

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

ISSN 2073-7416

BUILDING AND RECONSTRUCTION

№2 (118) 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)*

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

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

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

Редакция:

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

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

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

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

Ерофеев В.Т., *акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Исполнительный редактор:

Амелина М.А., *(Россия)*

Адрес редакции:

302030, Орловская обл., г. Орёл,
ул. Московская, д. 77.

Тел.: +79065704999

<http://oreluniver.ru/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 объединённому каталогу «Пресса России»
на сайтах www.ppressa-rf.ru и www.ake.ru

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2025

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Колчунов В. И. Модель расчета параметров предельных состояний железобетонных конструкций.....	4
Кривошапко С.Н. Стержневые и сетчатые оболочечные структуры в XXI-м веке	14
Курнавина С.О., Цацулин И.В. Геометрическая гипотеза для нормальных сечений изгибаемых и внецентренно сжатых железобетонных элементов.....	33
Травуш В.И., Никифоров С.В. Технология бетонирования массивных конструкций фундаментов зданий МФК «Лахта Центр».....	44

Безопасность зданий и сооружений

Деркач В.Н., Демчук И.Е., Матяс П.И. Предельные значения прочности при сдвиге каменной кладки из керамических поризованных блоков.....	56
Савин С.Ю., Шарипов М.З., Московцева В.С. Экспериментально-теоретическое исследование несущей способности длительно нагруженных железобетонных сжатых элементов при динамическом воздействии.....	65
Тамразян А.Г., Кудрявцев М.В. Влияние коррозионных повреждений арматуры на динамическое состояние сжатых железобетонных конструкций.....	81

Строительные материалы и технологии

Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш., Муртазаев И.С-А. Геополимеры на алюмосиликатном сырье.....	94
--	----

Editor-in-Chief

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

Editor-in-Chief Assistants:

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

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

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

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

Editorial Board

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

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

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

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

Erofeev V.T., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Esaurov G.V., doc. arc., prof. (Russia)

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

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

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

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

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

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

Kudryashov N.N., candidate arc., prof.
(Russia)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Managing Editor:

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 №ФС 77-67169 from 16.09.2016 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossi»

86294 on the websites www.pressa-rf.ru and

www.akc.ru

© Orel State University, 2025

Contents

Theory of engineering structures. Building units

Kolchunov V.I. Model for calculating the limit state parameters of reinforced concrete structures.....	4
Krivoshapko S.N. Grid and Reticulated Shell Structures in the 21st Century.....	14
Kurnavina S.O., Tsatsulin I.V. Geometric Hypothesis for Normal Sections of Flexural and Eccentrically Compressed Reinforced Concrete Members.....	33
Travush V.I., Nikiforov S.V. Technology of concreting massive structures of the foundations of the Lakhta Center multifunctional complex	44

Building and structure safety

Derkach V.N., Demchuk I.E., Matyas P.I. Limit Values of Shear Strength for Masonry Made of Porous Ceramic Blocks.....	56
Savin S.Yu., Sharipov M.Z., Moskovtseva V.S. Experimental and theoretical study of the performance of long-term loaded reinforced concrete members in compression under dynamic action.....	65
Tamrazyan A.G., Kudryavtsev M.V. Effect of Reinforcement Corrosion Damage on Dynamic Behavior of Compressed Reinforced Concrete Structures.....	81

Construction materials and technologies

Murtazaev S-A.Yu., Salamanova M.Sh., Murtazaev I.S-A. Geopolymers Based on Aluminosilicate Raw Materials.....	94
--	----

ПОЗДРАВЛЕНИЕ С 90-ЛЕТНИМ ЮБИЛЕЕМ АКАДЕМИКА РААСН В.В. ПЕТРОВА

13 марта 2025 г. академику РААСН, Заслуженному деятелю науки и техники РСФСР, Почетному работнику высшего образования России, Почетному строителю РФ, кавалеру орденов «Знак почета» и «Дружба народов», доктору технических наук, профессору Владилену Васильевичу Петрову исполняется 90 лет!

В.В. Петров в 1957 году окончил Московский инженерно-строительный институт (в настоящее время НИУ МГСУ) и поступил в аспирантуру к члену-корреспонденту АН СССР Василию Захаровичу Власову. Трудовая биография Владилен Васильевича неразрывно связана с Саратовским государственным техническим университетом имени Ю.А. Гагарина (ранее Саратовский политехнический институт), в который он был распределен после защиты кандидатской диссертации «Некоторые вопросы расчета пологих оболочек при конечных прогибах» в 1961 году.



Научные интересы В.В. Петрова связаны нелинейной механикой твёрдого деформируемого тела, созданием методов расчёта тонкостенных пространственных систем с учётом геометрической и физической нелинейности и агрессивной внешней среды. С именем Владилен Васильевича тесно связан предложенный им метод последовательных нагружений, изложенный в защищенной в 1969 году докторской диссертации и затем обобщенный в 1975 г. в монографии «Метод последовательных нагружений в нелинейной теории пластин и оболочек». Знаковыми стали вышедшие в свет в 1989 году монографии «Деформирование элементов конструкций из нелинейного разномодульного неоднородного материала» и «Механика длинномерных элементов глубоководных комплексов», а также вышедшая в 1996 году монография «Теория наведенной неоднородности и ее приложения к проблеме устойчивости пластин и оболочек», в которой получил развитие класс задач нелинейной механики, учитывающих совместное протекание необратимых процессов деформирования материала и деградации его физико-механических свойств.

Владилен Васильевич является автором свыше 200 научных и методических трудов, включая 7 монографий, подготовил 64 кандидата и 12 докторов наук. Созданная им научная школа развивается и по сей день, занимаясь вопросами нелинейной механики строительных конструкций.

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

Редакция научно-технического журнала «Строительство и реконструкция»

В.И. КОЛЧУНОВ^{1,2}

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

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

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. В статье на основе анализа и обобщения исследований закономерностей деформирования железобетона с трещинами приведена методология расчета раскрытия трещин с использованием установленного автором эффекта железобетона - как результата воздействия арматуры на деформации берегов магистральной трещины при ее раскрытии. Показано, что при нарушении сплошности растянутой бетонной матрицы и деформировании берегов бетона в трещине, пересекаемой растянутым арматурным стержнем, изменяется профиль трещины и соответственно ее раскрытие на уровне арматурного стержня. Раскрытие единичной или магистральной трещины моделируется так называемым универсальным двухконсольным элементом (ДКЭ), который позволяет учитывать отмеченный деформационный эффект и объединить деформационные параметры, используемые в традиционной теории железобетона и механики разрушения железобетона. Податливость ДКЭ связана как с ее раскрытием, так и с перемещениями всей железобетонной конструкции и ее обобщенной жесткостью. Показано, что деформации бетона в около арматурной зоне меняют знак от растяжения к сжатию и это качественно изменяет картину относительных взаимных смещений бетона и арматуры на участках между трещинами.

Ключевые слова: эффект железобетона, гипотезы, принципы, железобетона, двухконсольный элемент, изотропная среда, механика разрушения, раскрытия - закрытия трещин, жесткость

V.I.I. KOLCHUNOV^{1,2}

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

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

MODEL FOR CALCULATING THE LIMIT STATE PARAMETERS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Abstract. Based on the analysis and generalization of research on the deformation behavior of cracked reinforced concrete, the article presents a methodology for calculating crack width using the author's established reinforced concrete effect—resulting from the influence of reinforcement on the deformation of the crack edges during crack opening. It is shown that when the continuity of the tensile concrete matrix is disrupted and the crack edges deform under the action of an intersecting tensile reinforcement bar, the crack profile and, consequently, its width at the reinforcement level change. The opening of a single or main crack is modeled using a so-called universal double-cantilever element (DCE), which accounts for the described deformation effect and combines the deformation parameters used in traditional reinforced concrete theory and fracture mechanics of reinforced concrete. The compliance of the DCE is related both to crack opening and to the displacements of the entire reinforced concrete structure and its generalized stiffness. It is demonstrated that the deformations of concrete in the reinforcement-adjacent zone change from tension to compression, qualitatively altering the pattern of relative mutual displacements of concrete and reinforcement between cracks.

Keywords: reinforced concrete effect, hypotheses, principles, reinforced concrete, double-cantilever element, isotropic medium, fracture mechanics, crack opening-closing, stiffness

© Колчунов В.И., 2025

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В.М., Колчунов Вл.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М.: Изд-во АСВ, 2004. 472 с.
2. Верюжский Ю.В., Колчунов Вл.И. Методы механики железобетона: учебное пособие. К.: Книжное изд-во НАУ, 2005. 653 с.
3. Голышев А.Б., Колчунов Вл.И. Сопротивление железобетона. К.: Основа, 2009. 432 с.
4. 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.
5. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 410 с.
6. Колчунов Вл.И. Некоторые проблемные задачи современной теории железобетона и их решения // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году. 2022. С. 130–141.
7. Колчунов Вл.И. Метод расчетных моделей сопротивления для железобетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2023. Т. 19, № 3. С. 261–275.
8. Колчунов Вл.И. Обобщенные гипотезы деформации линейных и угловых деформаций в железобетонных конструкциях при изгибе с кручением // Научный журнал строительства и архитектуры. 2023. № 1 (69). С. 9–26.
9. Колчунов Вл.И., Михайлов М.М., Демьянов А.И. Статико-динамическое деформирование сжатого бетона в неопределимой железобетонной раме при изгибе с кручением // Известия вузов. Строительство. 2020. № 4. С. 5–21.
10. Колчунов Вл.И., Карпенко С.Н. Жесткость железобетонных конструкций при сложном сопротивлении // Научный журнал строительства и архитектуры. 2022. № 1 (65). С. 11–24.
11. Колчунов Вл.И., Крылов С.Б. Жесткость наклонных железобетонных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2024. № 2. С. 27–32.
12. Колчунов Вл.И., Аль-Хашими О.И., Протченко М.В. Жесткость железобетонных конструкций при изгибе с поперечной и продольной силами // Строительство и реконструкция. 2021. № 6. С. 5–19.
13. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов Вл.И. и др. Результаты экспериментальных исследований конструкций квадратного и коробчатого сечений из высокопрочного бетона при кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2018. № 6 (80). С. 32–43.
14. Demyanov A., Kolchunov V.I. The dynamic loading in longitudinal and transverse reinforcement at instant emergence of the spatial crack in reinforced concrete element under the action of a torsion with bending // Journal of Applied Engineering Science. 2017. Vol. 15, № 3. Art. 456. P. 375–380. DOI: 10.5937/jaes15-14663.
15. Fedorov V.S., Kolchunov V.I., Pokusaev A.A., Naumov N.V. Calculation models of deformation of reinforced concrete constructions with spatial cracks // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2020. № 3 (47). P. 6–26. DOI: 10.36622/VSTU.2020.47.3.001.
16. Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Travush V.I. Calculation model of a complex stress reinforced concrete element of a boxed section during torsion with bending // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2021. № 3 (51). P. 7–26. DOI: 10.36622/VSTU.2021.51.3.001.
17. Kolchunov V. The Effect of Reinforced Concrete for Crack Resistance and Rigidity Based on Mechanics of Fracture Under Bending // Modern Problems in Construction. 2021. LNCE. Vol. 287. P. 79–97. DOI: 10.1007/978-3-031-12703-8_7.
18. Kolchunov V. Experimental Investigation of RC Frame with Sway Columns Under Corner Column Removal Scenario // Modern Problems in Construction. 2022. LNCE. Vol. 372. P. 291–313. DOI: 10.1007/978-3-031-36723-6_18.
19. 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. Art. 455. P. 366–375. DOI: 10.5937/jaes15-14662.
20. Kolchunov V.I., Demyanov A., Naumov N. Analysis of the “nagel effect” in reinforced concrete structures under torsion with bending // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 953. Art. 012052. DOI: 10.1088/1757-899X/953/1/012052.
21. Kolchunov V.I., Fedorov V.S. Conceptual Hierarchy of Models in the Theory of Resistance of Building Structures // Industrial and Civil Engineering. 2020. № 8. P. 16–23. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.08.16-23.
22. Kolchunov V.I., Demyanov A.I. The modeling method of discrete cracks and rigidity in reinforced concrete // Magazine of Civil Engineering. 2019. № 88 (4). P. 60–69.
23. Kolchunov V.I., Smirnov B., Naumov N. Physical essence of the “nagel effect” for main reinforcement in an inclined crack of reinforced concrete structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 896. Art. 012055. DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012055.
24. 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. Art. 533. DOI: 10.3390/buildings13020533.
25. Classen M. Shear Crack Propagation Theory (SCPT)–The mechanical solution to the riddle of shear in RC members without shear reinforcement // Engineering Structures. 2020. Vol. 210.

26. Kaklauskas G., Sokolov A., Sakalauskas K. Strain compliance crack model for RC beams: primary versus secondary cracks // *Engineering Structures*. 2023. Vol. 281. Art. 115770.
27. Dey A., Valiukas D., Jakubovskis R. et al. Experimental and numerical investigation of bond-slip behavior of high-strength reinforced concrete at service load // *Materials*. 2022. Vol. 15, № 1. Art. 293. DOI: 10.3390/ma15010293.
28. Faron A., Rombach G.A. Simulation of crack growth in reinforced concrete beams using extended finite element method // *Engineering Failure Analysis*. 2020. Vol. 116. Art. 104698.
29. Thomas F.G. Cracking in reinforced concrete // *The Structural Engineer*. 1936. Vol. 14, № 7. P. 298–320.

REFERENCES

1. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. *Calculation Models of Strength Resistance of Reinforced Concrete*. Moscow: ASV Publishing, 2004. 472 p.
2. Veriuzhsky Yu.V., Kolchunov V.I. *Methods of Reinforced Concrete Mechanics: Textbook*. Kyiv: NAU Book Publishing, 2005. 653 p.
3. Golyshev A.B., Kolchunov V.I. *Resistance of Reinforced Concrete*. Kyiv: Osnova, 2009. 432 p.
4. Golyshev A.B., Kolchunov V.I., Yakovenko I.A. *Resistance of Reinforced Concrete Structures, Buildings, and Facilities Constructed in Complex Engineering-Geological Conditions: Monograph*. Kyiv: Talkom, 2015. 371 p.
5. Karpenko N.I. *General Models of Reinforced Concrete Mechanics*. Moscow: Stroyizdat, 1996. 410 p.
6. Kolchunov V.I. Some problematic tasks of modern reinforced concrete theory and their solutions. In: *Fundamental, Exploratory, and Applied Research by RAACS on Scientific Support for the Development of Architecture, Urban Planning, and the Construction Industry of the Russian Federation in 2021*. 2022. P. 130–141.
7. Kolchunov V.I. Method of calculation models of resistance for reinforced concrete. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2023. Vol. 19, No. 3. P. 261–275.
8. Kolchunov V.I. Generalized hypotheses of deplanation of linear and angular deformations in reinforced concrete structures under bending with torsion. *Scientific Journal of Construction and Architecture*. 2023. No. 1 (69). P. 9–26.
9. Kolchunov V.I., Mikhailov M.M., Demyanov A.I. Static-dynamic deformation of compressed concrete in a statically indeterminate reinforced concrete frame under bending with torsion. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2020. No. 4. P. 5–21.
10. Kolchunov V.I., Karpenko S.N. Stiffness of reinforced concrete structures under complex resistance. *Scientific Journal of Construction and Architecture*. 2022. No. 1 (65). P. 11–24.
11. Kolchunov V.I., Krylov S.B. Stiffness of inclined reinforced concrete structures. *Industrial and Civil Construction*. 2024. No. 2. P. 27–32.
12. Kolchunov V.I., Al-Hashimi O.I., Protchenko M.V. Stiffness of reinforced concrete structures under bending with transverse and longitudinal forces. *Construction and Reconstruction*. 2021. No. 6. P. 5–19.
13. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov V.I. et al. Results of experimental studies of square and box-section structures made of high-strength concrete under torsion with bending. *Construction and Reconstruction*. 2018. No. 6 (80). P. 32–43.
14. Demyanov A., Kolchunov V.I. The dynamic loading in longitudinal and transverse reinforcement at instant emergence of the spatial crack in reinforced concrete element under the action of a torsion with bending. *Journal of Applied Engineering Science*. 2017. Vol. 15, No. 3. Art. 456. P. 375–380. DOI: 10.5937/jaes15-14663.
15. Fedorov V.S., Kolchunov V.I., Pokusaev A.A., Naumov N.V. Calculation models of deformation of reinforced concrete constructions with spatial cracks. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2020. No. 3 (47). P. 6–26. DOI: 10.36622/VSTU.2020.47.3.001.
16. Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Travush V.I. Calculation model of a complex stress reinforced concrete element of a boxed section during torsion with bending. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2021. No. 3 (51). P. 7–26. DOI: 10.36622/VSTU.2021.51.3.001.
17. Kolchunov V. The Effect of Reinforced Concrete for Crack Resistance and Rigidity Based on Mechanics of Fracture Under Bending. *Modern Problems in Construction*. 2021. LNCE. Vol. 287. P. 79–97. DOI: 10.1007/978-3-031-12703-8_7.
18. Kolchunov V. Experimental Investigation of RC Frame with Sway Columns Under Corner Column Removal Scenario. *Modern Problems in Construction*. 2022. LNCE. Vol. 372. P. 291–313. DOI: 10.1007/978-3-031-36723-6_18.
19. Yakovenko 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. Art. 455. P. 366–375. DOI: 10.5937/jaes15-14662.
20. Kolchunov V.I., Demyanov A., Naumov N. Analysis of the “nagel effect” in reinforced concrete structures under torsion with bending. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 953. Art. 012052. DOI: 10.1088/1757-899X/953/1/012052.

