

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0005-9889 (PRINT); ISSN 3034-1302 (ONLINE)

# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

5

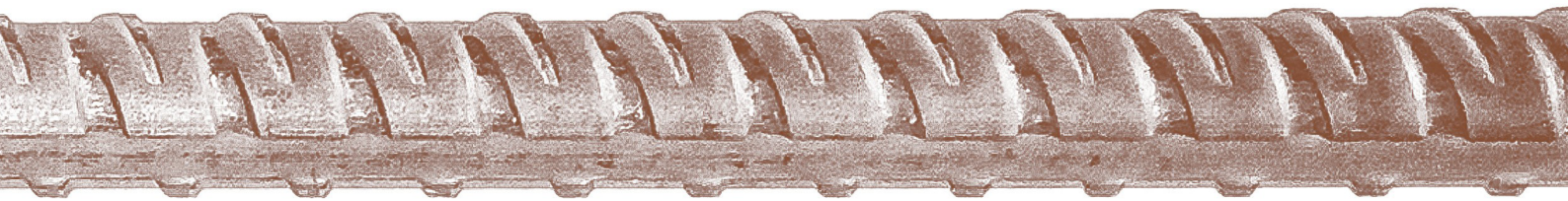
630

2025

BZHB.RU

ИЗДАЕТСЯ С 1955 ГОДА

# 70 лет



**Учредитель:** Ассоциация «Железобетон»  
**Адрес:** Рязанский просп., д. 22, корп. 2,  
г. Москва, 109428, Российская Федерация

**Издатель:** АО «НИЦ «Строительство»  
**Адрес:** 2-я Институтская ул., д. 6, корп. 1,  
г. Москва, 109428, Российская Федерация

Зарегистрирован Федеральной службой  
по надзору в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций  
(Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации  
средства массовой информации  
ПИ № ФС77-76959 от 09.10.2019.

Свидетельство о регистрации  
средства массовой информации  
Эл № ФС77-86552 от 26.12.2023.

ISSN 0005-9889 (Print)

ISSN 3034-1302 (Online)

Основан: Институт НИИЖБ Госстроя СССР  
и ВНИИЖелезобетон  
Минстройматериалов СССР

# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Издается с 1955 г.

5 (630)

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

- ЗЕНИН С.А.  
**Параметрическое нормирование железобетонных конструкций** . . . . . **5**
- ТАЛАНТОВА К.В.  
**К обеспечению надежности элементов конструкций на основе  
сталефибробетона** . . . . . **12**
- ТЕРИН В.Д., КЛИМОВ Д.Е., СУПРУНЮК А.С.  
**Эксплуатационные свойства современной арматуры** . . . . . **21**
- ТРЕКИН Н.Н., КОДЫШ Э.Н., ШМАКОВ С.Д., ЛЕЛЕТКО Д.П., ЧАГАНОВ А.Б.  
**Фактическое напряженно-деформированное состояние  
железобетонного изгибаемого элемента на различных этапах  
нагрузки** . . . . . **30**

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- БЕСПАЕВ А.А., ТЕШЕВ И.Д., БЕКБАЕВ Е.К.  
**Прочность объемно-блочных многоэтажных зданий при  
горизонтальных нагрузках** . . . . . **42**
- ГУДКОВ А.Н.  
**Исследование светозащитных свойств легкой минеральной  
штукатурки «СПАДАР СК-450»** . . . . . **50**

## УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

- СНИМЩИКОВ С.В., САВРАСОВ И.П.  
**Реализация машинопонимаемых стандартов с помощью технологии  
искусственного интеллекта** . . . . . **60**

### Авторы

опубликованных материалов несут  
ответственность за достоверность  
приведенных сведений, точность данных  
по цитируемой литературе  
и за использование в статьях данных,  
не подлежащих открытой публикации.

### Редакция

может опубликовать статьи  
в порядке обсуждения,  
не разделяя точку зрения автора.

### Перепечатка

и воспроизведение статей, рекламных  
и иллюстративных материалов возможны  
лишь с письменного разрешения главного  
редактора.

**Редакция не несет ответственности  
за содержание рекламы и объявлений.**

**Адрес редакции:** 2-я Институтская ул.,  
д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская  
Федерация

**Тел.:** +7(495) 602-00-70, доб. 1022/1023

**E-mail:** bzhb.ru@yandex.ru

**http://bzhb.ru**

Свободная цена

**Founder of the journal:**

"Reinforced concrete" Association  
**Address:** 22, bld. 2, Ryazansky prospect,  
Moscow, 109428, Russian Federation

**Publisher:** JSC Research Center of Construction  
**Address:** 6, bld. 1, 2nd Institutskaya str.,  
Moscow, 109428, Russian Federation

Registered by the Federal Service for  
Supervision of Communications and  
Information Technologies and mass  
communications (ROSKOMNADZOR).

Mass media registration certificate  
PI No. FS77-76959 dated October 09, 2019.

Mass media registration certificate  
EI No. FS77-86552 dated December 26, 2023.

ISSN 0005-9889 (Print)

ISSN 3034-1302 (Online)

Founded: Institutes of NIIZhB Gosstroy of the  
USSR and VNIIZhelezobeton of the USSR  
Ministry of Construction Materials

# BETON I ZHELEZOBETON

Published since 1955

5 (630)

## BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND STRUCTURES

ZENIN S.A. <b>Parametric regulation of reinforced concrete structures . . . . .</b>	<b>5</b>
TALANTOVA K.V. <b>On reliability of structural elements based on steel fibre concrete . . . . .</b>	<b>12</b>
TERIN V.D., KLIMOV D.E., SUPRUNYUK A.S. <b>Performance properties of modern reinforcing bars . . . . .</b>	<b>21</b>
TREKIN N.N., KODYSH E.N., SHMAKOV S.D., LELETKO D.P., CHAGANOV A.B. <b>Actual stress–strain state of a reinforced concrete bending element at various stages of loading . . . . .</b>	<b>30</b>

## BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

BESPAEV A.A., TESHEV I.D., BEKBAEV E.K. <b>Strength of volumetric–block multi–storey buildings under horizontal loads. . . . .</b>	<b>42</b>
GUDKOV A.N. <b>Investigation of light–shielding properties of the “SPADAR SK–450” light mineral plaster . . . . .</b>	<b>50</b>

## LIFECYCLE MANAGEMENT OF CONSTRUCTION PROJECTS

SNIMSHCHIKOV S.V., SAVRASOV I.P. <b>Realization of machine–understandable standards with the help of artificial intelligence technology . . . . .</b>	<b>60</b>
--	-----------

**The authors**

of published materials are responsible for the accuracy of the submitted information, the accuracy of the data from the cited literature and for using in articles data which are not open to the public.

**The Editorial Staff**

can publish the articles as a matter for discussion, not sharing the point of view of the author.

**Reprinting**

and reproduction of articles, promotional and illustrative materials are possible only with the written permission of the editor-in-chief.

**The Editorial Staff is not responsible for the content of advertisements and announcements.**

**Editorial address:** 6, bld. 1, 2nd Institutskaya str., Moscow, 109428, Russian Federation

**Tel.:** +7(495) 602-00-70, add. 1022/1023

**E-mail:** bzhb.ru@yandex.ru

**http://bzhb.ru**

Free price

## Редакционная коллегия

**ЗВЕЗДОВ А.И.**, главный редактор, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные сооружения, конструкции и материалы», АО «НИЦ «Строительство» (Москва, Российская Федерация)

**КУЗЕВАНОВ Д.В.**, заместитель главного редактора, канд. техн. наук, директор, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» (Москва, Российская Федерация)

**СМИРНОВА Л.Н.**, научный редактор, канд. техн. наук, доцент, ученый секретарь, АО «НИЦ «Строительство» (Москва, Российская Федерация)

---

**АРХИПКИН А.А.**, Ассоциация «Железобетон» (Москва, Российская Федерация)

**ГУСЕВ Б.В.**, д-р техн. наук, профессор, президент Российской инженерной академии (РИА), президент Международной инженерной академии (МИА), член-корреспондент РАН (Москва, Российская Федерация)

**ЙЕНСЕН О.М.**, д-р техн. наук, профессор Датского технического университета (Дания)

**КАПРИЕЛОВ С.С.**, д-р техн. наук, заведующий лабораторией химических добавок и модифицированных бетонов, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», академик РААСН (Москва, Российская Федерация)

**КРЫЛОВ С.Б.**, д-р техн. наук, заведующий лабораторией механики железобетона, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», академик РААСН (Москва, Российская Федерация)

**МАИЛЯН Д.Р.**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций, Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

**МОРОЗОВ В.И.**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

**МЮЛЛЕР Х.С.**, д-р техн. наук, профессор Университета Карлсруэ, Институт технологии – КИТ (Германия)

**НЕСВЕТАЕВ Г.В.**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой технологии строительного производства, Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

**РАХМАНОВ В.А.**, канд. техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН, председатель Совета директоров, ООО «Институт ВНИИ-железобетон» (Москва, Российская Федерация)

**СТЕПАНОВА В.Ф.**, д-р техн. наук, заведующий лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» (Москва, Российская Федерация)

**ТАМРАЗЯН А.Г.**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, советник РААСН (Москва, Российская Федерация)

**ТИХОНОВ И.Н.**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Строительные сооружения, конструкции и материалы», АО «НИЦ «Строительство» (Москва, Российская Федерация)

**ТРАВУШ В.И.**, д-р техн. наук, главный конструктор, заместитель генерального директора по научной работе, ЗАО «ГОРПРОЕКТ», вице-президент РААСН (Москва, Российская Федерация)

**ТРЕКИН Н.Н.**, д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, АО «ЦНИИПромзданий» (Москва, Российская Федерация)

**УШЕРОВ-МАРШАК А.В.**, д-р техн. наук, профессор Харьковского государственного технического университета строительства и архитектуры (Харьков, Украина)

**ФАЛИКМАН В.Р.**, канд. хим. наук, д-р материаловедения, руководитель центра научно-технического сопровождения сложных объектов строительства, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» (Москва, Российская Федерация)

**ХОЗИН В.Г.**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань, Российская Федерация)

Научно-технический журнал «Бетон и железобетон» включен в Перечень ВАК от 10.06.2024 года по научным специальностям:

2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения;

2.1.5 – Строительные материалы и изделия.

## Editorial team

**ZVEZDOV A.I.**, Editor-in-Chief, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of Buildings, Structures, and Materials, JSC Research Center of Construction (Moscow, Russian Federation)

**KUZEVANOV D.V.**, Deputy Chief Editor, Cand. Sci. (Engineering), Director of the Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction (Moscow, Russian Federation)

**SMIRNOVA L.N.**, Scientific Editor, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Scientific Secretary, JSC Research Center of Construction (Moscow, Russian Federation)

---

**ARKHIPKIN A.A.**, Reinforced Concrete Association (Moscow, Russian Federation)

**GUSEV B.V.**, Dr. Sci. (Engineering), Professor, President of Russian Academy of Engineering (RAE), President of International Academy of Engineering (IAE), Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Russian Federation (Moscow, Russian Federation)

**JENSEN O.M.**, Dr. Sci. (Engineering), Professor of the Danish Technical University (Denmark)

**KAPRIELOV S.S.**, Dr. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory of Chemical Additives and Modified Concrete, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Full Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russian Federation)

**KRYLOV S.B.**, Dr. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory of Reinforced Concrete Mechanics, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Full Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russian Federation)

**MAILYAN D.R.**, Dr. Sci. (Engineering), Head of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

**MOROZOV V.I.**, Dr. Sci. (Engineering), Head of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, St. Petersburg State University of the Architecture and Civil Engineering (St. Petersburg, Russian Federation)

**MULLER H.S.**, Dr. Sci. (Engineering), Professor of the University of Karlsruhe, Institute of Technology – KIT (Germany)

**NESVETAEV G.V.**, Dr. Sci. (Engineering), Head of the Department of Construction Technology, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

**RAKHMANOV V.A.**, Cand. Sci. (Engineering), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Chairman of the Board of Directors, "Institute VNIzhelezbeton" LLC (Moscow, Russian Federation)

**STEPANOVA V.F.**, Dr. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction (Moscow, Russian Federation)

**TAMRAZIAN A.G.**, Dr. Sci. (Engineering), Head of the Reinforced Concrete and Stone Structures Department, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Counselor of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russian Federation)

**TIKHONOV I.N.**, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Buildings, Structures, and Materials, JSC Research Center of Construction (Moscow, Russian Federation)

**TRAVUSH V.I.**, Dr. Sci. (Engineering), Chief Designer, Deputy Director General for Research, "GORPROEKT" CJSC, Vice-President of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russian Federation)

**TREKIN N.N.**, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Deputy Director for Research, Tsniipromzdaniy JSC (Moscow, Russian Federation)

**USHEROV-MARSHAK A.V.**, Dr. Sci. (Engineering), Professor of Kharkov State Technical University of Construction and Architecture (Kharkiv, Ukraine)

**FALIKMAN V.R.**, Cand. Sci. (Chemistry), Dr. of materials, Head of the Center for Scientific and Technical Assistance at Complex Facilities Construction, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction (Moscow, Russian Federation)

**KHOZIN V.G.**, Dr. Sci. (Engineering), Head of the Building Materials, Products and Structures Technology Department, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan, Russian Federation)

Since June 10, 2024 scientific and technical journal Concrete and Reinforced Concrete has been included into the List of the Higher Attestation Commission in the following branches of science:

2.1.1 – Building constructions, buildings and structures;

2.1.5 – Building materials and products.

УДК 624.012.4

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-5-11](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-5-11)**С.А. ЗЕНИН**

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

# ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

## Аннотация

*Введение.* Стратегией развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации предусмотрен переход на параметрическое нормирование в строительстве. В статье сделана попытка рассмотрения сути такого перехода в части проектирования несущих железобетонных конструкций с различных точек зрения. Были рассмотрены особенности такого перехода по сравнению с действующим принципом нормирования, отмечены различные аспекты такого перехода и возможные последствия их отражения на проектирование в целом. Переход на параметрическое нормирование имеет как преимущества, так и недостатки, в связи с этим внедрение в практику проектирования такого нормирования требует внимательной и всесторонней оценки, в том числе учитывая уже имеющийся отечественный опыт в области проектирования железобетонных конструкций.

*Цель.* Оценка перехода на параметрическое нормирование в части проектирования железобетонных конструкций.

*Материалы и методы.* Оценка выполнена на основе анализа положений Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, а также положений отечественной и зарубежной нормативно-технической документации.

*Результаты.* Выполнен анализ общего принципа перехода на параметрическое нормирование, отмечены положительные стороны такого перехода, а также его недостатки. Сформированы предложения по исключению недостатков перехода на параметрическое нормирование при проектировании несущих железобетонных конструкций.

*Выводы.* Необходимо учитывать развитие технологий, методов расчета, подходов к конструированию, появление новых материалов и все это внедрять в практику проектирования бетонных и железобетонных

конструкций. При этом внедрение таких инноваций во главу угла должно ставить базовые принципы обеспечения надежности принимаемых конструктивных решений и их долговечности. С целью исключения недостатков внедрение в практику проектирования параметрического нормирования требует внимательной и всесторонней оценки, в том числе учитывая уже имеющийся отечественный опыт в области проектирования железобетонных конструкций. Представляется необходимым для перехода на параметрическое нормирование одновременно с нормами обязательных требований подготовить и такую систему документов добровольного пользования, по которой проектировщики смогли бы решать все задачи проектирования строительных конструкций.

**Ключевые слова:** параметрическое нормирование, железобетон, конструкции, здания, сооружения, основные положения, правила проектирования, предписывающий метод нормирования

**Для цитирования:** Зенин С.А. Параметрическое нормирование железобетонных конструкций // *Бетон и железобетон*. 2025. № 5 (630). С. 5–11. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-5-11](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-5-11). EDN: CQVZMP

## Вклад автора

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

## Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

## Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 05.06.2025

Поступила после рецензирования 01.08.2025

Принята к публикации 07.08.2025

**S.A. ZENIN**

Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

# PARAMETRIC REGULATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

**Abstract**

*Introduction.* The Strategy of the Development of the Construction Industry and Housing and Communal services in the Russian Federation provides for the transition to parametric regulation in construction. The article attempts to examine the essence of such a transition in terms of the design of load-bearing reinforced concrete structures from various perspectives. The article discusses the features of such a transition compared to the current principle of regulation, highlights various aspects of such a transition, and examines the possible consequences of their impact on the overall design process. The transition to parametric regulation has both advantages and disadvantages, and therefore the implementation of such regulation in the design practice requires careful and comprehensive assessment, taking into account the existing domestic experience in the design of reinforced concrete structures.

*Aim.* To assess the transition to parametric regulation in the design of reinforced concrete structures.

*Materials and methods.* The assessment was performed based on an analysis of the provisions of the Strategy for the Development of the Construction Industry and Housing and Communal services in the Russian Federation, as well as the provisions of domestic and foreign regulatory and technical documentation.

*Results.* The general principle of transition to parametric regulation has been analyzed, the positive aspects of such a transition, as well as its disadvantages, have been noted. Proposals have been formulated to eliminate the disadvantages of transition to parametric regulation in the design of load-bearing reinforced concrete structures.

*Conclusions.* It is necessary to take into account the development of technologies, calculation methods, approaches

to design, the emergence of new materials, and to implement all of this in the practice of designing of concrete and reinforced concrete structures. At the same time, the introduction of such innovations should be based on the fundamental principles of ensuring the reliability and durability of the adopted design solutions. In order to eliminate the shortcomings, the implementation of parametric standardization in the design practice requires careful and comprehensive assessment, taking into account the existing domestic experience in the design of reinforced concrete structures. It seems to be necessary for transition to parametric standardization to prepare a system of voluntary use documents that will allow designers to solve all the problems of building structures designing.

**Keywords:** parametric regulation, reinforced concrete, structures, buildings, facilities, basic provisions, design rules, prescriptive regulation method

**For citation:** Zenin S.A. Parametric regulation of reinforced concrete structures. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 5 (630), pp. 5–11. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-5-11](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-5-11). EDN: CQBZMP

**Author contribution statement**

The author takes responsibility for all aspects of the work on the article.

**Funding**

No funding support was obtained for the research.

**Conflict of interest**

The author declares no conflict of interest.

*Received 05.06.2025*

*Revised 01.08.2025*

*Accepted 07.08.2025*

### Введение

Стратегией развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации предусмотрен переход на параметрическое нормирование в строительстве. В статье сделана попытка рассмотрения сути такого перехода в части проектирования несущих железобетонных конструкций с различных точек зрения. Были рассмотрены особенности такого перехода по сравнению с действующим принципом нормирования, отмечены различные аспекты и возможные последствия их отражения на проектирование в целом. Переход на параметрическое нормирование имеет как преимущества, так и недостатки, в связи с этим внедрение в практику проектирования такого нормирования требует внимательной и всесторонней оценки, в том числе учитывая уже имеющийся отечественный опыт в области проектирования железобетонных конструкций.

