykh porod [The history of the development of siliceous rocks] // Stroitel'nye materialy. 2011. No. 8. Pp. 1-4. (rus).
6. Padalkin N.V., Evshin P.N. Modificirovannye sorbenty na osnove opoki dlya ochistki vod [Modified sorbents based on flask for water purification] // Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. 2019. T. 10, No 1-3. Pp. 262-269. DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.10.1.262-269. (rus).

7. Petrov V.P., Makridin N.I., Sokolova Yu.A., Yarmakovskij V.N. Tekhnologiya i materialovedenie poristyh zapolnitelej i legkih betonov [Technology and materials science of porous aggregates and light concretes] // Moscow: Paleotip, 2013. 332 p. (rus).
8. Petrov V.P., Makridin N.I., Yarmakovskij V.N. Poristye zapolniteli i legkie betony. Materialovedenie. Tekhnologiya proizvodstva [Porous aggregates and lightweight concretes. Materials science. Production technology] // Samara: Samarskij GASU, 2009. 436 p. (rus).
9. Mizuriaeve S.A., Montaeve S.A., Taskaliev A.T. Artificial broken stone production for industrial and civil engineering: Technological Parameters // Procedia Engineering. Elsevier Ltd. 2015. Vol. 111, Pp. 534-539. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.07.037.
10. Tyapkin V.A., Kalashnikov V.I., Erofeeva I.V. Poluchenie termolita iz opochnogo graviya i betona na ego osnove (Chast' 1) [Obtaining thermolith from support gravel and concrete based on it (Part 1)] // Sovremennyye nauchnye issledovaniya i innovacii. 2015. No 4 (48). [Online]. System requirements: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2015/04/51697> (date of application: 30.12.2024). (rus).
11. Shitova T.I. Netkanyj geotekstil' dlya dorozhnogo stroitel'stva [Nonwoven geotextiles for road construction] // Sbornik nauchnyh trudov po itogam Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj 135-letiyu so dnya rozhdeniya professora V.E. Zotikova, Chast' 3. Moscow: FGBOU VO «Rossijskij gosudarstvennyj universitet imeni A.N. Kosygina, 2022. Pp. 142-147. (rus).
12. Pichugin D.A. Geotekstil'nye materialy v dorozhnom stroitel'stve [Geotextile materials in road construction] // Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire: Sbornik nauchnyh statej po materialam II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Chast' 3. Ufa: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu «Nauchno-izdatel'skij centr «Vestnik nauki», 2023. Pp. 48-53. (rus).
13. Kombarov V. A., Obuhov P.D., Cherbaeva Zh.P. Primenenie geosinteticheskikh materialov v dorozhnom stroitel'stve [Application of geosynthetic materials in road construction] // Ustojchivoe razvitie regiona: arhitektura, stroitel'stvo, transport: Materialy X-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 45-letiyu Instituta arhitektury, stroitel'stva i transporta Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tambov: Tambovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2024. Pp. 60-64. (rus).
14. Bartosh S.A. Dorozhnoe stroitel'stvo: problemy stroitel'stva i puti ih resheniya [Road construction: construction problems and ways to solve them] // Vyzovy sovremennosti i strategii razvitiya obshchestva v usloviyah novoj real'nosti: Sbornik materialov XXIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Moscow, 2024. Pp. 208-210. (rus).
15. Storodubceva T.N., Shakirova O.I., Bolgov A.V. Aktual'nost' problemy stroitel'stva dorozhnyh pokrytij, iznosa i povrezhdenij verhnego sloya dorozhnoj odezhdy [The relevance of the problem of road surface construction, wear and damage to the upper layer of the road surface] // Sbornik statej Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa. Petrozavodsk: Mezhdunarodnyj centr nauchnogo partnerstva «Novaya Nauka», 2023. Pp. 119-124. (rus).
16. Russkih K.Yu., Ul'rih S.A., Kashirskij D.Yu. Sovremennye tekhnologii v dorozhnom stroitel'stve [Modern technologies in road construction] // Organizaciya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya: materialy HIV Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Tyumen: Tyumenskij industrial'nyj universitet, 2021. Pp. 50-55. (rus).
17. Remnev V.V. Primenenie novyh tekhnologij i materialov v dorozhnom i aerodromnom stroitel'stve [Application of new technologies and materials in road and airfield construction] // Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka. 2020. No 5-6 (256-257). Pp. 47-55. (rus).
18. Filatova A.V., Korobov N.A. Innovacionnye metody dorozhnogo stroitel'stva [Innovative methods of road construction] // Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Stroitel'stvo i stroitel'nye tekhnologii: Sbornik statej 79-j vsrossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. Samara: Samarskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2022. Pp. 281-289. (rus).
19. Shcherbakov B.P., Stachuk A.A. Innovacionnye tekhnologii v dorozhnom stroitel'stve i remonte [Innovative technologies in road construction and repair] // Vestnik Voennoj akademii material'no-tekhnicheskogo obespecheniya im. generala armii A.V. Hruleva. 2021. No 2 (26). Pp. 133-139. (rus).
20. Montaeve A.S., Shchuchkin S.V., Montaeve S.A., Taskaliev A.T. [i dr.]. Issledovanie svojstv stenovoj keramiki s ispol'zovaniem opoki [Investigation of the properties of wall ceramics using flask] // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2012. No 6. Pp. 41-42. (rus).
21. Dzharumambetov K.G., Montaeve A.S., Montaeve S.A., Taskaliev A.T. Razrabotka tekhnologii mikroporistogo granulirovannogo teploizolyacionnogo materiala [Technology development of microporous granular thermal insulation material] // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2014. No 5-1. Pp. 30-31. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/viewid=33679> (date of application: 01.01.2025). (rus).
22. Shakeshev B.T., Narikov K.A., Taskaliev A.T. [et al.]. Prospects of creating the technology of composite adsorbent for water purification based on the composition of siliceous and clay rocks of Kazakhstan // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2018. Vol. 9, No. 1. Pp. 805-813.

Информация об авторах:

Ельчищева Татьяна Федоровна

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

Монастырев Павел Владиславович

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия,
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, доцент, директор института архитектуры, строительства
и транспорта.

E-mail: monastyrev68@mail.ru

Езерский Валерий Александрович

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Архитектура и градостроительство».

E-mail: wiz75micz@rambler.ru

Таскалиев Азамат Тюлепкалиевич

ЧВПОУ «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет», г. Уральск, Республика
Казахстан, магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Архитектура и строительство».

E-mail: Taskalievazamat@mail.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

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

Yezerkiy Valery A.

Tambov State Technical University, Tambov, Russia,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of "Architecture and Urban Planning".

E-mail: wiz75micz@rambler.ru

Taskaliyev Azamat T.

West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk, Republic of Kazakhstan, Master of Technical Sciences,
Senior Lecturer of the Department of "Architecture and Construction".

E-mail: Taskalievazamat@mail.ru

Статья поступила в редакцию 30.10.2025
Одобрена после рецензирования 23.11.2025
Принята к публикации 01.12.2025

The article was submitted 30.10.2025
Approved after reviewing 23.11.2025
Accepted for publication 01.12.2025

В.Т. ЕРОФЕЕВ¹, М.А. ГОНЧАРОВА², О.В. ТАРАКАНОВ³, Д.А. СВЕТЛОВ⁴, И.Н. МАКСИМОВА³, И.В. ЕРОФЕЕВА¹, В.Н. КУЧИН⁵, Д.В. СВЕТЛОВ⁶

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

² Липецкий государственный технический университет, г. Липецк, Россия

³ Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Россия

⁴ ООО «Софт Протектор», г. Санкт-Петербург, Россия

⁵ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Россия

⁶ Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ БИОЦИДНЫХ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

Аннотация. В процессе эксплуатации зданий и сооружений железобетонные конструкции подвержены воздействию различных нагрузок, которые вызывают деформации и разрушения. Прочностные и упруго-пластические свойства современных бетонов регулируются с помощью введения в составы пластификаторов, нанодобавок и наполнителей. Повышение биостойкости композитов достигается за счет введения биоцидных добавок. Статья посвящена изучению процессов деформирования и разрушения модифицированных биоцидной добавкой цементных композиций для создания долговечных порошково-активированных бетонов – одного из разновидностей бетонов нового поколения. Экспериментально доказана перспективность применения в качестве фунгицидной добавки препаратов на основе соединений гуанидина. Основные характеристики процессов деформации бетонов устанавливаются с помощью диаграмм «напряжение–деформация». Получены полные диаграммы деформирования биоцидных бетонов с протяженным участком нагружения при постоянной затухающей скорости деформирования, с фиксацией плавного снижения напряжения. Диаграмма деформирования бетона на нисходящей ветви фиксируется предельной деформативностью, соответствующей достижению бетоном максимального значения прочности, и конечной точкой нисходящей ветви, соответствующей остаточной прочности бетона. Изучены зависимости влияния В/Ц-отношения и биоцидной добавки на основные параметрические точки диаграммы σ – ε . Выполнен анализ полученных диаграмм. Показано, что за счет введения биоцидной добавки повышаются прочностные показатели цементного камня. Прочность на тесте нормальной густоты возросла в пределах от 12 до 65 % (в зависимости от состава). При повышении водоцементного отношения эти изменения более значительны – 29–79 %. Повышение водоцементного отношения с 0,267 до 0,350 для составов на биоцидной добавке приводит к снижению прочности цементного камня на 27 – 39 %.