21. Kolchunov V.I., Fedorov V.S. Conceptual Hierarchy of Models in the Theory of Resistance of Building Structures. *Industrial and Civil Engineering*. 2020. No. 8. P. 16–23. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.08.16-23.
22. Kolchunov V.I., Demyanov A.I. The modeling method of discrete cracks and rigidity in reinforced concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2019. No. 88 (4). P. 60–69.
23. Kolchunov V.I., Smirnov B., Naumov N. Physical essence of the “nagel effect” for main reinforcement in an inclined crack of reinforced concrete structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 896. Art. 012055. DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012055.
24. 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. Art. 533. DOI: 10.3390/buildings13020533.
25. Classen M. Shear Crack Propagation Theory (SCPT)–The mechanical solution to the riddle of shear in RC members without shear reinforcement. *Engineering Structures*. 2020. Vol. 210.
26. Kaklauskas G., Sokolov A., Sakalauskas K. Strain compliance crack model for RC beams: primary versus secondary cracks. *Engineering Structures*. 2023. Vol. 281. Art. 115770.
27. Dey A., Valiukas D., Jakubovskis R. et al. Experimental and numerical investigation of bond-slip behavior of high-strength reinforced concrete at service load. *Materials*. 2022. Vol. 15, No. 1. Art. 293. DOI: 10.3390/ma15010293.
28. Faron A., Rombach G.A. Simulation of crack growth in reinforced concrete beams using extended finite element method. *Engineering Failure Analysis*. 2020. Vol. 116. Art. 104698.
29. Thomas F.G. Cracking in reinforced concrete. *The Structural Engineer*. 1936. Vol. 14, No. 7. P. 298–320.

Информация об авторе:

Колчунов Владимир Иванович

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

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

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

Главный научный сотрудник

E-mail: vlik52@mail.ru

Information about author:

Kolchunov Vladimir Iv.

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

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

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

E-mail: vlik52@mail.ru

С.Н. КРИВОШАПКО¹¹ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва**СТЕРЖНЕВЫЕ И СЕТЧАТЫЕ ОБОЛОЧЕЧНЫЕ СТРУКТУРЫ В XXI-м ВЕКЕ**

Аннотация. Основой для создания структурных конструкций является структурно организованное пространство. В статье приводится классификация структурных конструкций по типу геометрических систем, лежащих в их основе и по назначению стержневых оболочечных систем. Кратко описывается история возникновения структурных конструкций, начало которой было положено возведением Эйфелевой башни в Париже в 1889 году или ещё раньше, когда началось изготовление в промышленном масштабе прокатных профилей в 1867 году. На конкретных примерах показывается, что сетчатые оболочечные структуры в последние годы применяют чаще, чем железобетонные тонкостенные оболочки. Особое внимание в статье уделяется стержневым, сетчатым и сетчато-стержневым оболочечным структурам, построенным за последние 25 лет. Показывается, что стержневые и сетчатые оболочечные структуры построены за это время почти во всех странах, за исключением единичных регионов мира. Дается краткая информация по прочностному расчету стержневых и сетчатых оболочечных структур, их геометрии и материалу. В настоящее время идут интенсивные исследования этих структур в разных направлениях. Основные направления исследований направлены на уточнение методов прочностного расчета, на формирование оптимальных ячеек и поиск новых материалов стержней.

Ключевые слова: стержневая пространственная структура, сетчатая пространственная структура, ребристо-кольцевой купол, сетчатый металлический купол; типы стержневых структур, классификация стержневых оболочечных структур

S.N. KRIVOSHAPKO¹¹«The Peoples' Friendship University of Russia», Moscow**GRID AND RETICULATED SHELL STRUCTURES IN THE 21ST CENTURY**

Abstract. Structurally organized space is the base for creation of structural design. In a paper, classification of structural erections on geometrical systems, lying in their base, and on purpose of grid shell systems. The history of the appearance of structural erections, the beginning of which was put by the erection of the Eiffel tower in Paris in 1889, is described briefly. Maybe it was earlier, when manufacturing of rolled products began in industrial scale in 1867. It is shown on concrete examples that net shell structures are used at the last years more often than reinforces concrete thin-walled shells. Special attention is given to grid, net, and net-and grid shell structures that were erected at the last 25 years. It is shown that at this time, grid and net shell structures were erected almost in all country except for single regions of the World. Brief information is presented on stress analysis of grid and net shell structures, their geometry, and materials. Now, intensive research of these structures in different directions are carried out. The main directions of research are directed at more accurate definition to the methods of strength analysis, to formation of optimal meshes, and to discovery of grid materials and covering materials.

Key words: space grid structure, net space structure, curvilinear structural system, rib-and-ring dome, net metal dome, types of grid structures, classification of grid shell structures.

© Кривошапко С.Н., 2025

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сысоева Е.В. Научные подходы к расчету и проектированию большепролетных конструкций // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 2 (101). С. 131–141. DOI: [10.2222/1997-0935.2017.2.131-141].
2. Гринько Е.А. Типы пространственных криволинейных структур и оболочек строительного назначения // Региональная архитектура и строительство. 2024. № 4. С. 128–141. DOI: [10.54734/20722958_2024_4_128].

3. Krivoshapko S.N., Christian A. Bock Hyeng, Mamieva I.A. Chronology of erection of the earliest reinforced concrete shells // *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*. 2014. Vol. 18. Iss. 2. Pp. 95–108. ISSN: 2076-734X, 2076-7366.
4. Кривошапко С.Н. Стержневые, сетчатые структуры и цельнометаллические оболочки зданий второй половины XX века – начала XXI века // *Архитектура и строительство России*. 2014. № 12 (204). С. 10–17. ISSN: 0235-7259.
5. Бондаренко И.А. Об уместности и умеренности архитектурных новаций // *Academia. Архитектура и строительство*. 2020. № 1. С. 13–18.
6. Ермоленко Е.В. Формы и построения в архитектуре советского авангарда и их интерпретация в современной зарубежной практике // *Academia. Архитектура и строительство*. 2020. № 1. С. 39–48.
7. Кривошапко С.Н. Виды аварий и разрушений пространственных структур и оболочек // *Строительство и реконструкция*. 2015. № 1(57). С. 22–32. ISSN: 2073-7416.
8. Аварии зданий и сооружений на территории Российской Федерации в 2003 году / Общероссийский фонд «Центр качества строительства». М., 2004.
9. Коротич А.В. Инновационные решения архитектурных оболочек: альтернатива традиционному строительству // *Академический Вестник УралНИИпроект РААСН*. 2015. № 4. С. 70–75.
10. Rodzyah Mohd Yunus. The influence of curvilinear architectural forms on environment behaviour // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2012. Vol. 49. Pp. 341–349.
11. Душкевич К.Н. Роль большепролетных оболочек в формообразовании общественных зданий // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2017. № 4(41). С. 163–178.
12. Кривошапко С.Н., Мамиева И.А. Стержневые системы в форме однополостного гиперболоида вращения // *Монтажные и специальные работы в строительстве*. 2011. № 11. С. 19–23.
13. Кривошапко С.Н., Галишникова В.В. Архитектурно-строительные конструкции: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2024. 558 с.
14. Леденев В.В., Худяков А.В. Оболочечные конструкции в строительстве. Теория, проектирование, конструкции, примеры расчета: учебное пособие. Тамбов: ТГТУ, 2016. 272 с.
15. Лебедь Е.В. Компьютерное исследование работы каркасов большепролетных металлических куполов при различных способах монтажа // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2018. Т. 14. № 4. С. 261–272.
16. Семашкина Д.О., Назмеева Т.В. Диагонально-сетчатые оболочки в качестве несущих систем зданий // *Alfabuild*. 2019. № 2(9). С. 40–61.
17. СП 494.13258000.2020 «Конструкции покрытий пространственных металлических. Правила проектирования». М.: Минстрой России, 2020. 115 с.
18. Александров С.Е. Проблемы проектирования зданий и сооружений с применением сетчатых оболочек // *Современные научные исследования и инновации*. 2018. № 12.
19. Schober Hans, Justiz Stefan, Tamai Hiroki. Speed and grace // *Civil Engineering*. 2011. February. Pp. 54–59.
20. Ло Ян. К истории создания национального центра исполнительных искусств // *Вестник музыкальной науки*. 2024. Т. 12. № 3. С. 207–215.
21. Рябкова М.П., Генрих Р.А. Совершенствование работы купольных конструкций в условиях Центрального Казахстана: монография. Караганда: Санат, 2020. 90 с.
22. Helbig Thorsten, Kamp Florian, Schieber Roman, Oppe Matthias, Torsing Rob, Kieft Ralph. Double-layer curved steel-structure with bent glazing. New Departure Station Erasmusline, The Hague (NL) // *Challenging Glass. Conference on Architectural and Structural Applications of Glass* Bos, Louter, Belis (Eds.), Ghent University, June 2016. 14 p.
23. Giuroiu Anton. Geodesic Dome: Architecture, history, sustainability, materials, and typical prices // *Architecture lab Magazine*. 07.06.2024.
24. Takva Çağatay, Takva Yenal. Tessellation configurations transforming from art to structural design of gridshell structures // *Research & Reviews in Architecture, Planning and Design*. December 2022. Pp. 1–18.
25. Tang Gabriel, Chilton John, Beccarelli Paolo. Progressive development of timber gridshell design, analysis and construction // *Proceedings of International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2013*. 23–27.09.2013, Wroclaw, Poland. Pp. 1–6.
26. Дианова-Клокова И.В., Метаньев Д.А., Хрусталева А.А. Латинская Америка XXI века. Инновационное развитие и архитектура // *Academia. Архитектура и строительство*. 2017. № 1. С. 47–59.
27. Dzwierzynska J., Labuda I. Modeling of curvilinear steel rod structures based on minimal surfaces // *Materials*. 2021. Vol. 14. Iss. 22. 17 p.
28. Engel Heino. Tragsysteme. Stuttgart: Verlag Gerd Hatje, 1997. 344 p.
29. Петренко Ф.И. Расчет сетчатых оболочек отрицательной гауссовой кривизны с учетом геометрической и физической нелинейности: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.17. М.: МГСУ, 2017.
30. Казакова И.С. Пространственные металлические конструкции покрытий зданий: учебное пособие. Вологда: ВоГУ, 2017. 127 с.
31. Лоза Л.В. Расчет сетчатых и подкрепленных оболочек вращения с учетом поперечного сдвига: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.17. Волгоград: ВГАСА, 2000. 210 с.
32. Naboni Roberto. Form-finding to fabrication of super-thin anisotropic gridshell // *SIGraDi 2016. XX Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*. 09–11.11.2016, Buenos Aires, Argentina. Pp. 418–425.
33. Avelino Ricardo M., Baverel Olivier. Structural analysis of gridshells designed from singularities // *Proceedings of the IASS Annual Symposium 2017*. 25–28.09.2017, Hamburg, Germany. Pp. 1–10.

34. Shen Yuhang, Lin Li, Tang Pengxiao, Xu Tianli. Impact dynamic response of spherical net shells: finite element-based computational analysis investigating the influence of dynamic constitutive models // *Buildings*. 2023. Vol. 13. Iss. 7. 28 p.
35. Лебедь Е.В. Влияние узловых сопряжений на усилия в элементах металлического каркаса ребристо-кольцевого купола с учетом уменьшения количества поддерживающих его колонн // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2025. № 2.
36. Pathade Sanket G., Nikhar Milind R., Kalmegh Vaibhav A. A review paper on behavior of gridshell structure // *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2022. Vol. 09. Iss. 04. Pp. 1042–1044.
37. Tang Gabriel, Chilton John, Beccarelli Paolo. Progressive Development of Timber Gridshell Design, Analysis and Construction // *Proceedings of International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2013*. 23–27.09.2013, Wroclaw, Poland. 6 p.
38. Зефинова А.Д., Хабидуллаулы Еркебулан, Быстрова Д.В., Миронова Е.А. Практика применения сетчатых оболочек в архитектуре // *Научный журнал*. 2019. №5 (39).
39. Парфёнов Егор, Коновалов Евгений. Сетчатые оболочки – конструкции XXI века // *Инженерная защита*. 2015. № 4(9). С. 98–105.
40. Knippers Jan, Helbig Thorsten. Recent developments in the design of glazed grid shells // *International Journal of Space Structures*. 2009. Vol. 24. № 2. Pp. 111–126.
41. Halbfas Ansgar, vom Hagen Yolanda, Siefke Jan. The German Pavilion. Planning, Construction, Usage and Recycling – Germany at the World Exposition 2010 in Shanghai, China. Liaoning: LST Publishing House, 2010. 192 p.

REFERENCES

1. Sysoyeva Ye.V. Nauchnyye podkhody k raschetu i proyektirovaniyu bolsheproletnykh konstruksiy [Scientific approaches to the calculation and design of long-span structures]. *Vestnik MGSU*. 2017. Vol. 12. No. 2 (101). Pp. 131–141. DOI: 10.2222/1997-0935.2017.2.131-141. (rus).
2. Grinko Ye.A. Tipy prostranstvennykh krivolineynykh struktur i obolochek stroitel'nogo naznacheniya [Types of spatial curvilinear structures and shells for construction purposes]. *Regionalnaya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2024. No. 4. Pp. 128–141. DOI: 10.54734/20722958_2024_4_128. (rus).
3. Krivoshapko S.N., Christian A. Bock Hyeng, Mamieva I.A. Chronology of erection of the earliest reinforced concrete shells. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*. 2014. Vol. 18. Iss. 2. Pp. 95–108. ISSN: 2076-734X.
4. Krivoshapko S.N. Sterzhnevyye, setchatye struktury i tselnometallicheskiye obolochki zdaniy vtoroy poloviny XX veka – nachala XXI veka [Rod, grid structures, and all-metal shells of buildings from the second half of the 20th to the early 21st century]. *Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii*. 2014. No. 12 (204). Pp. 10–17. ISSN: 0235-7259. (rus).
5. Bondarenko I.A. Ob umestnosti i umerennosti arkhitekturnykh novatsiy [On the appropriateness and moderation of architectural innovations]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2020. No. 1. Pp. 13–18. (rus).
6. Yermolenko Ye.V. Formy i postroyeniya v arkhitekture sovetskogo avangarda i ikh interpretatsiya v sovremennoy zarubezhnoy praktike [Forms and constructions in Soviet avant-garde architecture and their interpretation in modern foreign practice]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2020. No. 1. Pp. 39–48. DOI: 10.22337/2077-9038-2020-1-39-48. (rus).
7. Krivoshapko S.N. Vidy avariyy i razrusheniy prostranstvennykh struktur i obolochek [Types of accidents and failures of spatial structures and shells]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2015. No. 1(57). Pp. 22–32. ISSN: 2073-7416. (rus).
8. Avanii zdaniy i sooruzheniy na territorii Rossiyskoy Federatsii v 2003 godu Accidents of buildings and structures in the Russian Federation in 2003]. *Obshcherossiyskiy fond «Tsentr kachestva stroitel'stva»*. Moscow, 2004. URL: stroyinf.ru. (rus).
9. Korotich A.V. Innovatsionnyye resheniya arkhitekturnykh obolochek: alternativa traditsionnomu stroitel'stvu [Innovative solutions for architectural shells: an alternative to traditional construction]. *Akademicheskii Vestnik UralNIIProekt RAASN*. 2015. No. 4. Pp. 70–75. eLIBRARY ID: 25105252. (rus).
10. Rodzyah Mohd Yunus. The influence of curvilinear architectural forms on environment behaviour. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2012. Vol. 49. Pp. 341–349. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.07.032.
11. Dushkevich K.N. Rol bolsheproletnykh obolochek v formoobrazovanii obshchestvennykh zdaniy [The role of long-span shells in the shaping of public buildings]. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2017. No. 4(41). Pp. 163–178. (rus).
12. Krivoshapko S.N., Mamieva I.A. Sterzhnevyye sistemy v forme odnopolostnogo giperboloida vrashcheniya [Rod systems in the form of a single-sheet hyperboloid of revolution]. *Montazhnyye i spetsialnyye raboty v stroitel'stve*. 2011. No. 11. Pp. 19–23. (rus).
13. Krivoshapko S.N., Galishnikova V.V. *Arkhitekturno-stroitel'nyye konstruksii: uchebnik dlya vuzov* [Architectural and construction structures: textbook for universities]. 2nd ed. Moscow: Yurait, 2024. 558 p. ISBN: 978-5-534-18958-2. (rus).
14. Ledenev V.V., Khudyakov A.V. *Obolochechnyye konstruksii v stroitel'stve. Teoriya, proyektirovaniye, konstruksii, primery rascheta* [Shell structures in construction: theory, design, examples of calculation]. Tambov: TGTU, 2016. 272 p. ISBN: 978-5-8265-1647-8. (rus).