### Материалы и методы

Для того чтобы понять смысл параметрического нормирования, следует обратиться к принятой и утвержденной Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации [1], где закреплено такое основное понятие, как «параметрический метод нормирования». В качестве определения термина указано, что это метод установления нормативных требований, при котором установление обязательных требований применяется только к эксплуатационным (функциональным) характеристикам объекта технического регулирования, в том числе к количественным параметрам, вне зависимости от его конструкции и исполнения. При этом способы достижения этих требований устанавливаются на добровольной основе с возможностью применения иных способов (подходов) на альтернативной основе.

В качестве одной из задач, поставленной в Стратегии для совершенствования системы технического регулирования, указан переход от предписывающего метода нормирования к параметрическому методу нормирования, обеспечивающему максимально быстрое внедрение инноваций при гарантированном соблюдении безопасности технических решений.

Способом решения данной задачи Стратегией предусмотрен пересмотр нормативной правовой базы в целях перехода от предписывающего к параметрическому методу нормирования, а также развитие альтернативных способов и механизмов обоснования соответствия проектных значений и характеристик здания или сооружения требованиям безопасности.

По итогам такой работы в качестве результата Стратегией обозначен переход на параметрический метод нормирования в проектировании и строительстве и обеспечение необходимой нормативной базы для развития системы технического регулирования в строительной отрасли.

Таким образом, предполагается глобальное изменение отечественной нормативной базы в области строительства, в частности путем установления обязательных требований к эксплуатационным характеристикам конкретного объекта, включая некие (пока не обозначенные) количественные параметры.

Данный переход уже вызывал неоднозначный отклик у проектной общественности. В частности, указывается на противоречие в предполагаемом снижении регуляторной нагрузки на бизнес и одновременной необходимости обеспечения механической безопасности. Говоря о конструктивных решениях, достаточно убедительно выглядят доводы, приведенные в [2] в части ранее существующей структуры нормативных документов, обеспечивающей необходимый уровень надежности. В первую очередь вызывает сомнение корректность перевода этого заимствованного из зарубежных норм термина, звучащего в оригинале как *performance based*, что уже привело к непониманию сущности предлагаемого процесса.

Очевидно, что быстрое внедрение инноваций и гарантированное соблюдение безопасности как составные части параметрического нормирования по Стратегии – это несколько противоречивые понятия, так как любая инновация требует всесторонней проверки и исследований, если окончательной целью является обеспечение механической безопасности. При этом как-то забывается, что срок службы зданий составляет, как правило, не менее 50 лет, таким образом проверка инновационных решений, например для железобетонных конструкций, должна включать длительные испытания, что в общем-то исключает быстрое внедрение наряду с достаточной надежностью.

Представляется, что скорость внедрения инноваций, а также сами инновации не должны влиять на безопасность здания. В первую очередь на внедрение инноваций влияют не причины, связанные с чрезмерным техрегулированием и занормированностью, а финансовые причины – отсутствие прямых инвестиций в строительную науку. Как показывает практика, новые технологии могут обладать меньшей надежностью по сравнению с так называемыми «устаревшими» технологиями. В этой связи конструкции, построенные по новым технологиям, будут менее долговечными и могут потребовать большего времени и большей материалоемкости при обслуживании, что приведет к увеличению затрат будущего периода. Очевидно, что стремление отрасли повысить эффективность в различных своих аспектах и внедрять новые технологии, с одной стороны, приводит к определенной кратковременной выгоде, однако, с другой стороны, это стремление приводит к проблемам с надежностью и эксплуатацией зданий и сооружений. Эти проблемы могут усилиться дефицитом квалифицированных кадров – инженеров и конструкторов, который мы наблюдаем в последнее время.

В своем большинстве экономии как таковой у но-

вых решений по сравнению с проверенными и классическими не так уж и много. Как правило, это несколько улучшенные существующие так называемые «хорошо забытые» технологии и методы. При этом улучшение может играть и обратную роль – в процессе эксплуатации подобные инновации могут причинить гораздо больше проблем и потребовать существенных затрат на их компенсацию, чем предшествующие решения.

На этапе разработки и предложения инноваций, помимо глубокого исследовательского процесса, отсутствует и полноценное технико-экономическое обоснование. Предлагающие такие инновации зачастую оперируют некоторым снижением материалоемкости в конкретных конструктивных решениях по упрощенным оценкам. При этом, как правило, забывают про оценку трудозатрат, затрат на логистику, временных и финансовых затрат подготовительных периодов и дополнительных технологических процессов. То есть полноценный технико-экономический сравнительный анализ стандартных и инновационных решений обычно отсутствует, а присутствует локальная выгода отдельных инноваторов.

Также одной из проблем в строительной сфере, наряду с вышеуказанными, является кадровая проблема. В частности, проектирование в настоящее время выполняется часто на аутсорсинге, когда до исполнителя доходит лишь малая часть выделенного заказчиком бюджета. В итоге работа выполняется либо низкооплачиваемыми кадрами, обладающими низкой квалификацией, либо перегруженными работой опытными кадрами, что оказывает влияние на качество выдаваемой проектной и рабочей документации. Внедрение инноваций силами неквалифицированных кадров может нанести достаточно серьезный удар по надежности.

Таким образом, переход на параметрическое нормирование в отечественной базе в целом должен иметь достаточно серьезную и разностороннюю проработку, а указанное в качестве причины для такого перехода быстрое внедрение инноваций при гарантированном соблюдении безопасности технических решений требует решения более широкого круга проблем, чем представляется изначально. Подобный вывод содержится и в статье [3]. При этом проблема надежности является гораздо более серьезной проблемой для строительной отрасли в долгосрочной перспективе, в первую очередь необходимо решить существующие проблемы с долговечностью и эксплуатацией. В частности, безусловное обеспечение безопасности зданий и сооружений также обозначено главной задачей в работе [4].

Возвращаясь к теме параметрического нормирования, можно обратить внимание на определение термина параметрического нормирования, суть которого заключается в выделении обязательных требований к эксплуатационным характеристикам конкретного объекта, можно отметить, что при указанной

формулировке имеется опасное противоречие. Оно обусловлено тем, что в основу отечественной нормативной документации положен метод расчета по предельным состояниям. Первое предельное состояние включает в себя обеспечение прочности и устойчивости конструкций, второе предельное состояние – обеспечение эксплуатационной пригодности конструкций (жесткость, трещиностойкость, деформативность). Аналогичный подход предусмотрен и в зарубежных нормах – американских ACI и европейских Eurocode. Таким образом, следуя тенденции последних лет, когда нормы трактуются с юридической точки зрения (правила написания), а не с инженерной, основное предельное состояние – первое – в части принятой терминологии Стратегии оказывается необязательным. Такое допущение, учитывая, что понятие «эксплуатационные характеристики» в Стратегии отсутствует и в дальнейшем может трактоваться с позиции упрощения (снижения) количества требований к конструкциям, может привести к весьма существенным трагическим последствиям в отечественной строительной отрасли.

В целом по сложившейся ситуации можно отметить, что отечественные нормы по проектированию железобетонных конструкций ранее уже проходили подобный путь. Как известно, в РФ действовал СНиП 10-01-94 [5]. В соответствии с принятой системой нормативных документов в строительстве, согласно СНиП [5], в качестве основных нормативных документов для проектирования бетонных и железобетонных конструкций был разработан СНиП 52-01-2003 [6] и отдельные СП.

Положения СНиП [6] распространялись на все виды бетонных и железобетонных конструкций различного назначения и включали в себя обязательные для выполнения требования к бетонным и железобетонным конструкциям в целом, а также к бетону и арматуре, расчету, конструированию, изготовлению и эксплуатации конструкций. Эти требования сформулированы в виде принципиальных положений с указанием предельных показателей.

Своды правил предполагалось разрабатывать для отдельных видов бетонных и железобетонных конструкций. Их положения должны были включать рекомендуемые для применения методы расчета и конструирования, составленные в развитие положений СНиП, их конкретизирующие и обеспечивающие практическое применение.

Ситуация с нормативной базой по проектированию железобетонных конструкций на тот момент в целом описана в статье [7], авторами которой являются основные разработчики нормативных документов в области бетона и железобетона. В этой работе указано, что в целом принятая система в виде комплекса СНиП и СП создает общую нормативную базу для проектирования, изготовления и эксплуатации всех бетонных и железобетонных конструкций. Можно от-

метить, что по построению предлагаемая в настоящее время система параметрического нормирования в целом идентична ранее существующей: предполагается выделение обязательных требований, остальное – на добровольной основе, в том числе с возможностью использования соответствующих дополнительных обоснований в соответствии с ФЗ № 384 [8].

В этой же статье [7] авторами отмечены положительные стороны принятой структуры норм, состоящей из обязательных СНиП и добровольных СП. К ним они отнесли единый принципиальный подход к назначению характеристик материалов, к методам расчета и конструирования, а также на стадиях возведения и эксплуатации. Также авторами отмечено, что отсутствие в обязательных требованиях (СНиП) жесткого регулирования позволит реализовать через СП инновационные решения в части конструктивных и технологических решений. В данном случае аналогичный подход к обоснованию наблюдается и при обосновании необходимости перехода на параметрическое нормирование.

Одновременно с этим авторы работы [7] выделяют и отрицательные стороны такой системы норм. К основному моменту авторы относят многолетнюю практику проектирования, по которой существующие нормы должны содержать подробно изложенные конкретные обязательные методы расчета и конструирования, выполнение которых обеспечивает юридическую защиту инженеров от возможных последствий. По их мнению, нормативные документы в такой системе не в полной мере отвечают этим требованиям, так как включают в себя ограниченный перечень правил проектирования.

Практическое проектирование должно было производиться по соответствующим СП, в рамках принятой системы тогда были разработаны:

– СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры» [9];

– СП 52-102-2004 «Предварительно напряженные железобетонные конструкции» [10];

– СП 52-103-2007 «Железобетонные монолитные конструкции зданий» [11];

– СП 52-104-2006 «Сталефибробетонные конструкции» [12];

– СП 52-105-2009 «Железобетонные конструкции в холодном климате и на вечномёрзлых грунтах» [13].

Практика применения такой системы показала, что конечные пользователи норм – конструкторы и проектировщики – в ряде случаев даже не знали о существовании обязательного нормативного документа – СНиП, так как своды правил в силу своего предназначения детализировали его положения и являлись основным инструментом для проектирования. Также можно отметить, что нормативные документы по проектированию бетонных и железобетонных конструкций в части новой на тот момент системы норм,

предусмотренной СНиП 10-01-94 [5], были единственными, которые реально перешли на эту систему СНиП-СП. Требования по остальным типам конструкций (стальным, каменным), нагрузкам и воздействиям, грунтам и основаниям существовали в виде СП. Такая система норм существовала до 2012 года, когда был разработан и введен в действие СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» [14]. Данный СП включал в себя как обязательные положения СНиП, так и детализированные положения сводов правил, составленных в его развитие. Разработка этого документа привела к единообразию в нормативной строительной базе.

### Выводы

В завершение можно сказать, что, безусловно, необходимо учитывать развитие технологий, методов расчета, подходов к конструированию, появление новых материалов и все это внедрять в практику проектирования бетонных и железобетонных конструкций. При этом внедрение таких инноваций во главу угла должно ставить базовые принципы обеспечения надежности принимаемых конструктивных решений и их долговечности. Переход на параметрическое нормирование обладает как преимуществами, так и недостатками, описанными выше. С целью исключения недостатков внедрение в практику проектирования такого нормирования требует внимательной и всесторонней оценки, в том числе учитывая уже имеющийся отечественный опыт в области проектирования железобетонных конструкций. Представляется необходимым для перехода на параметрическое нормирование одновременно с нормами обязательных требований подготовить и такую систему документов добровольного пользования, по которой проектировщики смогли бы решать все задачи проектирования строительных конструкций.

### Список литературы

1. Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 октября 2022 г. № 3268-р.
2. Лебедева И.В., Петрова Т.А. Анализ современных подходов к оценке надежности в строительстве // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2023. № 3 (38). С. 20–36. DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3\(38\)-20-36](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3(38)-20-36). EDN: НУРКУО.
3. Николенко К.С., Абсиметов В.Э. Преимущества и недостатки параметрического и целевого методов нормирования конструктивных решений строительных конструкций. В сборнике: *Наука и инновации в строительстве // Сборник докладов VI Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры строи-*

- тельства и городского хозяйства. Белгород, 2022. С. 31–34. EDN: DBXOTJ.
4. Колубков А.Н. Параметрический метод нормирования. постоянное стремление к изменениям // *АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2023. № 8. С. 12–21. EDN: CKALDV.
  5. СНиП 10-01-94. Система нормативных документов в строительстве. Основные положения. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200307?ysclid=mgevgx8kdc527652941>.
  6. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Режим доступа: <https://clck.ru/3PacNr>.
  7. Звездов А.И., Залесов А.С., Мухамедиев Т.А., Чистяков Е.А. О новых нормах проектирования железобетонных и бетонных конструкций // *Бетон и железобетон*. 2002. № 2 (515). С. 2–6.
  8. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ [интернет]. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=4758>.
  9. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. Москва, 2004.
  10. СП 52-102-2004. Предварительно напряженные железобетонные конструкции. Москва, 2005.
  11. СП 52-103-2007. Железобетонные монолитные конструкции зданий. Москва, 2007.
  12. СП 52-104-2006. Сталефибробетонные конструкции. Режим доступа: <https://clck.ru/3Padtn>.
  13. СП 52-105-2009. Железобетонные конструкции в холодном климате и на вечномёрзлых грунтах. Москва, 2009.
  14. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200095246?ysclid=mgewcymja5403349427>.
- In the collection: science and innovations in construction. *Collection of papers of the VI International Scientific and practical conference* dedicated to the 50th anniversary of the Department of construction and Urban Economy. Belgorod, 2022, pp. 31–34. EDN: DBXOTJ. (In Russian).
4. Kolubkov A.N. Parametric method of regulation. Constant striving for change. *ABOK. Ventilation, heating, air conditioning, heat supply, and building thermal physics*. 2023, no. 8, pp. 12–21. EDN: CKALDV. (In Russian).
  5. SNiP 10-01-94. System of normative documents in construction. Basic principles. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/5200307?ysclid=mgevgx8kdc527652941>. (In Russian).
  6. SNiP 52-01-2003. Concrete and reinforced concrete structures. Principal rules. Available at: <https://clck.ru/3PacNr>. (In Russian).
  7. Zvezdov A.I., Zalesov A.S., Mukhamediev T.A., Chistyakov E.A. On the new design standards for reinforced concrete and concrete structures. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete*. 2002, no. 2 (515), pp. 2–6. (In Russian).
  8. Federal Law No. 384-FZ of 30.12.2009 “Technical regulations on the safety of buildings and structures” [internet]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=475858>. (In Russian).
  9. SP 52-101-2003. Concrete and reinforced concrete structures without prestressing. Moscow, 2004. (In Russian).
  10. SP 52-102-2004. Prestressed concrete structures. Moscow, 2005. (In Russian).
  11. SP 52-103-2007. Concrete monolithic building structures. Moscow, 2007. (In Russian).
  12. SP 52-104-2006. Steel fibre reinforced concrete structures. Available at: <https://clck.ru/3Padtn>. (In Russian).
  13. SP 52-105-2009. Concrete structures for cold climate and permafrost soil. Moscow, 2009. (In Russian).
  14. SP 63.13330.2012. Concrete and reinforced concrete construction. Design requirements. Updated version of SNiP 52-01-2003. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200095246?ysclid=mgewcymja5403349427>. (In Russian).

### References

1. Strategy for the Development of the Construction Industry and Housing and Communal Services in the Russian Federation for the Period up to 2030, with a Forecast up to 2035. Approved by Order No. 3268-r of the Government of the Russian Federation dated October 31, 2022. (In Russian).
2. Lebedeva I.V., Petrova T.A. Analysis of modern approaches to assessing reliability in construction. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2023, no. 3 (38), pp. 20–36. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3\(38\)-20-36](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3(38)-20-36). EDN: HYPKUO.
3. Nikolenko K.S., Absimetov V.E. Advantages and disadvantages of parametric and target methods of regulation of design solutions for building structures.

**Информация об авторе /  
Information about the author**

**Сергей Алексеевич Зенин**, канд. техн. наук, заведующий лабораторией теории железобетона и конструктивных систем, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: lab01@mail.ru

**Sergey A. Zenin**, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory of the Theory of Reinforced Concrete and Constructive Systems, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: lab01@mail.ru

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

Печатное и сетевое рецензируемое научно-техническое издание, в котором публикуются результаты теоретических и экспериментальных исследований по строительным материалам, конструкциям, сооружениям, основаниям и фундаментам при статических и динамических воздействиях.

«Вестник НИЦ «Строительство» (Print) включен в Перечень ВАК с 03.10.2019 г. по научным специальностям:

- 2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);
- 2.1.2 – Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки);
- 2.1.5 – Строительные материалы и изделия (технические науки).

Журнал издается на платформе Elpub Национального консорциума российских библиотек (НЭИКОН). Журнал индексируется в академических базах данных и информационных системах: ROAD, CrossRef, Академия Google. Входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе eLIBRARY.ru.

Тираж печатного издания – 500 экземпляров.

Подробная информация на сайте [vestnik.cstroy.ru](http://vestnik.cstroy.ru)

Подписной индекс ООО «Урал Пресс» – 36569.



### *Приглашаем к сотрудничеству ученых, аспирантов, исследователей!*

Адрес редакции: г. Москва, 2-я Институтская ул., дом 6, корпус 1, кабинет 400/2  
Тел. редакции: +7(495)602-00-70 доб. 1022, 1023  
Выпускающий редактор – Починина Наталья  
e-mail: pochininane@cstroy.ru



УДК 624.046.5

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-12-20](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-12-20)**К.В. ТАЛАНТОВА**ФБОУ «Петербургский университет путей сообщения императора Александра I», Московский пр., д. 9,  
г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация

# К ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА

**Аннотация**

*Введение.* Требование обеспечения эксплуатационной надежности конструкций на основе сталефибробетона послужило основанием для проведения комплекса численных и экспериментальных исследований, направленных на изучение его свойств и определение коэффициентов надежности по композиционному материалу – сталефибробетону. Рекомендуемые нормами по сталефибробетону СП 52-104-2006\* коэффициенты надежности назначаются отдельно по бетону-матрице и отдельно по фибровой арматуре, а по СП 360.1325800.2017 «...нормативные и расчетные значения сопротивления сталефибробетона осевому сжатию принимают равными их значениям, установленным в СП 63.13330 для аналогичного класса обычного бетона».

*Цель.* На основе принципов формирования свойств классических композиционных материалов и систематизации данных обеспечения свойств сталефибробетона провести комплексные исследования и по их результатам определить коэффициенты надежности по композиту – сталефибробетону – в соответствии с выбором типа фибры и характеристик бетона-матрицы проектируемой конструкции.

*Материалы и методы.* Исследования проводились численными и экспериментальными методами. Для приготовления сталефибробетона были использованы типы фибры, предлагаемые отечественными производителями и наиболее часто упоминаемые в исследованиях российских ученых, в качестве матрицы был принят мелкозернистый бетон. Лабораторные образцы были изготовлены по ГОСТ 10180-90 и ГОСТ 310.4-81. Образцы сталефибробетона были испытаны по прочности и деформативности. Результаты испытаний прошли статистическую обработку.