Ключевые слова: цементные композиции, реакционно-порошковые бетоны, биоцидная добавка, физико-механические характеристики композитов, диаграммы деформирования с нисходящей ветвью, закономерности деформирования цементных матриц реакционно-порошковых бетонов с биоцидными добавками.

V.T. EROFEEV¹, M.A. GONCHAROVA², O.V. TARAKANOV³, D.A. SVETLOV⁴, I.N. MAKSIMOVA³, I.V. EROFEEVA¹, V.N. KUCHIN⁵, D.V. SVETLOV⁶

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

² Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

³ Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

⁴ Soft Protector LLC, Saint Petersburg, Russia

⁵ Saint Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint Petersburg, Russia

⁶ Saint Petersburg Polytechnic University of Peter the Great, Saint Petersburg, Russia

©Ерофеев В.Т., Гончарова М.А., Тараканов О.В., Светлов Д.А., Максимова И.Н., Ерофеева И.В., Кучин В.Н., Светлов Д.В., 2025

STRENGTH AND DEFORMABILITY OF BIOCIDAL CEMENT COMPOSITES

Abstract. During the operation of buildings and structures, reinforced concrete structures are exposed to various loads that cause deformation and failure. The strength and elastic-plastic properties of modern concrete are controlled by introducing plasticizers, nanoadditives, and fillers. The biostability of composites is enhanced by adding biocidal additives. This article examines the deformation and failure of cement compositions modified with biocidal additives to create durable powder-activated concrete—a type of next-generation concrete. The potential of using guanidine-based compounds as a fungicide additive has been experimentally demonstrated. The key characteristics of concrete deformation processes are determined using stress-strain diagrams. Complete stress-strain diagrams for biocidal concrete are obtained and analyzed, showing a descending branch with an extended section of concrete loading at a constant, decaying strain rate, with a smooth decrease in stress. The concrete deformation diagram on the descending branch is fixed by the ultimate deformation, corresponding to the concrete achieving the maximum strength value, and the end point of the descending branch, corresponding to the residual strength of concrete. The dependences of the influence of the water/cement ratio and the biocidal additive on the main parametric points of the σ - ε diagram are studied. The obtained diagrams are analyzed. It is shown that the introduction of the biocidal additive increases the strength properties of the cement stone. Moreover, the role of the water-cement ratio is revealed: the strength of concrete on a test of normal consistency increased within the range of 12 to 65% (depending on the composition), with an increase in the water-cement ratio these changes are more significant – 29–79%. An increase in the water-cement ratio from 0.267 to 0.350 for compositions with a biocidal additive lead to a decrease in the strength of the cement stone by 27–39%

Keywords: cement compositions, reaction powder concretes, biocidal additive, physico-mechanical characteristics of composites, diagrams of deformation with a descending branch, patterns of deformation of cement matrices of reaction powder concretes with biocidal additives.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпенко Н. И., Круглов В. М., Соловьев Л. Ю. Нелинейное деформирование бетона и железобетона. – Новосибирск: Издательство СГУПС, 2001. – 276 с.
2. Шейкин А. Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.
3. Грушко И. М. Прочность бетонов на растяжение / И. М. Грушко, А. Г. Ильин, С. Т. Рашевский. – Харьков : Изд-во Харьк. ун-та, 1973. – 155 с.
4. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов / В. И. Соломатов, В. Н. Выровой, А. Н. Бобрышев и др. – Ташкент : Фан, 1991. – 342 с.
5. Iskhakov, I., Frolov, I., Ribakov, Y., 2022. Experimental verification of theoretical stress-strain model for compressed concrete considering post-peak stage // Materials 15(17), 6064.
6. Y. Feng, Y. Su, N. Lu, S. Shah, Meta concrete: exploring novel functionality of concrete using nanotechnology, Eng. Sci. (2020), <https://doi.org/10.30919/es8d816>.
7. S. Barbhuiya, B.B. Das, Water-soluble polymers in cementitious materials: a comprehensive review of roles, mechanisms and applications, Case Stud. Constr. Mater. 19 (2023) e02312, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02312>.
8. N. P. Tran, T. N. Nguyen, T. D. Ngo, The role of organic polymer modifiers in cementitious systems towards durable and resilient infrastructures: a systematic review, Constr. Build. Mater. 360 (2022) 129562, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129562>.
9. Javadi A., Jamil T., Abouzari-Lotf, E., Soucek, M. D., & Heinz, H. (2021). Working mechanisms and design principles of comb-like polycarboxylate ether superplasticizers in cement hydration: quantitative insights for a series of well-defined copolymers. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 9(25), 8354–8371.
10. L. Xia, M. Zhou, T. Ni, Z. Liu. Synthesis and characterization of a novel early-strength polycarboxylate superplasticizer and its performances in cementitious system, J. Appl. Polym. Sci. 137 (2020) 48906.
11. X. Liu, G. Lai, J. Guan, S. Qian, Z. Wang, S. Cui, F. Gao, Y. Jiao, R. Tao, Technical optimization and life cycle assessment of environment-friendly superplasticizer for concrete engineering, Chemosphere 281 (2021), <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130955>.
12. Muthukumar, M., Mohan, D., 2004. Optimization of mechanical properties of polymer concrete and mix design recommendation based on design of experiments. J. Appl. Polym. Sci. 94 (3), 1107–1116.
13. Khalid M. Y, Al Rashid A, Arif Z. U, Akram N, Arshad H, Garcia Marquez FP. Characterization of failure strain in fiber reinforced Composites: under on-Axis and off-Axis loading. Crystals 2021;11:216. <https://doi.org/10.3390/cryst11020216>.

14. Dobiszewska M, Schindler AK, Pichór W. Mechanical properties and interfacial transition zone microstructure of concrete with waste basalt powder addition. *Constr Build Mater* 2018;177:222–9. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.133>.
15. Peng Y, Zhang J, Liu J, Ke J, Wang F. Properties and microstructure of reactive powder concrete having a high content of phosphorous slag powder and silica fume. *Constr Build Mater* 2015;101:482–7. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.046>.
16. Travush V. I., Karpenko N. I., Erofeev V. T., Vatin N. I., Erofeeva I. V., Maksimova I. N., Kondrashchenko V. I., Kesarijskij A. G. Destruction of powder-activated concrete with fixation of destruction by a laser interferometer // *Magazine of Civil Engineering*. Volume 95, Issue 3, 2020. – P. 42–48.
17. Saran, ASA, Magudeaswaran P, Mohammed MK. Concrete Microstructure- A Review, vol. 2; 2016.
18. Elsharief A, Cohen MD, Olek J. Influence of aggregate size, water cement ratio and age on the microstructure of the interfacial transition zone. *Cem Concr Res* 2003;33:1837–49. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00205-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00205-9).
19. Xie Ping J. J, Beaudoin R. B. Effect of aggregate size on transition zone properties at the portland cement paste interface. *Cem Concr Res* 1991. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(91\)90059-Q](https://doi.org/10.1016/0008-8846(91)90059-Q).
20. Liao K. Y., Chang P. K., Peng Y. N., Yang C. C. A study on characteristics of interfacial transition zone in concrete. *Cem Concr Res* 2004;34:977–89. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.11.019>.
21. Neville A. M., Brooks J. J. Properties of concrete 2010. <https://doi.org/10.4135/9781412975704.n88>.
22. Erofeev V. T., Vatin N. I., Maximova I. N., Tarakanov O. V., Sanyagina Y. A., Erofeeva I. V., Suzdaltsev O. V. Powder-activated concrete with a granular surface texture // *International journal for computational civil and structural engineering*. – 2022. – № 4. – Т. 18. – P. 49–61.
23. Shi C, Wu Z, Xiao J, Wang D, Huang Z, Fang Z. A review on ultra high performance concrete: Part I. Raw materials and mixture design. *Constr Build Mater* 2015;101:741–51. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.088>.
24. Tam C. M., Tam V. W. Y., Ng K. M. Optimal conditions for producing reactive powder concrete. *Mag Concr Res* 2010;62:701–16. <https://doi.org/10.1680/macr.2010.62.10.701>.
25. Hassan A. M. T, Jones S. W, Mahmud G. H. Experimental test methods to determine the uniaxial tensile and compressive behaviour of Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC). *Constr Build Mater* 2012. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.030>.
26. Chan Y. W., Chu S. H.. Effect of silica fume on steel fiber bond characteristics in reactive powder concrete. *Cem Concr Res* 2004;34:1167–72. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.12.023>.
27. Kang S. T., Lee Y., Park Y. D., Kim J. K. Tensile fracture properties of an Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC) with steel fiber. *Compos Struct* 2010. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2009.06.012>.
28. Ma J., Orgass M., Dehn F., Schmidt D, Tue N. V. Comparative investigations on ultra-high performance concrete with or without coarse aggregates. *Proc Int Symp Ultra High Perform Concr* 2004:205–12.
29. Zdeb T. An analysis of the steam curing and autoclaving process parameters for reactive powder concretes. *Constr Build Mater* 2017;131:758–66. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.026>.
30. Рабинович Ф. Н. Дисперсно-армированные бетоны. – М. : Стройиздат, 1989. – 176 с.
31. Zhang, L., Zhang, M., Wang, K., Shi, J., Chen, W., Yan, K. Axial compressive behavior of steel-reinforced reactive powder concrete short columns (2022) *Structures*, 46, pp. 433-444.
32. Bu, L., Tang, D. Experimental Study and Numerical Analysis on Flexural Behavior of RC Beams Strengthened with RPC Reinforcement Mesh (2022) *Shenyang Jianzhu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science)*, 38 (4), pp. 601-609.
33. Xu, S., Wu, P., Zhou, F., Li, Q., Zeng, T., Jiang, X. Experimental investigation and numerical prediction on resistance of reactive powder concrete to multiple penetration (2021) *Baozha Yu Chongji / Explosion and Shock Waves*, 41 (6), art. no. 063301.
34. Guo, M., Gao, R. Relationships among the characteristic tensile strain, curing age, and strength of reactive powder concrete (2021) *Materials*, 14 (10), art. no. 2660.
35. Jia, F., He, K., Wang, W., An, M., Lu, Z. Splitting tensile bonding strength of Reactive Powder Concrete to normal concrete (2016) *Tiedao Xuebao / Journal of the China Railway Society*, 38 (3), pp. 127-132.
36. Cheng, J., Luo, X., Zhuang, Y., Xu, L., Luo, X. Experimental study on dynamic response characteristics of RPC and RC micro piles in SAJBs (2019) *Applied Sciences (Switzerland)*, 9 (13), art. no. 2644.
37. Ju, Y., Shen, H., Wang, D., Zheng, W. Experimental study on crack resistance of reactive powder concrete beam-column joints (2019) *Zhongnan Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Central South University (Science and Technology)*, 50 (5), pp. 1203-1209.
38. Cui, B., Wang, K.-K., Zhou, Q.-F., Deng, K.-L., Wei, L.-Y. Experiment on Static and Fatigue Performances of Assembled Concrete-steel Link in Assembled Composite Bridge Deck (2018) *Zhongguo Gonglu Xuebao/China Journal of Highway and Transport*, 31 (12), pp. 106-114.
39. Zhao, C., Wang, K., Zhou, Q., Deng, K., Cui, B. Full-Scale Test and Simulation on Flexural Behavior of Dovetail-Shaped Reactive Powder-Concrete Wet Joint in a Composite Deck System (2018) *Journal of Bridge Engineering*, 23 (8), art. no. 04018051.
40. Pan, W.-H., Fan, J.-S., Nie, J.-G., Hu, J.-H., Cui, J.-F. Experimental Study on Tensile Behavior of Wet Joints in a Prefabricated Composite Deck System Composed of Orthotropic Steel Deck and Ultrathin Reactive-Powder Concrete Layer (2016) *Journal of Bridge Engineering*, 21 (10), art. no. 04016064.