15. Lebed Ye.V. Kompyuternoye issledovaniye raboty karkasov bolsheproletnykh metallicheskih kupolov pri razlichnykh sposobakh montazha [Computer study of the behavior of long-span metal dome frames under different installation methods]. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktсий i sooruzheniy*. 2018. Vol. 14. No. 4. Pp. 261–272. DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-4-261-272. (rus).
16. Semashkina D.O., Nazmeeva T.V. Diagonalno-setchatye obolochki v kachestve nesushchikh sistem zdaniy [Diagonal grid shells as load-bearing systems for buildings]. *Alfabuild*. 2019. No. 2(9). Pp. 40–61. EDN: FBZHTE. (rus).
17. SP 494.13258000.2020 «Konstruktsii pokrytiy prostranstvennykh metallicheskih. Pravila proyektirovaniya» [Design rules for spatial metal roof structures]. Moscow: Minstroy Rossii, 2020. 115 p. (rus).
18. Aleksandrov S.Ye. Problemy proyektirovaniya zdaniy i sooruzheniy s primeneniym setchatykh obolochek [Design challenges for buildings and structures using grid shells]. *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii*. 2018. No. 12.. (rus).
19. Schober Hans, Justiz Stefan, Tamai Hiroki. Speed and grace. *Civil Engineering*. 2011. February. Pp. 54–59. DOI: 10.1061/ciegag.0000339.
20. Lo Yan. K istorii sozdaniya natsionalnogo tsentra ispolnitelskikh iskusstv [On the history of the creation of the National Center for Performing Arts]. *Vestnik muzykal'noy nauki*. 2024. Vol. 12. No. 3. Pp. 207–215. DOI: 10.24412/2308-1031-2024-3-207-215. (rus).
21. Ryabkova M.P., Genrikh R.A. *Sovershenstvovaniye raboty kupolnykh konstruktсий v usloviyakh Tsentral'nogo Kazakhstana: monografiya* [Improvement of dome structures in the conditions of Central Kazakhstan: monograph]. Karaganda: Sanat, 2020. 90 p. ISBN: 978-9965-38-454-7. (rus).
22. Helbig Thorsten, Kamp Florian, Schieber Roman, Oppe Matthias, Torsing Rob, Kieft Ralph. Double-layer curved steel-structure with bent glazing. New Departure Station Erasmusline, The Hague (NL). *Challenging Glass. Conference on Architectural and Structural Applications of Glass*. Ghent University, June 2016. 14 p.
23. Giuroiu Anton. Geodesic Dome: Architecture, history, sustainability, materials, and typical prices. *Architecture lab Magazine*. 07.06.2024.
24. Takva Çağatay, Takva Yenal. Tessellation configurations transforming from art to structural design of gridshell structures. *Research & Reviews in Architecture, Planning and Design*. December 2022. Pp. 1–18. ISBN: 978-625-430-561-0.
25. Tang Gabriel, Chilton John, Beccarelli Paolo. Progressive development of timber gridshell design, analysis and construction. *Proceedings of International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2013*. 23–27.09.2013, Wroclaw, Poland. Pp. 1–6.
26. Dianova-Klokov I.V., Metaniev D.A., Khrustalev A.A. Latinskaya Amerika XXI veka. Innovatsionnoye razvitiye i arkhitektura [Latin America of the XXI century. Innovative development and architecture]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2017. No. 1. Pp. 47–59. ISSN: 2077-9038. (rus).
27. Dzwierzynska J., Labuda I. Modeling of curvilinear steel rod structures based on minimal surfaces. *Materials*. 2021. Vol. 14. Iss. 22. 17 p. DOI: 10.3390/ma14226826.
28. Engel Heino. *Tragsysteme*. Stuttgart: Verlag Gerd Hatje, 1997. 344 p. ISBN: 3-7757-0706-9.
29. Petrenko F.I. Raschet setchatykh obolochek otritsatel'noy gaussovoy krivizny s uchetoм geometricheskoy i fizicheskoy nelineynosti [Calculation of grid shells with negative Gaussian curvature considering geometric and physical nonlinearity]. Diss. kand. tekhn. nauk. Moscow: MGSU, 2017. (rus).
30. Kazakova I.S. *Prostranstvennyye metallicheskiye konstruktsii pokrytiy zdaniy: uchebnoye posobiye* [Spatial metal roof structures of buildings: textbook]. Vologda: VoGU, 2017. 127 p. ISBN: 978-5-87851-763-8. (rus).
31. Loza L.V. Raschet setchatykh i podkreplennykh obolochek vrashcheniya s uchetoм poperechnogo sdviga [Calculation of grid and reinforced shells of revolution considering transverse shear]. Diss. kand. tekhn. nauk. Volgograd: VGASA, 2000. 210 p. (rus).
32. Naboni Roberto. Form-finding to fabrication of super-thin anisotropic gridshell. *SIGraDi 2016. XX Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*. 09–11.11.2016, Buenos Aires, Argentina. Pp. 418–425. DOI: 10.5151/despro-sigradi2016-807.
33. Avelino Ricardo M., Baverel Olivier. Structural analysis of gridshells designed from singularities. *Proceedings of the IASS Annual Symposium 2017*. 25–28.09.2017, Hamburg, Germany. Pp. 1–10.
34. Shen Yuhang, Lin Li, Tang Pengxiao, Xu Tianli. Impact dynamic response of spherical net shells: finite element-based computational analysis investigating the influence of dynamic constitutive models. *Buildings*. 2023. Vol. 13. Iss. 7. 28 p. DOI: 10.3390/buildings13071849.
35. Lebed Ye.V. Vliyaniye uzlovykh sopryazheniy na usiliya v elementakh metallicheskogo karkasa rebristo-koltsevogo kupola s uchetoм umensheniya kolichestva podderzhivayushchikh yego kolonn [The influence of nodal joints on stresses in elements of a ribbed-ring dome metal frame with a reduced number of supporting columns]. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktсий i sooruzheniy*. 2025. No. 2. (rus).
36. Pathade Sanket G., Nikhar Milind R., Kalmegh Vaibhav A. A review paper on behavior of gridshell structure. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2022. Vol. 09. Iss. 04. Pp. 1042–1044. ISSN: 2395-0072.
37. Tang Gabriel, Chilton John, Beccarelli Paolo. Progressive Development of Timber Gridshell Design, Analysis and Construction. *Proceedings of International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2013*. 23–27.09.2013, Wroclaw, Poland. 6 p. URL: <https://shura.shu.ac.uk/23434/>.
38. Zefirova A.D., Khabidullauly Erkezhan, Bystrova D.V., Mironova E.A. Praktika primeneniya setchatykh obolochek v arkhitekture [Practice of grid shells application in architecture]. *Nauchnyy zhurnal*. 2019. No.5 (39). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/praktika-primeneniya-setchatyh-obolochek-v-arhitekture>. (rus).

39. Parfenov Egor, Konovalov Evgeny. Setchatye obolochki – konstruktii XXI veka [Grid shells – structures of the XXI century]. *Inzhenernaya zashchita*. 2015. No. 4(9). Pp. 98–105. EDN: UIPQRN. (rus).
40. Knippers Jan, Helbig Thorsten. Recent developments in the design of glazed grid shells. *International Journal of Space Structures*. 2009. Vol. 24. No. 2. Pp. 111–126. DOI: 10.1260/026635109789043205.
41. Halbfas Ansgar, vom Hagen Yolanda, Siefke Jan. *The German Pavilion. Planning, Construction, Usage and Recycling – Germany at the World Exposition 2010 in Shanghai, China*. Liaoning: LST Publishing House, 2010. 192 p

Информация об авторе

Кривошапко Сергей Николаевич

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия Доктор технических наук, профессор. Профессор-консультант
E-mail: sn_krivoshapko@mail.ru

Information about author

Krivoshapko Sergey Nikolaevich

The Engineering Academy of the Peoples' Friendship University, Moscow, Russia, Doctor of Tech. Sc., Professor.
E-mail: sn_krivoshapko@mail.ru

С.О.КУРНАВИНА¹, И.В. ЦАЦУЛИН²¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия²ООО «Институт «Мосинжпроект», г. Москва, Россия

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ГИПОТЕЗА ДЛЯ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ИЗГИБАЕМЫХ И ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. Проведены экспериментальные и численные исследования влияния пластических деформаций арматуры на напряженно-деформированное состояние нормальных сечений изгибаемых железобетонных элементов. Результаты исследований показали, что имеет место излом на эпюре деформаций в зоне нейтральной оси. Предлагается билинейная аппроксимация распределения деформаций по высоте сечения. По результатам расчетов конечно-элементных моделей проведена оценка параметра, характеризующего соотношение деформаций сжатия и растяжения. Проведено сравнение с аналогичной экспериментальной зависимостью, показавшее их удовлетворительное совпадение. Для оценки распределения деформаций по высоте сечения в упругой и пластической стадии работы арматуры при одновременном действии изгибающего момента и продольной силы проведен ряд численных расчетов внецентренно сжатых железобетонных элементов с теми же характеристиками. Анализ результатов расчетов показал близкий характер распределения деформаций по высоте сечения в изгибаемых и внецентренно сжатых элементах для случая больших эксцентриситетов.

Ключевые слова: пластические деформации, продольные силы, геометрическая гипотеза, особые воздействия.

S.O. KURMAVINA¹, I.V. TSATSULIN²¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia²Mosinzhproekt Company group, Moscow Russia

GEOMETRIC HYPOTHESIS FOR NORMAL SECTIONS OF FLEXURAL AND ECCENTRICALLY COMPRESSED REINFORCED CONCRETE MEMBERS

Abstract. Experimental and numerical studies of the influence of plastic deformations of reinforcement on the stress-strain state of normal sections of bent reinforced concrete elements have been carried out. The results of investigations have shown that there is a fracture in the strain diagram in the zone of the neutral axis. A bilinear approximation of strain distribution along the section height is proposed. Based on the results of finite element model calculations, the parameter characterizing the ratio of compression and tension strains is estimated. Comparison with the analogous experimental dependence has been carried out, that showed their satisfactory coincidence. To estimate the distribution of deformations along the section height in the elastic and plastic stages of reinforcement operation under one-temporal action of bending moment and longitudinal force, a number of numerical calculations of off-center compressed reinforced concrete elements with the same characteristics were performed. The analysis of the calculation results showed a close character of deformation distribution along the section height in bending and eccentrically compressed elements for the case of large eccentricities.

Key words: plastic deformations, longitudinal forces, geometric hypothesis, special influences.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абаканов М.С. Малоцикловая прочность железобетонных конструкций каркасных зданий при действии нагрузок типа сейсмических. Алмаата. АО "КазНИИИСА". 2016. 132 с.
2. Акбиев Р.Т., Абаканов М.С. Оперативная оценка последствий разрушительного землетрясения в Турции (по официальным опубликованным данным СМИ и глобальной сети) [Электронный ресурс] / Р.Т. Акбиев, М.С. Абаканов // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 1. С. 35–51.
3. Мкртычев О.В., Решетов А.А. Обеспечение сейсмостойкости железобетонных зданий // Железобетонные конструкции – 2024 № 1(5) – с. 57-67
4. Мкртычев О.В., Дорожинский В.Б., Сидоров Д.С. Исследование сейсмостойкости железобетонных зданий различных конструктивных схем // Вестник МГСУ. 2015. № 12. С. 66-75.
5. Ружич В.В., Бержинская Л.П., Левина Е.А., Пономарева Е.И. О причинах возникновения и последствиях двух разрушительных землетрясений в Турции // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3. № 1. С. 22-34.
6. Areen Aljaafreh, Yazan Alzubi, Eslam Al-Kharabsheh, Bilal Yasin Seismic Performance of Reinforced Concrete Structures with Concrete Deficiency Caused by In-situ Quality Management Issues// Civil Engineering Journal. 2023. Vol. 9. No. 08. pp 1957-1970.
7. Garnitsky V.I., Golda Yu.L., Kurnavina S.O. Damage development process in reinforced concrete frame under the action of seismic loads // Proceedings of the III All Russian (II International) Conference on concrete and reinforced concrete «Concrete and reinforced concrete – glance at future». Moscow. 2014. Volume II. pp.57-67.
8. Бедов А.И., Николенко И.И. Обеспечение эксплуатационных характеристик железобетонных элементов каркасов зданий, подвергшихся сейсмическим воздействиям // Строительство и реконструкция. 2021/ № 1 (93). С. 3-15. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-93-1-3-15.
9. Алексейцев А.В. Анализ устойчивости железобетонной колонны при горизонтальных ударных воздействиях // Железобетонные конструкции. 2023. № 2(2). с. 3-12. DOI: 10.22227/2949-1622.2023.2.3-12.
10. Кабанцев О.В., Усеинов Э.С., Шарипов Ш. О методике определения коэффициента допускаемых повреждений сейсмостойких конструкций // Вестник ТГАСУ. 2016. № 2. С. 117-129.
11. Тамразян А. Г., Черник В. И. Жесткость поврежденной пожаром железобетонной колонны при разгрузке после высокоинтенсивного горизонтального воздействия // Вестник МГСУ. 2023. Том 18. Выпуск 9. С. 1369-1382.
12. Шульгин В.Н., Ларионов В.И. Динамический расчет изгибаемых конструкций защитных сооружений в пластической стадии // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2007. № 4. С. 31-34.
13. Tamrazyan A.G., Kudryavtsev M.V Influence of Damage Level on Dynamic Characteristics of Reinforced Concrete Structures when Assessing their Seismic Resistance // Structural mechanics of engineering constructions and buildings. 2024 . 20(3). pp. 255-264. DOI 10.22363/1815-5235-2024-20-3-255-264.
14. Перельмутер А.В., Кабанцев О.В. О концептуальных положениях норм проектирования сейсмостойкого строительства // Вестник МГСУ. 2010. № 4. С. 238-241.
15. Курнавина С. О., И. В. Цацулин Напряженно-деформированное состояние железобетонных балок при смене знака усилия // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 2. С. 44-52. DOI 10.33622/0869-7019.2023.02.44-52.
16. Курнавина С. О., Цацулин И. В. Особенности деформирования сечений изгибаемых железобетонных элементов при действии нагрузок большой интенсивности // Строительство и реконструкция. 2023. № 3(107). С. 3-16. DOI 10.33979/2073-7416-2023-107-3-3-16.
17. Попов Д.С. Экспериментальные исследования динамических свойств коррозионно-поврежденных сжатых железобетонных элементов // Строительство и реконструкция. 2022. № 2. С. 55-64. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-100-2-55-64>.
18. Курнавина С. О., Цацулин И. В., Манаенков И. К. Влияние пластических деформаций на работу железобетонных изгибаемых элементов при смене знака усилия // Строительство и реконструкция. 2021 № 6(98). С. 50-62. DOI 10.33979/2073-7416-2021-98-6-50-62.
19. Жарницкий В. И. Прочность железобетонных конструкций по сечениям, совпадающим с фактическим полем направлений трещин (теория и эксперимент) // «Бетон и железобетон – взгляд в будущее» научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону: в 7 томах. 2014. Том 1. С. 27-38.
20. СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».