*Результаты.* В результате выполненных исследований были получены коэффициенты надежности по сталефибробетону в зависимости от типа фибры и напряженно-деформированного состояния образца.

*Выводы.* Для обеспечения эксплуатационной надежности конструкций различного назначения с применением сталефибробетона необходимо наличие коэффициентов надежности по материалу – сталефибробетону, структура и свойства которого формируются при взаимодействии стальной фибры и бетонной матрицы, в соответствии с размерами сечения проектируемого элемента. Очевидна необходимость внесения в нормативные документы по проектированию конструкций на основе сталефибробетона однозначности в определение коэффициентов надежности по композиту – сталефибробетону.

**Ключевые слова:** композит – сталефибробетон, сталефиброжелезобетонные конструкции, коэффициенты надежности, расчетные сопротивления, экспериментально-теоретические исследования, типы стальных фибр, геометрия сечения, коэффициенты ориентации, напряженно-деформированное состояние

**Для цитирования:** Талантова К.В. К обеспечению надежности элементов конструкций на основе сталефибробетона // *Бетон и железобетон*. 2025. № 5 (630). С. 12–20. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-12-20](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-12-20). EDN: WHCVXH

**Вклад автора**

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

**Финансирование**

Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов**

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

*Поступила в редакцию 28.07.2025*

*Поступила после рецензирования 02.09.2025*

*Принята к публикации 04.09.2025*

K.V. TALANTOVA

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Moskovsky pr., 9, Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

# ON RELIABILITY OF STRUCTURAL ELEMENTS BASED ON STEEL FIBRE CONCRETE

## Abstract

**Introduction.** Requirements for ensuring operational reliability of structures based on steel fiber concrete served as the basis for conducting a set of numerical and experimental studies aimed at studying its properties and determining the reliability factors for the composite material – steel fiber concrete. The reliability factors recommended by the standards for steel fiber concrete SP 52-104-2006\* are assigned separately for the concrete matrix and separately for the fiber reinforcement, and according to SP 360.1325800.2017, “the standard and calculated values of resistance of steel fiber concrete to axial compression are taken equal to their values established in SP 63.13330 for a similar class of ordinary concrete.”

**Aim.** Based on the principles of formation of properties of classical composite materials and systematization of data on ensuring the properties of steel fiber concrete, conduct comprehensive studies and, based on their results, determine the reliability factors for the steel fiber concrete composite in accordance with the choice of the fiber type and characteristics of the concrete matrix of the designed structure.

**Materials and methods.** The studies were carried out using numerical and experimental methods. For the preparation of steel fiber concrete, the types of fiber offered by domestic manufacturers and most often mentioned in the studies of Russian scientists were used, fine-grained concrete was adopted as a matrix. Laboratory samples were manufactured according to State Standard 10180-90 and State Standard 310.4-81. Samples of steel fiber concrete were tested for strength and deformability. The test results were statistically processed.

**Results.** As a result of the conducted research, reliability factors for steel fiber concrete were obtained depending on the type of fibers and the stress-strain state of the sample.

**Conclusions.** To ensure the operational reliability of structures for various purposes using steel fiber concrete, it is necessary to have reliability factors for the material – steel fiber concrete, the structure and properties of which are formed during the interaction of steel fiber and concrete matrix, in accordance with the dimensions of the section of the designed element. There is an obvious need to introduce unambiguity in the definition of reliability factors for the steel fiber concrete composite into regulatory documents for the design of structures based on steel fiber concrete.

**Keywords:** steel fiber concrete composite, steel fiber reinforced concrete structures, reliability factors, calculated resistances, experimental and theoretical studies, types of steel fibers, section geometry, orientation factors, stress-strain state

**For citation:** Talantova K.V. On reliability of structural elements based on steel fibre concrete. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 5 (630), pp. 12–20. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-12-20](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-12-20). EDN: WHCVXH

## Author contribution statement

The author takes responsibility for all aspects of the work on the article.

## Funding

No funding support was obtained for the research.

## Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 28.07.2025

Revised 02.09.2025

Accepted 04.09.2025

Применение композита – сталефибробетона (СФБ) – в элементах конструкций различного назначения диктует необходимость проведения поиска и систематизации данных обеспечения надежности комплекса свойств СФБ на основе принципов формирования свойств композиционных материалов (КМ) в зависимости от требований, предъявляемых к разрабатываемой конструкции [1, 2].

Нормативный коэффициент вариации прочностных характеристик бетона, в соответствии с российскими нормами, составляет 0,135 [3]. Большой объем экспериментальных исследований СФБ показал высокую стабильность его прочностных характеристик, коэффициент вариации прочности на сжатие оценивается в 0,033–0,050 (см. табл. 5). Статистическая изменчивость свойств композита – сталефибробетона – заметно ниже, что позволяет при проектировании, оценив коэффициенты надежности по материалу, гарантировать его разумное резервирование свойств. Области целесообразного применения конструкций на основе сталефибробетона, как правило, определяются высокими требованиями к физико-механическим характеристикам элементов конструкций при действии статических и динамических нагрузок и неблагоприятных условий эксплуатации (агрессивная среда, влажность, высокая или низкая температура и т. п.).

Структура сталефибробетона (строительного композита), а значит его физико-механические характеристики формируются на основе структуры исходного бетона и в большой степени определяются наличием стальной фибры: ее количеством  $\mu_{fv}$ , %, типом (проволочная, листовая и т. п.), длиной  $l_f$ , диаметром  $d_f$ , отношением  $l_f/d_f$ , прочностью на растяжение  $R_{sf}$ , деформативностью  $E_f$ , размерами сечения и их соотношением с геометрией фибры [4]. Анализ представленных в открытой печати принципов формирования его структуры показал, что одним из определяющих параметров, обеспечивающих заданные эксплуатационные характеристики конструкций на его основе, является, помимо прочего, объемное содержание фибр в материале –  $\mu_{fv}$ , %. В трудах российских и зарубежных ученых предлагаются разные способы задания этого параметра [4–8].

Для решения задачи определения объемного содержания фибры в сталефибробетоне и конструкциях на его основе, а также его оптимизации был разработан программный модуль (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012619865 от 31.10.2012), с помощью которого, в зависимости от выбранного типа фибры и напряженно-деформированного состояния разрабатываемой

конструкции, определяется объемный коэффициент фибрового армирования  $\mu_{fv}$  [9].

Однако в СП 52-104-2006\* [10] указано: расчетные значения сопротивления сталефибробетона на сжатие  $R_{fb}$  и на растяжение  $R_{ftb}$  в зависимости от класса сталефибробетона по прочности на сжатие для предельных состояний первой и второй групп рекомендуется принимать как для тяжелого и мелкозернистого бетона равным 1,3, а для стальной фибры – 1,05, аналогично требованиям СП 63.13330.2018 [11].

В СП 360.1325800.2017 [12] коэффициенты надежности по бетону и по стальной арматуре для предельных состояний первой и второй групп рекомендуется принимать как для обычного бетона и арматуры по СП 63.13330.2018 [11]. Кроме того, приведены «значения коэффициентов надежности по сталефибробетону  $\gamma_{ft}$  для расчета по предельным состояниям первой группы:

1,5 – при назначении класса сталефибробетона по прочности на сжатие;

1,3 – при назначении класса сталефибробетона по прочности на растяжение».

Однако в СП 63.13330.2018 [11] не приводятся сведения ни по характеристикам исходного бетона, ни по характеристикам стальной фибры. Нет информации в зависимости от каких параметров следует назначать класс сталефибробетона. Поскольку в зависимости от длины фибры  $l_f$  и ее отношения к диаметру  $l_f/d_f$ , а также размеров сечения проектируемого элемента ( $b \times h$ ) изменяются коэффициенты ориентации фибр  $k_{or}$  и  $k_n$  [4] и, соответственно, свойства сталефибробетона.

С целью уточнения коэффициентов надежности по сталефибробетону были выполнены численные и экспериментально-теоретические исследования свойств композиционного материала – сталефибробетона – и определения областей его рационального применения [7, 13].

В исследованиях рассматривались типы фибры, предлагаемые отечественными производителями и наиболее часто упоминаемые в исследованиях российских ученых (табл. 1), в качестве матрицы был принят мелкозернистый бетон. В работе определялись прочность СФБ на сжатие  $R_{fb}$ , растяжение при изгибе  $R_{ftb}$  и растяжение при раскалывании  $R_{ftbsh}$ , а также предельные деформации растяжения  $\varepsilon_{ftu}$  и сжатия  $\varepsilon_{fcu}$  сталефибробетона.

В качестве сырья для приготовления СФБ смеси использовались мелкозернистый бетон класса В30 и стальные фибры, характеристики которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Стальные фибры, используемые в экспериментах

Table 1

Steel fibers used in the experiments

Тип фибры	Диаметр фибры, $d_f$ , $d_{f,red}$ , мм	Длина фибры, $l_f$ , мм	Отношение длины/диаметр, $l_f/d_f$	Расчетное сопротивление, $R_{sf}$ МПа	Модуль упругости, $E_{sf}$ МПа
Токарная	0,24	20	83	400	$2,0 \times 10^5$
Проволочная	0,39	32	82	500	$2,0 \times 10^5$
*Листовая	0,60	35	58	400	$1,9 \times 10^5$
*Фрезерованная	0,60	34	57	300	$1,8 \times 10^5$

Примечание:  $d_{f,red}^* = \sqrt{\frac{4 \times A_f}{\pi}}$  – приведенный диаметр фибры некруглого сечения;  $A_f$  – площадь поперечного сечения фибры, мм.

Изготовление и испытание образцов статически нагруженными выполнялись в сертифицированных лабораториях в соответствии с требованиями ГОСТ.

Испытания лабораторных образцов стандартных размеров выполнялись статическими нагрузками [14, 15]. Было изготовлено всего 1140 образцов с различным объемным процентом фибрового армирования  $\mu_{fv} = 1,0; 1,5; 2,0$  %. Выбор размеров образцов определялся требованиями ГОСТ на бетоны и цементы. При этом учитывались размеры сечений проектируемых конструкций и тот факт, что в зависимости от соотношения размеров сечения элемента ( $b \times h$ ) и длины фибр ( $l_f$ ) изменяются коэффициенты ориентации фибр ( $k_{or}$  и  $k_n$ ) от 0,1 до 0,98 [4], степень их использования меняется в широких пределах. Следовательно, свойства СФБ и конструкций на его основе также существенно изменяются.

Образцы контрольного бетона для всех исследуемых параметров были отформованы из базового состава. Испытания образцов осуществлялись на прессе ПСУ-500. Для проведения испытаний были использованы приспособления в соответствии с ГОСТ 10180-90 [14] и ГОСТ 310.4-81 [15]. Измерения деформативных характеристик СФБ осуществлялись с помощью тензометрической системы ММТС-64.01 (СибНИА им. Чаплыгина) и тензорезисторов по ГОСТ 21616-91 [16] типа 2ПБК-400-200 с базой 50 мм (рис. 1).

Анализ результатов прочностных испытаний СФБ позволил оценить прирост прочности СФБ на сжатие ( $R_{fbr}$ ) в соотношении с прочностью контрольного бетона ( $R_{bn}$ ), который составил от 10 до 50 %, что соответствует литературным данным [5, 6, 8]. При этом разброс показателей прочности на сжатие, в зависимости от типа фибр, относительно невелик. Этот факт еще раз подтверждает, что прочность СФБ

на сжатие в большой степени зависит от характеристик бетонной матрицы [8, 17, 18].

Статистический анализ свойств строительного композита – сталефибробетона – показал, что структура СФБ существенно зависит и от характеристик армирующих волокон – фибр (временного сопротивления растяжению  $R_{sf}$ , модуля упругости  $E_{sf}$ , диаметра  $d_f$ , отношения длины и диаметра  $l_f/d_f$ , их объемного содержания  $\mu_{fv}$ , формы фибры, состояния ее поверхности и т. д.). Кроме того, структура СФБ определяется характеристиками хрупкой бетонной матрицы (временным сопротивлением сжатию  $R_b$  и растяжению  $R_{bt}$ , начальным модулем упругости  $E_b$  или модулем деформации  $E_{b,t}$  и т. п.) и, что особенно важно для композитов на основе хрупких матриц, состоянием фазы раздела (контактной зоны) матрица – волокно [5].

На основе экспериментальных данных [13] и их статистической обработки для обеспечения заданной надежности разрабатываемых элементов сталефибробетонных конструкций (СФБК) и сталефиброжелезобетонных конструкций (СФЖБК) были определены коэффициенты надежности по сталефибробетону на сжатие, растяжение при изгибе и растяжение при раскалывании в зависимости от 4-х типов фибр (табл. 1), объемного процента армирования и геометрии сечения образца из соотношений  $R_{fbr}/R_{fb} = \gamma_{fb}$  (табл. 2); на растяжение при изгибе  $R_{fbr}/R_{fb} = \gamma_{fb}$ ; на растяжение при раскалывании  $R_{fbrsh}/R_{fbsh} = \gamma_{fbsh}$  [13].

Дальнейшая обработка данных позволила установить усредненные коэффициенты надежности по сталефибробетону в зависимости от типа фибр и напряженного-деформированного состояния элемента (табл. 3). Коэффициент надежности по СФБ на осевое растяжение после преобразований получился равным  $\gamma_{fbt} = 1,23$  [18].

Деформативные характеристики сталефибробетона свидетельствуют о том, что наиболее перспективным вариантом фибрового армирования СФБК и СФЖБК является вариант с фиброй из малоуглеродистой стали. В исследованиях деформативных

характеристик сталефибробетона использовались фибры: токарная – из Ст3, листовая – из Ст20, фрезерованная – из Ст09Г2С, проволочная – из Ст0.

Некоторые результаты исследований приведены на графиках (рис. 1–3) и в табл. 2–6.

Таблица 2

Коэффициенты надежности по сталефибробетону на сжатие  $\gamma_{fb}$  для различных типов фибр и объемного содержания фибр в зависимости от размеров сечения

Table 2

Reliability coefficients for steel fiber concrete in compression  $\gamma_{fb}$  for different types of fibers and fiber volume percentage, depending on the cross-section size

Тип фибры $\mu_{fv}, \%$ $b \times h$ (см)	Токарная			Проволочная			Листовая			Фрезерованная		
	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2
4 × 4 × 16	1,14	1,27	1,12	1,11	1,09	1,14	1,12	1,15	1,12	1,23	1,16	1,19
10 × 10 × 10	1,06	1,11	1,14	1,14	1,09	1,15	1,04	1,07	1,16	1,12	1,21	1,11
10 × 10 × 40	1,12	1,09	1,18	1,19	1,14	1,17	1,17	1,17	1,13	1,15	1,15	1,21

Таблица 3

Коэффициенты надежности по сталефибробетону в зависимости от типа фибры и напряженного состояния образца

Table 3

Reliability coefficients for steel fiber concrete, depending on the type of fiber and the stress state of the sample

Напряженное состояние	Тип фибры			
	токарная	проволочная	листовая	фрезерованная
Сжатие, $\gamma_{fb}$	1,15	1,14	1,16	1,19
Растяжение при изгибе, $\gamma_{ftb}$	1,17	1,15	1,12	1,21
Растяжение при раскалывании, $\gamma_{ftbsh}$	1,16	1,13	1,18	1,24

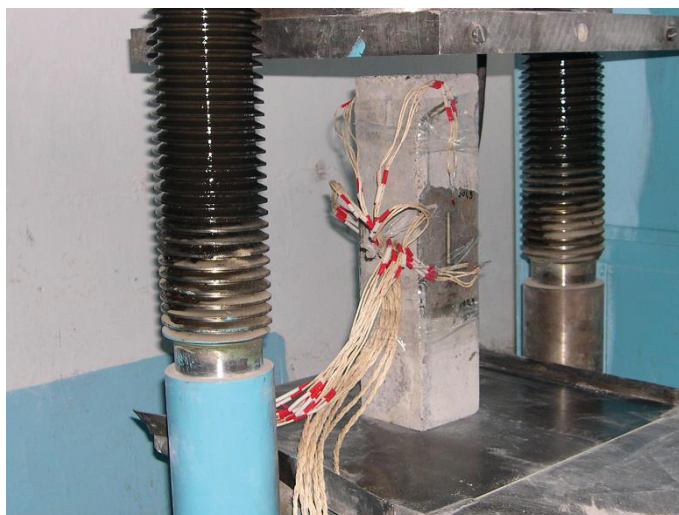
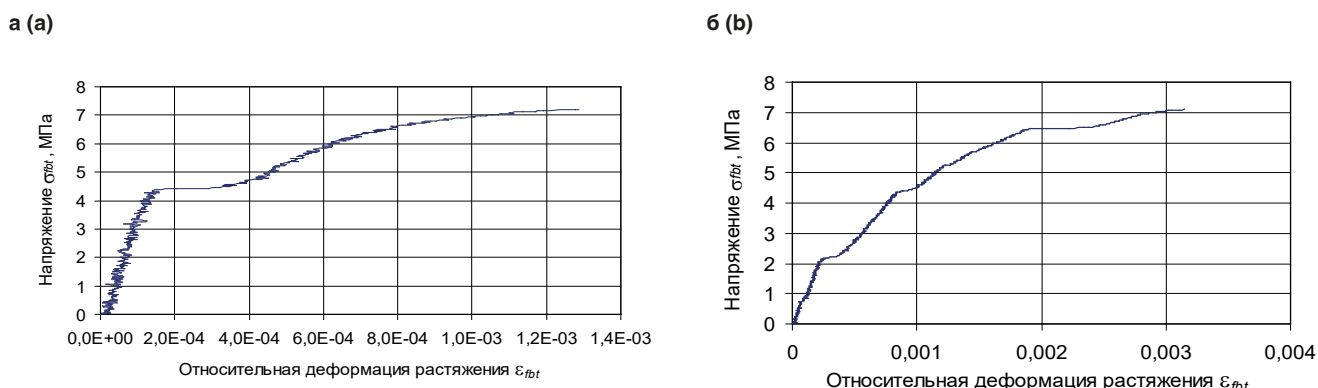
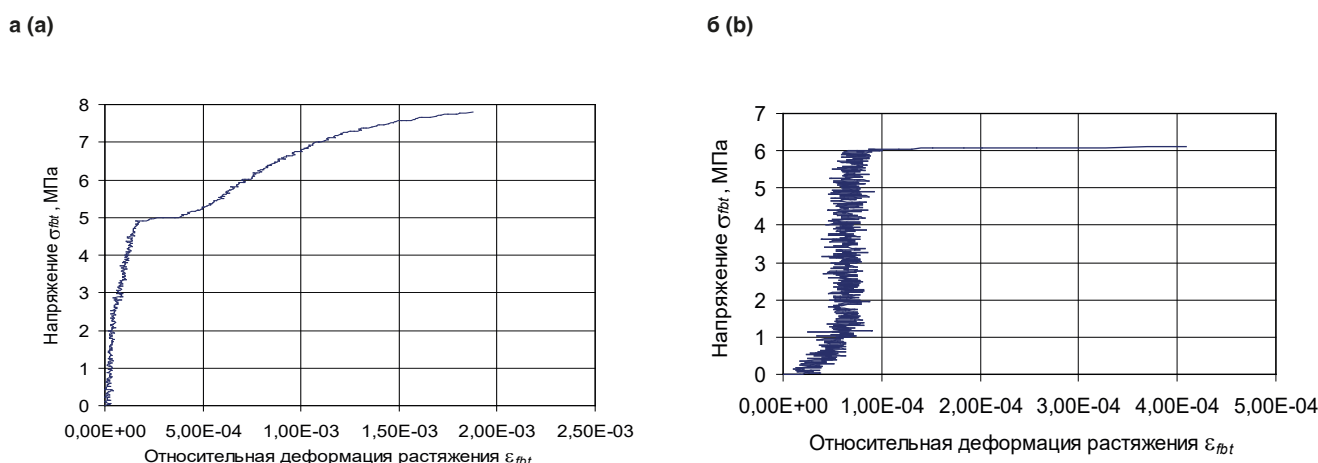