41. Han, L.Z., Zhang, J.Q., Nie, J.G. Ultimate bearing capacity of steel-reactive powder concrete composite beams (2014) *Advanced Materials Research*, 900, pp. 473-482.
42. Zhang, Y., Yan, G., An, M., Zhong, T. Ultimate bearing capacity of steel-reactive powder concrete composite beams (2009) *Beijing JiaotongDaxueXuebao/Journal of Beijing Jiaotong University*, 33 (1), pp. 81-85.
43. Yan, R., Du, H., Xu, Y. Mechanical and thermal expansion properties of RPC with steel fibers after exposure to elevated temperatures (2018) *Proceedings of the Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering*, 0.
44. Jin, L., He, P., Fu, Q., Chen, M. Relationship of macro cracks and microstructure of RPC component (2014) *Jiangsu DaxueXuebao (ZiranKexue Ban)/Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition)*, 35 (4), pp. 452-456 and 462.
45. Zhang, M., Zeng, B. Reliability-based calibration of material partial factor of prestressed reactive powder concrete members (2015) *Tumu GongchengXuebao/China Civil Engineering Journal*, 48, pp. 88-97.
46. Cao, X., Peng, J.-C., Jin, L.-Z. Experimental research on mechanical performance of prestressed RPC beam (2014) *Wuhan LigongDaxueXuebao/Journal of Wuhan University of Technology*, 36 (1), pp. 116-122.
47. Deng, Z., Chen, C., Chen, X. Experimental research on the shear behaviors of hybrid fiber reinforced RPC beams (2015) *Tumu GongchengXuebao/China Civil Engineering Journal*, 48 (5), pp. 51-60.
48. Deng, Z., Zhou, D., Cheng, S. The shear bear capacity of reactive powder concrete beam with high strength stirrup (2014) *Harbin GongchengDaxueXuebao/Journal of Harbin Engineering University*, 35 (12), pp. 1512-1518.
49. Ji, W., Zhou, C. Shear lag analysis of prestressed RPC box girder (2007) *ZhongguoTiedaoKexue/China Railway Science*, 28 (1), pp. 19-22.
50. He, F., Huang, Z.-Y., Yi, W.-J. Acid-resistance performance of reactive powder concrete (2011) *Journal of Natural Disasters*, 20 (2), pp. 44-49. 4922-21.
51. Yan, Z., Ji, W., An, M. Design of simple-supported reactive powder concrete railway bridge with span of 32m (2011) *Advanced Materials Research*, 163-167, pp. 904-907.
52. Lu, S.-S., Zheng, W.-Z. Calculation method for cross-sectional crack resistance of reactive powder concrete beams reinforced with GFRP bars (2010) *Harbin GongyeDaxueXuebao/Journal of Harbin Institute of Technology*, 42 (4), pp. 536-540.
53. Yan, Z., Ji, W., An, M. Design and experimental study of low-height reactive powder concrete beams (2009) *Tumu GongchengXuebao/China Civil Engineering Journal*, 42 (5), pp. 96-102.
54. Yan, Z., Ji, W., An, M. Experimental study and full-range analysis of Reactive Powder Concrete T-beams (2009) *Beijing JiaotongDaxueXuebao/Journal of Beijing Jiaotong University*, 33 (1), pp. 86-90.
55. Панфилов Д. А. Обзор существующих диаграмм деформирования бетона при сжатии в отечественных и зарубежных нормативных документах / Д. А. Панфилов, А. А. Пишулев, К. И. Гимадетдинов. - (Техническое регулирование). - Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. - 2014. - № 3. - С. 80-84.
56. Безгодов И. М., Дмитренко Е. Н. Совершенствование криволинейных диаграмм деформирования бетона // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 8. С. 99-104. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.08.99-104.
57. Рахманов В. А., Сафонов А. А. Разработка экспериментальных методов оценки диаграмм деформирования бетона при сжатии // Academia. Архитектура и строительство. – 2017. – № 3. – С. 121–125.
58. Галустов К. З. Нелинейная теория ползучести бетона и расчет железобетонных конструкций / К. З. Галустов. – М.: Физматлит, 2006. – 248 с.
59. Максимова И. Н. Структура и конструкционная прочность цементных композитов: монография / И. Н. Максимова, Н. И. Макридин, В. Т. Ерофеев, Ю. П. Скачков // Москва: Издательство АСВ, 2017. – 400 с.
60. Bragov A. M., Gonov M. E., Lomunov A. K., Balandin V. I. Experimental study of the dynamic properties of concrete under compressive load // Chapter 23 In: B. E. Abali and I. Giorgio (eds.), *Developments and Novel Approaches in Nonlinear Solid Body Mechanics, Advanced Structured Materials*, 2020, vol 130. – P. 403–412.
61. Bragov A. M., Konstantinov A. Yu., Lamzin D. A., Lomunov A.K., Gonov M.E. Determination of the mechanical properties of concrete using the split Hopkinson pressure bar method // *Procedia Structural Integrity* 28 (2020) 2174–2180.
62. Bragov A. M., Gonov M. E., Lamzin D. A., Lomunov A. K., Modin I. A. Response of fine-grained fiber-reinforced concretes under dynamic compression // *Materials Physics and Mechanics*, 2021, 47(6) 962-967.
63. Gonov M., Bragov A., Konstantinov A., Lomunov A., Filippov A. Features of high-speed deformation and fracture of fine-grained concrete under tensile stress // *Advanced Materials Modelling for Mechanical, Medical and Biological Applications*. – 2021. – P. 193–211.
64. Gonov M. E., Bragov A. M., Konstantinov A. Y., Lomunov A. K., Filippov A. R. Features of High-Speed Deformation and Fracture of Fine-Grained Concrete Under Tensile Stress // Chapter 5. In: Altenbach H., Eremeyev V.A., Galybin A., Vasiliev A. (eds) *Advanced Structured Materials, Advanced Materials Modelling for Mechanical, Medical and Biological Applications*, vol 155. – 2022. – P. 193–211.