REFERENCES

1. Abakanov M.S. *Malotsiklovaya prochnost zhelezobetonnykh konstruktсий karkasnykh zdaniy pri deystvii nagruzok tipa seismicheskikh* [Low-cycle strength of reinforced concrete frame structures under seismic-type loads]. Alma-Ata: AO «KazNIISA», 2016. 132 p. (rus).
2. Akbiyev R.T., Abakanov M.S. Operativnaya otsenka posledstviy razrushitelnogo zemletryaseniya v Turtsii (po ofitsialnym dannym SMI i globalnoy seti) [Operational assessment of the consequences of the destructive earthquake in Turkey (based on official media and global network data)]. *Geologiya i okruzhayushchaya sreda*. 2023. Vol. 3. No. 1. Pp. 35–51. (rus).
3. Mkrtichev O.V., Reshetov A.A. Obespecheniye seismostoykosti zhelezobetonnykh zdaniy [Ensuring seismic resistance of reinforced concrete buildings]. *Zhelezobetonnye konstruktсии*. 2024. No. 1(5). Pp. 57–67. (rus).
4. Mkrtichev O.V., Dorozhinskiy V.B., Sidorov D.S. Issledovaniye seismostoykosti zhelezobetonnykh zdaniy razlichnykh konstruktivnykh skhem [Study of seismic resistance of reinforced concrete buildings with different structural schemes]. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 12. Pp. 66–75. (rus).
5. Ruzgich V.V., Berzinskaya L.P., Levina E.A., Ponomareva E.I. O prichinakh vozniknoveniya i posledstviyakh dvukh razrushitelnykh zemletryaseniy v Turtsii [On the causes and consequences of two destructive earthquakes in Turkey]. *Geologiya i okruzhayushchaya sreda*. 2023. Vol. 3. No. 1. Pp. 22–34. (rus).
6. Areen Aljaafreh, Yazan Alzubi, Eslam Al-Kharabsheh, Bilal Yasin. Seismic Performance of Reinforced Concrete Structures with Concrete Deficiency Caused by In-situ Quality Management Issues. *Civil Engineering Journal*. 2023. Vol. 9. No. 8. Pp. 1957–1970.
7. Garnitsky V.I., Golda Yu.L., Kurnavina S.O. Damage development process in reinforced concrete frame under the action of seismic loads. *Proceedings of the III All-Russian (II International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete «Concrete and Reinforced Concrete — Glance at Future»*. Moscow, 2014. Vol. II. Pp. 57–67.
8. Bedov A.I., Nikolenko I.I. Obespecheniye ekspluatatsionnykh kharakteristik zhelezobetonnykh elementov karkasov zdaniy, podverghshikhsya seismicheskim vozdeystviyam [Ensuring operational characteristics of reinforced concrete frame elements of buildings subjected to seismic impacts]. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya*. 2021. No. 1(93). Pp. 3–15. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-93-1-3-15. (rus).
9. Alekseytsev A.V. Analiz ustoychivosti zhelezobetonnoy kolonny pri gorizontalnykh udarnykh vozdeystviyakh [Stability analysis of a reinforced concrete column under horizontal shock impacts]. *Zhelezobetonnye konstruktсии*. 2023. No. 2(2). Pp. 3–12. DOI: 10.22227/2949-1622.2023.2.3-12. (rus).
10. Kabanzev O.V., Sharipov S., Useinov E.S. O metodike opredeleniya koeffitsienta dopustimyykh povrezhdeniy seismostoykikh konstruktсий [Determination of allowable damage factor of antiseismic structures]. *Vestnik TGASU*. 2016. No. 2. Pp. 117–126. (rus).
11. Tamrazyan A.G., Chernik V.I. Zhestkost povrezhdennoy pozharom zhelezobetonnoy kolonny pri razgruzke posle vysokointensivnogo vozdeystviya [Stiffness of a fire-damaged reinforced concrete column during unloading after high-intensity impact]. *Vestnik MGSU*. 2023. Vol. 18. No. 9. Pp. 1369–1382. (rus).
12. Shulgin V.N., Larionov V.I. Dinamicheskii raschet izgibaemykh konstruktсий zashchitnykh sooruzheniy v plasticheskoy stadii [Dynamic analysis of flexural structures of protective facilities in the plastic stage]. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktсий i sooruzheniy*. 2007. No. 4. Pp. 31–34. (rus).
13. Tamrazyan Ashot G., Kudryavtsev Maksim V. Influence of Damage Level on Dynamic Characteristics of Reinforced Concrete Structures when Assessing their Seismic Resistance. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2024. Vol. 20. No. 3. Pp. 255–264. DOI: 10.22363/1815-5235-2024-20-3-255-264.
14. Perelmutter A.V., Kabanzev O.V. O kontseptualnykh polozheniyakh norm proektirovaniya seismostoykogo stroitelstva [On conceptual provisions of seismic design standards]. *Vestnik MGSU*. 2010. No. 4. Pp. 238–241. (rus).
15. Kurnavina S.O., Tsatsulin I.V. Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye zhelezobetonnykh balok pri smene znaka usiliya [Stress-strain state of reinforced concrete beams under sign-changing loads]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo*. 2023. No. 2. Pp. 44–52. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.02.44-52. (rus).
16. Kurnavina S.O., Tsatsulin I.V. Osobennosti deformirovaniya izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov pri deystvii nagruzok bolshoy intensivnosti [Features of deformation of flexural reinforced concrete elements under high-intensity loads]. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya*. 2023. No. 3(107). Pp. 3–16. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-107-3-3-16. (rus).
17. Popov D.S. Eksperimentalnyye issledovaniya dinamicheskikh svoystv korrozionno povrezhdennykh szhatykh zhelezobetonnykh elementov [Experimental study of dynamic properties of corrosion-damaged compressed reinforced concrete elements]. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya*. 2022. No. 2. Pp. 55–64. DOI: 10.33979/2073-7416-2022-100-2-55-64. (rus).
18. Kurnavina S.O., Tsatsulin I.V., Manaenkov I.K. Vliyaniye plasticheskikh deformatsiy na rabotu zhelezobetonnykh izgibaemykh elementov pri smene znaka usiliya [Influence of plastic deformations on the behavior of reinforced concrete flexural elements under sign-changing loads]. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya*. 2021. No. 6(98). Pp. 50–62. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-98-6-50-62. (rus).

19. Garnitsky V.I. Prochnost zhelezobetonnykh konstruksiy po secheniyam, sovpadayushchim s fakticheskim polem napravleniy treshchin (teoriya i eksperiment) [Strength of reinforced concrete structures in sections coinciding with the actual crack direction field (theory and experiment)]. *Proceedings of the III All-Russian (II International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete «Concrete and Reinforced Concrete — Glance at Future»*. 2014. Vol. 1. Pp. 27–38. (rus).

20. SP 63.13330.2018 «SNiP 52-01-2003 Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii. Osnovnyye polozheniya» [Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions]. Moscow, 2018.

Информация об авторах:

Курнавина Софья Олеговна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, к.т.н., доц., доц. кафедры Железобетонных и каменных конструкций

E-mail: sofyK@yandex.ru

Цацулин Илья Владимирович

ООО «Институт «Мосинжпроект», г. Москва, Россия

к.т.н., руководитель группы

E-mail: ilya.vladimirovich.t@mail.ru

Information about authors:

Kurnavina Sofya O.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

candidate in tech. sc., docent, associated prof. of the dep. of reinforced concrete and stone structures

E-mail: sofyK@yandex.ru

Tsatsulin Ilya V.

Mosinzhproekt Company group, Moscow Russia

candidate in tech. sc, team leader

E-mail: ilya.vladimirovich.t@mail.ru

В.И. ТРАВУШ¹, С.В. НИКИФОРОВ²¹ Российская академия архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия,²АО «Синергия», Санкт-Петербург, Россия

ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОНИРОВАНИЯ МАССИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ МФК «ЛАХТА ЦЕНТР»

Аннотация. В статье рассматриваются технологические принципы бетонирования массивных бетонных конструкций на примере нижней плиты фундамента высотного здания Башня комплекса «Лакhta Центр» в Санкт-Петербурге. Цель исследования. Разработка рекомендаций по организации технологического процесса бетонирования, обеспечивающего устройство массивной конструкции с заданными проектными характеристиками. Для достижения поставленной цели были сформулированы основные принципы организации технологического процесса бетонирования и ухода за конструкцией, основанные на требованиях обеспечения непрерывности бетонирования и отсутствия температурно-усадочных трещин. Основные результаты данного исследования могут быть применены при проектировании и устройстве массивных фундаментных конструкций уникальных зданий и сооружений.

Ключевые слова: бетонные конструкции, технология, бетонирование, бетонная смесь, трещиностойкость, уход за бетоном.

V.I. TRAVUSH¹, S.V. NIKIFOROV²¹ Russian Academy of architecture and construction, Moscow, Russia,² JSC "Synergy", St. Petersburg, Russia

TECHNOLOGY OF CONCRETING MASSIVE STRUCTURES OF THE FOUNDATIONS OF THE LAKHTA CENTER MULTIFUNCTIONAL COMPLEX

Abstract The article reviews the technological principles of concreting massive concrete structures, using the example of the Lakhta Center Tower the lower slab foundation in Saint Petersburg. Based on the requirement to ensure continuity in the concreting process, recommendations are provided for organizing the technological process that ensures the construction of a massive structure with specified design characteristics. The principles of curing the structure are examined to prevent the occurrence of temperature-shrinkage cracks. The main results of this research can be applied in the design and construction of massive foundation structures for unique buildings and structures.

Key words: concrete structures, technology, concreting, concrete mix, crack capacity, concrete curing

© Травуш В.И., Никифоров С.В., 2025

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Илюхина Е.А., Лахман С.И., Миллер А.Б., Травуш В.И. Конструктивные решения высотного здания «Лакhta Центр» в Санкт-Петербурге // Academia. Архитектура и строительство. 2019. № 3. С. 110-121.
2. Abdelrazaq Ahmad, Travush Vladimir, Shakhvorostov Alexey, Timofeevich Alexander, Desyatkin Mikhail, Jung Hyungil. The Structural Engineering Design And Construction Of The Tallest Building In Europe Lakhta Center, St. Petersburg. Russia // International Journal of High-Rise Buildings. 2020. Vol 9. № 3. Pp. 283-300.
3. Никифоров С.В. Особенности конструкции фундамента высотного здания «Лакhta Центра» // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Том 26. №1. С. 180-192.
4. Травуш В.И., Шахворостов А.И. Бетонирование нижней плиты коробчатого фундамента башни комплекса «Лакhta центр» // Высотные здания. 2015. №1. С. 92-101.

5. Велиджанов А.Т. Анализ основных нормативных требований при возведении монолитных фундаментов зданий и сооружений // Актуальные исследования. 2024. № 5 (187). С. 44-46.
6. Лахта Центр. Tatlin Plan. 2018. № 36(178). 136 с.
7. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Чилин И.Д. Оптимизация параметров технологии бетона для обеспечения термической трещиностойкости массивных фундаментов // Строительные материалы // 2022. № 10 С. 41-51.
8. Zongjin Li. Advanced concrete technology. 2011. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 521 p.
9. Комаринский М.В. Смирнов С.И. Бурцева Д.Е. Литые и самоуплотняющиеся бетонные смеси // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 11(38). С. 106-118.
10. Батяновский Э. И., Бондарович А. И., Калиновская Н. Н., Рябчиков П. В. Самоуплотняющийся бетон и технология бетонирования фундаментного массива с использованием 9000 кубических метров бетона // Наука и техника. 2021. Т. 20, № 4. С. 329-337.
11. Семенов К.В., Барабанщиков Ю.Г. Термическая трещиностойкость массивных бетонных фундаментных плит и ее обеспечение в строительный период зимой // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №2 (17). С. 125-135.
12. Каприелов С.С., А.В. Шейнфельд, С.И. Иванов Опыт бетонирования массивной густоармированной конструкции с обеспечением термической трещиностойкости // Строительные материалы 2023. № 10. С. 15-24.
13. Семенов К.В., Титов Н.С. Учет тепловыделения бетона в расчетах термической трещиностойкости массивных железобетонных конструкций // Инженерные исследования. 2024, №1 (16). С. 3-12.
14. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: АСВ. 2011. 529 с.
15. Тихонов А. Ф., Королев К. М. Автоматизированные бетоносмесительные установки и заводы. М.: Высш. шк., 1990. 191 с.
16. Колчеданцев Л.М., Осипенкова Г.И. Особенности организационно-технологических решений при возведении высотных зданий // Жилищное строительство. 2013. № 9. С. 1-3.
17. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Киселева Ю.А. Особенности системы контроля качества высокопрочных бетонов // Строительные материалы. 2012. № 2. С. 63-67.
18. Несветаев Г.В., Корянова Ю.И., Сухин Д.П. Некоторые технологические параметры устройства рабочих швов при применении самоуплотняющихся бетонных смесей // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. 2023. № 2(3). С. 31–39.
19. Бушманова А.В., Харченко Д.К., Семенов К.В., Барабанщиков Ю.Г., Коровина В.К., Дернакова А.В. Термическая трещиностойкость массивных сталежелезобетонных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 3(79). С. 45–53.
20. Ivanov, E.N., Semenov, K.S., Barabanshchikov, Yu.G., Akimov, S.V., Kuleshin, A.S., Titov, N.T. Concrete heat liberation in thermal stressed state analysis. Magazine of Civil Engineering. 2023. 124(8). Article no. 12409. DOI: 10.34910/MCE.124.9.

REFERENCES

1. Ilyukhina E.A., Lakhman S.I., Miller A.B., Travush V.I. Konstruktivnyye resheniya vysohnogo zdaniya «Lakhta Tsentra» v Sankt-Peterburge [Structural solutions for the Lakhta Center skyscraper in St. Petersburg]. *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo*. 2019. No. 3. Pp. 110–121. (rus).
2. Abdelrazaq Ahmad, Travush Vladimir, Shakhvorostov Alexey, Timofeevich Alexander, Desyatkin Mikhail, Jung Hyungil. The Structural Engineering Design and Construction of the Tallest Building in Europe Lakhta Center, St. Petersburg, Russia. *International Journal of High-Rise Buildings*. 2020. Vol. 9. No. 3. Pp. 283–300.
3. Nikiforov S.V. Osobennosti konstruktssii fundamenta vysohnogo zdaniya «Lakhta Tsentra» [Features of the foundation design of the Lakhta Center skyscraper]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2024. Vol. 26. No. 1. Pp. 180–192. (rus).
4. Travush V.I., Shakhvorostov A.I. Betonirovaniye nizhney plity korobchatogo fundamenta bashni kompleksa «Lakhta Tsentra» [Concreting of the lower slab of the box foundation of the Lakhta Center tower]. *Vysotnyye zdaniya*. 2015. No. 1. Pp. 92–101. (rus).
5. Velidzhanov A.T. Analiz osnovnykh normativnykh trebovaniy pri vozvedenii monolitnykh fundamentov zdaniy i sooruzheniy [Analysis of regulatory requirements for monolithic foundations]. *Aktualnyye issledovaniya*. 2024. No. 5 (187). Pp. 44–46. (rus).
6. Lakhta Tsentra. *Tatlin Plan*. 2018. No. 36(178). 136 p. (rus).
7. Kapriellov S.S., Sheynfeld A.V., Chilin I.D. Optimizatsiya parametrov tekhnologii betona dlya obespecheniya termicheskoy treshchinostoykosti massivnykh fundamentov [Optimization of concrete technology for thermal crack resistance in massive foundations]. *Stroitelnyye materialy*. 2022. No. 10. Pp. 41–51. (rus).
8. Zongjin Li. *Advanced Concrete Technology*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2011. 521 p.
9. Komarinskiy M.V., Smirnov S.I., Burtseva D.E. Lityye i samouplotnyayushchiyesya betonnyye smesi [Cast and self-compacting concrete mixtures]. *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*. 2015. No. 11(38). Pp. 106–118. (rus).