Рис. 1. Экспериментальные исследования деформативных свойств сталефибробетона: при испытании призмы на сжатие (фото К.В. Талантовой)

Fig. 1. Experimental studies of the deformation properties of steel fiber concrete: compression test of a prism (photo by K.V. Talantova)



**Рис. 2.** График зависимости «напряжение – деформация при испытании на растяжение при изгибе» лабораторных образцов сталефибробетона: а – с токарной фиброй; б – с проволочной фиброй,  $\mu_v = 2\%$   
**Fig. 2.** Stress-strain curve for laboratory samples of steel fiber concrete under bending test: a – with turning fiber; b – with wire fiber,  $\mu_v = 2\%$



**Рис. 3.** График зависимости «напряжение – деформация при испытании на растяжение при изгибе» лабораторных образцов сталефибробетона: а – с токарной фиброй; б – с проволочной фиброй,  $\mu_v = 2\%$   
**Fig. 3.** Stress-strain curve for tensile bending testing of laboratory samples of steel fiber concrete: a – with turning fiber; b – with wire fiber,  $\mu_v = 2\%$

**Таблица 4**

**Характеристика предельной растяжимости  $\epsilon_{fbt,u}$  и сжимаемости  $\epsilon_{fbt,u}$  сталефибробетона в зависимости от типа фибры**

**Table 4**

**Characteristics of the ultimate extensibility  $\epsilon_{fbt,u}$  and compressibility  $\epsilon_{fbt,u}$  of steel fiber concrete, depending on the type of fiber**

Тип стальной фибры							
проволочная		токарная		листовая		фрезерованная	
$\epsilon_{fbt,u} \times 10^3$	$\epsilon_{fb,u} \times 10^3$	$\epsilon_{fbt,u} \times 10^3$	$\epsilon_{fb,u} \times 10^3$	$\epsilon_{fbt,u} \times 10^3$	$\epsilon_{fb,u} \times 10^3$	$\epsilon_{fbt,u} \times 10^4$	$\epsilon_{fb,u} \times 10^3$
2,625	2,75	1,92	2,25	1,29	1,55	4,51	1,57

Графики «напряжение – деформация», полученные при оценке деформативных характеристик СФБ, а также наблюдения работы материала под нагрузкой позволяют сделать вывод о вязкой пластической

работе СФБ с проволочной и токарной фибрами (рис. 2, табл. 4).

При определении предельной растяжимости СФБ с листовой фиброй наблюдался характер разрушения

образца средний между СФБ с проволочной и фрезерованной фибрами (рис. 2б и 3б). При оценке предельной сжимаемости СФБ с листовой фиброй наблюдалось выкрашивание бетона-матрицы. В то же время предельная растяжимость СФБ с фрезерованной фиброй оказалась значительно ниже растяжимости СФБ с другими типами фибр (рис. 3б, табл. 4), а предельная сжимаемость оказалась близкой к этому показателю СФБ с листовой фиброй. При этом наблюдалось хрупкое разрушение материала с характерным треском и обрывом фибр.

Сравнительный анализ результатов статистической обработки экспериментальных и расчетных данных показал их хорошую сходимость с отклонением от 1,0 до 15 % и подтвердил, что зависимости, предложенные в [4; 13, Приложение В], могут использоваться для расчета нормативных сопротивлений СФБ для всех рассматриваемых типов фибры с допустимой степенью отклонения (табл. 5, 6).

Таблица 5

**Экспериментальные данные деформативности при сжатии сталефибробетона, приготовленного с применением различных типов фибры**

Table 5

**Experimental data of compressive deformability of steel fiber concrete prepared using different types of fiber**

Объемный процент армирования, $\mu_{fv}$	Относительные деформации сжатия СФБ $\epsilon_{fbcu} \times 10^3$ для фибры			
	токарной	проволочной	листовой	фрезерованной
2,0	2,3 ± 0,036	3,23 ± 0,050	2,3 ± 0,040	1,82 ± 0,033

Таблица 6

**Экспериментальные данные деформативности сталефибробетона на растяжение, приготовленного с применением различных типов фибры**

Table 6

**Experimental data of the tensile deformability of steel fiber concrete, prepared using different types of fiber**

Объемный процент армирования, $\mu_{fv}$	Относительные деформации сжатия СФБ $\epsilon_{fbtu} \times 10^4$ для фибры			
	токарной	проволочной	листовой	фрезерованной
2,0	19,20 ± 0,355	26,25 ± 0,496	12,90 ± 0,245	4,51 ± 0,029

Известно, что в железобетонных конструкциях бетон работает, как правило, в сжатых зонах, но не работает в растянутых, где усилия растяжения воспринимает арматура. В то время как в конструкциях на основе сталефибробетона (СФБК) в восприятии напряжения сжатия и растяжения участвуют сталефибробетонные сечения с соответствующими сопротивлениями. В сталефиброжелезобетонных конструкциях в растянутых зонах сталефибробетонное сечение работает совместно с регулярной арматурой.

Таким образом, для обеспечения эксплуатационной надежности СФБК (СФЖБК) целесообразно при их проектировании применение коэффициентов надежности по сталефибробетону, а не коэффициенты надежности по бетону-матрице и фибровой арматуре, так как свойства сталефибробетона формируются при взаимодействии бетона-матрицы и армирующих волокон-фибр.

Коэффициенты надежности по СФБ, полученные в результате экспериментально-теоретических исследова-

ний и их статистической обработки, прошли апробацию при разработке и испытаниях статическими нагрузками контейнера для хранения и захоронения токсичных промышленных отходов 1-го и 2-го классов опасности [19].

**Выводы**

1. В СП 360.1325800.2017 [12] указано, что «расчетные значения сопротивления сталефибробетона  $R_{fb}$  и  $R_{fbt}$  рекомендуется принимать в зависимости от класса сталефибробетона по прочности на сжатие для предельных состояний первой и второй групп как для обычного бетона по СП 63.13330.2018 [11]». Такой подход к определению коэффициентов надежности в ряде случаев приводит к снижению эффективности применения композита – сталефибробетона в строительных конструкциях.

2. Обеспечение надежности конструкций на основе сталефибробетона с высокими физико-механическими свойствами может быть достигнуто при определении коэффициентов надежности по сталефибробе-

тону с учетом взаимодействия бетонной матрицы и фибры.

3. Целесообразно продолжить дальнейшие исследования свойств материала – сталефибробетона – для различных типов фибры и бетонных матриц с тем, чтобы получить достоверные результаты определения коэффициентов надежности по сталефибробетону и внести их в нормы по проектированию сталефибробетонных (сталефиброжелезобетонных) конструкций.

#### Список литературы

1. Фудзии Т., Дзако М. Механика разрушения композиционных материалов: пер. с яп. Москва: Мир, 1982. 232 с.
2. Композиционные материалы. В 8 т. Т. 8, Ч. II: Анализ и проектирование конструкций / ред. К. Чамис, пер. с англ. Г.Г. Портнова. Москва: Машиностроение, 1978. 264 с.
3. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. Москва: Стандартинформ, 2019.
4. Рекомендации по проектированию и изготовлению сталефибробетонных конструкций / НИИЖБ Госстроя СССР. Москва, 1987. 148 с.
5. Лобанов И.А. Особенности структуры и свойств дисперсно-армированных бетонов // *Технология изготовления и свойства новых композиционных строительных материалов*. Ленинград, 1986. С. 5–10.
6. Курбатов Л.Г. Проектирование и изготовление сталефибробетонных конструкций. Москва, 1985. 55 с. (Серия: Конструкции жилых и общественных зданий. Технология индустриального домостроения: обзор. информ. / ЦНТИ по гражд. стр-ву и архитектуре; вып. 4.).
7. Талантова К.В. Определение области рационального фибрового армирования с помощью программных средств при проектировании конструкций на основе сталефибробетона // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2015. № 10. С. 5–12. EDN: VJJZZZ.
8. Пухаренко Ю.В. Принципы формирования структуры и прогнозирование прочности фибробетона // *Вестник гражданских инженеров*. 2004. № 1. С. 98–103. EDN: JZfZVJ.
9. Талантова К.В. Оптимизация расхода стальной фибры при проектировании конструкций на основе сталефибробетона // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2014. № 8. С. 99–106. EDN: TFMJWH.
10. СП 52-104-2006\*. Сталефибробетонные конструкции. Москва: ФГУП НИЦ «Строительство», 2010.
11. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: Минстрой РФ, 2018.
12. СП 360.1325800.2017. Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ, 2018.
13. Талантова К.В. Определение коэффициентов надежности по сталефибробетону // *Строитель Донбасса*. 2018. № 2 (3). С. 17–21. EDN: AJYGIF.
14. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Москва: Стандартинформ, 2008.
15. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. Москва: Издательство стандартов, 2003.
16. ГОСТ 21616-91. Тензорезисторы. Общие технические условия. Москва: Издательство стандартов, 1991.
17. Браунс Я.А., Кравинскис В.К., Филипсон В.О. Статистический анализ распределения арматуры и прочность сталефибробетона // *Проектирование и оптимизация конструкций инженерных сооружений*. Рига, 1982. С. 89–95.
18. Курбатов Л.Г., Боровских Н.Н. Сопротивление сталефибробетона сжатию // *Исследование и расчет новых типов пространственных конструкций гражданских зданий*: сб. науч. тр. Ленинград: ЛЕНЗНИИЭП, 1985. С. 58–62.
19. Талантова К.В., Михеев Н.М. Разработка конструкции сталефибробетонного контейнера для размещения и захоронения токсичных промышленных отходов // *Бетон и железобетон*. 2009. № 5. С. 5–8.

#### References

1. Fujii T., Dzako M. Fracture Mechanics of Composite Materials: trans. from Japanese. Moscow: Mir Publ., 1982, 232 p. (In Russian).
2. Composite Materials. In 8 volumes. Vol. 8, Part II: Analysis and Design of Structures / ed. K. Chamis, trans. from English by G.G. Portnov. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1978, 264 p. (In Russian).
3. State Standard 18105-2018. Concretes. Rules for control and assessment of strength. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
4. Recommendations for the Design and Manufacture of Steel Fiber Concrete Structures / Research Institute of Reinforced Concrete of the USSR Gosstroy. Moscow, 1987, 148 p. (In Russian).
5. Lobanov I.A. Features of the structure and properties of dispersed-reinforced concrete. *Manufacturing technology and properties of new composite building materials*. Leningrad, 1986, pp. 5–10. (In Russian).
6. Kurbatov L.G. Design and manufacture of steel fiber concrete structures. Moscow, 1985, 55 p. (Series: Structures of residential and public buildings. Industrial housing construction technology: review information / CNTI for civil engineering and architecture; issue 4.). (In Russian).
7. Talantova K.V. Defining the area of rational fiber reinforcement by means of software when designing the structures on the basis of steel fiber concrete.

- News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2015, no. 10, pp. 5–12. (In Russian). EDN: VJJZZZ.
8. Pukhareno Yu.V. Principles of structure formation and strength prediction of fiber-reinforced concrete. *Bulletin of civil engineers.* 2004, no. 1, pp. 98–103. (In Russian). EDN: JZFZVJ.
  9. Talantova K.V. Optimization of steel fiber consumption in the design of structures based on steel fiber concrete. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2014, no. 8, pp. 99–106. (In Russian). EDN: TFMJWH.
  10. SP 52-104-2006\*. Steel fibre reinforced concrete structures design. Moscow: FSUE Research Center of Construction, 2010. (In Russian).
  11. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Moscow: Ministry of Construction of the Russian Federation, 2018.
  12. SP 360.1325800.2017. Steel fiber reinforced concrete structures. Design rules. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
  13. Talantova K.V. Determination of reliability factor on steel fiber concrete. *The builder of Donbass.* 2018, no. 2 (3), pp. 17–21. (In Russian). EDN: AJYGIF.
  14. State Standard 10180-90. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens. Moscow: Standartinform Publ., 2008. (In Russian).
  15. State Standard 310.4-81. Cements. Methods for determining ultimate strength in bending and compression. Moscow: Publishing House of Standards, 2003. (In Russian).
  16. State Standard 21616-91. Strain gauges. General specifications. Moscow: Publishing House of Standards, 1991. (In Russian).
  17. Brauns J.A., Kravinskis V.K., Filipson V.O. Statistical analysis of reinforcement distribution and strength of steel-fiber concrete. *Design and optimization of engineering structures.* Riga, 1982, pp. 89–95. (In Russian).
  18. Kurbatov L.G., Borovskikh N.N. Resistance of steel fiber concrete to compression. *Research and calculation of new types of spatial structures of civil buildings: collection of scientific papers.* Leningrad: LENZNIIEP, 1985, pp. 58–62. (In Russian).
  19. Talantova K.V., Mikheev N.M. Development of the design of a steel fiber concrete container for the placement and burial of toxic industrial waste. *Beton i Zhelozobeton = Concrete and Reinforced Concrete.* 2009, no. 5, pp. 5–8. (In Russian).

**Информация об авторе /  
Information about the author**

**Клара Васильевна Талантова**, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения», ФБОУ «Петербургский университет путей сообщения императора Александра I», Санкт-Петербург  
e-mail: talant\_bar@mail.ru

**Klara V. Talantova**, Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Building Structures, Buildings and Constructions, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg  
e-mail: talant\_bar@mail.ru

УДК 624

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-21-29](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-21-29)**В.Д. ТЕРИН<sup>1,2</sup>, Д.Е. КЛИМОВ<sup>1</sup>, А.С. СУПРУНЮК<sup>1,2,✉</sup>**

<sup>1</sup> Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

# ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СОВРЕМЕННОЙ АРМАТУРЫ

## Аннотация

**Введение.** В современном мире, где основной упор в строительстве делается на безопасность жизни людей, в нашей стране до сих пор производится и применяется стальная арматура, способная хрупко разрушаться при негативном стечении обстоятельств по причине высокого содержания в ней углерода. В европейских странах еще с конца прошлого века ограничено содержание углерода до 0,22 % во всем ненапрягаемом арматурном прокате, у нас же допускается содержание углерода в арматуре до 0,29 %. Строительные нормы на сегодняшний день позволяют использовать подобный арматурный прокат с высоким содержанием углерода даже в сооружениях, которые могут испытывать особые неблагоприятные воздействия окружающей среды.

**Цель.** Показать проблему возможности хрупкого разрушения стальной арматуры, производимой по существующим стандартам, с возможностью ее применения в строительной отрасли по российским сводам правил, в том числе в особых условиях эксплуатации и в ответственных зданиях и сооружениях.

**Материалы и методы.** Для проведения эксперимента использовался арматурный прокат классов А500С и А400 из стали марок ЗГсп и 25Г2С соответственно. Исследования свойств арматуры и ее сварных соединений выполнены с использованием стандартизированных и специальных методик и включают испытания на растяжение, изгиб и ударную вязкость при температуре от +20 до -60 °С.

**Результаты.** Получены экспериментальные данные, характеризующие эксплуатационные свойства арма-

турного проката разных классов и подтверждающие возможность возникновения хрупких разрушений рабочей арматуры, выпускаемой в РФ и применяемой в соответствии с требованиями сводов правил.

**Выводы.** Проведенное исследование позволяет увидеть, как на первый взгляд хорошая по пластическим свойствам арматура, при оценке эксплуатационных свойств коренным образом может изменить представление о качестве и безопасности ее применения.

**Ключевые слова:** стальная арматура, хрупкость, пластичность, эксплуатационные свойства, ударная вязкость, доля вязкой составляющей, концентратор напряжений, армирование, железобетон, влияние углерода, сварные соединения арматуры

**Для цитирования:** Терин В.Д., Климов Д.Е., Супрунчук А.С. Эксплуатационные свойства современной арматуры // *Бетон и железобетон*. 2025. № 5 (630). С. 21–29 DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-21-29](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-21-29). EDN: PENNWD

## Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

## Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 09.12.2024

Поступила после рецензирования 12.02.2025

Принята к публикации 20.02.2025

V.D. TERIN<sup>1,2</sup>, D.E. KLIMOV<sup>1</sup>, A.S. SUPRUNYUK<sup>1,2,✉</sup>

<sup>1</sup> Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

<sup>2</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

# PERFORMANCE PROPERTIES OF MODERN REINFORCING BARS

## Abstract

*Introduction.* In the modern world, where the main emphasis in construction is placed on the safety of human life, in our country we still produce and use steel reinforcing bars that are capable of brittle fracture under negative circumstances due to their high carbon content. In European countries the carbon content is limited to 0.22 % in all non-tensioned rebar at the end of the last century, in our country carbon content up to 0.29 % is allowed. Today's building regulations allow the use of such high-carbon reinforcing bars even in structures that may be subject to special adverse environmental influences.

*Aim.* To highlight the problem of the potential brittle fracture of steel reinforcement produced in accordance with existing standards, with the possibility of its use in the construction industry in accordance with Russian codes of practice, including in special operating conditions and in responsible buildings and structures.

*Materials and methods.* For the experiment, A500C and A400 classes reinforcing bars made of 3Gsp and 25G2S grades steel respectively were used. The properties of the reinforcement and its welded joints were studied using standardised and specialized methods, including tensile, bending and impact tests at temperatures ranging from +20 to -60 °C.

*Results.* Experimental data characterizing the performance properties of rolled reinforcement bars of different classes were obtained, confirming the possibility of brittle failure of working reinforcement bars manufactured in the Russian Federation and used in accordance with requirements of codes of practice.

*Conclusions.* The conducted research allows us to see how a reinforcement bars that at first glance are good in terms of plastic properties, can radically change the perception of the quality and safety of its use when evaluating its operational properties.

**Keywords:** steel reinforcement, embrittlement, plasticity, performance properties, impact toughness, proportion of viscous component, stress concentrator, reinforcement, reinforced concrete, influence of carbon, welded reinforcement joints

**For citation:** Terin V.D., Klimov D.E., Suprunyuk A.S. Performance properties of modern reinforcing bars. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 5 (630), pp. 21–29. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-21-29](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-21-29). EDN: PENNWD

## Authors contribution statement

All authors made equal contributions to the study and the publication.