65. Варламов А. А., Римшин В. И. Модели поведения бетона. Общая теория деградации. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 436 с.
66. Pavluk A., Gomon S., Ziatyuk Y., Gomon P., Homon S., Kulakovskiy L., Iasnii V., Yasnii O., Imbirevych N. Stiffness of solid wood beams under direct and oblique bending conditions. *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen.* – 2023. – 65(2). – P. 109–121.
67. Бакушев С. В. Аппроксимация диаграмм деформирования билинейными функциями // *Строительная механика и расчёт сооружений.* – 2019. № 2 (283). – С. 2–11.
68. Бакушев С. В. Аппроксимация диаграмм деформирования квадратичными функциями // *Строительная механика и расчёт сооружений.* – 2020. № 3 (290). – С. 2–14.
69. Bertron A., Duchesne J. Attack of cementitious materials by organic acids in agricultural and agrofood effluents // *RILEM State-of-the Art Reports.* – 2013.
70. Vupputuri S., Fathepure B. Z., Wilber G. G. and 4 more. Isolation of a sulfur oxidizing *Streptomyces* sp. from deteriorating bridge structures and its role in concrete deterioration // *International Biodeterioration and Biodegradation.* – 2015.
71. Dubravka B., Marijana S., Igor C. Review of microbial corrosion of concrete // *Kuei Suan Jen Hsueh Pao/Journal of the Chinese Ceramic Society.* – 2010.
72. Strokova V., Nelyubova V., Rykunova M. and 1 more, Strength and structure of cement stone exposed to domestic chicken coop // *Journal of Physics: Conference Series.* – 2019.
73. Lapcharatsangroj L., Chalida U.-T. Trial to Determine Durability and Serviceability for Swine Farm in Thailand // *MATEC Web of Conferences.* – 2018.
74. Barbhuiya S., Kumala D. Behaviour of a sustainable concrete in acidic environment // *Sustainability (Switzerland).* – 2017.
75. Wei S., Jiang Z., Liu H. and 2 more. Microbiologically induced deterioration of concrete - A review // *Brazilian Journal of Microbiology.* – 2013.
76. Lanzón, M., García-Ruiz, P.A. Deterioration and damage evaluation of rendering mortars exposed to sulphuric acid // *Materials and Structures / Materiaux et Constructions.* – 2010,
77. Wei S., Sanchez M., Trejo D. and 1 more. Microbial mediated deterioration of reinforced concrete structures // *International Biodeterioration and Biodegradation.* – 2010.
78. De Belie N. Microorganisms versus stony materials: A love hate relationship // *Materials and Structures / Materiaux et Constructions.* – 2010.
79. Yousefi A., Allahverdi A., Hejazi P. Accelerated biodegradation of cured cement paste by *Thiobacillus* species under simulation condition // *International Biodeterioration and Biodegradation.* – 2014.
80. George R. P., Ramya S., Ramachandran D. and 1 more. Studies on Biodegradation of normal concrete surfaces by fungus *Fusarium* sp. // *Cement and Concrete Research.* – 2013.
81. Soleimani S., Ormeci B., Isgor O. B. Growth and characterization of *Escherichia coli* DH5 α biofilm on concrete surfaces as a protective layer against microbiologically influenced concrete deterioration (MICD) // *Applied Microbiology and Biotechnology.* – 2013.
82. Li H., Liu D., Lian B. and 2 more. Microbial Diversity and Community Structure on Corroding Concretes // *Geomicrobiology Journal.* – 2012.
83. Fiertak M., Stanaszek-Tomal E., Kozak A. The growth of fungi and their effect on the behaviour of cement polymer composites // *Advances in Cement Research.* – 2015.
84. Geweely N. S. I. Evaluation of ozone for preventing fungal influenced corrosion of reinforced concrete bridges over the River Nile, Egypt // *Biodegradation.* – 2011.
85. Биологическое сопротивление материалов / В.И. Соломатов, В.Т. Ерофеев, В.Ф. Смирнов и др. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2001. — 193 с.
86. Pereyra A. M., Gonzalez M. R., Rodrigues T. A. and 2 more. Enhancement of biocorrosion resistance of epoxy coating by addition of Ag/Zn exchanged a zeolite // *Surface and Coatings Technology.* – 2015.
87. Munzer C., Belhaj E., Meylheuc T. and 2 more. Effects of bioadmixture on surface characteristics of cement pastes // *Materiaux et Techniques.* – 2015.
88. Vipulanandan C., Liu J. Polymer Coatings for Concrete Surfaces: Testing and Modeling // *Handbook of Environmental Degradation of Materials: Second Edition.* – 2012.
89. Viktoria Il'ina, Valeria Strokova, Vladimir Erofeev, Irina Stepina. Photo-reactive acrylic-alkyd composition with biocide additive for wood protection coating development // *Architecture and Engineering Journal, Vol 9, № 3, 2024.* – P. 53–62.
90. Безгодов, И.М. Совершенствование криволинейных диаграмм деформирования бетона / И.М. Безгодов, Е.Н. Дмитренко // *Промышленное и гражданское строительство.* – 2019. – №8. – С.99-104.
91. Черноусов Н.Н. Исследование механики работы мелкозернистого шлакобетона при осевом растяжении и сжатии / Н.Н. Черноусов, Р.Н. Черноусов, А.В. Суханов // *Строительные материалы.* – 2014. – № 12. – С. 59–63.
92. Маилян, Д.Р Деформационные свойства и параметрические точки бетонов каркасной структуры / Д.Р. Маилян, Г.В. Несветаев, С.В. Халезин, А.А. Горцевской // *Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона».* – 2018. – №2.

REFERENCES

1. Karpenko N. I., Kruglov V. M., Soloviev L. Yu. Nonlinear deformation of concrete and reinforced concrete. - Novosibirsk: Publishing house of SUSPS, 2001. - 276 p.
2. Sheikin A. E., Chekhovsky Yu. V., Brusser M. I. Structure and properties of cement concrete. Moscow: Stroyizdat, 1979. - 344 p.
3. Grushko I. M. Tensile strength of concrete / I. M. Grushko, A. G. Ilyin, S. T. Rashevsky. - Kharkov: Publishing house of Kharkov University, 1973. - 155 p.
4. Polystructural theory of composite building materials / V. I. Solomatov, V. N. Vyrovoy, A. N. Bobryshev, et al. - Tashkent: Fan, 1991. - 342 p.
5. Iskhakov, I., Frolov, I., Ribakov, Y., 2022. Experimental verification of theoretical stress-strain model for compressed concrete considering the post-peak stage // *Materials* 15(17), 6064.
6. Y. Feng, Y. Su, N. Lu, S. Shah, Meta concrete: exploring the novel functionality of concrete using nanotechnology, *Eng. Sci.* (2020), <https://doi.org/10.30919/es8d816>.
7. S. Barbhuiya, B.B. Das, Water-soluble polymers in cementitious materials: a comprehensive review of roles, mechanisms, and applications, *Case Stud. Constr. Mater.* 19 (2023) e02312, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02312>.
8. N. P. Tran, T. N. Nguyen, T. D. Ngo, The role of organic polymer modifiers in cementitious systems towards durable and resilient infrastructures: a systematic review, *Constr. Build. Mater.* 360 (2022) 129562, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129562>.
9. Javadi A., Jamil T., Abouzari-Lotf, E., Soucek, M. D., & Heinz, H. (2021). Working mechanisms and design principles of comb-like polycarboxylate ether superplasticizers in cement hydration: quantitative insights for a series of well-defined copolymers. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(25), 8354–8371.
10. L. Xia, M. Zhou, T. Ni, Z. Liu. Synthesis and characterization of a novel early-strength polycarboxylate superplasticizer and its performances in cementitious system, *J. Appl. Polym. Sci.* 137 (2020) 48906.
11. X. Liu, G. Lai, J. Guan, S. Qian, Z. Wang, S. Cui, F. Gao, Y. Jiao, R. Tao, Technical optimization and life cycle assessment of environment-friendly superplasticizer for concrete engineering, *Chemosphere* 281 (2021), <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130955>.
12. Muthukumar, M., Mohan, D., 2004. Optimization of mechanical properties of concrete polymer and mix design recommendation based on design of experiments. *J. Appl. Polym. Sci.* 94(3), 1107–1116.
13. Khalid M. Y, Al Rashid A, Arif Z. U, Akram N, Arshad H, Garcia Marquez FP. Characterization of failure strain in fiber reinforced Composites: under on-Axis and off-Axis loading. *Crystals* 2021;11:216. <https://doi.org/10.3390/cryst11020216>.
14. Dobiszewska M, Schindler AK, Pichór W. Mechanical properties and interfacial transition zone microstructure of concrete with waste basalt powder addition. *Constr Build Mater* 2018;177:222–9. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.133>.
15. Peng Y, Zhang J, Liu J, Ke J, Wang F. Properties and microstructure of reactive powder concrete having a high content of phosphorous slag powder and silica fume. *Constr Build Mater* 2015;101:482–7. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.046>.
16. Travush V. I., Karpenko N. I., Erofeev V. T., Vatin N. I., Erofeeva I. V., Maksimova I. N., Kondrashchenko V. I., Kesarijskij A. G. Destruction of powder-activated concrete with fixation of destruction by a laser interferometer // *Magazine of Civil Engineering*. Volume 95, Issue 3, 2020. – P. 42–48.
17. Saran, ASA, Magudeaswaran P, Mohammed MK. Concrete Microstructure- A Review, vol. 2; 2016.
18. Elsharief A, Cohen MD, Olek J. Influence of aggregate size, water cement ratio and age on the microstructure of the interfacial transition zone. *Cem Concr Res* 2003;33:1837–49. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00205-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00205-9).
19. Xie Ping J. J, Beaudoin R. B. Effect of aggregate size on transition zone properties at the Portland cement paste interface. *Cem Concr Res* 1991. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(91\)90059-Q](https://doi.org/10.1016/0008-8846(91)90059-Q).
20. Liao K. Y., Chang P. K., Peng Y. N., Yang C. C. A study on characteristics of interfacial transition zone in concrete. *Cem Concr Res* 2004;34:977–89. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.11.019>.
21. Neville A. M., Brooks J. J. Properties of concrete 2010. <https://doi.org/10.4135/9781412975704.n88>.
22. Erofeev V. T., Vatin N. I., Maximova I. N., Tarakanov O. V., Sanyagina Y. A., Erofeeva I. V., Suzdaltsev O. V. Powder-activated concrete with a granular surface texture // *International journal for computational civil and structural engineering*. – 2022. – No. 4. – T. 18. – P. 49–61.
23. Shi C, Wu Z, Xiao J, Wang D, Huang Z, Fang Z. A review on ultra high performance concrete: Part I. Raw materials and mixture design. *Constr Build Mater* 2015;101:741–51. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.088>.
24. Tam C. M., Tam V. W. Y., Ng K. M. Optimal conditions for producing reactive powder concrete. *Mag Concr Res* 2010;62:701–16. <https://doi.org/10.1680/macr.2010.62.10.701>.
25. Hassan A. M. T, Jones S. W, Mahmud G. H. Experimental test methods to determine the uniaxial tensile and compressive behavior of Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC). *Constr Build Mater* 2012. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.030>.