10. Batyanovskiy E.I., Bondarovich A.I., Kalinovskaya N.N., Ryabchikov P.V. Samouplotnyayushchiysya beton i tekhnologiya betonirovaniya fundamentnogo massiva s ispolzovaniyem 9000 kubicheskikh metrov betona [Self-compacting concrete and foundation concreting technology using 9000 m³ of concrete]. *Nauka i tekhnika*. 2021. Vol. 20. No. 4. Pp. 329–337. (rus).
11. Semenov K.V., Barabanshchikov Yu.G. Termicheskaya treshchinostoykost massivnykh betonnykh fundamentnykh plit i yeye obespecheniye v stroitelnyy period zimoy [Thermal crack resistance of massive concrete foundation slabs and its provision during winter construction]. *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*. 2014. No. 2 (17). Pp. 125–135. (rus).
12. Kapriylov S.S., Sheynfeld A.V., Ivanov S.I. Opyt betonirovaniya massivnoy gustoarmirovannoy konstruktсии s obespecheniyem termicheskoy treshchinostoykosti [Experience in concreting a massive densely reinforced structure with thermal crack resistance]. *Stroitelnyye materialy*. 2023. No. 10. Pp. 15–24. (rus).
13. Semenov K.V., Titov N.S. Uchet teplovydeleniya betona v raschetakh termicheskoy treshchinostoykosti massivnykh zhelezobetonnykh konstruktсий [Accounting for concrete heat generation in thermal crack resistance calculations]. *Inzhenernyye issledovaniya*. 2024. No. 1 (16). Pp. 3–12. (rus).
14. Bazhenov Yu.M. *Tekhnologiya betona* [Technology of Concrete]. Moscow: ASV, 2011. 529 p. (rus).
15. Tikhonov A.F., Korolev K.M. *Avtomatizirovannyye betonosmesitelnyye ustanovki i zavody* [Automated Concrete Mixing Plants]. Moscow: Vysshaya shkola, 1990. 191 p. (rus).
16. Kolchedantsev L.M., Osipenkova G.I. Osobennosti organizatsionno-tekhnologicheskikh resheniy pri vozvedenii vysotnykh zdaniy [Organizational and technological solutions for high-rise construction]. *Zhilishchnoye stroitelstvo*. 2013. No. 9. Pp. 1–3. (rus).
17. Kapriylov S.S., Sheynfeld A.V., Kiseleva Yu.A. Osobennosti sistemy kontrolya kachestva vysokoprochnykh betonov [Quality control system for high-strength concrete]. *Stroitelnyye materialy*. 2012. No. 2. Pp. 63–67. (rus).
18. Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I., Sukhin D.P. Nekotoryye tekhnologicheskiye parametry ustroystva rabochnik shvov pri primenenii samouplotnyayushchikhnya betonnykh smesey [Technological parameters of jointing with self-compacting concrete]. *Sovremennyye tendentsii v stroitelstve, gradostroitelstve i planirovke territoriy*. 2023. No. 2(3). Pp. 31–39. (rus).
19. Bushmanova A.V., Kharchenko D.K., Semenov K.V., Barabanshchikov Yu.G., Korovina V.K., Dernakova A.V. Termicheskaya treshchinostoykost massivnykh stalezhelezobetonnykh konstruktсий [Thermal crack resistance of massive steel-reinforced concrete structures]. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*. 2018. No. 3(79). Pp. 45–53. (rus).
20. Ivanov E.N., Semenov K.S., Barabanshchikov Yu.G., Akimov S.V., Kuleshin A.S., Titov N.T. Concrete heat liberation in thermal stressed state analysis. *Magazine of Civil Engineering*. 2023. Vol. 124. No. 8. Art. 12409. DOI: 10.34910/MCE.124.9.

Информация об авторах:

Травуш Владимир Ильич

Российская академия архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия,
Д-р техн. наук, проф.,
E-mail: travush@mail.ru

Никифоров Сергей Владимирович

Директор по проектированию (sergeivnikiforov@gmail.com)
АО «Синергия», Санкт-Петербург, Россия

Information about author:

Travush Vladimir I.

Russian Academy of architecture and construction, Moscow, Russia,
Doctor of technical sciences, professor,
E-mail: travush@mail.ru

Nikiforov Sergey V.

Design Director
Synergy, JSC, St. Petersburg, Bolshaya morskaya 24, Russia
E-mail: sergeivnikiforov@gmail.com

В.Н. ДЕРКАЧ¹, И.Е. ДЕМЧУК¹, П.И. МАТЯС¹

¹Филиал Научно-технический центр РУП «СТРОЙТЕХНОРМ», г. Брест, Республика Беларусь

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ПРИ СДВИГЕ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ИЗ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОРИЗОВАННЫХ БЛОКОВ

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальных исследований прочности при сдвиге в плоскости горизонтальных растворных швов каменных кладок из поризованных керамических блоков. Исследовались значения начальной прочности при сдвиге (прочности касательного сцепления) и предельные значения прочности при сдвиге. Испытания каменных кладок выполнялись согласно СТБ EN 1052-3 при одновременном действии сжимающих и сдвигающих усилий. В зависимости от уровня обжатия разрушение каменных кладок происходило вследствие сдвига по границе кладочного изделия и растворного шва и раздробления перегородок между пустотами блоков. Установлено, что предельные значения прочности кладки при сдвиге, приведенные в нормах по проектированию каменных конструкций, существенно превышают экспериментальные значения. Указано на необходимость корректировки положения нормативных документов, касающиеся предельных значений прочности при сдвиге каменных кладок из поризованных керамических блоков.

Ключевые слова: каменная кладка, керамические поризованные блоки, неперевязанное сечение, прочность при сдвиге.

V.N. DERKACH¹, I.E. DEMCHUK¹, P.I. MATYAS¹

¹Branch office Scientific-Technical Center of the RUE "STROYTECHNORM", Brest, Republic of Belarus

LIMIT VALUES OF SHEAR STRENGTH FOR MASONRY MADE OF POROUS CERAMIC BLOCKS

Abstract. The article presents the results of experimental studies of shear strength in the plane of horizontal mortar joints of masonry from porous ceramic blocks. The initial shear strength values were investigated (strength of tangential adhesion), as well as the ultimate shear strength values. Experiments with masonry were carried out in accordance with STB EN 1052-3 with simultaneous action of compressive and shear forces. Depending on the compression level, the destruction of masonry occurred due to a shift along the border of the masonry product and the mortar joint and fragmentation of the partitions between the voids of the blocks. It has been established that the limiting values of masonry shear strength, given in the standards for the design of stone structures, significantly exceed the experimental values. The need to correct the provisions of regulatory documents regarding the ultimate values of shear strength of masonry from porous ceramic blocks is indicated.

Keywords: masonry, ceramic porous blocks, unbonded section, shear strength.

© Деркач В.Н., Демчук И.Е., Матяс П.И., 2025

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mann W., Müller H. Failure of Shear-stressed Masonry-an Enlarget Theory, Tests and Application to Shear // Proc. of the British Ceramic Society. 1982. №30. Pp. 223-235.
2. Dialer C.D. Bruch und Verformungsverhalten von schubbeanspruchten Mauerwerksscheiben // Mauerwerk-Kalender 1992, Ernst & Sohn Verlag. 1992. Pp. 609-614.

3. Crisafulli F.J., Carr A.J., Park R. Shear Strength of Unreinforced Masonry Panels // Papers from Pacific Conf. on Earthquake Engng. – Melbourne, 1995. Pp. 77-86.
4. Graubner C.A., Simon E. Zur Schubtragfähigkeit von Mauerwerk aus großformatigen Steinen // Mauerwerk-Kalender 26, 2001, Ernst & Sohn Verlag. 2001. Pp. 737-752.
5. Lourenço P.B., Barros J.O., Oliveira J.T. Shear testing of stack bonded masonry // Construction and Building Materials. 2004. №18(2). Pp. 125-132.
6. Jasiński R., Piekarczyk A. Próba opisu zjawiska ścinania w kierunku równoległym i prostopadłym do spoin wspornych niezbrojonych murów ceglanych // Materiały XLIX Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB. – Warszawa – Krynica, 2003. S. 139 -147.
7. Oan A.F., Shrive N.G. Shear of concrete masonry walls // 11th Canadian Masonry Symposium, Toronto, Ontario, May 31- June 3, 2009. 10 p.
8. Tomazevic M. Shear resistance of masonry walls and Eurocode 6: Shear versus tensile strength of masonry // Materials and Structures. 2009. №42. Pp. 72-93.
9. Popal, R., Lissel S.L. Numerical evaluation of existing mortar joint shear tests and a new test method // Proceedings of 8th International Masonry Conference, July 4-7, 2010. Pp 21-35.
10. Деркач В.Н., Орлович Р.Б. Прочность каменной кладки на срез по неперевязанным сечениям // Строительство и реконструкция. 2010. №3. С.7-13.
11. Fehling, E., Ismail, M., Samaan, S. Biegezugversuche an Planziegelmauerwerk. Mauerwerk, 2015(5). Pp. 355–362.
12. Pftzing T. Zur Schubtragfähigkeit von Mauerwerksscheiben mit teilweise aufliegender Deckenplatte // Schriftenreihe Baustoffe und Massivbau. Structural Materials and Engineering Series. Heft 35. 2020. № 35.195 s.
13. Lavado L., Gallardo J. Shear strength of brick mortar interface for masonry in Lima city // Tecnia vol.29. 2019 №2. Pp. 57-63.
14. Beconcini M.L., Croce P., Formichi P., Landi F., P. Benedetta Experimental Evaluation of Shear Behavior of Stone Masonry Wall / Materials (Basel). 2021. №14(9). 13p.
15. Wilding B.V., Godio M., Beyer K. The ratio of shear to elastic modulus of in-plane loaded masonry/ Materials and Structures. 2020. №53(2). Pp. 83-98.
16. Kozłowski M., Galman I., Jasiński R. Finite Element Study on the Shear Capacity of Traditional Joints between Walls Made of AAC Masonry Units // Materials (Basel). 2020 №13(18). Pp. 34-47.
17. Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk: EN 1996-1-1:2005. – Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2005. – 127 p.
18. Каменные и армокаменные конструкции. Строительные нормы проектирования: СП 5.02.01-2021.– Введ.1.04.2021.– Минск: МАиС, 2021. 116 с.
19. Методы испытаний каменной кладки. Часть 3. Определение начальной прочности при сдвиге: СТБ EN 1052-3-2017. – Введ. 01.08.2018. – Минск: РУП «Стройтехнорм». 2013. 17 с.
20. Методы испытаний изделий для каменной кладки. Часть 1. Определение прочности при сжатии: СТБ EN 772-1-2014. – Введ.01.01 2015. – Минск: РУП «Стройтехнорм». – 2015. 16 с.
21. Методы испытаний растворов для каменной кладки. Часть 11. Определение прочности затвердевшего раствора при изгибе и сжатии: СТБ EN 1015-11-2012. – Введ. 01.09.2013. – Минск: РУП «Стройтехнорм». 2013. 14 с.
22. Грановский А.В., Сайфулина Н.Ю., Иванова Г.М., Ефименко М.Н. Сейсмостойкость стен из крупноформатных керамических поризованных (шлифованных) многопустотных камней на клеевом растворе // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №6. С. 67-70.
23. Деркач, В.Н. Прочность касательного сцепления цементных растворов в каменной кладке // Инженерно-строительный журнал. 2012. №3(29). С. 19-28.
24. Демчук, И.Е. Предельные значения прочности каменной кладки при сдвиге в Национальном приложении к Еврокоду 6 // Актуальные проблемы инновационной подготовки инженерных кадров при переходе строительной отрасли на европейские стандарты: сборник Международных научно-технических статей (материалы научно-метод. конф.), г. Минск, 26-27 мая 2015 г. / БНТУ; редкол.: В.Ф. Зверев, С.М. Коледа. – Минск: БНТУ, 2015. С. 77-89.
25. Демчук И.Е. Экспериментально-теоретические исследования каменной кладки при сдвиге с обжатием // Вестник БрГТУ. 2016. № 1(97): Строительство и архитектура. С. 112-116.
26. Свод правил. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81: СП 15.13330.2020– Введ. 1.07.2021.– М.: Минстрой России, 2021. 124с.

REFERENCES

1. Mann W., Müller H. Failure of Shear-stressed Masonry — an Enlarged Theory, Tests and Application to Shear. *Proc. of the British Ceramic Society*. 1982. No. 30. Pp. 223–235.

2. Dialer C.D. Bruch und Verformungsverhalten von schubbeanspruchten Mauerwerksscheiben [Fracture and deformation behavior of shear-stressed masonry panels]. *Masonry Calendar* 1992. Ernst & Sohn Verlag, 1992. Pp. 609–614.
3. Crisafulli F.J., Carr A.J., Park R. Shear Strength of Unreinforced Masonry Panels. *Papers from Pacific Conference on Earthquake Engineering*. Melbourne, 1995. Pp. 77–86.
4. Graubner C.A., Simon E. Zur Schubtragfähigkeit von Mauerwerk aus großformatigen Steinen [Shear resistance of masonry from large-sized elements]. *Masonry Calendar* 26. Ernst & Sohn Verlag, 2001. Pp. 737–752.
5. Lourenço P.B., Barros J.O., Oliveira J.T. Shear testing of stack bonded masonry. *Construction and Building Materials*. 2004. Vol. 18. No. 2. Pp. 125–132.
6. Jasiński R., Piekarczyk A. Próba opisu zjawiska ścinania w kierunku równoległym i prostopadłym do spoin wspornych niezbrojonych murów ceglanych [An attempt to describe shear in the direction parallel and perpendicular to the base joints of unreinforced brick walls]. *Materiały XLIX Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB*. Warszawa–Krynica, 2003. Pp. 139–147.
7. Oan A.F., Shrive N.G. Shear of concrete masonry walls. *11th Canadian Masonry Symposium*. Toronto, 2009. 10 p.
8. Tomazevic M. Shear resistance of masonry walls and Eurocode 6: Shear versus tensile strength of masonry. *Materials and Structures*. 2009. Vol. 42. Pp. 72–93.
9. Popal R., Lissel S.L. Numerical evaluation of existing mortar joint shear tests and a new test method. *Proceedings of 8th International Masonry Conference*. 2010. Pp. 21–35.
10. Derkach V.N., Orlovich R.B. Prochnost' kamennoj kladki na srez po neperevyazannym secheniyam [Shear strength of masonry parallel to the horizontal joints]. *Construction and Reconstruction*. 2010. No. 3. Pp. 7–13. (rus).
11. Fehling E., Ismail M., Samaan S. Biegezugversuche an Planziegelmauerwerk [Bending tensile tests on flat brick masonry]. *Masonry*. 2015. No. 5. Pp. 355–362.
12. Pfetzing T. Zur Schubtragfähigkeit von Mauerwerksscheiben mit teilweise aufliegender Deckenplatte [Shear capacity of masonry slabs with a partially supported floor slab]. *Schriftenreihe Baustoffe und Massivbau*. 2020. No. 35. 195 p.
13. Lavado L., Gallardo J. Shear strength of brick mortar interface for masonry in Lima city. *Tecnia*. 2019. Vol. 29. No. 2. Pp. 57–63.
14. Beconcini M.L., Croce P., Formichi P., Landi F., Benedetta P. Experimental Evaluation of Shear Behavior of Stone Masonry Wall. *Materials (Basel)*. 2021. Vol. 14. No. 9. 13 p.
15. Wilding B.V., Godio M., Beyer K. The ratio of shear to elastic modulus of in-plane loaded masonry. *Materials and Structures*. 2020. Vol. 53. No. 2. Pp. 83–98.
16. Kozłowski M., Galman I., Jasiński R. Finite Element Study on the Shear Capacity of Traditional Joints between Walls Made of AAC Masonry Units. *Materials (Basel)*. 2020. Vol. 13. No. 18. Pp. 34–47.
17. Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrte und unbewehrte Mauerwerk: EN 1996-1-1:2005 [Eurocode 6: Design and construction of masonry buildings. Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry]. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2005. 127 p.
18. Kamennye i armokamennye konstrukcii. Stroitel'nye normy proektirovaniya: SP 5.02.01-2021 [Masonry and reinforced masonry structures. Building design standards]. Minsk: MAiS, 2021. 116 p. (rus).
19. Metody ispytaniy kamennoj kladki. CHast' 3. Opredelenie nachal'noj prochnosti pri sdvige: STB EN 1052-3-2017 [Test methods for masonry. Part 3. Determination of initial shear strength]. Minsk: RUP «Strojtekhnorm», 2018. 17 p. (rus).
20. Metody ispytaniy izdelij dlya kamennoj kladki. CHast' 1. Opredelenie prochnosti pri szhatii: STB EN 772-1-2014 [Test methods for masonry products. Part 1. Determination of compressive strength]. Minsk: RUP «Strojtekhnorm», 2015. 16 p. (rus).
21. Metody ispytaniy rastvorov dlya kamennoj kladki. CHast' 11. Opredelenie prochnosti zatverdevshego rastvora pri izgibe i szhatii: STB EN 1015-11-2012 [Test methods for masonry mortars. Part 11. Determination of the strength of a hardened mortar in bending and compression]. Minsk: RUP «Strojtekhnorm», 2013. 14 p. (rus).
22. Granovskiy A.V., Sayfulina N.Yu., Ivanova G.M., Efimenko M.N. Seismostojkost' sten iz krupnoformatnykh keramicheskikh porizovannykh (shlifovannykh) mnogopustotnykh kamnej na kleevom rastvore [Seismic resistance of walls made of large-format ceramic porous (polished) multi-hollow masonry elements with adhesive mortar]. *Industrial and Civil Construction*. 2013. No. 6. Pp. 67–70. (rus).
23. Derkach V.N. Prochnost' kasatel'nogo scepneniya cementnykh rastvorov v kamennoj kladke [Shear strength of cement mortars in masonry]. *Engineering and Construction Journal*. 2012. No. 3(29). Pp. 19–28. (rus).
24. Demchuk I.E. Predel'nye znacheniya prochnosti kamennoj kladki pri sdvige v Nacional'nom prilozhenii k Evrokodu 6 [Limit values for the shear strength of masonry in the National Annex to Eurocode 6]. *Aktual'nye problemy innovacionnoj podgotovki inzhenernykh kadrov pri perekhode stroitel'noj otrasli na evropejskie standarty*. Minsk: BNTU, 2015. Pp. 77–89. (rus).