## Funding

No funding support was obtained for the research.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 09.12.2024

Revised 12.02.2025

Accepted 20.02.2025

Бетон – это хрупкий материал, особенно при растяжении. Способностью деформироваться в растянутой зоне железобетонные конструкции полностью обязаны применяемой в них арматуре, которая в свою очередь обычно имеет пластичный характер разрушения. Но что если арматура в конструкции, точно так же как и бетон, разрушится хрупко, да еще и при неожиданно малом усилии? В такой ситуации аварии и материального ущерба не избежать.

Разрушение железобетонных конструкций от хрупкого обрыва рабочей арматуры в них крайне опасно. Такие обрывы арматуры происходят внезапно, без заметной пластической деформации, что может привести к мгновенному или прогрессирующему разрушению самой конструкции.

В 21 веке современный арматурный прокат обладает хорошим сочетанием высоких прочностных и пластических свойств. У него высокая стойкость к концентраторам напряжений, он не образует закалочных трещин при сварке, легко гнется в подкову при любом производимом номинальном диаметре. Кажется, откуда тут взяться хрупкому разрушению? Но есть ситуации, когда это все-таки возможно.

Локальная хрупкость арматуры обычно обусловлена формированием и развитием трещин на напряженном участке, возникающим по тем или иным причинам. Причинами могут быть как внешние факторы окружающей среды или напряженного состояния, так и дефекты, а также особенности самой арматуры. Фактором, при котором может возникнуть локальная хрупкость в стальной арматуре, может быть химический состав стали арматурного проката и способ ее производства.

Основной упрочняющий элемент в стали – углерод. Его высокое содержание в стальной арматуре повышает ее прочностные характеристики, улучшает прокаливаемость, снижает себестоимость. Однако при этом углерод снижает хладостойкость стали, стойкость к концентраторам напряжений, увеличивает вероятность образования закалочных трещин (например, при сварке). Все это повышает склонность арматурного проката к хрупкому разрушению при возможных сочетаниях неблагоприятных факторов, что в свою очередь приводит к возможности хрупкого разрушения и самой железобетонной конструкции.

Проблема высокого содержания углерода в арматуре не нова. Содержание углерода в арматурном прокате неуклонно снижалось. Такие марки арматурной стали, как 80С, Ст5, 35ГС, уже не выпускаются или практически не выпускаются, имея при этом ограничения в применении [1]. В Европе для ненапряженной арматуры углерод давно ограничен требованиями EN значением в 0,22 % [2]. Новый основной ГОСТ 34028-2016 [3] на арматурный прокат, действующий в РФ, для свариваемой арматуры также ограничивает содержание углерода (С) до 0,24 % и угле-

родного эквивалента ( $C_{экр}$ ) до 0,52. Казалось бы, что проблема уже исчерпана. Однако несмотря на то, что данная тема поднималась не один раз, необходимого внимания ей все-таки не уделено, поскольку на сегодняшний день строительные нормы допускают использование арматурного проката с повышенным содержанием углерода (до 0,31 % с учетом ликвации) [4], в том числе с применением сварных соединений и в условиях особых воздействий как по нагрузке, так и по условиям окружающей среды.

В данной статье на примере эксплуатационных свойств арматурного проката, производимого и применяемого в настоящее время в РФ, из стали с различным химическим составом и технологией производства авторы показывают влияние углерода на реально существующую вероятность хрупкого разрушения арматуры в железобетонных конструкциях.

Для оценки механических и эксплуатационных свойств арматурного проката в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева в 2023 году был проведен целый комплекс испытаний, включающих оценку свариваемости с учетом влияния сварки на эксплуатационные свойства проката и оценку ударной вязкости производимого в РФ арматурного проката с характером разрушения при различной температуре.

Выбранная для исследований арматура имеет отличия как по химическому составу стали, так и по технологии производства. Арматура класса А500С произведена по ГОСТ 34028-2016 [3] из стали марки 3Гсп по технологии термомеханического упрочнения в потоке проката (ТМУ), арматура класса А400 произведена по ГОСТ 5781-82 [4] из стали 25Г2С по технологии горячей прокатки (ГК). В табл. 1 представлен фактический химический состав исследуемой арматуры.

Оценивая результаты механических свойств арматурного проката двух видов в состоянии поставки (табл. 2), можно заметить, что ГК арматура из стали 25Г2С обладает более высоким отношением временного сопротивления к пределу текучести и большим относительным удлинением в сравнении с ТМУ арматурой из стали 3Гсп, что обеспечивает более высокие пластические свойства, актуальные с точки зрения безопасности железобетонной конструкции. Однако результаты приведенных ниже исследований по оценке эксплуатационных свойств проката показывают, что не все так однозначно.

Для оценки эксплуатационных свойств арматурного проката, а именно свариваемости и склонности к образованию закалочных трещин, проведены испытания образцов сварных стыковых соединений типа С1-Ко, выполненных контактно-стыковой сваркой, на растяжение, и крестообразных соединений типа КЗ-Рп, выполненных ручной дуговой сваркой прихватками, на растяжение и изгиб. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 1

Химический состав стали исследуемых образцов арматурного проката

Table 1

Chemical composition of steel of the studied samples of rebar rolled products

Класс арматуры	Марка стали, диаметр	Массовая доля химических элементов в стали (готовый прокат), %											C <sub>экв</sub>
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	V	Nb	Mo	P	S	
A500C по [3]	Ст3Гсп, 25 мм	0,21	0,21	0,99	0,03	0,02	0,03	0,004	0,001	0,001	0,012	0,014	0,39
A400 по [5]	25Г2С, 25 мм	0,29	0,75	1,33	0,14	0,13	0,18	0,006	–	0,02	0,017	0,021	0,59

Примечание: Значения C<sub>экв</sub> посчитаны по формуле из [3].

Таблица 2

Средние значения механических свойств арматурного проката в состоянии поставки

Table 2

Average values of mechanical properties of rebar rolled products in the state of delivery

Класс, d <sub>н</sub>	Марка стали	σ <sub>т(0,2)</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	σ <sub>в</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	δ <sub>5</sub> , %	δ <sub>р</sub> , %	σ <sub>в</sub> /σ <sub>т</sub>	Изгиб вокруг оправки диаметром C = 3d <sub>н</sub>
A500C, 25 мм	Ст3пс	600,0	714,9	19,6	8,5	1,19	180°
A400, 25 мм	25Г2С	442,3	708,7	24,0	13,7	1,60	90°

Таблица 3

Результаты испытаний на растяжение образцов стыковых и крестообразных сварных соединений стержневой арматуры

Table 3

The results of tensile tests of butt and cruciform welded joints of rod reinforcement

№	Марка стали	Тип сварного соединения	Вид испытания	Временное сопротивление, σ <sub>в</sub> <sup>св</sup> , Н/мм <sup>2</sup>	Угол изгиба, град.	Характер разрушения образцов
1	Ст3Гсп	С1-Ко	растяжение	648–664	–	з.т.в., пластично
2			КЗ-Рп	растяжение	703–706	–
3		изгиб		–	180	без трещин
1	25Г2С	С1-Ко	растяжение	702–717	–	о.м.
2			КЗ-Рп	растяжение	627–698	–
3		изгиб		–	19–31	разруш., хрупко

Принятые в таблице сокращения: «о.м.» – по основному металлу, вдали от места сварки; «з.т.в.» – в зоне термического влияния сварки.

Испытания сварных образцов типа С1-Ко, выполненных сваркой с большими тепловложениями, демонстрируют, что ТМУ арматура из стали 3Гпс имеет снижение временного сопротивления образцов на 7 % при сохранении пластичного характера разрушения. Образцы из ГК арматуры из стали 25Г2С не снижают своего временного сопротивления и разрушаются по основному металлу пластично.

Испытания крестообразных соединений типа КЗ-Рп прихватками из стали 3Гпс при растяжении

разрушались по основному металлу пластично, а при изгибе на оправке 5d на 180° они выдержали испытание без образования трещин.

Испытания крестообразных соединений типа КЗ-Рп из стали 25Г2С при растяжении разрушились хрупко со снижением временного сопротивления до 11 %. При изгибе они разрушились хрупко при малых углах загиба (20–30°). Испытанные образцы представлены на рис. 1. Несмотря на то что такие испытания сварных образцов на изгиб не регламен-

тированы ГОСТ 5781-82 [4] для арматурного проката класса А400 из стали марки 25Г2С, они являются обязательными для арматуры класса А400 по более современному ГОСТ 34028-2016 [3], оценивая стойкость проката к концентраторам напряжений в виде ожога сварочной дугой. Полученные результаты подтверждают склонность арматуры с высоким содержанием углерода образовывать кристаллизационные трещины при сварке с малыми тепловложениями, являющимися концентраторами напряжений и причиной хрупкого разрушения арматуры. Все это лишнее заставляет задуматься о потенциальных рисках, возникающих при применении в строительстве ответственных сооружений подобного арматурного проката.

Одним из принятых критериев оценки стойкости стали к концентраторам напряжений является оценка ее вязкости и значений ударной вязкости при разрушении, определяемые на специальных образцах с нанесенным концентратором в виде надреза.

Хрупкое поведение бетона при растягивающих напряжениях требует повышенной пластичности и вязкости рабочей арматуры для обеспечения безопасности железобетонных конструкций. Поскольку большинство случаев хрупкого разрушения, происходящих в стальном прокате при умеренных или низких напряжениях, связано с низкой температурой и динамическими нагрузками, то необходимо учитывать как вязкость разрушения арматурных сталей, так и температурный диапазон перехода от вязкого разрушения к хрупкому.

Саму вязкость металла можно охарактеризовать как присущую ему способность поглощать механическую энергию и пластически деформироваться до разрушения. В нашей стране сопротивление хрупким

разрушениям металлических конструкций оценивают по гарантированным величинам ударной вязкости – частное от деления работы разрушения на площадь сечения образца под надрезом [5, 6]. В зарубежной практике определяют работу разрушения (Дж), эту величину описывают и стандартизируют [7].

Оценка фактической ударной вязкости арматуры А500С из стали марки 3Гпс и А400 из стали марки 25Г2С проводилась на стандартных образцах типа 11 с V-образным концентратором по [6] при температуре от +20 до -60 °С.

По полученным результатам (табл. 4, рис. 2) мы можем наблюдать, что для арматуры из Ст3Гсп показатели ударной вязкости имеют достаточно высокие значения, а доля вязкой составляющей (табл. 5) при понижении температуры неуклонно снижается, гарантируя сохранение данного показателя на уровне не менее 50 % при 0 °С. Это показывает, что данная арматура обладает хорошей стойкостью к хрупким разрушениям до 0 °С, однако при более низкой температуре существенно возрастает доля хрупкой составляющей в изломе при разрушении образца.

Для арматурного проката из стали 25Г2С в тех же условиях мы имеем крайне низкие значения ударной вязкости (от 29,8 до 11,4 Дж/см<sup>2</sup>) на всем диапазоне температуры, включая комнатную. При этом доля вязкой составляющей в изломе испытанных образцов при комнатной температуре составляет менее 5 %, а при понижении температуры и вовсе падает до нуля. Все это демонстрирует низкую хладостойкость, низкую стойкость к концентраторам напряжений и высокую склонность данного арматурного проката к хрупким разрушениям, в том числе по причине достаточно высокого содержания углерода в стали.



а (а)



б (б)

**Рис. 1.** Хрупкое разрушение образцов сварных соединений типа К3-Рп из арматуры 25Г2С при испытаниях на растяжение (а) и изгиб (б)

**Fig. 1.** Brittle fracture of samples of welded joints of K3-Rp type from 25G2S reinforcement during tensile (a) and bending (b) tests

Результаты испытаний на ударный изгиб в диапазоне температуры от +20 до -60 °С

Таблица 4

Table 4

The results of impact bending tests in the temperature range from +20 to -60 °C

Класс арматуры/ Марка стали	Ударная вязкость KCV, Дж/см <sup>2</sup>				
	Температура, °C				
	+20	0	-20	-40	-60
A500C/Ст3Гсп	247,5	238,7	67,8	41,5	44,0
	231,7	212,5	72,7	41,7	39,9
	225,1	127,2	85,8	56,3	47,0
A400/25Г2С	28,3	13,8	14,8	14,2	31,3
	29,8	23,3	11,4	11,4	14,4
	25,0	18,8	15,0	10,2	15,1

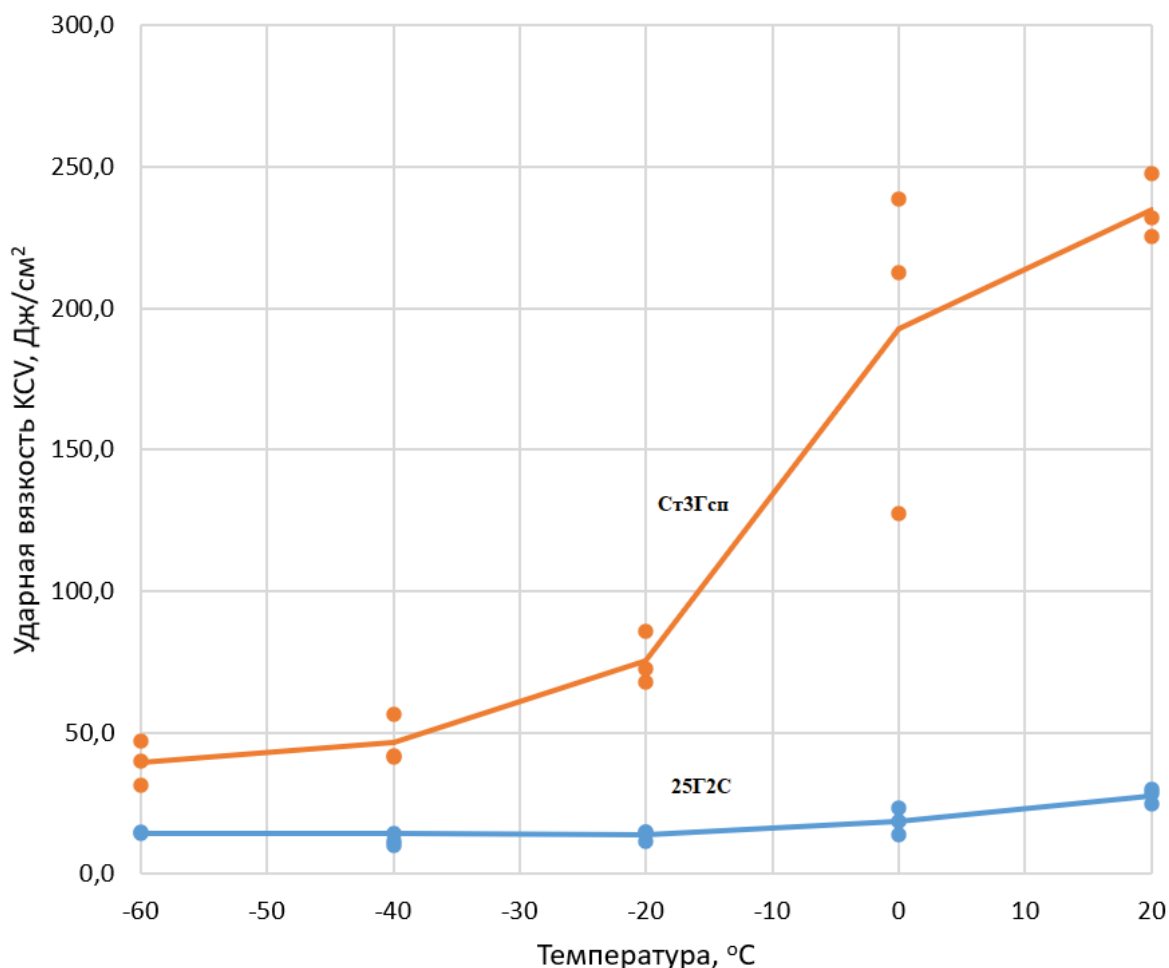












Рис. 2. Показатели ударной вязкости арматурного проката при температуре от -60 до +20 °С  
 Fig. 2. Impact strength of rebar rolled products at temperatures from -60 to +20 °C

Таблица 5

Изменение характера излома образцов арматуры Ø 25 из стали Ст3Гсп и 25Г2С после испытаний на ударный изгиб в диапазоне температуры от +20 до -60 °С

Table 5

Changes in fracture behavior of 25 mm diameter reinforcement specimens made of St3Gsp and 25G2S steel after impact bending tests in the temperature range from +20 to -60 °C

Температура испытаний, °С				
+20	0	-20	-40	-60
образцы арматуры из стали Ст3Гсп				
				
Доля вязкой составляющей в изломе, среднее значение, %				
100	65	28,7	12,3	8
образцы арматуры из стали 25Г2С				
				
Доля вязкой составляющей в изломе, среднее значение, %				
2,3	0	0	0	0

Проблема высокого содержания углерода в арматурном прокате очередной раз не решена даже с выходом ГОСТ 34028-2016 [3], который, как и европейские требования, ограничивает значение углерода для свариваемой арматуры – не более 0,22–0,24 %. В нынешнем арматурном прокате, до сих пор выпускаемом по ГОСТ 5781-82 [4] из стали 25Г2С, содер-

жание углерода может достигать 0,29–0,31 %, а значения  $C_{экв}$  – до 0,62.

При этом, в соответствии с положениями российских сводов правил, в строительной отрасли до сих пор существует возможность применения арматурного проката с высоким содержанием углерода в конструкциях с особыми условиями эксплуатации. Так,

в СП 14.13330.2018 [8] в разделе 6.7 «Особенности проектирования железобетонных конструкций в сейсмически активных районах» допускается применение арматуры А400 из стали 25Г2С в качестве рабочей ненапрягаемой арматуры с применением ручной дуговой сварки в крестообразных соединениях, характер разрушения которых может быть таким же, как на рис. 1. Однако при проектировании железобетонных конструкций и выборе арматурного проката нужно учитывать, что при сейсмическом воздействии отдельные участки конструкций могут испытывать нагрузки, превышающие их несущую способность. В этих случаях вязкостные и пластические свойства арматуры, обладающей высокой удельной энергией разрушения, нечувствительностью к концентраторам напряжений, способной воспринимать большие деформации до разрыва, становятся наиболее актуальными.

Поскольку арматурный прокат из стали 25Г2С, обладая высоким содержанием углерода, в соответствии с требованиями СП 14.13330.2018 [8] допускается к применению в качестве рабочей ненапрягаемой арматуры, в том числе со сварными стыками, то возможность хрупкого разрушения этой арматуры в железобетонных конструкциях существует до сих пор. Конечно, вероятность такого развития событий во многом зависит от сочетания неблагоприятных факторов, таких как химический состав стали и технология производства арматуры, наличие концентраторов напряжения, обусловленных применением сварки или полученных иными путями, воздействие динамической или ударной нагрузки, в том числе сейсмические воздействия, а также эксплуатация в условиях низкой отрицательной температуры, снижающих вязкостные свойства сталей и актуальных для инфраструктурных объектов. Но такая вероятность все еще остается достаточно значимой, а риски хрупких разрушений существенно недооцененными.