26. Chan Y. W., Chu S. H.. Effect of silica fume on steel fiber bond characteristics in reactive powder concrete. *Cem Concr Res* 2004;34:1167–72. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.12.023>.
27. Kang S. T., Lee Y., Park Y. D., Kim J. K. Tensile fracture properties of an Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC) with steel fiber. *Compos Struct* 2010. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2009.06.012>.
28. Ma J., Orgass M., Dehn F., Schmidt Du, Tue N. V. Comparative investigations on ultra-high performance concrete with or without coarse aggregates. *Proc Int Symp Ultra High Perform Concr* 2004:205–12.
29. Zdeb T. An analysis of the steam curing and autoclaving process parameters for reactive powder concretes. *Constr Build Mater* 2017;131:758–66. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.026>.
30. Rabinovich F. N. Dispersion-reinforced concrete. - Moscow: Stroyizdat, 1989. - 176 p.
31. Zhang, L., Zhang, M., Wang, K., Shi, J., Chen, W., Yan, K. Axial compressive behavior of steel-reinforced reactive powder concrete short columns (2022) *Structures*, 46, pp. 433-444.
32. Bu, L., Tang, D. Experimental Study and Numerical Analysis on Flexural Behavior of RC Beams Strengthened with RPC Reinforcement Mesh (2022) *Shenyang Jianzhu Daxue Xuebao (ZiranKexue Ban)/Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science)*, 38 (4), pp. 601-609.
33. Xu, S., Wu, P., Zhou, F., Li, Q., Zeng, T., Jiang, X. Experimental investigation and numerical prediction on resistance of reactive powder concrete to multiple penetration (2021) *Baozha Yu Chongji / Explosion and Shock Waves*, 41 (6), art. no. 063301.
34. Guo, M., Gao, R. Relationships among the characteristic tensile strain, curing age, and strength of reactive powder concrete (2021) *Materials*, 14 (10), art. no. 2660, .
35. Jia, F., He, K., Wang, W., An, M., Lu, Z. Splitting tensile bonding strength of Reactive Powder Concrete to normal concrete (2016) *Tiedao Xuebao / Journal of the China Railway Society*, 38 (3), pp. 127-132.
36. Cheng, J., Luo, X., Zhuang, Y., Xu, L., Luo, X. Experimental study on dynamic response characteristics of RPC and RC micro piles in SAJBs (2019) *Applied Sciences (Switzerland)*, 9 (13), art. no. 2644, .
37. Ju, Y., Shen, H., Wang, D., Zheng, W. Experimental study on crack resistance of reactive powder concrete beam-column joints (2019) *ZhongnanDaxueXuebao (ZiranKexue Ban)/Journal of Central South University (Science and Technology)*, 50 (5), pp. 1203-1209.
38. Cui, B., Wang, K.-K., Zhou, Q.-F., Deng, K.-L., Wei, L.-Y. Experiment on Static and Fatigue Performances of Assembled Concrete-steel Link in Assembled Composite Bridge Deck (2018) *ZhongguoGongluXuebao/China Journal of Highway and Transport*, 31(12), pp. 106-114.
39. Zhao, C., Wang, K., Zhou, Q., Deng, K., Cui, B. Full-Scale Test and Simulation on Flexural Behavior of Dovetail-Shaped Reactive Powder-Concrete Wet Joint in a Composite Deck System (2018) *Journal of Bridge Engineering*, 23 (8), art. no. 04018051.
40. Pan, W.-H., Fan, J.-S., Nie, J.-G., Hu, J.-H., Cui, J.-F. Experimental Study on Tensile Behavior of Wet Joints in a Prefabricated Composite Deck System Composed of Orthotropic Steel Deck and Ultrathin Reactive-Powder Concrete Layer (2016) *Journal of Bridge Engineering*, 21(10), art. no. 04016064.
41. Han, L.Z., Zhang, J.Q., Nie, J.G. Ultimate bearing capacity of steel-reactive powder concrete composite beams (2014) *Advanced Materials Research*, 900, pp. 473-482.
42. Zhang, Y., Yan, G., An, M., Zhong, T. Ultimate bearing capacity of steel-reactive powder concrete composite beams (2009) *Beijing JiaotongDaxueXuebao/Journal of Beijing Jiaotong University*, 33 (1), pp. 81-85.
43. Yan, R., Du, H., Xu, Y. Mechanical and thermal expansion properties of RPC with steel fibers after exposure to elevated temperatures (2018) *Proceedings of the Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering*, 0.
44. Jin, L., He, P., Fu, Q., Chen, M. Relationship of macro cracks and microstructure of RPC component (2014) *Jiangsu DaxueXuebao (ZiranKexue Ban)/Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition)*, 35 (4), pp. 452-456 and 462.
45. Zhang, M., Zeng, B. Reliability-based calibration of material partial factor of prestressed reactive powder concrete members (2015) *Tumu GongchengXuebao/China Civil Engineering Journal*, 48, pp. 88-97.
46. Cao, X., Peng, J.-C., Jin, L.-Z. Experimental research on mechanical performance of prestressed RPC beam (2014) *Wuhan LigongDaxueXuebao/Journal of Wuhan University of Technology*, 36 (1), pp. 116-122.
47. Deng, Z., Chen, C., Chen, X. Experimental research on the shear behaviors of hybrid fiber reinforced RPC beams (2015) *Tumu GongchengXuebao/China Civil Engineering Journal*, 48 (5)
48. Deng, Z., Zhou, D., Cheng, S. The shear bear capacity of reactive powder concrete beam with high strength stirrup (2014) *Harbin GongchengDaxueXuebao/Journal of Harbin Engineering University*, 35 (12), pp. 1512-1518.
49. Ji, W., Zhou, C. Shear lag analysis of prestressed RPC box girder (2007) *ZhongguoTiedaoKexue/China Railway Science*, 28 (1), pp. 19-22.
50. He, F., Huang, Z.-Y., Yi, W.-J. Acid-resistance performance of reactive powder concrete (2011) *Journal of Natural Disasters*, 20 (2), pp. 44-49. 4922-21.
51. Yan, Z., Ji, W., An, M. Design of simple-supported reactive powder concrete railway bridge with a span of 32m (2011) *Advanced Materials Research*, 163-167, pp. 904-907.
52. Lu, S.-S., Zheng, W.-Z. Calculation method for cross-sectional crack resistance of reactive powder concrete beams reinforced with GFRP bars (2010) *Harbin GongyeDaxueXuebao/Journal of Harbin Institute of Technology*, 42 (4), pp. 536-540.