25. Demchuk I.E. Experimental and theoretical studies of masonry under shear with compression // Vestnik BrGTU. 2016. № 1(97): Construction and Architecture. С. 112-116.

26. Code of rules. Stone and reinforced stone structures. Actualized edition of SNiP II-22-81: SP 15.13330.2020- Vved. 1.07.2021.- М.: Ministry of Construction of Russia, 2021. 124 с.

Информация об авторах:

Деркач Валерий Николаевич

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

E-mail: v-derkach@yandex.ru

Демчук Игорь Евгеньевич

Филиал Научно-технический центр РУП «СТРОЙТЕХНОРМ», г. Брест, Республика Беларусь, кандидат технических наук, заведующий лабораторией.

E-mail: 7263712@mail.ru

Матяс Павел Игоревич

Филиал Научно-технический центр РУП «СТРОЙТЕХНОРМ», г. Брест, Республика Беларусь, ведущий инженер-конструктор.

E-mail: matyas.ntc@gmail.com

Information about authors:

Derkach Valery N.

Branch office Scientific-Technical Center of the RUE "STROYTECHNORM", Brest, Republic of Belarus, doctor of Technical Sciences, professor, Director.

E-mail: v-derkach@yandex.ru

Demchuk Igor E.

Branch office Scientific-Technical Center of the RUE "STROYTECHNORM", Brest, Republic of Belarus, candidate of Technical Sciences, Head of the laboratory.

E-mail: 7263712@mail.ru

Matyas Pavel I.

Branch office Scientific-Technical Center of the RUE "STROYTECHNORM", Brest, Republic of Belarus, candidate of Technical Sciences, Principal Design Engineer.

E-mail: matyas.ntc@gmail.com

С.Ю. САВИН¹, М.З. ШАРИПОВ¹, В.С. МОСКОВЦЕВА¹¹ НИУ «Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДЛИТЕЛЬНО НАГРУЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Аннотация. Исследуется влияние предыстории нагружения на несущую способность длительно нагруженных сжатых и внецентренно сжатых железобетонных элементов эксплуатируемых зданий и сооружений, подверженных динамическому догружению в результате аварийных воздействий, с учетом изменения прочности и деформативности бетона. С использованием равновесных билинейных диаграмм деформирования бетона получено аналитическое выражение для оценки несущей способности внецентренно сжатых железобетонных элементов при различных режимах нагружения. Для проверки достоверности предложенной аналитической зависимости выполнены экспериментальные исследования несущей способности длительно нагруженных сжатых железобетонных элементов при динамическом воздействии вследствие аварийной ситуации. Сопоставлением с экспериментальными данными показано, что в области малых эксцентриситетов, близких к случайным, рассчитанные значения предельных изгибающих моментов меньше, чем по зависимостям из СП 63.13330.2018, и при этом ближе к результатам экспериментальных исследований.

Ключевые слова: железобетон, сжатый элемент, экспериментально-теоретическое исследование, статико-динамическое нагружение, несущая способность

S.YU. SAVIN¹, M.Z. SHARIPOV¹, V.S. MOSKOVITSEVA¹¹ Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY OF THE PERFORMANCE OF LONG-TERM LOADED REINFORCED CONCRETE MEMBERS IN COMPRESSION UNDER DYNAMIC ACTION

Abstract. This study investigates the effect of loading history on the performance of long-term loaded members in compression subjected to dynamic action as a result of accidental situation. In addition, it considers changes in the strength and deformability of concrete. Analytical expressions have been developed to estimate the load-bearing capacity of reinforced concrete members in compression under different loading modes using equivalent bilinear diagrams of concrete deformation. To verify the reliability of the proposed analytical relations, experimental studies of the load-bearing capacity of long-term loaded compressed reinforced concrete members have been carried out under dynamic action which models accidental situation. Comparison of calculation results with experimental data shows that in the region of small eccentricities, close to accidental ones, the ultimate bending moments are smaller than calculated according to the relations presented in SP 63.13330.2018, and at the same time closer to the results of experimental studies.

Keywords: reinforced concrete, member in compression, experimental-theoretical study, static-dynamic loading, bearing capacity

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамразян А.Г. К устойчивости внецентренно сжатых железобетонных элементов с малым эксцентриситетом с учетом реологических свойств бетона // Железобетонные конструкции. 2023. № 2(2). С. 48–57.
2. Тамразян А.Г. К безопасному значению длительного нагружения сжатых железобетонных элементов // Строительство и реконструкция. 2023. № 2(106). С. 80–89.
3. Кабанцев О.В., Дзюба П.В. Расчет прочности железобетонной колонны на двукратный продольный удар // Вестник ТГАСУ. 2004. № 1. С. 51–54.
4. Белов Н. Н., Югов Н. Т., Копаница Д. Г., Кабанцев О. В., Югов А. А., Овечкина А. Н. Анализ прочности моделей бетонных и железобетонных колонн при двукратном продольном ударе расчетно-экспериментальным методом // Вестник ТГАСУ. 2006. № 1. С. 10–19.
5. Колчунов В.И., Савин С.Ю. Устойчивость железобетонных каркасов зданий к начальному локальному разрушению // Известия вузов. Строительство. 2024. № 10. С. 50–64.
6. Savin S., Kolcunov V., Fedorova N., Tuyen V. Experimental and Numerical Investigations of RC Frame Stability Failure under a Corner Column Removal Scenario // Buildings. 2023. Vol. 13, № 4. P. 908.
7. Sasani M., Sagioglu S. Progressive Collapse Resistance of Hotel San Diego // Journal of Structural Engineering. 2008. Vol. 134, № 3. P. 478–488.
8. Adam J.M., Buitrago M., Bertolesi E., Sagaseta J., Mora J.J. Dynamic performance of a real-scale reinforced concrete building test under a corner-column failure scenario // Engineering Structures. 2020. Vol. 210. P. 110414.
9. Гениев Г.А. О динамических эффектах в стержневых системах из физических нелинейных хрупких материалов // Промышленное и гражданское строительство. 1999. № 9. Р. 23–24.
10. Колчунов В.И., Ключева Н.В., Андросова Н.Б., Бухтиярова А.С. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях. М.: Издательство АСВ, 2014. 208 с.
11. Алмазов В.О., Као З.К. Динамика прогрессирующего разрушения монолитных многоэтажных каркасов. Москва: Издательство АСВ, 2014. 128 р.
12. Алмазов В.О., Плотников А.И., Расторгуев Б.С. Проблемы сопротивления зданий прогрессирующему разрушению // Вестник МГСУ. 2011. № 2–1. Р. 16–20.
13. Pham A.T., Brenneis C., Roller C., Tan K.H. Blast-induced dynamic responses of reinforced concrete structures under progressive collapse // Magazine of Concrete Research. 2022. Vol. 74, № 16. P. 850–863.
14. 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. Vol. 14, № 6. P. 1776.
15. Федорова Н.В., Московцева В.С., Савин С.Ю. Деформирование и разрушение железобетонных рам со сложнапряженными элементами в запредельных состояниях // Сборник научных трудов РААСН. Российская академия архитектуры и строительных наук, 2022. Том 2. – С. 458–468.
16. Ильющенко Т.А., Колчунов В.И., Федоров С.С. Трещиностойкость преднапряженных железобетонных рамно-стержневых конструкций при особых воздействиях // Строительство и реконструкция. 2021. Vol. 93, № 1. Р. 74–84.
17. Прокопович И.Е., Кобринец В.М., Половец В.И., Твардовский И.А. Влияние режима приложения сжимающей нагрузки на длительное сопротивление бетона // Бетон и железобетон. 1991. № 6. С. 6–8.
18. Безгодов И.М. Длительная прочность и предельная деформативность высокопрочного старого бетона // Технологии бетонов. 2024. № 1(192). С. 27–31.
19. Цветков К.А., Баженова А.В., Безгодов И.М. Проблема построения диаграммы деформирования бетона при однократном динамическом воздействии с учетом влияния предварительных напряжений от действия статической нагрузки // Вестник МГСУ. 2012. № 7. С. 152–158.
20. Savin S.Y., Sharipov M.Z. Nonlinear visco – elastic behavior of concrete under static-dynamic loading: Experimental and numerical studies // Structures. 2025. Vol. 74. P. 108496.
21. Levitch V. et al. Seismic performance capacities of old concrete // 13 th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada. 2004. P. 1–15

REFERENCES

1. Tamrazyan A.G. K ustojchivosti vnecentrenno szhatyh zhelezobetonnyh elementov s malym ekscentrisitetom s uchetom reologicheskikh svoystv betona [On the Stability of Eccentrically Compressed Reinforced Concrete Elements with a Small Eccentricity, Taking into Account the Rheological Properties of Concrete]. *Reinforced concrete structures*. 2023. No.2(2). Pp. 48–57. (rus.).
2. Tamrazyan A.G. K bezopasnomu znacheniyu dlitel'nogo nagruzheniya szhatyh zhelezobetonnyh elementov [To the safe value of long-term loading of compressed reinforced concrete elements] // *Building and Reconstruction*. 2023. No.2(106). Pp. 80–89. (rus.).

3. Kabancev O.V., Dzyuba P.V. Raschet prochnosti zhelezobetonnoj kolonny na dvukratnyj prodol'nyj udar [Calculation of the strength of a reinforced concrete column on a twofold longitudinal impact] // *Vestnik TGASU*. 2004. No.1. Pp. 51–54. (rus).
4. Belov N. N., YUgov N. T., Kopanica D. G., Kabancev O. V., YUgov A. A., Ovechkina A. N. Analiz prochnosti modelej betonnyh i zhelezobetonnyh kolonn pri dvukratnom prodol'nom udare raschetno-eksperimental'nym metodom [Strength analysis of concrete and reinforced concrete column models under double longitudinal impact by design-experimental method] // *Vestnik TGASU*. 2006. No. 1. Pp. 10–19. (rus).
5. Kolchunov V.I., Savin S.YU. Ustojchivost' zhelezobetonnyh karkasov zdaniy k nachal'nomu lokal'nomu razrusheniyu [Stability of reinforced concrete building frames to initial localized failure] // *Izvestiya vuzov. Construction*. 2024. No 10. Pp. 50–64. (rus).
6. Savin S. Kolchunov V., Fedorova N., Tuyen V. Experimental and Numerical Investigations of RC Frame Stability Failure under a Corner Column Removal Scenario // *Buildings*. 2023. Vol. 13, № 4. P. 908.
7. Sasani M., Sagioglu S. Progressive Collapse Resistance of Hotel San Diego // *Journal of Structural Engineering*. 2008. Vol. 134, № 3. P. 478–488.
8. Adam J.M. Buitrago M., Bertolesi E., Sagaseta J., Mora J.J. Dynamic performance of a real-scale reinforced concrete building test under a corner-column failure scenario // *Engineering Structures*. 2020. Vol. 210. P. 110414.
9. Geniev G.A. O dinamicheskikh effektah v sterzhnevyykh sistemah iz fizicheskikh nelinejnyh hрупких materialov [On dynamic effects in rod systems made of physical non-linear brittle materials] // *Industrial and civil engineering*. 1999. No. 9. Pp. 23–24. (rus).
10. Kolchunov V.I., Klyueva N.V., Androsova N.B., Buhtiyarova A.S. ZHivuchest' zdaniy i sooruzheniy pri zaproektnykh vozdeystviyakh. [Survivability of buildings and structures under non-design impacts]. Moscow: ACB, 2014. 208 p. (rus).
11. Almazov V.O., Kao Z.K. Dinamika progressiruyushchego razrusheniya monolitnyh mnogoetazhnyh karkasov. [Dynamics of progressive failure of monolithic multistory frames] Moscow: ACB, 2014. 128 p. (rus).
12. Almazov V.O., Plotnikov A.I., Rastorguev B.S. Problemy soprotivleniya zdaniy progressiruyushchemu razrusheniyu [Problems of buildings resistance to progressive collapse] // *Vestnik MGSU*. 2011. No. 2–1. Pp. 16–20. (rus).
13. Pham A.T. Brenneis C., Roller C., Tan K.H. Blast-induced dynamic responses of reinforced concrete structures under progressive collapse // *Magazine of Concrete Research*. 2022. Vol. 74, № 16. P. 850–863.
14. 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. Vol. 14, № 6. P. 1776.
15. Fedorova N.V., Moskovtseva V.S., Savin S.Yu. Deformirovanie i razrushenie zhelezobetonnyh ram so slozhnonapryazhennymi elementami v zapredel'nykh sostoyaniyakh [Deformation and destruction of reinforced concrete frames with complexly stressed elements in transcendent states]. *Collection of scientific papers of the RAASN. Russian Academy of Architecture and Building Sciences*. 2022. Vol. 2. Pp. 458–468. (rus).
16. Il'yushchenko T.A., Kolchunov V.I., Fedorov S.S. Treshchinostojkost' prednapryazhennyh zhelezobetonnyh ramno-sterzhnevyyh konstrukcij pri osobykh vozdeystviyakh [Crack resistance of prestressed reinforced concrete frame-core structures under special influences]. *Building and Reconstruction*. 2021. No. 1(93). Pp. 74–84. (rus).
17. Prokopovich I.E., Kobrinec V.M., Polovec V.I., Tvardovskij I.A. Vliyanie rezhima prilozheniya szhimayushchej nagruzki na dlitel'noe soprotivlenie betona [Effect of compressive load application mode on the long-term resistance of concrete] // *Concrete and reinforced concrete*. 1991. No. 6. Pp. 6–8. (rus).
18. Bezgodov I.M. Dlitel'naya prochnost' i predel'naya deformativnost' vysokoprochnogo starogo betona [Long-term strength and ultimate deformability of high-strength old concrete] // *Concrete Technology*. 2024. No 1. (192). Pp. 27–31. (rus).
19. Cvetkov K.A., Bazhenova A.V., Bezgodov I.M. Problema postroeniya diagrammy deformirovaniya betona pri odnokratnom dinamicheskom vozdeystvii s uchetom vliyaniya predvaritel'nyh napryazhenij ot deystviya staticheskoy nagruzki [The problem of construction of concrete deformation diagram under a single dynamic action taking into account the influence of pre-stresses from static loading] // *Vestnik MGSU*. 2012. No 7. Pp. 152–158. (rus).
20. Savin S.Y., Sharipov M.Z. Nonlinear visco – elastic behavior of concrete under static-dynamic loading: Experimental and numerical studies // *Structures*. 2025. Vol. 74. P. 108496.
21. Levthitch V. et al. Seismic performance capacities of old concrete // *13 th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada. 2004. Pp. 1–15.

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

Шарипов Манонходжа Зарифходжаевич

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

аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций

E-mail: manonkhoja.sh@bk.ru

Московцева Виолетта Сергеевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
(НИУ МГСУ), г. Москва, Россия, кандидат технических наук, преподаватель кафедры инженерной графики и
компьютерного моделирования.

E-mail: lyavetka1@mail.ru

Information about authors:

Savin Sergey Yu.

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

E-mail: savinsyu@mgsu.ru

Sharipov Manonkhodja Z.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

Post graduate student of the department of Reinforced Concrete and Masonry Structures.