#### Список литературы

1. Мадатян С.А. Арматура железобетонных конструкций. Москва: Воентехлит, 2000. 256 с.
2. Евроноормы. EN 10080 Steel for reinforcement of concrete. – Weldable ribbed reinforcing steel B500 – Technical delivery conditions for bars, coils and welded. CEN. 1995, 43 p.
3. ГОСТ 34028-2016. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019.
4. ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2006.
5. Одесский П.Д., Кулик В.Д. Сталь с высоким сопротивлением экстремальным воздействиям. Москва: Интернет Инжиниринг, 2008. 239 с.
6. ГОСТ 9454-78. Металлы. Методы испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной

и повышенных температурах. Москва: Издательство стандартов, 1994.

7. EN 10045-1. Metallic materials. Charpy impact test. Part 1: Test method. 1990.
8. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*. Москва: Стандартинформ, 2018.
9. Мулин Н.М. Стержневая арматура железобетонных конструкций. Москва: Стройиздат, 1975. 233 с.
10. Nikolaou J., Papadimitriou G.D. Impact toughness of reinforcing steels produced by (i) the Tempcore process and (ii) microalloying with vanadium. *International Journal of Impact Engineering*. 2005, vol. 31, no. 8, pp. 1065–1080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2004.05.005>.

#### References

1. Madatyan S.A. Reinforcement of reinforced concrete structures. Moscow: Voentekhlit Publishing House, 2000, 256 p. (In Russian).
2. European standards. EN 10080 Steel for reinforcement of concrete. – Weldable ribbed reinforcing steel B500 – Technical delivery conditions for bars, coils and welded. CEN. 1995, 43 p.
3. State Standard 34028-2016. Reinforcing rolled products for reinforced concrete constructions. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
4. State Standard 5781-82. Hot-rolled steel for reinforcement of ferroconcrete structures. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2006. (In Russian).
5. Odesskiy P.D., Kulik V.D. Steels with high resistance to extreme influences. Moscow: Internet Engineering, 2008, 239 p. (In Russian).
6. State Standard 9454-78. Metals. Method for testing the impact strength at low, room and high temperature. Moscow: Publishing house of standards, 1994. (In Russian).
7. European standards. EN 10045-1. Metallic materials. Charpy impact test. Part 1: Test method. 1990.
8. SP 14.13330.2018. Seismic building design code. Updated version of SNiP II-7-81\*. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
9. Mulin N.M. Rod reinforcement of reinforced concrete structures. Moscow: Stroyizdat Publ., 1975, 233 p. (In Russian).
10. Nikolaou J., Papadimitriou G.D. Impact toughness of reinforcing steels produced by (i) the Tempcore process and (ii) microalloying with vanadium. *International Journal of Impact Engineering*. 2005, vol. 31, no. 8, pp. 1065–1080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2004.05.005>.

**Информация об авторах /  
Information about the authors**

**Вячеслав Дмитриевич Терин**, канд. техн. наук, руководитель центра новых видов арматуры, сварки и армирования железобетона, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»; доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций, НИУ МГСУ, Москва

e-mail: terin@bk.ru

**Vyacheslav D. Terin**, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Center for New Types of Reinforcement, Welding and Reinforcement of Reinforced Concrete, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction; Associate Professor, Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow  
e-mail: terin@bk.ru

**Дмитрий Евгеньевич Климов**, старший научный сотрудник центра новых видов арматуры, сварки и армирования железобетона, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: dimochka\_k@mail.ru

**Dmitry E. Klimov**, Senior Researcher of the Center for New Types of Reinforcement, Welding and Reinforcement of Reinforced Concrete, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: dimochka\_k@mail.ru

**Александр Сергеевич Супрунюк**<sup>✉</sup>, младший научный сотрудник центра новых видов арматуры, сварки и армирования железобетона, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»; аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций, НИУ МГСУ, Москва

e-mail: SuprunyukAS@yandex.ru

**Alexander S. Suprunyuk**<sup>✉</sup>, Junior Researcher of the Center for New Types of Reinforcement, Welding and Reinforcement of Reinforced Concrete, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction; Postgraduate Student of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow

e-mail: SuprunyukAS@yandex.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

УДК 624.012

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-30-41](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-30-41)

**Н.Н. ТРЕКИН<sup>1,2</sup>, Э.Н. КОДЫШ<sup>2</sup>, С.Д. ШМАКОВ<sup>2,3,✉</sup>, Д.П. ЛЕЛЕТКО<sup>2</sup>,  
А.Б. ЧАГАНОВ<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

<sup>2</sup> АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений – ЦНИИПромзданий» (АО «ЦНИИПромзданий»), Дмитровское шоссе, д. 46, к. 2, г. Москва, 127238, Российская Федерация

<sup>3</sup> ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ (МИИТ)), ул. Образцова, д. 9, стр. 9, г. Москва, 127994, Российская Федерация

<sup>4</sup> ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» (ВятГУ), ул. Московская, д. 36, Кировская область, г. Киров, 610000, Российская Федерация

# ФАКТИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕННО–ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ИЗГИБАЕМОГО ЭЛЕМЕНТА НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ НАГРУЖЕНИЯ

## Аннотация

*Введение.* Анализируются требования действующих нормативных и технических документов по защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения, а также отдельные способы защиты. Рассматривается целесообразность совершенствования теории расчета несущих железобетонных элементов не только на стадии работы элемента до границы первого предельного состояния, но и на стадии особого предельного состояния. Приведены резервы по прочности и деформативности изгибаемых элементов.

*Цель.* Экспериментальная проверка гипотезы перемещения нейтральной оси изгибаемого элемента в процессе нагружения и уточнения его величины, в том числе на этапе особого предельного состояния.

*Материалы и методы.* Экспериментальное исследование проведено путем испытания опытных образцов изгибаемых элементов. Загружение однопролетной свободно опертой железобетонной балки производилось двумя сосредоточенными нагрузками через распределительную траверсу в третях пролета. Представлено описание экспериментальной установки, характеристик материалов и опытных образцов, а также средств измерений, используемых для получения экспериментальных данных об изменении напряженно-деформированного состояния изгибае-

мого элемента на всех стадиях его работы, включая стадию снижения несущей способности (разупрочнение).

*Результаты.* В статье приводится первая часть результатов анализа экспериментальных исследований (стадия нагружения от  $0,8 M_{ult}$  до  $M_{ult}$ ), направленных, в том числе, на определение критериев особого предельного состояния для изгибаемых железобетонных элементов. Приводится анализ полученных расчетных и экспериментальных значений относительных деформаций бетона и арматуры, а также изгибающих моментов, определенных на стадиях деформирования. Разработана и представлена для обсуждения методика определения напряженно-деформированного состояния конструкции на различных этапах нагружения, основанная на уравнении равновесия внешних и внутренних сил, действующих в сечении железобетонного элемента с учетом изменения положения нейтральной оси.

*Выводы.* Погрешность теоретических результатов, полученных при помощи разработанной авторами методики определения напряженно-деформированного состояния конструкции в сравнении с экспериментальными данными на стадии нагружения от  $0,8 M_{ult}$  до  $M_{ult}$ , составила до 3–5 % в зависимости от стадии деформирования. Гипотеза изменения положения нейтральной оси, изложенная в разрабо-

танной методике и подтвержденная экспериментальными исследованиями, будет опубликована в последующих работах авторов.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, изгибаемый элемент, аналитическая модель, методика расчета, предельное состояние, уравнения равновесия, изменение положения нейтральной оси, экспериментальная работа, результаты исследования

**Для цитирования:** Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Шмаков С.Д., Лелетко Д.П., Чаганов А.Б. Фактическое напряженно-деформированное состояние железобетонного изгибаемого элемента на различных этапах нагружения // *Бетон и железобетон*. 2025. № 5 (630). С. 30–41. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-30-41](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-30-41). EDN: ZYNWFB

#### Вклад авторов

Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н. – постановка задачи и общее руководство.

Шмаков С.Д. – разработка программы испытания, подготовка и проведение экспериментального исследования, анализ результатов исследования, разработка методики расчета.

Лелетко Д.П. – анализ результатов исследования.

Чаганов А.Б. – подготовка и проведение экспериментального исследования.

#### Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 12.08.2025

Поступила после рецензирования 30.09.2025

Принята к публикации 02.10.2025

**N.N. TREKIN<sup>1,2</sup>, E.N. KODYSH<sup>2</sup>, S.D. SHMAKOV<sup>2,3,✉</sup>, D.P. LELETKO<sup>2</sup>,  
A.B. CHAGANOV<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

<sup>2</sup> Central Scientific Research and Project Experimental Institute of Industrial Buildings and Constructions – TsNII-Promzdaniy (TsNIIPromzdaniy JSC), Dmitrovskoe shosse, 46, bld. 2, Moscow, 127238, Russian Federation

<sup>3</sup> Russian University of Transport (MIIT), Obraztsova str., 9, bld. 9, Moscow, 127994, Russian Federation

<sup>4</sup> Vyatka State University, Moskovskaya str., 36, Kirov region, Kirov, 610000, Russian Federation

# ACTUAL STRESS–STRAIN STATE OF A REINFORCED CONCRETE BENDING ELEMENT AT VARIOUS STAGES OF LOADING

## Abstract

**Introduction.** This article analyzes the requirements of current regulatory and technical documents for the protection of buildings and structures from progressive collapse, as well as individual protection methods. The feasibility of improving the load-bearing reinforced concrete elements calculation theory, not only during the element's service life up to the first special limit state, but also during the special limit state is discussed. Reserves for the strength and deformability of flexural elements are presented.

**Aim.** To experimentally verify the hypothesis of the neutral axis of a flexural element displacement during load-

ing and to refine its magnitude, including during the special limit state.

**Materials and methods.** The experimental study was conducted by testing prototypes of flexural elements. A single-span, simply supported reinforced concrete beam was loaded with two concentrated loads through a distribution crossbeam at one thirds of the span. This article describes the experimental setup, characteristics, and prototypes, as well as the measuring instruments used to obtain experimental data on changes in the stress-strain state of a flexural element at all stages of its operation, including the stage of reduced bearing capacity (softening).

**Results.** This article presents the first part of the results

of an analysis of experimental studies (loading stage from  $0,8 M_{ult}$  to  $M_{ult}$ ), aimed, among other things, at determining the criteria for the special limit state of flexural reinforced concrete elements. An analysis of the calculated and experimental values of the relative deformations of concrete and reinforcement, as well as the bending moments determined at the deformation stages, is presented. A methodology for determining the stress-strain state of a structure at various loading stages has been developed and presented for discussion. This methodology is based on the equilibrium equation for external and internal forces acting in the cross-section of a reinforced concrete element, taking into account changes in the position of the neutral axis. *Conclusions.* The error in the theoretical results obtained using the authors' methodology for determining the stress-strain state of a structure, compared to experimental data obtained at the loading stage from  $0,8 M_{ult}$  to  $M_{ult}$ , was up to 3–5 %, depending on the deformation stage. The hypothesis for changes in the neutral axis position, outlined in the developed methodology and confirmed by experimental research, will be published in the authors' subsequent papers.

**Keywords:** reinforced concrete structures, bending element, analytical model, calculation method, limit state, equilibrium equations, change in the position of the neutral axis, experimental work, research results

**For citation:** Trekin N.N., Kodysh E.N., Shmakov S.D., Leletko D.P., Chaganov A.B. Actual stress-strain state of a reinforced concrete bending element at various stages of loading. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 5 (630), pp. 30–41. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-30-41](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-30-41). EDN: ZYNWFB

#### **Authors contribution statement**

Trekin N.N., Kodysh E.N. – conceived the problem and provided general guidance.

Shmakov S.D. – developed the test program, prepared and conducted the experimental study, analyzed the study results, and developed the calculation methodology.

Leletko D.P. – analyzed the study results.

Chaganov A.B. – prepared and conducted the experimental study.

#### **Funding**

No funding support was obtained for the research.

#### **Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

*Received 12.08.2025*

*Revised 30.09.2025*

*Accepted 02.10.2025*

Редколлегия журнала «Бетон и железобетон» поздравляет доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ, почетного строителя, почетного члена РААСН, главного научного сотрудника ОКС АО «ЦНИИПромзданий» Эмиля Наумовича Кодыша с 92-м днем рождения!

***Уважаемый Эмиль Наумович!***

Примите наши искренние поздравления с днем рождения и пожелания отличного здоровья на многие годы, дальнейших успехов в профессиональной деятельности, благополучия и процветания! Мы благодарны, что своим научным авторитетом Вы поддерживаете журнал, являетесь постоянным автором и рецензентом, помогаете добрым советом!

### Введение

В настоящее время при проектировании зданий и сооружений повышенного уровня ответственности необходимо выполнять требование по учету аварийной расчетной ситуации (часть 6 статьи 16 Федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ [1]). Положения [1] конкретизированы в ряде нормативных и технических документов, таких как ГОСТ 27751-2014 [2], СП 385.1325800.2018 [3], СП 296.1325800.2017 [4] и др.

Защита от прогрессирующего обрушения, согласно положениям СП 385.1325800.2018 [3], необходима как для вновь проектируемых, так и для реконструируемых объектов строительства. Перечень зданий и сооружений, для которых требуется выполнять расчет на аварийную ситуацию и обеспечивать защиту от прогрессирующего обрушения, определен в п. 5.2.6 ГОСТ 27751-2014 [2]. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения может производиться с применением конструктивных и организационно-технических мероприятий [5–7]. В настоящее время ведется дискуссия о внедрении риск-ориентированного подхода и активно проводятся научные исследования.

Выполнение условий обеспечения целостности зданий и сооружений при наступлении аварийной ситуации, в случае проектирования объекта строительства с соблюдением критериев первого и второго предельных состояний, может приводить к удорожанию строительства. Снижению затрат на защиту зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения способствует использование резервов прочности и деформативности строительных конструкций [8, 9]. В настоящее время данный подход реализован введением особого предельного состояния, возникающего после превышения установленных в нормах критериев несущей способности конструкций по первой группе предельных состояний, допускающего развитие больших пластических деформаций в пределах, сохраняющих геометрическую неизменяемость конструктивной схемы сооружения и частичное разрушение сечений, при которых они не обеспечивают функциональные требования, предъявляемые к зданию или сооружению, а дальнейшее увеличение нагрузок и воздействий приводит к их разрушению. Критерии особого предельного состояния представлены в СП 385.1325800.2018 [3].

Потребность в уточнении критериев особого предельного состояния приводит к необходимости совершенствования теории расчета конструктивных элементов не только на стадии работы элемента до его максимальной несущей способности ( $M = M_{ult}$  для изгибаемых железобетонных элементов), но и за ее пределами, на стадии разупрочнения.

В настоящее время в научно-технической литературе представлено незначительное количество данных о работе железобетонных элементов на стади-

ях, близких к исчерпанию его несущей способности, а также на стадии разупрочнения [9]. По имеющимся экспериментальным [10–13] и теоретическим [14–19] данным, при выполнении нормативных требований по прочности и деформативности материалов арматуры и бетона, а также при отсутствии дефектов в конструкциях имеются резервы по прочности до 25 %, а по деформативности – до 35 %, по сравнению с теоретическими данными, полученными на базе расчетов по нормативным документам [8].

### Цель

Экспериментальная проверка гипотезы перемещения нейтральной оси изгибаемого элемента в процессе нагружения, в том числе на этапе особого предельного состояния и уточнения его критериев.

### Материалы и методы

Для подтверждения гипотезы перемещения нейтральной оси изгибаемого элемента в процессе нагружения, в том числе на этапе особого предельного состояния и уточнения его критериев, были проведены экспериментальные исследования, выполненные на специально разработанной установке (рис. 1).

Для получения полных диаграмм деформирования бетона и арматуры изгибаемого элемента, в том числе на стадии разупрочнения (разрушения), нагружение железобетонной балки производилось контролируемым перемещением. Загружение однопролетной свободно опертой железобетонной балки производилось двумя сосредоточенными нагрузками через распределительную траверсу в третях пролета 32-тонным механическим домкратом с контролем перемещений до 0,005 мм. Контроль перемещений траверсы производился установленным на ней индикатором часового типа с ценой деления 0,001 мм.

Контроль усилий, возникающих на опорах, а также непосредственно на траверсе, производился с помощью динамометрических опор. Для измерения деформаций использовались тензорезисторы марки TML с базой 5 и 50 мм сопротивлением 120 Ом, а также цифровые головки (индикаторы часового типа) NORGAU Industrial 12.7/0.5», NID-1201 с ценой деления 0,001 мм.

Для экспериментальных исследований были изготовлены четыре серии изгибаемых элементов сечением 180(н) × 100 мм и длиной 2000 мм (расчетная длина 1800 мм), отличающиеся классом бетона и процентом армирования.

Рабочая (растянутая) арматура класса А500 размещалась в нижней части сечения и была представлена, в зависимости от серии, в виде двух стержней диаметром 12 и 16 мм соответственно. Сжатая арматура размещалась в верхней части сечения и была представлена в виде двух стержней диаметром 6 мм класса А500 для всех рассматриваемых образцов.

Поперечное армирование выполнялось из арматуры класса А500 диаметром 6 мм в виде гнутых хомутов с шагом 75 мм в крайних третях балки

и 150 мм в ее центральной части. Характеристики образцов представлены в табл. 1. Схема армирования образцов представлена на рис. 2.



Рис. 1. Фотография установки для проведения натурного эксперимента  
Fig. 1. Photo of the setup for conducting a full-scale experiment

Характеристики испытываемых образцов

Таблица 1

Characteristics of the tested samples

Table 1

№	Маркировка образца (серия)	Ø арматуры, мм		Класс бетона	Кол-во, шт.
		растянутой (Ø s)	сжатой (Ø 's)		
1	Ш16-B25	2 Ø 16	2 Ø 6	B25	4
2	Ш12-B25	2 Ø 12			4
3	Ш16-B30	2 Ø 16		B30	4
4	Ш12-B30	2 Ø 12			4

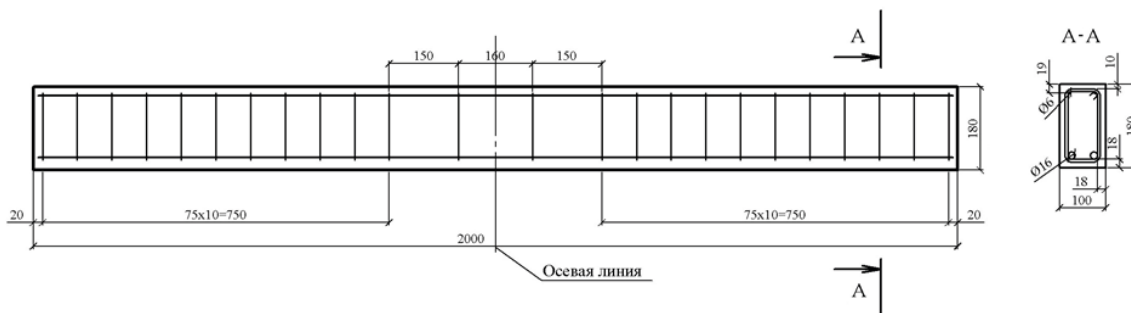


Рис. 2. Схема армирования балок  
Fig. 2. Beam reinforcement scheme

В центральном сечении и в дополнительном сечении в 150 мм от центрального измерялись относительные деформации бетона и рабочей арматуры с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,001 мм, расположенных на специально установленных закладных деталях, путем установки тензорезисторов, а также с применением датчиков напряжения [20, 21], размещаемых в сжатой зоне бетона балок.