53. Yan, Z., Ji, W., An, M. Design and experimental study of low-height reactive powder concrete beams (2009) Tumu GongchengXuebao/China Civil Engineering Journal, 42 (5), pp. 96-102.
54. Yan, Z., Ji, W., An, M. Experimental study and full-range analysis of Reactive Powder Concrete T-beams (2009) Beijing JiaotongDaxueXuebao/Journal of Beijing Jiaotong University, 33 (1), pp. 86-90.
55. Panfilov, D. A. Review of existing concrete deformation diagrams under compression in domestic and foreign regulatory documents / D. A. Panfilov, A. A. Pishchulev, K. I. Gimadetdinov. - (Technical regulation). - Text: direct // Industrial and civil engineering. - 2014. - No. 3. - P. 80-84.
56. Bezgodov, I. M., Dmitrenko, E. N. Improvement of curvilinear concrete deformation diagrams // Industrial and civil engineering. 2019. No. 8. P. 99-104. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.08.99-104.
57. Rakhmanov V. A., Safonov A. A. Development of experimental methods for assessing concrete deformation diagrams under compression // Academia. Architecture and Construction. - 2017. - No. 3. - P. 121-125.
58. Galustov K. Z. Nonlinear theory of concrete creep and calculation of reinforced concrete structures / K. Z. Galustov. - Moscow: Fizmatlit, 2006. - 248 p.
59. Maksimova I. N. Structure and structural strength of cement composites: monograph / I. N. Maksimova, N. I. Makridin, V. T. Erofeev, Yu. P. Skachkov // Moscow: ASV Publishing House, 2017. - 400 p.
60. Bragov A. M., Gonov M. E., Lomunov A. K., Balandin V. I. Experimental study of the dynamic properties of concrete under compressive load // Chapter 23 In: B. E. Abali and I. Giorgio (eds.), Developments and Novel Approaches in Nonlinear Solid Body Mechanics, Advanced Structured Materials, 2020, vol 130. - P. 403-412.
61. Bragov A. M., Konstantinov A. Yu., Lamzin D. A., Lomunov A. K., Gonov M. E. Determination of the mechanical properties of concrete using the split Hopkinson pressure bar method // Procedia Structural Integrity 28 (2020) 2174-2180.
62. Bragov A. M., Gonov M. E., Lamzin D. A., Lomunov A. K., Modin I. A. Response of fine-grained fiber-reinforced concretes under dynamic compression // Materials Physics and Mechanics, 2021, 47(6) 962-967.
63. Gonov M., Bragov A., Konstantinov A., Lomunov A., Filippov A. Features of high-speed deformation and fracture of fine-grained concrete under tensile stress // Advanced Materials Modeling for Mechanical, Medical and Biological Applications. - 2021. - P. 193-211.
64. Gonov M. E., Bragov A. M., Konstantinov A. Y., Lomunov A. K., Filippov A. R. Features of High-Speed Deformation and Fracture of Fine-Grained Concrete Under Tensile Stress // Chapter 5. In: Altenbach H., Eremeyev V. A., Galybin A., Vasiliev A. (eds) Advanced Structured Materials, Advanced Materials Modeling for Mechanical, Medical and Biological Applications, vol 155. - 2022. - P. 193-211.
65. Varlamov A. A., Rimshin V. I. Models of Concrete Behavior. General Theory of Degradation. - Moscow: INFRA-M, 2019. - 436 p.
66. Pavluk A., Gomon S., Ziatyuk Y., Gomon P., Homon S., Kulakovskiy L., Iasnii V., Yasniy O., Imbirovych N. Stiffness of solid wood beams under direct and oblique bending conditions. Acta Facultatis Xylologiae Zvolen. - 2023. - 65(2). - P. 109-121.
67. Bakushev S. V. Approximation of strain diagrams by bilinear functions // Structural Mechanics and Analysis of Structures. - 2019. No. 2 (283). - P. 2-11.
68. Bakushev S. V. Approximation of strain diagrams by quadratic functions // Structural Mechanics and Analysis of Structures. - 2020. No. 3 (290). - P. 2-14.
69. Bertron A., Duchesne J. Attack of cementitious materials by organic acids in agricultural and agrofood effluents // RILEM State-of-the Art Reports. - 2013.
70. Vupputuri S., Fathepure B. Z., Wilber G. G. and 4 more. Isolation of a sulfur oxidizing Streptomyces sp. from deteriorating bridge structures and its role in concrete deterioration // International Biodeterioration and Biodegradation. - 2015.
71. Dubravka B., Marijana S., Igor C. Review of microbial corrosion of concrete // Kuei Suan Jen Hsueh Pao/Journal of the Chinese Ceramic Society. - 2010.
72. Strokova V., Nelyubova V., Rykunova M. and 1 more, Strength and structure of cement stone exposed to domestic chicken coop // Journal of Physics: Conference Series. - 2019.
73. Lapcharatsangroj L., Chalida U.-T. Trial to Determine Durability and Serviceability for Swine Farm in Thailand // MATEC Web of Conferences. - 2018.
74. Barbhuiya S., Kumala D. Behavior of a sustainable concrete in acidic environment // Sustainability (Switzerland). - 2017.
75. Wei S., Jiang Z., Liu H. and 2 more. Microbiologically induced deterioration of concrete - A review // Brazilian Journal of Microbiology. - 2013.
76. Lanzón, M., García-Ruiz, P.A. Deterioration and damage evaluation of rendering mortars exposed to sulfuric acid // Materials and Structures / Materiaux et Constructions. - 2010,
77. Wei S., Sanchez M., Trejo D. and 1 more. Microbial mediated deterioration of reinforced concrete structures // International Biodeterioration and Biodegradation. - 2010.
78. De Belie N. Microorganisms versus stony materials: A love hate relationship // Materials and Structures / Materiaux et Constructions. - 2010.

79. Yousefi A., Allahverdi A., Hejazi P. Accelerated biodegradation of cured cement paste by *Thiobacillus* species under simulation condition // *International Biodeterioration and Biodegradation*. – 2014.
80. George R. P., Ramya S., Ramachandran D. and 1 more. Studies on Biodegradation of normal concrete surfaces by fungus *Fusarium* sp. // *Cement and Concrete Research*. – 2013.
81. Soleimani S., Ormeci B., Isgor O. B. Growth and characterization of *Escherichia coli* DH5 α biofilm on concrete surfaces as a protective layer against microbiologically influenced concrete deterioration (MICD) // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2013.
82. Li H., Liu D., Lian B. and 2 more. Microbial Diversity and Community Structure on Corroding Concrete // *Geomicrobiology Journal*. – 2012.
83. Fiertak M., Stanaszek-Tomal E., Kozak A. The growth of fungi and their effect on the behavior of cement polymer composites // *Advances in Cement Research*. – 2015.
84. Geweely N. S. I. Evaluation of ozone for preventing fungal influenced corrosion of reinforced concrete bridges over the River Nile, Egypt // *Biodegradation*. – 2011.
85. Biological resistance of materials / V.I. Solomatov, V.T. Erofeev, V.F. Smirnov, et al. – Saransk: Publishing house of Mordovia University, 2001. – 193 p.
86. Pereyra A. M., Gonzalez M. R., Rodrigues T. A. and 2 more. Enhancement of biocorrosion resistance of epoxy coating by addition of Ag/Zn exchanged a zeolite // *Surface and Coatings Technology*. – 2015.
87. Munzer C., Belhaj E., Meylheuc T. and 2 more. Effects of bioadmixture on surface characteristics of cement pastes // *Materiaux et Techniques*. – 2015.
88. Vipulanandan C., Liu J. Polymer Coatings for Concrete Surfaces: Testing and Modeling // *Handbook of Environmental Degradation of Materials: Second Edition*. – 2012.
89. Viktoria Il'ina, Valeria Strokova, Vladimir Erofeev, Irina Stepina. Photo-reactive acrylic-alkyd composition with biocide additive for wood protection coating development // *Architecture and Engineering Journal*, Vol 9, No. 3, 2024. – P. 53–62.
90. Bezgodov, I.M. Improvement of curvilinear diagrams of concrete deformation / I.M. Bezgodov, E.N. Dmitrenko // *Industrial and civil engineering*. – 2019. – No. 8. – P. 99–104.
91. Chernousov, N.N. Study of the mechanics of fine-grained cinder concrete under axial tension and compression / N.N. Chernousov, R.N. Chernousov, A.V. Sukhanov // *Construction materials*. – 2014. – No. 12. – P. 59–63.
92. Mailyan, D.R. Deformation properties and parametric points of frame concrete / D.R. Mailyan, G.V. Nesvetaev, S.V. Khalezin, A.A. Gortsevskoy // *Electronic scientific journal "Engineering Bulletin of the Don"*. – 2018. – No. 2.

Информация об авторах:

Ерофеев Владимир Трофимович

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26), Россия,
доктор технических наук, профессор кафедры строительных материалов.
E-mail: erofeevvt@bk.ru

Гончарова Маргарита Александровна

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, Россия,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительного материаловедения и дорожных технологий кафедры промышленного и гражданского строительства.
E-mail: magoncharova777@yandex.ru

Тараканов Олег Вячеславович

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», г. Пенза, Россия,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры кадастра недвижимости и права.
E-mail: tarov60@mail.ru

Светлов Дмитрий Анатольевич

ООО «Софт Протектор» (195030, г. Санкт-Петербург, ул. Химиков, д. 28, литер Ц, помещ. 1591)
доктор технических наук, директор
E-mail: erofeevvt@bk.ru

Максимова Ирина Николаевна

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», г. Пенза, Россия,
кандидат технических наук, доцент
E-mail: maksimova@pguas.ru

Ерофеева Ирина Владимировна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26), Россия,

кандидат технических наук, доцент.
E-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru

Кучин Вячеслав Николаевич

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II (199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2)
кандидат технических наук, доцент.
E-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru

Светлов Д.В.

Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого (195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул, д. 29)
аспирант
E-mail: erofeevvt@bk.ru

Information about authors:

Erofeev Vladimir T.

National Research Moscow State University of Civil Engineering (129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26), Russia,
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Materials.
E-mail: erofeevvt@bk.ru

Goncharova Margarita A.

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Materials Science and Road Technologies of the Department of Industrial and Civil Engineering.
E-mail: magoncharova777@yandex.ru

Tarakanov Oleg V.

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Real Estate Cadastre and Law.
E-mail: tarov60@mail.ru

Svetlov Dmitry A.

Soft Protector LLC (195030, St. Petersburg, Khimikov St., 28, letter C, room. 1591)
Doctor of Technical Sciences, Director
E-mail: erofeevvt@bk.ru

Maximova Irina N.

Penza State University of Architecture and Civil Engineering, Penza, Russia,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
E-mail: maksimova@pguas.ru

Erofeeva Irina V.

National Research Moscow State University of Civil Engineering (129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26), Russia,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.
E-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru

Kuchin Vyacheslav N.