F-mail: manonkhoja.sh@bk.ru

Moskovtseva Violetta S.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, candidate of technical science,
lecturer of the Department of Engineering Graphics and Computer Modeling.

E-mail: lyavetka1@mail.ru

А.Г. ТАМРАЗЯН¹, М.В. КУДРЯВЦЕВ¹¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия

ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ АРМАТУРЫ НА ДИНАМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. Самый часто встречаемый дефект в железобетонных конструкциях — это коррозионные повреждения рабочей арматуры в теле бетона. Основную опасность коррозионных повреждений несут несколько факторов: увеличение продуктов коррозии в объёме и создание дополнительных растягивающих напряжений в бетоне по длине стержня, что приводит к откалыванию защитного слоя; уменьшение диаметра рабочей арматуры; участки локального оголения арматуры вследствие разрушения защитного слоя. Помимо потери общей несущей способности конструкций вследствие уменьшения площади сечения арматуры и бетона, изменяются ещё и их динамические характеристики. Изменение динамических характеристик конструкций влияет на оценку сейсмостойкости зданий при расчете по акселерограммам на доминантные частоты колебаний. В работе представлен анализ отечественной и зарубежной литературы по оценке сцепления арматуры с бетоном, приведены результаты испытаний, проведенных авторами статьи, по оценке потери сцепления коррозионно-поврежденного арматурного стержня в теле бетона и приведены результаты изменения периодов и частот колебаний поврежденных колонн.

Ключевые слова: коррозия, арматуры, сейсмика, динамика, колебания, сцепление.

A.G. TAMRAZYAN¹, M.V. KUDRYAVTSEV¹¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

EFFECT OF REINFORCEMENT CORROSION DAMAGE ON DYNAMIC BEHAVIOR OF COMPRESSED REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Abstract. The most common defect in reinforced concrete structures is corrosion damage of the working reinforcement in the concrete body. The main danger of corrosion damage is caused by several factors: increase of corrosion products in volume and creation of additional tensile stresses in concrete along the length of the rod, which leads to spalling of the protective layer; reduction of the diameter of the working reinforcement; areas of local bare reinforcement due to destruction of the protective layer. In addition to the loss of the total load-bearing capacity of structures due to the reduction of the cross-sectional area of reinforcement and concrete, their dynamic characteristics also change. The change of dynamic characteristics of structures affects the assessment of seismic resistance of buildings when calculated by accelerograms for dominant frequencies of vibrations. The paper presents the analysis of domestic and foreign literature on the assessment of the bond of reinforcement with concrete, the results of tests conducted by the authors of the paper on the assessment of the loss of bond of corrosion-damaged reinforcing bars in the body of concrete and the results of changes in the periods and frequencies of vibrations of damaged columns.

Keywords: corrosion, reinforcement, seismic, dynamics, vibrations, bonding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бенин Андрей Владимирович, Семенов Артем Семенович, Семенов Сергей Георгиевич, Мельников Борис Евгеньевич Математическое моделирование процесса разрушения сцепления арматуры с бетоном. Часть 1. Модели с учетом несплошности соединения // Magazine of Civil Engineering. 2013. №5 (40).
2. Тамразян А.Г. Концептуальные подходы к оценке живучести строительных конструкций, зданий и сооружений. *Железобетонные конструкции*. 2023;3(3):62-74.
3. Алексейцев А.В. Анализ устойчивости железобетонной колонны при горизонтальных ударных воздействиях. *Железобетонные конструкции*. 2023;2(2):3-12.
4. Савин С.Ю., Колчунов В.И., Федорова Н.В. Несущая способность железобетонных внецентренно сжатых элементов каркасов зданий при коррозионных повреждениях в условиях особых воздействий. *Железобетонные конструкции*. 2023;1(1):46-54.
5. Колчунов В.И. Деформационная модель сопротивления бетона и железобетона от дислокаций до трещин. *Строительство и реконструкция*. 2022;(6):22-39.
6. Холмянский М.М. Контакт арматуры с бетоном. Москва: Стройиздат, 1981. 184 с.
7. Shima H., Chou L.-L., Okamura H. Micro and Macro Models for Bond in Reinforced Concrete. Journal of the Faculty of Engineering: University of Tokyo. 1987. Vol. XXXIX. No. 2. Pp. 133–194
8. Balázs G.L. Connecting Reinforcement to Concrete by Bond // Beton- und Stahlbetonbau. 2007. No.102. pp. 46–50.
9. CEB-FIP Model Code 90
10. Cruz J.S., Barros J. Modeling of bond between near-surface mounted CFRP laminate strips and concrete // Computers and Structures. 2004. No.82. Pp.1513–1521.
11. G. Rehm, The fundamental law of bond, Proceedings of the Symposium on Bond and Crack Formation in Reinforced Concrete, Stockholm, pp. 491-498, 1957
12. Y.F. Wu, X.M. Zhao, Unified bond stress-slip model for reinforced concrete, J. Struct. Eng. 139 (11) (2012) 1951–1962.
13. H.S. Lee, T. Noguchi, F. Tomosawa, Evaluation of the bond properties between concrete and reinforcement as a function of the degree of reinforcement corrosion, Cem. Concr. Res. 32 (8) (2002) 1313–1318.
14. J.G. Cabrera, Deterioration of concrete due to reinforcement steel corrosion, Cem. Concr. Compos. 18 (1) (1996) 47–59.
15. K.D. Stanish, R.D. Hooton, S.J. Pantazopoulou, Corrosion effects on bond strength in reinforced concrete, ACI Struct. J. 96 (6) (1999) 915–921.
16. Y. Yuan, S. Yu, F. Jia, Deterioration of bond behavior of corroded reinforced concrete, Indust. Constr. 29 (11) (1999) 47–50 (in Chinese).
17. Y. Auyeung, P. Balaguru, L. Chung, Bond behavior of corroded reinforcement bars, ACI Mater. J. 97 (2) (2000) 214–220.
18. L. Chung, S.H. Cho, J.H.J. Kim, S.T. Yi, Correction factor suggestion for ACI development length provisions based on flexural testing of RC slabs with various levels of corroded reinforcing bars, Eng. Struct. 26 (8) (2004) 1013–1026
19. L. Chung, J.H.J. Kim, S.T. Yi, Bond strength prediction for reinforced concrete members with highly corroded reinforcing bars, Cem. Concr. Compos. 30 (7) (2008) 603–611.
20. K. Bhargava, A.K. Ghosh, Y. Mori, S. Ramanujam, Suggested empirical models for corrosion-induced bond degradation in reinforced concrete, J. Struct. Eng. 134 (2) (2008) 221–230.
21. A.R.L. Kivell, Effects of bond deterioration due to corrosion on seismic performance of reinforced concrete structures, University of Canterbury, New Zealand, 2012.
22. H.W. Lin, Y.X. Zhao, Effects of confinements on the bond strength between concrete and corroded steel bars, Constr. Build. Mater. 118 (2016) 127–138.
23. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (318R-02),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2002, 443 pp.
24. Hindawi, Experimental Study on Bond Performance and Damage Detection of Corroded Reinforced Concrete Specimens, Advances in Civil Engineering, Vol. 2020, Article ID 7658623, p.p. 15. DOI 10.1155/2020/7658623
25. СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».
26. Tamrazyan, A. G. Influence of Damage Level on Dynamic Characteristics of Reinforced Concrete Structures when Assessing their Seismic Resistance / A. G. Tamrazyan, M. V. Kudryavtsev // Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. – 2024. – Vol. 20, No. 3. – P. 255-264.
27. Tamrazyan A.G., Chernik V.I., Matseevich T.A., Manaenkov I.K. ANALYTICAL MODEL of DEFORMATION of REINFORCED CONCRETE COLUMNS BASED ON FRACTURE MECHANICS/ Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. 2022. T. 18. № 6. С. 573-583.
28. Тамразян А.Г., Матсеевич Т.А. Анализ надежности железобетонной плиты с корродированной арматурой. Строительство и реконструкция. 2022. № 1 (99). С. 89-98.

REFERENCES

1. Benin Andrey Vladimirovich, Semyonov Artem Semyonovich, Semyonov Sergey Georgievich, Melnikov Boris Evgenyevich Mathematical modeling of the process of fracture of bonding of reinforcement with concrete. Part 1. Models taking into account non-continuity of the connection // Magazine of Civil Engineering. 2013. №5 (40).
2. Tamrazyan A.G. Conceptual Approaches to Robustness Assessment of Building Structures, Buildings and Facilities. Reinforced concrete structures. 2023;3(3):62-74.
3. Alekseytsev A.V. Stability of the RC Column under Horizontal Impacts. Reinforced concrete structures. 2023;2(2):3-12.
4. Savin S.Yu., Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Ductility of Eccentrically Compressed Elements of RC Frame Damaged by Corrosion under Accidental Impacts. Reinforced concrete structures. 2023;1(1):46-54.
5. Kolchunov V.I. DEFORMATION MODEL of REINFORCED CONCRETE STRUCTURES' RESISTANCE - FROM DISLOCATIONS to CRACKS. *Building and Reconstruction*. 2022;(6):22-39.
6. Kholmianskiy M.M. Kontakt armatury s betonom [Contact between concrete and reinforcement]. Moscow: Stroyizdat, 1981. 184 p. (rus)
7. Shima H., Chou L.-L., Okamura H. Micro and Macro Models for Bond in Reinforced Concrete. Journal of the Faculty of Engineering: University of Tokyo. 1987. Vol. XXXIX. No. 2. Pp. 133–194
8. Balázs G.L. Connecting Reinforcement to Concrete by Bond // Beton- und Stahlbetonbau. 2007. No.102. pp. 46–50.
9. CEB-FIP Model Code 90
10. Cruz J.S., Barros J. Modeling of bond between near-surface mounted CFRP laminate strips and concrete // Computers and Structures. 2004. No.82. Pp.1513–1521.
11. G. Rehm, The fundamental law of bond, Proceedings of the Symposium on Bond and Crack Formation in Reinforced Concrete, Stockholm, pp. 491-498, 1957
12. Y.F. Wu, X.M. Zhao, Unified bond stress-slip model for reinforced concrete, J. Struct. Eng. 139 (11) (2012) 1951–1962.
13. H.S. Lee, T. Noguchi, F. Tomosawa, Evaluation of the bond properties between concrete and reinforcement as a function of the degree of reinforcement corrosion, Cem. Concr. Res. 32 (8) (2002) 1313–1318.
14. J.G. Cabrera, Deterioration of concrete due to reinforcement steel corrosion, Cem. Concr. Compos. 18 (1) (1996) 47–59.
15. K.D. Stanish, R.D. Hooton, S.J. Pantazopoulou, Corrosion effects on bond strength in reinforced concrete, ACI Struct. J. 96 (6) (1999) 915–921.
16. Y. Yuan, S. Yu, F. Jia, Deterioration of bond behavior of corroded reinforced concrete, Indust. Constr. 29 (11) (1999) 47–50 (in Chinese).
17. Y. Auyeung, P. Balaguru, L. Chung, Bond behavior of corroded reinforcement bars, ACI Mater. J. 97 (2) (2000) 214–220.
18. L. Chung, S.H. Cho, J.H.J. Kim, S.T. Yi, Correction factor suggestion for ACI development length provisions based on flexural testing of RC slabs with various levels of corroded reinforcing bars, Eng. Struct. 26 (8) (2004) 1013–1026
19. L. Chung, J.H.J. Kim, S.T. Yi, Bond strength prediction for reinforced concrete members with highly corroded reinforcing bars, Cem. Concr. Compos. 30 (7) (2008) 603–611.
20. K. Bhargava, A.K. Ghosh, Y. Mori, S. Ramanujam, Suggested empirical models for corrosion-induced bond degradation in reinforced concrete, J. Struct. Eng. 134 (2) (2008) 221–230.
21. A.R.L. Kivell, Effects of bond deterioration due to corrosion on seismic performance of reinforced concrete structures, University of Canterbury, New Zealand, 2012.
22. H.W. Lin, Y.X. Zhao, Effects of confinements on the bond strength between concrete and corroded steel bars, Constr. Build. Mater. 118 (2016) 127–138.
23. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (318R-02),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2002, 443 pp.
24. Hindawi, Experimental Study on Bond Performance and Damage Detection of Corroded Reinforced Concrete Specimens, Advances in Civil Engineering, Vol. 2020, Article ID 7658623, p.p. 15. DOI 10.1155/2020/7658623
25. SP 63.13330.2018 Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. SNiP 52-01-2003 (with Amendment No. 1) Code of Regulations from 19.12.2018
26. Tamrazyan, A. G. Influence of Damage Level on Dynamic Characteristics of Reinforced Concrete Structures when Assessing their Seismic Resistance / A. G. Tamrazyan, M. V. Kudryavtsev // Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. – 2024. – Vol. 20, No. 3. – P. 255-264.
27. Tamrazyan A.G., Chernik V.I., Matseevich T.A., Manaenkov I.K. ANALYTICAL MODEL of DEFORMATION of REINFORCED CONCRETE COLUMNS BASED ON FRACTURE MECHANICS/ Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. 2022. T. 18. № 6. C. 573-583.
28. Tamrazyan A.G., Matseevich T.A. Reliability analysis of reinforced concrete slab with corroded reinforcement. Construction and reconstruction. 2022. No. 1 (99). P. 89-98.

Информация об авторах:

Тамразян Ашот Георгиевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
(НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой
E-mail: tamrazian@mail.ru

Кудрявцев Максим Владимирович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
(НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
аспирант, преподаватель кафедры железобетонных и каменных конструкций
E-mail: k.m.v.29.12.96@yandex.ru

Information about authors:

Tamrazyan Ashot G.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Corresponding member of RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Reinforced
Concrete and Masonry Structures
E-mail: tamrazian@mail.ru

Kudryavtsev Maksim V.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Postgraduate student, lecturer at the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures
E-mail: k.m.v.29.12.96@yandex.ru

С.-А.Ю. МУРТАЗАЕВ^{1,2}, М.Ш. САЛАМАНОВА^{1,2}, И.С.-А. МУРТАЗАЕВ¹¹Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, г. Грозный, Россия²Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, г. Грозный, Россия

ГЕОПОЛИМЕРЫ НА АЛЮМОСИЛИКАТНОМ СЫРЬЕ

Аннотация. Концепция устойчивого развития мировой экономики в настоящее время направлена на достижение углеродной нейтральности и связано это с глобальным потеплением климата на планете. Согласно статистическим данным просто обжиг одной тонны портландцементного клинкера провоцирует выброс как минимум полтонны углекислого газа. В связи с этим, одним из вариантов решения обозначенных проблем является пересмотр существующих технологий и развитие низкоуглеродных мало – и бесклинкерных вяжущих веществ с использованием отходов промышленности и некондиционного сырья. Модификация системы «алюмосиликатное сырье – щелочной активатор» декагидратом тетрабората натрия и тонкодисперсной добавкой вулканической природы, улучшает свойства цементного теста, структура уплотняется, снижается пористость камня, что в итоге положительно отражается на активности вяжущего. Подготовленные образцы подвергались электронно-дифракционным исследованиям, а также рентгенофазовому анализу зоны (РФА) на дифрактометре ARLX'TRA. Свойства вяжущего и цементного теста исследовались согласно нормативным документам ГОСТ 310.3-76 Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема; ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. Данные исследований выявили зависимость влияния химического модификатора на структуру и свойства цементного камня. При модификации декагидратной системы тетраборатом натрия в дозировках 0,35 - 0,45% от массы щелочного активатора уплотняется структура, снижается пористость камня, что положительно влияет на активность вяжущего материала. Установлена положительная концепция наполнения вяжущего более дисперсной вулканической добавкой в количестве 10%, содержащей алюмосиликатную фазу. Улучшились свойства цементного теста, потребность в щелочном растворе снизилась на 8-10%, сроки схватывания не существенно, но увеличились на 10-40 минут в зависимости от активного компонента, водопоглощение по массе снизилось на 5%, а прочность возросла на 10-12%. Изучение микроструктуры образцов показало, что основную массу гетерогенных систем составляют объемные агрегаты и сростки, мелкие скопления на их поверхности с выраженной спайностью; особенности микроструктуры свидетельствуют о процессах минералообразования. Поэтому разработка моделей низкоуглеродного строительства позволит внести вклад и открыть эффективный путь к реализации климатической политики за счет рационального использования природных ресурсов, вовлечения в производство промышленных отходов и природоподобных технологий.