Также при проведении эксперимента определялись прогибы изгибаемого элемента в 7 точках по его длине, в том числе на опорах и в центральной части сечения. Определение прогибов производилось с применением индикаторов часового типа с ценой деления 0,001 мм, а также с применением потенциометров с чувствительностью, равной 0,005 мм.

**Результаты экспериментальных исследований**

Сравнение экспериментально полученных данных по несущей способности с расчетными показывает удовлетворительную сходимость по предельному разрушающему моменту (от 1 до 5 %) в случае применения в расчете характеристик, полученных при испытании материалов:  $R_s = \sigma_r$ ;  $R_b = B$ ;  $A_s = A_{s\text{ эксп.}}$  (табл. 2). В случае применения расчетных характеристик материалов с нормируемым коэффициентом надежности по арматуре и бетону, запасы по прочности составляют от 18 до 25 % (табл. 2). На рис. 3 показан опытный образец после испытаний.

**Метод определения напряженно-деформированного состояния сечения с учетом изменения положения нейтральной оси**

Для выявления безопасных границ особого предельного состояния важным является изучение механизма работы сечения изгибаемого элемента не только на стадии деформирования до максимальной несущей

способности, но и за ее пределами, на стадии разрушения. Одним из наиболее значимых параметров механизма разрушения железобетонного элемента является изменение высоты сжатой зоны сечения, происходящее на разных этапах его загрузки как при росте воспринимаемой нагрузки, так и на стадии ее снижения, происходящее за счет выключения из работы (разрушения) наиболее сжатых слоев бетона. Авторами предложена методика расчета, позволяющая учитывать изменение высоты сечения конструктивного элемента во время деформирования с учетом изменения положения нейтральной оси.

Для определения сходимости математической (аналитической) модели, изменения нейтральной оси, а также изменения высоты сжатой зоны бетона с экспериментальными данными рассматривался цикл нагружения конструктивного элемента от  $M = 0,8 M_{ult}$  до  $M = M_{ult}$ , исходя из того, что высота сечения  $h$  при  $M_{ult}$  равняется начальной высоте сечения ( $h = const$ ).

Прочность нормальных сечений железобетонных элементов обеспечена, если выполняются условия равновесия внешних и внутренних сил. Внутренние усилия определялись по нормальным напряжениям в сечении, возникающим от изгибающего момента  $M$ , находящегося в сечении (рис. 4). Согласно рис. 4, поперечное сечение разделяется на малые участки, при этом напряжения в пределах малых участков принимают равномерно распределенными (усредненными). Для бетона внутренние усилия определяются путем численного интегрирования напряжений по нормальному сечению. Таким образом, условие прочности будет состоять из уравнения равновесия проекции внутренних и внешних сил на нормаль к плоскости рассматриваемого сечения  $\Sigma N = 0$  и уравнений равновесия изгибающих моментов внешних и внутренних усилий в плоскости оси  $X - \Sigma M_x = 0$ .

Таблица 2

Сводная таблица результатов экспериментальной работы по  $M_{ult}$

Table 2

Summary table of the results of experimental work for  $M_{ult}$

Марка образца	Класс бетона	$M_{ult}$ эксп., кг×м	$M_{ult}$ расч. реальные хар. матер., кг×м ( $R_{cs} = 400$ МПа)	$M_{ult}$ эксп./ $M_{ult}$ расч. реальные хар. матер.	$M_{ult}$ расч. расч. хар., кг×м	$M_{ult}$ эксп./ $M_{ult}$ расч. расч. хар.
Ш12-2	B30	1901,6	1841	1,033	1532	1,241
Ш12-4	B25	1833,2	1787	1,026	1490	1,230
Ш12-6	B25	1854,0	1797	1,032	1490	1,244

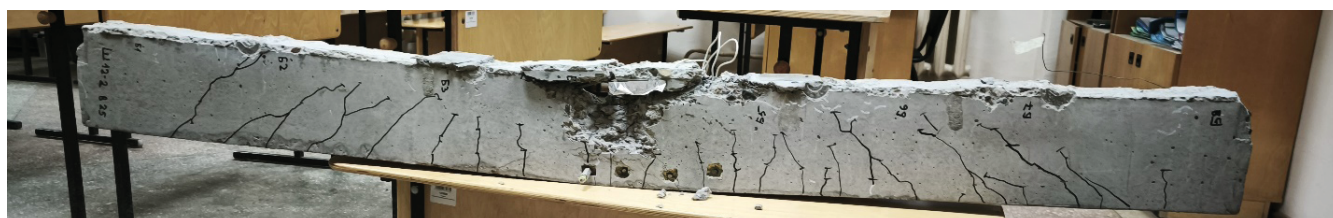


Рис. 3. Фотография конструктивного элемента после завершения испытания  
Fig. 3. Photo of the structural element after the test completion

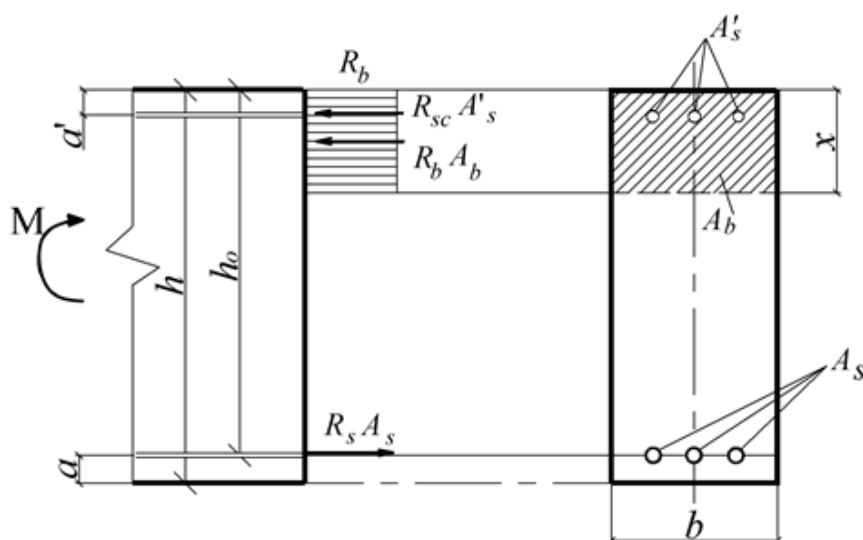


Рис. 4. Расчетная схема нормального сечения изгибаемого элемента  
 Fig. 4. Calculation scheme of the normal section of a bending element

Очевидно, что на стадиях деформирования изгибаемого элемента от  $M = 0$  до  $M = M_{ult}$  выполняется условие:

$$M_{вн.сил} = M_b + M_{bt} + M_s + M_{sc}$$

при соблюдении уравнения равновесия  $N_b = N_s$ .

Ввиду наличия на рассматриваемой стадии нагружения поперечных трещин в растянутой зоне бетона, для упрощения расчета примем значение момента растянутой зоны бетона равным нулю ( $M_{bt} = 0$ ).

Для простоты вычислений, составив уравнение моментов относительно середины сечения изгибаемого элемента ( $\frac{h}{2}$ ), получаем следующее:

$$M_{вн.сил} = R_s \times A_s \times (\frac{h}{2} - a) + R_b \times x \times b \times (\frac{h}{2} - \frac{x}{2}) + R_{sc} \times A_{sc} \times (\frac{h}{2} - a')$$

Определим  $R_s$  через сумму моментов бетона и арматуры относительно центра сечения:

$$\frac{M_{вн.сил} - R_b \times x \times b \times (\frac{h}{2} - \frac{x}{2}) - R_{sc} \times A_{sc} \times (\frac{h}{2} - a')}{(\frac{h}{2} - a)} = R_s \times A_s$$

Представим  $R_s = E_s \times \epsilon_s$ , тогда

$$\sigma_s = E_s \times \epsilon_s \times A_s$$

Выразим напряжения, возникающие в бетоне:

$$M_{вн.сил} - \sigma_s \times (\frac{h}{2} - a) - R_{sc} \times A_{sc} \times (\frac{h}{2} - a') = R_b \times x \times b \times (\frac{h}{2} - \frac{x}{2})$$

Экспериментально получены значения относительных деформаций арматуры ( $\epsilon_s$ ) и ее площади, переменные  $R_s$  и  $A_s$  известны в каждый момент деформирования изгибаемого элемента.

Задавая известные значение  $R_s$  и  $\epsilon_s$ , исходя из уравнения равновесия, методом перебора определим высоту сжатой зоны  $x$ , положение нейтральной оси (пример фрагмента визуализированной эпюры напряжений бетона (образец Ш12-6)) при  $M = M_{ult}$  представлен на рис. 5.

Максимально достигаемые крайевые деформации  $\epsilon_b$  и  $\epsilon_{sc}$ , соответствующие деформациям бетона данного слоя на интересующей стадии деформирования изгибаемого элемента, определялись с применением трехлинейной диаграммы деформирования бетона.

Алгоритм проведения расчета представлен на рис. 6.

Пример графика « $M/M_{ult} - f/l$ » для образца Ш12-6 представлен на рис. 7.

Напряжения, возникающие в арматурных стержнях, определялись исходя из экспериментально полученных зависимостей « $\sigma_s - \epsilon_s$ » арматуры опытных балок.

Учитывалось, что после достижения арматурой относительных деформаций, равных пределу текучести, напряжения в арматуре будут приниматься  $\sigma_s = \sigma_{ст}$ .

Применение такого подхода, в отличие от расчета с изначально заданным значением  $\epsilon_{b2} = \epsilon_{built}$  (принималось равным 0,0035), позволяет получить сходимость аналитической модели и экспериментальных данных как по значению высоты сжатой зоны, так и по достигаемым относительным деформациям арматуры ( $\epsilon_s$ ) с погрешностями до 3–5 % в зависимости от стадии деформирования (табл. 3).

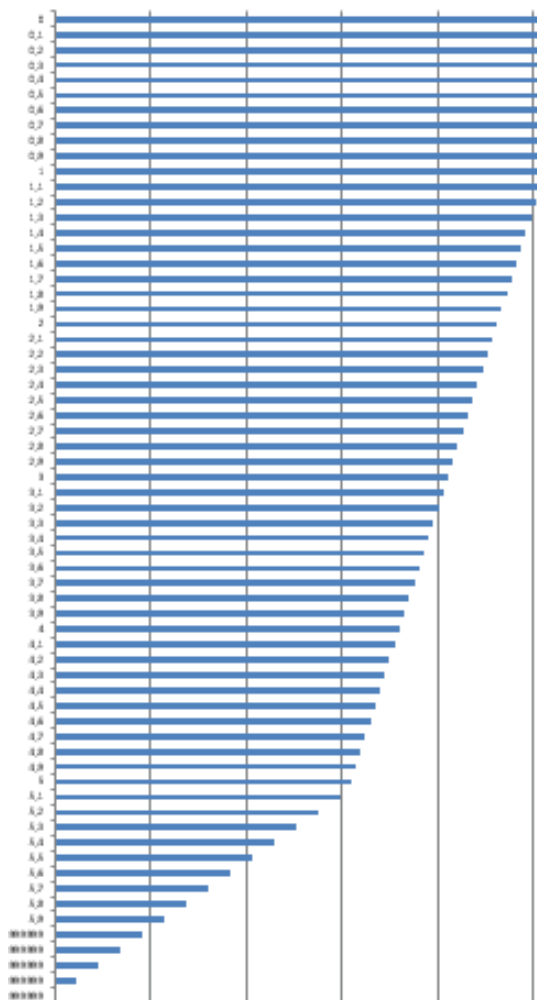


Рис. 5. Пример визуализированного фрагмента эпюры усилий в бетоне сжатой зоны (образец Ш12-6) при  $M = M_{ult}$   
 Fig. 5. Illustration of a visualized fragment of the stress diagram in concrete in the compressed zone (sample Sh12-6) at  $M = M_{ult}$

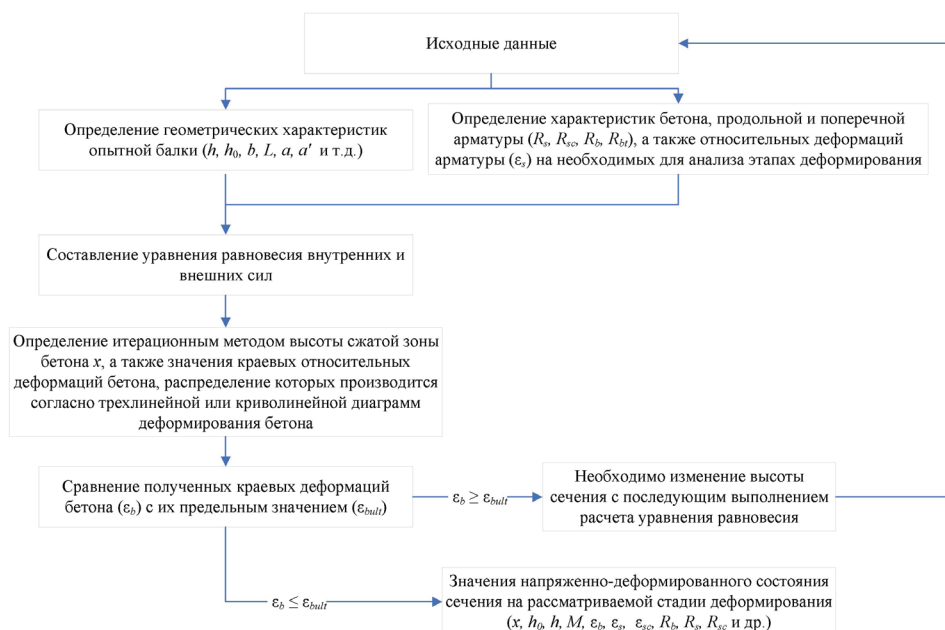


Рис. 6. Алгоритм проведения расчетов по методике, основанной на уравнении равновесия внешних и внутренних сил  
 Fig. 6. Algorithm for calculations performing using a method based on the equation of equilibrium of external and internal forces

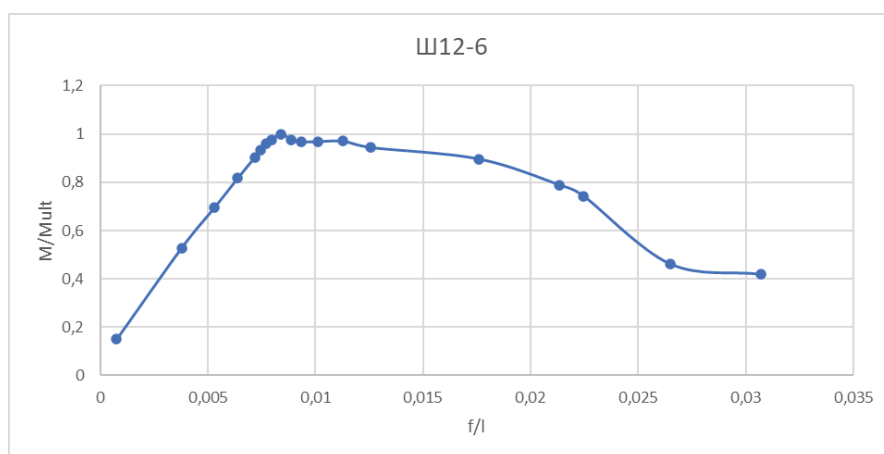


Рис. 7. График «M/M<sub>ult</sub> – f/l» для образца Ш12-6 (где f – прогиб, l – расчетная длина изгибаемого элемента)  
 Fig. 7. “M/M<sub>ult</sub> – f/l” diagram for sample Sh12-6 (where f is the deflection, l is the calculated length of the bending element)

Результаты сходимости моментов, действующих в сечении изгибаемого элемента, на разных этапах деформирования по аналитической модели и экспериментальных данных на примере образца Ш12-6

Таблица 3

Table 3

Convergence results of the moments acting in the section of the bent element at different stages of deformation according to the analytical model and experimental data on the sample Sh12-6

M <sub>экс.</sub> , КГ×М	M/M <sub>max</sub>	ε <sub>S</sub> среднее	X <sub>расч.</sub> , СМ	M <sub>расч.</sub> , КГ×М	M <sub>экс.</sub> /M <sub>расч.</sub>
1516	0,82	0,002545	6,41	1542	0,983
1676	0,90	0,002837	6,55	1704	0,984
1854	1,00	0,003450	6,40	1797	1,032

В случае превышения краевыми деформациями бетона их предельного значения ( $\epsilon_b \geq \epsilon_{built}$ ), сжатый слой бетона, в котором возникли данные деформации, следует считать разрушенным и не учитывать в расчете, тем самым уменьшая высоту сечения конструктивного элемента. Производится определение высоты сечения ( $h_{i+1}$ ), а также рабочей высоты сечения ( $h_0$ ) без учета разрушенной части сечения, после чего из уравнения равновесия повторно определяются характеристики напряженно-деформированного состояния сечения, включая значение высоты сжатой зоны бетона ( $x$ ), а также положения нейтральной оси (более подробно будет представлено в последующих работах авторов).

**Выводы**

Авторами разработана и представлена для обсуждения методика определения напряженно-деформированного состояния конструкции на различных этапах нагружения, основанная на уравнении равновесия внешних и внутренних сил, действующих в сечении железобетонного элемента с учетом изменения положения нейтральной оси.

Предложенная методика расчета позволяет производить расчет на стадии снижения несущей способности изгибаемого элемента, так как дает возможность

итерационным методом определять высоту сечения изгибаемого элемента, его сжатой зоны (положение нейтральной оси), а соответственно, и напряжений в бетоне, что особенно важно в условиях уменьшения высоты сечения вследствие послойного разрушения бетона сжатой зоны. Уменьшение высоты сечения производится на основании превышения относительными деформациями бетона их предельного значения, равного  $\epsilon_b \geq \epsilon_{built}$ .

В публикации приводится анализ полученных расчетных и экспериментальных значений относительных деформаций бетона и арматуры, а также изгибающих моментов, определенных на стадиях деформирования от  $M = 0,8 M_{ult}$  до  $M = M_{ult}$ , исходя из предпосылок, что высота сечения  $h$  при  $M_{ult}$  равняется начальной высоте сечения ( $h = const$ ).

Применение предложенного авторами подхода на рассматриваемых стадиях нагружения позволяет получить сходимость аналитической модели и экспериментальных данных как по значению высоты сжатой зоны, так и по достигаемым относительным деформациям арматуры ( $\epsilon_s$ ) с погрешностями до 3–5 %.

Результаты анализа стадии разупрочнения, полученные в ходе экспериментальной работы, проводимые, в том числе, на основании представленной методики, из-за ограниченного объема публикации

не могут быть представлены в одной статье и будут опубликованы в последующих работах авторов.

Повышению сходимости экспериментальных и теоретических данных будет способствовать применение в рассматриваемой аналитической модели криволинейной диаграммы деформирования бетона.