St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II (199106, St. Petersburg, Vasilyevsky Island, 21 Line, 2)
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.
E-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru

Svetlov D.V.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (195251, St. Petersburg, Politekhnikeskaya Ulitsa, 29)
Postgraduate Student
E-mail: erofeevvt@bk.ru

Статья поступила в редакцию 01.11.2025
Одобрена после рецензирования 19.11.2025
Принята к публикации 01.12.2025

The article was submitted 01.11.2025
Approved after reviewing 19.11.2025
Accepted for publication 01.12.2025

Е.В. ТКАЧ¹, Ю.С. ФИЛИМОНОВА², А.А. ЧЕРНЫХ¹¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия²ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия

ИЗУЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ ПОЛИДИСПЕРСНОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Аннотация. Для создания эффективных условий использования мелиорируемых земель и их плодородия необходимо обеспечить строительство и эксплуатацию разветвленной системы оросительных систем (лотков) с высокой степенью долговечности и надежности на протяжении всего периода эксплуатации. В рамках данных исследований рассматриваются вопросы, связанные с повышением эксплуатационных характеристик модифицированного тяжелого бетона, работающего в суровых условиях эксплуатации. Целью исследования является установление возможности управления зерновым составом цементного вяжущего, модифицированного комплексным модификатором (суперпластификатор + полимер + микрокремнезем) за счет формирования пространственно-армированной мелкокристаллической структуры цементной матрицы с максимально плотной упаковкой, которая сохраняется во времени. Наличие в комплексном модификаторе микрокремнеземистого компонента способствует протеканию пуццолановой реакции с образованием химически стойких низкоосновных гидросиликатов кальция, что положительно влияет на коррозионную стойкость бетона. Объект исследования: тяжелый бетон на основе полидисперсного вяжущего с комплексным модификатором (суперпластификатор + полимер + микрокремнезем), армированный базальтовым волокном для гидромелиоративного строительства, в частности лотков оросительных систем. В работе использованы следующие методы исследования: лазерной гранулометрии, рентгенофазового, электронно-микроскопического и химического анализов; в целях формирования плотных упаковок тонкодисперсных фракций клинкерного компонента применялся метод математической обработки полученных экспериментальных данных. Результаты исследований: получены новые данные, дополняющие теоретические представления о процессе структурообразования тяжелого бетона на основе полидисперсного вяжущего с управляемым зерновым составом совместно с комплексным модификатором и армированным базальтовым волокном. Разработан состав и технологические решения получения эффективного тяжелого бетона для гидромелиоративного строительства с повышенными эксплуатационными характеристиками: предел прочности на сжатие – 77,3 МПа; предел прочности на растяжение при изгибе – 8,62 МПа; водопоглощение – 1,9%; марка по водонепроницаемости – W14; морозостойкость F1=600, повышенная стойкость к агрессивным средам.

Ключевые слова: гидромелиоративное строительство, полидисперсное вяжущее, комплексный модификатор, коррозионная стойкость.

E.V. TKACH¹, YU.S. FILIMONOVA², A.A. CHERNYKH¹¹National Research Moscow State Civil Engineering University, Moscow, Russia²Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

STUDY OF PERFORMANCE PROPERTIES OF MODIFIED CONCRETE BASED ON POLYDISPERSED BINDING AGENT FOR WATER RECLAMATION CONSTRUCTION

©Ткач Е.В., Филимонова Ю.С., Черных А.А., 2025

Abstract. To effectively utilize reclaimed land and maintain its fertility, it is necessary to ensure the construction and operation of a comprehensive irrigation system (troughs) with a high degree of durability and reliability throughout the entire service life. This research examines issues related to

improving the performance of modified heavy-duty concrete operating under harsh conditions. The objective of this study is to establish the feasibility of controlling the grain size distribution of a cement binder modified with a complex modifier (superplasticizer + polymer + microsilica) by forming a spatially reinforced, fine-crystalline structure of the cement matrix with the highest possible packing density, which is maintained over time. The presence of a microsilica component in the complex modifier promotes a pozzolanic reaction with the formation of chemically stable, low-basic calcium hydrosilicates, which positively impacts the corrosion resistance of concrete. Object of study: heavy-duty concrete based on a polydisperse binder with a complex modifier (superplasticizer + polymer + microsilica), reinforced with basalt fiber for irrigation and drainage construction, specifically irrigation system trays. The following research methods were used in the study: laser granulometry, X-ray phase analysis, electron microscopy, and chemical analysis. Mathematical processing of the obtained experimental data was used to form dense packings of finely dispersed fractions of the clinker component. Research results: new data were obtained that complement theoretical understanding of the structure formation process of heavy-duty concrete based on a polydisperse binder with a controlled grain size distribution, combined with a complex modifier and reinforced with basalt fiber. A composition and technological solutions have been developed for producing effective heavy concrete for irrigation and drainage construction with improved performance characteristics: compressive strength – 77.3 MPa; tensile strength in bending – 8.62 MPa; water absorption – 1.9%; water resistance grade – W14; frost resistance F1=600, increased resistance to aggressive environments.

Keywords: irrigation and drainage construction, polydisperse binder, complex modifier, corrosion resistance.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хозин В.Г., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Разработка строительных материалов на основе поливинилхлорида и эпоксидных полимеров, Строительные материалы. 2024. № 11. С. 55-62
2. Mukhametrakhimov R.Kh., Garafiev A.M., Aleksandrova O.V., Bulgakov B.I. Structure and properties of modified shungite concrete during electrode heating, //Construction Materials and Products. 2023. 6 (6). 1. DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-6-1
3. Mukhametrakhimov R.Kh., Lukmanova L.V. Structure and properties of mortar printed on a 3D printer, // Magazine of Civil Engineering. 2021, 102. 10206. DOI: 10.34910/MCE.102.6
4. Asmatulayev B., Asmatulayev R., Asmatulayev N., Bakirbayeva A., Construction of Durable Roads from Rolled Concrete Based on Belite Slag Cement And Binders //International Journal of GEOMATE, Vol. 24, Issue 104, 2023, pp.27-35.
5. Es-samlali L., Yassine El Haloui, Fahd Oudrhiri-Hassani, Abdelmonaim Tlidi, & Abderrahman Bekri, Natural Aggregate Substitution by Steel Slag Waste for Concrete Manufacturing, //International Journal of GEOMATE, Vol. 26, Issue 115, pp. 61–72.
6. Bulgakov, B.I., Nguyen, V.Q.D., Aleksandrova, A.V., Larsen, O.A., Galtseva, N.A. High-performance concrete produced with locally available materials. //Magazine of Civil Engineering. 2023. Magazine of Civil Engineering. 117(1). Article no. 11702. DOI: 10.34910/MCE.117.2
7. Ларсен О.А., Наруть В.В., Бахрах А.М. Пуццолановая активность минеральных добавок для гидротехнических бетонов // Техника и технология силикатов. 2022. Т. 29. №3. С. 250 – 260.
8. Nguyen Binh Ha, Le Ba Danh, Pham Duy Hoa, & Nguyen Ngoc Tuyen, Research on the Application of Geopolymer Concrete for Prestressed Girder Structures of Bridges Towards Sustainable Development, // International Journal of GEOMATE, Vol. 25, Issue 110, 2023, pp. 21–28.
9. Lam T.Q.K, Do T.M.D, Ngo V.T, Nguyen T.C. Increased plasticity of nano concrete with steel fibers // Magazine of civil engineering. 2020. № 1 (93). С. 27-34.
10. Teramoto A., Maruyama I., Mitani Y. Influence of silica fume additive and temperature history on the volume change of ultra-high-strength cement paste and concrete // Advances in civil engineering materials. 2019. № 3. С. 153-172.
11. Kherraf L., Abdelouehed A., Belachia M., Hebhouh H. Effects of the incorporation of combined additions in cement on the properties of concretes // International review of civil engineering. 2018. № 1(9). С. 31-39.
12. Урханова Л.А., Иванов А.И., Лхасаранов С.А. Hydraulic Engineering concrete based on a Composite Binder using dispersed perlite and a colloidal additive// International Journal for Computational Civil and Structural Engineering/ 2025/ Issue 1. Volume 21. PP. 69-78.
13. Урханова Л.А. Saidova, Z.; Yakovlev, G.; Orbán, Z.; Grakhov, V. Cement Compositions Modified with Dispersed Magnesium Silicate Dihydrate- and Carbon-Based Additives // Construction Materials. – 2022. №2. PP. 101-113. <https://doi.org/10.3390/constrmater2020008>.

14. Танг Л.В., Нгуен З.Ч., Булгаков Б.И., Александрова О.В. Строительные материалы с низким углеродным следом с использованием промышленных отходов // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2025. Т. 17. № 1. С. 83-94
15. Fediuk R., Makarova N., Qader D.N., Petropavlovskaya V., Novichencova T., Sulman M., Petropavlovskii K. Combined effect on properties and durability performance of nanomodified basalt fiber blended with bottom ash-based cement concrete: ANOVA evaluation // *Journal of Materials Research and Technology*, 2023, 23, С. 2642–2657. DOI:10.1016/j.jmrt.2023.01.179
16. Fediuk R., Makarova N., Kozin A., Petropavlovskaya V., Novichencova T., Sulman M., Petropavlovskii K. Nanomodified Basalt Fiber Cement Composite with Bottom Ash // *Journal of Composites Science*, 2023, 7(3), 96. DOI:10.3390/jcs7030096
17. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Корженко А., Бурьянов А.Ф., Пудов И.А., Лушникова А.А. Модификация цементных бетонов многослойными углеродными нанотрубками // *Строительные материалы*. 2011. № 2. С. 47-51.
18. M. B. Kaddo, Yu.S. Filimonova Hydrophysical properties of heavy-duty concrete with a complex modifier for hydromeliorative construction // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 20(4) 72–80 (2024). DOI: <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2024-20-4-72-80>.
19. Ткач Е.В., Temirkanov R. I., Tkach S.A. Comprehensive study of modified concrete based on activated microsilicon together with micro-reinforcing fiber to improve performance // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. – 2021. – Vol. 332. – No. 5. – P. 215–226. DOI: 10.18799/24131830/2021/5/3204
20. Rauza Serova, Evgeniya Stasilovich, Yedil Imanov, Tatyana Bogoyavlenskaya, Maksim Khan, Ткач Е.В. Modified aerated concrete based on man-made waste // *International Journal of GEOMATE*, Sept. 2022, Vol.23, Issue 97, pp.131-138 ISSN: 2186-2982 (P), 2186-2990 (O), Japan, DOI: <https://doi.org/10.21660/2022.97.3334>
21. Luo X., Weng Y., Wang S., Du J., Wang H., Xu C. Superhydrophobic and oleophobic textiles with hierarchical micro-nano structure constructed by sol–gel method // *Journal of sol-gel science and technology*. 2019. № 3. С. 820-829.
22. Kalmagambetova A.Sh., Bogoyavlenskaya T.A., Effekt of physical of samplec on the mechanical charakterictiks, *An International Journal “Advances in Materials Research”*, Vol. 10, No. 1, 2021, pp. 67-76
23. Довгань И.В. Топологические аспекты структурообразования в дисперсных системах и вяжущих материалах / И.В. Довгань, А.В. Колесников, С.В. Семенова, Г.А. Кириленко // *Строительные материалы*. 2011. №3. С.100-102.
24. Королев Е.В. Композиционные материалы как полидисперсные системы. Эффективные модели / Е. В. Королев, А. Н. Гришина, А. М. Айзенштадт // *Региональная архитектура и строительство*. – 2021. – № 3(48). – С. 16-25.