Ключевые слова: строительные композиты, низкоуглеродные технологии, щелочная активация, отходы промышленности, жидкое стекло, структура, активность, механоактивация

MURTAZAEV S.Yu.^{1,2}, SALAMANOVA M.Sh.^{1,2*}, MURTAZAYEV I.S.-A.¹¹Grozny State Oil Technical University named after acad. M.D. Millionshchikov, 100, KH. Isaev avenue, Grozny, 364051, Russia²Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences, 21, Staropromyslovskoe highway, Grozny, 364051, Russia

GEOPOLYMERS BASED ON ALUMINOSILICATE RAW MATERIALS

Abstract. The vision of a sustainable world economy is currently aimed at achieving carbon neutrality and linked to global warming. According to statistics, simply burning one ton of Portland cement clinker causes at least a half a ton of carbon dioxide to be emitted.

Therefore, one of the options to solve the problems identified is to revise existing technologies and develop low-carbon, low-carbon binders using industrial waste and unconditioned raw materials. Modification of the system «aluminosilicate raw material - alkaline activator» with sodium tetrabhydrate and a fine-dispersed additive of volcanic nature, improves the properties of the cement clay, compacts the structure, reduces the porosity of the stone, which in the end positively affects the activity of the binder. The samples prepared were subjected to electron diffraction studies, as well as X-ray phase analysis of the zone (RFA) on the ARLX'TRA diffractometer.

The properties of the binder and cement test have been investigated in accordance with the regulatory documents GOST 310.3-76 Cements. Methods for determining normal density, latch times and uniformity of volume change; GOST 310.4-81 Cements. Methods to determine the strength of bending and compression.. The studies revealed a dependence of influence of chemical modifier on structure and properties of cement stone. When modifying the dehydrated system with tetrabran sodium in dosages of 0.35 - 0.45% of the alkali activator mass, the structure is compacted, the porosity of the stone is reduced, which positively affects the activity of the binding material. The positive concept of filling a binder with a more dispersed volcanic additive in a quantity of 10% containing an aluminosilicate phase has been established. The properties of the cement dough improved, the need for alkali solution decreased by 8-10%, the adhesion times did not increase significantly but increased by 10-40 minutes depending on the active component, water absorption in mass decreased by 5% and strength increased by 10-12%. Study of microstructure of samples showed that the main mass of heterogeneous systems are volumetric aggregates and lattices, small clusters on their surfaces with pronounced spiciness; features of microstructure indicate mineralization processes.. Therefore, the development of low-carbon construction models will contribute to and open an effective path for climate policy implementation through the rational use of natural resources, the inclusion in the production of industrial wastes and environmental-like technologies.

Keywords: construction composites, low carbon technologies, alkaline activation, industrial waste, liquid glass, structure, activity, mechatronic activation

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш. Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы // Приволжский научный журнал. 2018. №2 (Т.46). С. 65 –70.
2. Murtazayev S- A. Yu., Salamanova M.Sh., Mintsaeв M.Sh., Bisultanov R.G Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging (Мелкозернистые бетоны на основе вяжущих щелочной активации) Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol.1. P.500-503.
3. Bataev D.K-S., S- A. Yu. Murtazayev, Salamanova M.Sh., Viskhanov S.S. Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders (Использование цементной пыли в производстве бесклнкерных вяжущих щелочной активации) / Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol.1. P.457-460.
4. Nematollahi B., Sanjayan J. Efficacy of Available Superplasticizers on Geopolymers [Elec-tronic resource] // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. 2014. Vol. 7. №7. Pp.1278-1282. <http://www.maxwellsci.com/print/rjaset/v7-1278-1282.pdf>.
5. Hardjito D., Wallah S.E, Sumajouw D.M.J, Rangan B.V. Properties of geopolymer concrete with fly ash source material: effect of mixture composition / In: Seventh CANMET/ACI international conference on recent advances in concrete technology, Las Vegas, USA; 2002.
6. Alonso S., Palomo A. Alkaline activation of metakaolin and calcium hydroxide mixtures: influence of temperature, activator concentration and solids ratio // Materials Letters. 2001. №47(1-2). Pp.55-62.
7. Солдатов А.А., Сариев И.В., Жаров М.А., Абдураимова М.А. Строительные материалы на основе жидкого стекла // В сборнике: Актуальные проблемы строительства, транспорта, машиностроения и техноферной безопасности Материалы IV-й ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета. Н.И. Стоянов (ответственный редактор). 2016. С. 192-195.
8. Kozhukhova N.I., Chizhov R.V., Zhernovsky I.V., Strokova V.V. Structure formation of geopolymer perlite binder vs. Type of alkali activating agent // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Vol. 8(3). Pp. 15338–15348.
9. Саламанова М.Ш., Муртазаев С-А.Ю. Цементы щелочной активации: возможность снижения энергоемкости получения строительных композитов // Строительные материалы. 2019. № 7. С.32-41.

10. Obata A., Kasuga T., Jones J.R. Hydroxyapatite Coatings Incorporating Silicon Ion Releasing System on Titanium Prepared Using Water Glass and Vaterite // *Journal of the American Ceramic Society*. 2011. Vol. 94. Iss.7. P. 2074-2079.
11. Reinik J., Heinmaa I., Mikkola J.P., Kirso U. Hydrothermal alkaline treatment of oil shale ash for synthesis of tobermorites // *Fuel*. 2007. Vol. 86. P. 669-676.
12. Кривенко П.В., Скурчинская Ж.В., Сидоренко Ю.А. Шлакощелочные вяжущие нового поколения // *Цемент*. 1991. №11-12. С. 4-8.
13. Kmita A., Hutera B. The influence of physical and chemical parameters of modified water glass on the strength of loose self-setting sands with water-glass // *Metallurgy and foundry engineering*. 2012. Vol. 38. No.1. P. 67-71.
14. Рахимова Н.Р., Рахимов Р.З. Влияние дисперсности и гранулометрического состава молотых шлаков на свойства шлакощелочных вяжущих // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2008. Вып. 11. С. 16-18.
15. Удодов С.А., Черных В.Ф., Черный Д.В. Применение пористого заполнителя в отделочных составах для ячеистого бетона // *Сухие строительные смеси*. 2008. № 3. С. 70.
16. Murtazayev S.-A. Yu., Salamanova M.Sh., Mintsayev M.Sh., Bisultanov R.G. Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging (Мелкозернистые бетоны на основе вяжущих щелочной активации) *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol.1. P.500-503.
17. Nesvetaev G., Koryanova Y., Zhilnikova T. On effect of superplasticizers and mineral additives on shrinkage of hardened cement paste and concrete // В сборнике: MATEC Web of Conferences 27. Сер. "27th R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFOCE 2018" 2018. С. 04018.
18. Stelmakh S.A., Nazhnev M.P., Shcherban E.M., Yanovskaya A.V., Cherpakov A.V. Selection of the composition for centrifuged concrete, types of centrifuges and compaction modes of concrete mixtures // *Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications (PHENMA 2018) Abstracts & Schedule*. Edited by Yun-Hae Kim, I.A. Parinov, S.-H. Chang. 2018. С. 337.
19. Shuisky A., Stelmakh S., Shcherban E., Torlina E. Recipe-technological aspects of improving the properties of non-autoclaved aerated concrete // MATEC Web of Conferences Сер. "International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2017" 2017. С. 05011.
20. Солдатов А.А., Сариев И.В., Жаров М.А., Абдураимова М.А. Строительные материалы на основе жидкого стекла // В сборнике: Актуальные проблемы строительства, транспорта, машиностроения и техноферной безопасности Материалы IV-й ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета. Н.И. Стоянов (ответственный редактор). 2016. С. 192-195.
21. Афонина М.И., Иванов С.В. Опыт и перспектива использования покрытий-заменителей снега в зимних рекреационных и спортивных комплексах // *Экономика строительства и природопользования*. 2016. № 1. С. 66-72.

REFERENCES

1. Murtazayev S.-A.Yu., Salamanova M.Sh. Perspektivy ispolzovaniya termoaktivirovannogo syrya alyumosilikatnoy prirody [Prospects for the Use of Thermally Activated Aluminosilicate Raw Materials]. *Privolzhskiy Nauchny Zhurnal* [Volga Scientific Journal]. 2018. Vol. 46. No. 2. Pp. 65–70. (rus).
2. Murtazayev S.-A.Yu., Salamanova M.Sh., Mintsayev M.Sh., Bisultanov R.G. Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging [Melkozernistyye betony na osnove vyazhushchikh shchelochnoy aktivatsii]. *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). 2019. Vol. 1. Pp. 500–503.
3. Bataev D.K.-S., Murtazayev S.-A.Yu., Salamanova M.Sh., Viskhanov S.S. Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders [Ispolzovaniye tsementnoy pyli v proizvodstve besklinternykh vyazhushchikh shchelochnoy aktivatsii]. *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). 2019. Vol. 1. Pp. 457–460.
4. Nematollahi B., Sanjayan J. Efficacy of Available Superplasticizers on Geopolymers. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 2014. Vol. 7. No. 7. Pp. 1278–1282. URL: <http://www.maxwellsci.com/print/rjaset/v7-1278-1282.pdf>.
5. Hardjito D., Wallah S.E., Sumajouw D.M.J., Rangan B.V. Properties of Geopolymer Concrete with Fly Ash Source Material: Effect of Mixture Composition. *Proceedings of the Seventh CANMET/ACI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology*. Las Vegas, USA, 2002.
6. Alonso S., Palomo A. Alkaline Activation of Metakaolin and Calcium Hydroxide Mixtures: Influence of Temperature, Activator Concentration and Solids Ratio. *Materials Letters*. 2001. Vol. 47. No. 1–2. Pp. 55–62.
7. Soldatov A.A., Sariev I.V., Zharov M.A., Abduraimova M.A. Stroitelnyye materialy na osnove zhidkogo stekla [Building Materials Based on Liquid Glass]. *Aktualnyye problemy stroitelstva, transporta,*

mashinostroyeniya i tekhnosfernoy bezopasnosti [Actual Problems of Construction, Transport, Engineering and Technosphere Safety]. 2016. Pp. 192–195. (rus).

8. Kozhukhova N.I., Chizhov R.V., Zhernovsky I.V., Strokova V.V. Structure Formation of Geopolymer Perlite Binder vs. Type of Alkali Activating Agent. *International Journal of Pharmacy and Technology*. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 15338–15348.

9. Salamanova M.Sh., Murtazaev S.-A.Yu. Tsementy shchelochnoy aktivatsii: vozmozhnost snizheniya energoemkosti polucheniya stroitelnykh kompozitov [Cements of Alkaline Activation: Possibility of Reducing the Energy Intensity of Obtaining Building Composites]. *Stroitelnyye Materialy* [Building Materials]. 2019. No. 7. Pp. 32–41. (rus).

10. Obata A., Kasuga T., Jones J.R. Hydroxyapatite Coatings Incorporating Silicon Ion Releasing System on Titanium Prepared Using Water Glass and Vaterite. *Journal of the American Ceramic Society*. 2011. Vol. 94. No. 7. Pp. 2074–2079.

11. Reinik J., Heinmaa I., Mikkola J.P., Kirso U. Hydrothermal Alkaline Treatment of Oil Shale Ash for Synthesis of Tobermorites. *Fuel*. 2007. Vol. 86. Pp. 669–676.

12. Krivenko P.V., Skurchinskaya Zh.V., Sidorenko Yu.A. Shlakoshchelochnyye vyazhushchiye novogo pokoleniya [Slag-Alkaline Binders of a New Generation]. *Tsement* [Cement]. 1991. No. 11–12. Pp. 4–8. (rus).

13. Kmita A., Huttera B. The Influence of Physical and Chemical Parameters of Modified Water Glass on the Strength of Loose Self-Setting Sands with Water-Glass. *Metallurgy and Foundry Engineering*. 2012. Vol. 38. No. 1. Pp. 67–71.

14. Rakhimova N.R., Rakhimov R.Z. Vliyaniye dispersnosti i granulometricheskogo sostava molotnykh shlakov na svoystva shlakoshchelochnykh vyazhushchikh [Effect of Dispersion and Particle Size Distribution of Ground Slags on the Properties of Slag-Alkaline Binders]. *Stroitelnyye Materialy, Oborudovaniye, Tekhnologii XXI Veka* [Building Materials, Equipment, Technologies of the XXI Century]. 2008. No. 11. Pp. 16–18. (rus).

15. Udodov S.A., Chernykh V.F., Chernyy D.V. Primeneniye poristogo zapolnitelya v otdelochnykh sostavakh dlya yacheistogo betona [Use of Porous Aggregate in Finishing Compositions for Aerated Concrete]. *Sukhiye Stroitelnyye Smesi* [Dry Building Mixtures]. 2008. No. 3. Pp. 70. (rus).

16. Murtazayev S.-A.Yu., Salamanova M.Sh., Mintsayev M.Sh., Bisultanov R.G. Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging [Melkozernistyye betony na osnove vyazhushchikh shchelochnoy aktivatsii]. *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). 2019. Vol. 1. Pp. 500–503.

17. Nesvetaev G., Koryanova Y., Zhilnikova T. On Effect of Superplasticizers and Mineral Additives on Shrinkage of Hardened Cement Paste and Concrete. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 27. Art. 04018. DOI: [10.1051/mateconf/201827004018].

18. Stelmakh S.A., Nazhnev M.P., Shcherban E.M., Yanovskaya A.V., Cherpakov A.V. Selection of the Composition for Centrifuged Concrete, Types of Centrifuges and Compaction Modes of Concrete Mixtures. *Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications (PHENMA 2018)*. 2018. Pp. 337.

19. Shuisky A., Stelmakh S., Shcherban E., Torlina E. Recipe-Technological Aspects of Improving the Properties of Non-Autoclaved Aerated Concrete. *MATEC Web of Conferences*. 2017. Art. 05011. DOI: [10.1051/mateconf/201712905011].

20. Soldatov A.A., Sariev I.V., Zharov M.A., Abduraimova M.A. Stroitelnyye materialy na osnove zhidkogo stekla [Building Materials Based on Liquid Glass]. *Aktualnyye problemy stroitelstva, transporta, mashinostroyeniya i tekhnosfernoy bezopasnosti* [Actual Problems of Construction, Transport, Engineering and Technosphere Safety]. 2016. Pp. 192–195. (rus).

21. Afonina M.I., Ivanov S.V. Opyt i perspektiva ispolzovaniya pokrytiy-zameniteley snega v zimnikh rekreatsionnykh i sportivnykh kompleksakh [Experience and Prospects of Using Snow Substitute Coatings in Winter Recreational and Sports Complexes]. *Ekonomika Stroitelstva i Prirodopolzovaniya* [Economics of Construction and Environmental Management]. 2016. No. 1. Pp. 66–72. (rus).

Информация об авторах:

Муртазаев Сайд-Альви Юсупович

ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени акад. М.Д. Миллионщикова», г. Грозный, Россия,

Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, г. Грозный, Россия,

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительного производства.

E-mail: s.murtazaev@mail.ru

Саламанова Мадина Шахидовна

ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени акад. М.Д. Миллионщикова», г. Грозный, Россия,

Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, г. Грозный, Россия,

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии строительного производства.

E-mail: madina_salamanova@mail.ru

Муртазаев Имран Сайд-Альвинович

ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени акад. М.Д. Миллионщикова», г. Грозный, Россия,

Старший преподаватель кафедры технологии строительного производства.

E-mail: pirlo.21.milan@mail.ru

Information about authors:

Murtazaev S-A. Yu.

Grozny State Oil Technical University named after acad. M.D. Millionshchikov, Grozny, Russia,

Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences, Grozny, Russia,

doctor of technical sciences, professor, Head of the Department of Technology of Construction Production.

E-mail: s.murtazaev@mail.ru

Salamanova M. Sh.

Grozny State Oil Technical University named after acad. M.D. Millionshchikov, Grozny, Russia,

Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences, Grozny, Russia,

doctor of technical sciences, associate professor, professor of the department of technology of building production.

E-mail: madina_salamanova@mail.ru

Murtazaev I. S-A.

Grozny State Oil Technical University named after acad. M.D. Millionshchikov, Grozny, Russia,

Senior lecturer of the department of construction production technology.

E-mail: pirlo.21.milan@mail.ru

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

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

В тексте статьи не рекомендуется применять:

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

Обязательные элементы:

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

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

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

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

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

Адрес издателя:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская область, г. 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 21.04.2025 г.
Дата выхода в свет 28.04.2025 г.
Формат 70×108/16. Печ. л. 14,6
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ № 105

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