REFERENCES

1. Khozin V.G., Abdrakhmanova L.A., Nizamov R.K. Razrabotka stroitel'nykh materialov na os-nove polivinilkhlorida i epoksidnykh polimerov, *Stroitel'nyye materialy*. 2024. № 11. S. 55-62
2. Mukhametrakhimov R.Kh., Garafiev A.M., Aleksandrova O.V., Bulgakov B.I. Structure and properties of modified shungite concrete during electrode heating, // *Construction Materials and Products*. 2023. 6 (6). 1. DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-6-1
3. Mukhametrakhimov R.Kh., Lukmanova L.V. Structure and properties of mortar printed on a 3D printer, // *Magazine of Civil Engineering*. 2021, 102. 10206. DOI: 10.34910/MCE.102.6
4. Asmatulayev B., Asmatulayev R., Asmatulayev N., Bakirbayeva A., Construction of Durable Roads from Rolled Concrete Based on Belite Slag Cement And Binders // *International Journal of GEOMATE*, Vol. 24, Issue 104, 2023, pp.27-35.
5. Es-samlali L., Yassine El Haloui, Fahd Oudrhiri-Hassani, Abdelmonaim Tlidi, & Abderrahman Bekri, Natural Aggregate Substitution by Steel Slag Waste for Concrete Manufacturing, // *International Journal of GEOMATE*, Vol. 26, Issue 115, pp. 61–72.
6. Bulgakov, B.I., Nguyen, V.Q.D., Aleksandrova, A.V., Larsen, O.A., Galtseva, N.A. High-performance concrete produced with locally available materials // *Magazine of Civil Engineering*. 2023. Magazine of Civil Engineering. 117(1). Article no. 11702. DOI: 10.34910/MCE.117.2
7. Larsen O.A., Narut' V.V., Bakhrakh A.M. Putstsolanovaya aktivnost' mineral'nykh dobavok dlya gidrotekhnicheskikh betonov // *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2022. T. 29. No3. S. 250 – 260.
8. Nguyen Binh Ha, Le Ba Danh, Pham Duy Hoa, & Nguyen Ngoc Tuyen, Research on the Application of Geopolymer Concrete for Prestressed Girder Structures of Bridges Towards Sustainable Development, // *International Journal of GEOMATE*, Vol. 25, Issue 110, 2023, pp. 21–28.
9. Lam T.Q.K., Do T.M.D, Ngo V.T, Nguyen T.C. Increased plasticity of nano concrete with steel fibers // *Magazine of civil engineering*. 2020. № 1 (93). S. 27-34.
10. Teramoto A., Maruyama I., Mitani Y. Influence of silica fume additive and temperature history on the volume change of ultra-high-strength cement paste and concrete // *Advances in civil engineering materials*. 2019. № 3. S. 153-172.
11. Kherraf L., Abdelouhed A., Belachia M., Hebhouh H. Effects of the incorporation of combined additions in cement on the properties of concretes // *International review of civil engineering*. 2018. № 1(9). S. 31-39.

12. Urkhanova L.A., Ivanov A.I., Lkhasaranov S.A. Hydraulic Engineering concrete based on a Composite Binder using dispersed perlite and a colloidal additive // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering/ 2025/ Issue 1. Volume 21. PP. 69-78.
13. Urkhanova L.A. Saidova, Z.; Yakovlev, G.; Orbán, Z.; Grakhov, V. Cement Compositions Modified with Dispersed Magnesium Silicate Dihydrate- and Carbon-Based Additives // Construction Materials. – 2022. №2. RR. 101-113. <https://doi.org/10.3390/constrmater2020008>
14. Tang L.V., Nguyen Z.CH., Bulgakov B.I., Aleksandrova O.V. Stroitel'nyye materialy s nizkim uglerodnym sledom s ispol'zovaniyem promyshlennykh otkhodov // Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyy internet-zhurnal. 2025. t. 17. № 1. s. 83-94
15. Fediuk R., Makarova N., Qader D.N., Petropavlovskaya V., Novichencova T., Sulman M., Petropavlovskii K. Combined effect on properties and durability performance of nanomodified basalt fiber blended with bottom ash-based cement concrete: ANOVA evaluation // Journal of Materials Research and Technology, 2023, 23, C. 2642–2657. DOI:10.1016/j.jmrt.2023.01.179
16. Fediuk R., Makarova N., Kozin A., Petropavlovskaya V., Novichencova T., Sulman M., Petropavlovskii K. Nanomodified Basalt Fiber Cement Composite with Bottom Ash // Journal of Composites Science, 2023, 7(3), 96. DOI: 10.3390/jcs7030096
17. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Korzhenko A., Bur'yanov A.F., Pudov I.A., Lushnikova A.A. Modifikatsiya tsementnykh betonov mnogosloynnymi uglerodnymi nanotrubkami // Stroitel'nyye materialy. 2011. № 2. S.47-51.
18. M. B. Kaddo, Yu.S. Filimonova Hydrophysical properties of heavy-duty concrete with a complex modifier for hydromeliorative construction // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 20(4) 72–80 (2024). DOI: <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2024-20-4-72-80>
19. Tkach Ye.V., Temirkanov R. I., Tkach S.A. Comprehensive study of modified concrete based on activated microsilicon together with micro-reinforcing fiber to improve performance // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. – 2021. – Vol. 332. – No. 5. – P. 215–226. DOI: 10.18799/24131830/2021/5/3204
20. Rauza Serova, Evgeniya Stasilovich, Yedil Imanov, Tatyana Bogoyavlenskaya, Maksim Khan, Tkach Ye.V. Modified aerated concrete based on man-made waste // International Journal of GEOMATE, Sept. 2022, Vol.23, Issue 97, pp.131-138 ISSN: 2186-2982 (P), 2186-2990 (O), Japan, DOI: <https://doi.org/10.21660/2022.97.3334>
21. Luo X., Weng Y., Wang S., Du J., Wang H., Xu C. Superhydrophobic and oleophobic textiles with hierarchical micro-nano structure constructed by sol-gel method // Journal of sol-gel science and technology. 2019. № 3. S. 820-829.
22. Kalmagambetova A.Sh., Bogoyavlenskaya T.A., Effekt of physical of samplec on the mechanical charakterictiks, An International Journal “Advances in Materials Research”, Vol. 10, No. 1, 2021, pp. 67-76.
23. Dovgan' I.V. Topologicheskiye aspekty strukturoobrazovaniya v dispersnykh sistemakh i vyzhushchikh materialakh / I.V. Dovgan', A.V. Kolesnikov, S.V. Semenova, G.A. Kirilenko // Stroitel'nyye materialy. 2011. №3. S.100-102.
24. Korolev Ye.V. Kompozitsionnyye materialy kak polidispersnyye sistemy. Effektivnyye modeli / Ye. V. Korolev, A. N. Grishina, A. M. Ayzenshtadt // Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo. – 2021. – № 3(48). – S. 16.

Информация об авторах

Ткач Евгения Владимировна

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

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры градостроительства.

E-mail: ev_tkach@mail.ru

Филимонова Юлия Сергеевна

ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия

канд. техн. наук, доцент кафедры промышленного и гражданского и подземного строительства,

E-mail: JuliaS06@mail.ru

Черных Александра Александровна

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

студент группы 4-81 кафедры градостроительства.

E-mail: ChernyhAA@gic.mgsu.ru

Information about authors

Tkach Evgeniya Vl.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor in the Department of Urban Planning.
Email: ev_tkach@mail.ru

Filimonova Yulia S.

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia
PhD in Engineering Sciences, Associate Professor in the Department of Industrial, Civil, and Underground Construction,
Email: JuliaS06@mail.ru

Chernykh Alexandra A.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Student in Group 4-81 in the Department of Urban Planning.
Email: ChernyhAA@gic.mgsu.ru

Статья поступила в редакцию 30.10.2025
Одобрена после рецензирования 23.11.2025
Принята к публикации 01.12.2025

The article was submitted 30.10.2025
Approved after reviewing 23.11.2025
Accepted for publication 01.12.2025

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

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

В тексте статьи не рекомендуется применять:

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

Обязательные элементы:

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

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

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

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

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

Адрес издателя:

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

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

Адрес редакции

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

<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>
E-mail: str_and_rek@mail.ru

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

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

Подписано в печать 08.12.2025 г.
Дата выхода в свет __.__.2025 г.
Формат 70×108/16. Печ. л. 14,6
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ № ____

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