#### Список литературы

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ [интернет]. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=475858>.
2. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения (с Изменением № 1). Москва: Стандартинформ, 2015.
3. СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения (с Изменениями № 1–4). Москва: Стандартинформ, 2018.
4. СП 296.1325800.2017. Здания и сооружения. Особые воздействия (с Изменениями № 1, 2). Москва: Стандартинформ, 2017.
5. Келасьев Н.Г., Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Леонтьев Е.В., Терехов И.А., Шмаков С.Д. Конструктивные решения защиты одноэтажных каркасных зданий от прогрессирующего обрушения // *Промышленное и гражданское строительство*. 2021. № 3. С. 17–22. DOI: <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2021.03.17-22>. EDN: HZUMIM.
6. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Келасьев Н.Г., Терехов И.А. Введение в проектирование технически сложных зданий и сооружений. Москва: Издательство АСВ, 2022. 294 с.
7. Trekin N.N., Kodysh E.N., Kelasiev N.G., Shmakov S.D., Terehov I.A., Chaganov A.B. The improvement of protection methods from the progressive collapse of one-storey industrial buildings. *Journal of Physics: Conference Series: International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019, MMSA 2019, Moscow, November 13–15, 2019*. Vol. 1425. Moscow: Institute of Physics Publishing, 2020, p. 012050. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1425/1/012050>. EDN: PULCSK.
8. Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Шмаков С.Д., Чаганов А.Б., Черепанов А.В., Гончарук И.В. Деформирование железобетонных изгибаемых элементов в стадии разрушения // *Промышленное и гражданское строительство*. 2024. № 6. С. 33–39. DOI: <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2024.06.33-39>. EDN: LRZBWW.
9. Trekin N.N., Kodysh E.N., Shmakov S.D., Terehov I.A., Kudyakov K.L. Determination of the criteria of deformation in a special limiting state. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2021, vol. 17, no. 1, pp. 108–116. DOI: <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2021-17-1-108-116>. EDN: EZKHRK.
10. Плотников А.И. Динамика упругопластичности железобетонных балок при действии интенсивных кратковременных нагрузок аварийного характера [диссертация]. Москва, 1994. 375 с.
11. Гуца Ю.П. Исследование изгибаемых железобетонных элементов при работе стержневой арматуры в упругопластической стадии [диссертация]. Москва, 1967. 142 с.
12. Тамов М.А. Исследование железобетонных изгибаемых конструкций, армированных сталями повышенной прочности, при кратковременном динамическом нагружении [диссертация]. Москва, 1981. 150 с.
13. Зенин С.А. Экспериментальные исследования прочности изгибаемых железобетонных элементов с обжимными муфтовыми соединениями арматуры // *Бетон и железобетон*. 2024. № 3 (622). С. 5–12. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-3\(622\)-5-12](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-3(622)-5-12). EDN: AICXBU.
14. Белостоцкий А.М., Карпенко Н.И., Акимов П.А., Сидоров В.Н., Карпенко С.Н., Петров А.Н., Кайтуков Т.Б., Харитонов В.А. О методах расчета напряженно-деформированного состояния и на устойчивость к прогрессирующему обрушению пространственных плитнооболочечных железобетонных конструкций с учетом физической нелинейности, трещинообразования и приобретаемой анизотропии // *Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций*. 2018. № 2 (14). С. 30–47. DOI: <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2018-14-2-30-47>. EDN: XWXBWP.
15. Колчунов В.И., Бушова О.Б. Деформирование железобетонных конструкций каркасов многоэтажных зданий в запредельных состояниях при особых воздействиях // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2022. № 4 (18). С. 297–306. DOI: <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2022-18-4-297-306>.
16. Савин С.Ю., Федорова Н.В., Колчунов В.И. Устойчивость железобетонных каркасов зданий в запредельных состояниях // *Academia. Архитектура и строительство*. 2023. № 4. С. 127–137. DOI: <https://doi.org/10.22337/2077-9038-4-127-137>. EDN: DCUCJI.
17. Травуш В.И., Колчунов В.И., Ключева Н.В. Некоторые направления развития теории живучести конструктивных систем зданий и сооружений // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 3. С. 4–11. EDN: TOBVVD.
18. Травуш В.И., Федорова Н.В. Живучесть конструктивных систем сооружений при особых воздействиях // *Инженерно-строительный журнал*. 2018. № 5. С. 73–80. DOI: <https://doi.org/10.18720/MCE.81.8>.

19. Зенин С.А. К вопросу расчета железобетонных конструкций на действие изгибающих моментов, продольных и поперечных сил по СП 63.13330.2018 // *Бетон и железобетон*. 2023. № 2 (616). С. 50–55. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2\(616\)-50-55](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2(616)-50-55). EDN: CCTIYB.
20. Трекин Н.Н., Авдеев К.В., Кодыш В.Э., Шмаков С.Д., Черепанов А.В., Тучин М.А., Чаганов А.Б. Разработка датчика для определения напряжений внутри железобетонных конструкций. Часть 2 // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2023. № 5. С. 40–52. DOI: <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-5-40-52>. EDN: IUBQUV.
21. Трекин Н.Н., Авдеев К.В., Кодыш В.Э., Шмаков С.Д., Черепанов А.В., Тучин М.А., Чаганов А.Б. Разработка датчика для определения напряжений внутри железобетонных конструкций. Часть 1 // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2023. № 4. С. 45–58. DOI: <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-4-45-58>. EDN: IQQVOW.

#### References

1. Federal Law No. 384-FZ of 30.12.2009 “Technical regulations on the safety of buildings and structures” [internet]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=475858>. (In Russian).
2. State Standard 27751-2014. Reliability for constructions and foundations. General principles (with Amendments No. 1). Moscow: Standartinform Publ., 2015. (In Russian).
3. SP 385.1325800.2018, Protection of buildings and structures against progressive collapse. Design code. Basic statements (with Amendments No. 1–4). Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
4. SP 296.1325800.2017. Buildings and structures. Accidental actions (with Amendments No. 1, 2). Moscow: Standartinform Publ., 2017. (In Russian).
5. Kelasyev N.G., Trekin N.N., Kodysh E.N., Leont'yev E.V., Terekhov I.A., Shmakov S.D. Structural solutions for protecting one-story frame buildings from progressive collapse. *Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering*. 2021, no. 3, pp. 17–22. DOI: <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2021.03.17-22>. EDN: HZUMIM. (In Russian).
6. Kodysh E.N., Trekin N.N., Kelasyev N.G., Terekhov I.A. Introduction to the design of technically complex buildings and structures. Moscow: ASV Publishing House, 2022, 294 p. (In Russian).
7. Trekin N.N., Kodysh E.N., Kelasiev N.G., Shmakov S.D., Terekhov I.A., Chaganov A.B. The improvement of protection methods from the progressive collapse of one-storey industrial buildings. *Journal of Physics: Conference Series: International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019, MMSA 2019*, Moscow, November 13–15, 2019. Vol. 1425. Moscow: Institute of Physics Publishing, 2020, p. 012050. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1425/1/012050>. EDN: PULCCK.
8. Trekin N.N., Kodysh E.N., Shmakov S.D., Chaganov A.B., Cherepanov A.V., Goncharuk I.V. Deformation of reinforced concrete bendable elements at the stage of destruction. *Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering*. 2024, no. 6, pp. 33–39. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2024.06.33-39>. EDN: LRZBWW.
9. Trekin N.N., Kodysh E.N., Shmakov S.D., Terekhov I.A., Kudyakov K.L. Determination of the criteria of deformation in a special limiting state. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2021, vol. 17, no. 1, pp. 108–116. DOI: <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2021-17-1-108-116>. EDN: EZKHRK.
10. Plotnikov A.I. Dynamics of elastic-plastic reinforced concrete beams under the action of intense short-term emergency loads [dissertation]. Moscow, 1994, 375 p. (In Russian).
11. Guscha Yu.P. Study of bending reinforced concrete elements during the operation of rod reinforcement in the elastic-plastic stage [dissertation]. Moscow, 1967, 142 p. (In Russian).
12. Tamov M.A. Study of reinforced concrete bendable structures reinforced with high-strength steels under short-term dynamic loading [dissertation]. Moscow, 1981, 150 p. (In Russian).
13. Zenin S.A. Experimental studies of the strength of bent reinforced concrete elements with crimp couplings of reinforcement. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete*. 2024, no. 3 (622), pp. 5–12. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-3\(622\)-5-12](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-3(622)-5-12). EDN: AICXBU.
14. Belostotsky A.M., Karpenko N.I., Akimov P.A., Sidorov V.N., Karpenko S.N., Petrov A.N., Kaytukov T.B., Kharitonov V.A. About development of methods of analysis and assessment of vulnerability of spatial plate-shell reinforced concrete structures with allowance for physical non-linearities, crack formation and induced anisotropy. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2018, no. 2 (14), pp. 30–47. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2018-14-2-30-47>. EDN: XWXBWP.
15. Kolchunov V.I., Bushova O.B. Deformation of reinforced concrete frames of multi-storey buildings in extreme conditions under special influences. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2022, no. 4 (18), pp. 297–306. DOI: <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2022-18-4-297-306>. (In Russian).
16. Savin S.Y., Fedorova N.V., Kolchunov V.I. Stability

- analysis of reinforced concrete building frames under ultimate states. *Academia. Architecture and construction*. 2023, no. 4, pp. 127–137. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.22337/2077-9038-4-127-137>. EDN: DCUCJL.
17. Travush V.I., Kolchunov V.I., Klyueva N.V. Some directions of development of survivability theory of structural systems of buildings and structures. *Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering*. 2015, no. 3, pp. 4–11. (In Russian). EDN: TOBVVD.
  18. Travush V.I., Fedorova N.V. Survivability of structural systems of buildings with special effects. *Magazine of Civil Engineering*. 2018, no. 5, pp. 73–80. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.18720/MCE.81.8>.
  19. Zenin S.A. On the issue of calculations of reinforced concrete structures under the action of bending moments, longitudinal and transverse forces according to SP 63.13330.2018. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete*. 2023, no. 2 (616), pp. 50–55. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2\(616\)-50-55](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2(616)-50-55). EDN: CCTIYB.
  20. Trekin N.N., Avdeev K.V., Kodysh V.E., Shmakov S.D., Cherepanov A.V., Tuchin M.A., Chaganov A.B. Development of a sensor for determining stresses inside reinforced concrete structures. Part 2. *Seismostoiikoe Stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety*. 2023, no. 5, pp. 40–52. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-5-40-52>. EDN: IUBQUV.
  21. Trekin N.N., Avdeev K.V., Kodysh V.E., Shmakov S.D., Cherepanov A.V., Tuchin M.A., Chaganov A.B. Development of a sensor for determining stresses inside reinforced concrete structures. Part 1. *Seismostoiikoe Stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety*. 2023, no. 4, pp. 45–58. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-4-45-58>. EDN: IQQVOW.

#### Информация об авторах / Information about the authors

**Николай Николаевич Трекин**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры железобетонных конструкций, НИУ МГСУ; заместитель генерального директора по науке, АО «ЦНИИПромзданий», Москва  
e-mail: [nik-trekin@yandex.ru](mailto:nik-trekin@yandex.ru)

**Nikolai N. Trekin**, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Reinforced Concrete Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University); Deputy Director General for Science, TsNIIPromzdaniy JSC, Moscow

**Эмиль Наумович Кодыш**, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, АО «ЦНИИПромзданий», Москва  
e-mail: [otks@yandex.ru](mailto:otks@yandex.ru)

**Emil N. Kodysh**, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Chief Researcher, TsNIIPromzdaniy JSC, Moscow  
e-mail: [otks@yandex.ru](mailto:otks@yandex.ru)

**Сергей Дмитриевич Шмаков**✉, аспирант, АО «ЦНИИПромзданий»; доцент кафедры СКЗиС, РУТ (МИИТ), Москва  
e-mail: [sergey3456789@gmail.com](mailto:sergey3456789@gmail.com)

**Sergei D. Shmakov**✉, Graduate Student, TsNIIPromzdaniy JSC; Associate Professor of the Department of Civil Engineering and Architecture, Russian University of Transport (MIIT), Moscow  
e-mail: [sergey3456789@gmail.com](mailto:sergey3456789@gmail.com)

**Дмитрий Петрович Лелетко**, заведующий сектором, АО «ЦНИИПромзданий», Москва  
e-mail: [otks@yandex.ru](mailto:otks@yandex.ru)

**Dmitry P. Leletko**, Head of the Sector, TsNIIPromzdaniy JSC, Moscow  
e-mail: [otks@yandex.ru](mailto:otks@yandex.ru)

**Алексей Борисович Чаганов**, канд. техн. наук, заведующий кафедрой строительного производства, ВятГУ, Киров  
e-mail: [chabpilot@yandex.ru](mailto:chabpilot@yandex.ru)

**Alexey B. Chaganov**, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Department of Construction Production, Vyatka State University, Kirov  
e-mail: [chabpilot@yandex.ru](mailto:chabpilot@yandex.ru)

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

УДК 69.056.6

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-42-49](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-42-49)**А.А. БЕСПАЕВ<sup>1,✉</sup>, И.Д. ТЕШЕВ<sup>2</sup>, Е.К. БЕКБАЕВ<sup>1</sup>**<sup>1</sup> АО «КазНИИСА», 3 микрорайон, д. 44А, г. Алматы, 050062, Республика Казахстан<sup>2</sup> МХ «Инжиниринг». Алматы, Республика Казахстан

# ПРОЧНОСТЬ ОБЪЕМНО–БЛОЧНЫХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАГРУЗКАХ

## Аннотация

*Введение.* Развитие крупных городов Республики Казахстан сопровождается возведением многоэтажных зданий из объемных блоков, при котором основные строительные процессы выполняются в заводских условиях, что обеспечивает автоматизацию производства, повышает его качество, сокращает сроки и сезонность работ, обеспечивает возможность применения эффективных строительных материалов, снижает стоимость строительства. В городе Астане построен завод объемно-блочного домостроения, выпускающий объемные блоки типа «лежачий стакан», на котором выполняется проверка основных типов объемных блоков для различных конструктивных решений зданий.

*Цель.* Проверка основных типов объемных блоков на действие вертикальных и горизонтальных нагрузок.

*Материалы и методы.* Испытания объемных блоков проводились на испытательном стенде, представляющем собой жесткую стержневую систему из переставных вертикальных и горизонтальных рам. Нагружение объемных блоков осуществлялось с помощью гидравлических домкратов мощностью по 200 тс через распределительную железобетонную плиту. В процессе испытаний замерялись сжимающие деформации бетона с помощью вертикальных тензодатчиков с базой 50 мм, горизонтальные и вертикальные перемещения стен и перекрытий – с помощью цифровых прогибомеров ПА0-6, а также ширина раскрытия трещин – с помощью микроскопа МПБ-3.

*Результаты.* В статье представлены результаты экс-

периментальных исследований напряженно-деформированного состояния натуральных объемных блоков типа «лежачий стакан» при совместном действии вертикальных и горизонтальных нагрузок, описаны последовательность образования и раскрытия трещин, распределение продольных деформаций и напряжений бетона по периметру стен, эпюры горизонтальных перемещений стен из плоскости, характер разрушения, а также даны рекомендации по ограничению этажности зданий.

**Ключевые слова:** трещиностойкость, деформации, напряжения, бетон, горизонтальные перемещения стен, прочность, объемные блоки

**Для цитирования:** Беспаяев А.А., Тешев И.Д., Бекбаев Е.К. Прочность объемно-блочных многоэтажных зданий при горизонтальных нагрузках // *Бетон и железобетон*. 2025. № 5 (630). С. 42–49. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-42-49](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-42-49). EDN: ZRDVPL

## Вклад авторов

Беспаяев А.А. – руководство проектом.

Тешев И.Д., Бекбаев Е.К. – испытания и камеральная обработка данных.

## Финансирование

Договор на научные исследования № 3.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Поступила в редакцию 21.05.2025*

*Поступила после рецензирования 18.08.2025*

*Принята к публикации 21.08.2025*

A.A. BESPÆEV<sup>1,✉</sup>, I.D. TESHEV<sup>2</sup>, E.K. BEKBAEV<sup>1</sup>

<sup>1</sup> KazNIISA JSC, 3rd Microdistrict, 44A, Almaty, 050062, Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup> MX "Engineering". Almaty, Republic of Kazakhstan

# STRENGTH OF VOLUMETRIC-BLOCK MULTI-STOREY BUILDINGS UNDER HORIZONTAL LOADS

## Abstract

**Introduction.** The development of large cities in the Republic of Kazakhstan is accompanied by the construction of multi-storey buildings from bulk blocks, in which the main construction processes are carried out in factory conditions, which ensures automation of production, improves its quality, reduces the timing and seasonality of work, provides the possibility of using effective building materials, reduces the cost of construction. A volumetric-block housing construction plant has been built in Astana, producing volumetric blocks of the "recumbent glass" type, that checks the main types of volumetric blocks for various structural solutions of buildings.

**Aim.** Checking the main types of volumetric blocks for vertical and horizontal loads.

**Materials and methods.** The volumetric blocks were tested on a test bench, which is a rigid rod system of adjustable vertical and horizontal frames. The volumetric blocks were loaded using hydraulic jacks with a capacity of 200 tons each through a reinforced concrete distribution plate. During the tests, compressive deformations of concrete were measured using vertical strain gauges with a base of 50 mm, horizontal and vertical movements of walls and floors using digital deflection meters PA0-6, as well as crack opening width using an MPB-3 microscope.

**Results.** The article presents the results of experimental studies of the stress-strain state of full-scale volumetric blocks of the "recumbent glass" type under the combined action of vertical and horizontal loads, describes the

sequence of formation and opening of cracks, the distribution of longitudinal deformations and stresses of concrete along the perimeter of walls, diagrams of horizontal movements of walls from the plane, the nature of destruction, and recommendations for limiting the number of buildings floors.

**Keywords:** crack resistance, deformations, stresses, concrete, horizontal wall movements, strength, bulk blocks

**For citation:** Bospaev A.A., Teshev I.D., Bekbaev E.K. Strength of volumetric-block multi-storey buildings under horizontal loads. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 5 (630), pp. 42–49. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-42-49](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-42-49). EDN: ZRDVPL

## Authors contribution statement

Bospaev A.A. – project management.

Teshev I.D., Bekbaev E.K. – testing and desk data processing.

## Funding

Research Agreement No. 3.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 21.05.2025

Revised 18.08.2025

Accepted 21.08.2025

В конце пятидесятых годов в Советском Союзе началось проектирование и строительство многоэтажных жилых зданий из железобетонных объемных блоков. Преимущества объемно-блочного строительства заключаются в переносе основных строительных процессов в заводские условия, что позволяет повысить качество строительства, автоматизировать производство, применять эффективные строительные материалы, снижает влияние сезонности работ, резко сокращает сроки строительства, существенно снижает стоимость строительства. Основные особенности объемно-блочных зданий связаны с повышенной гибкостью стеновых элементов, что сопровождается ранней потерей устойчивости стен. К недостаткам объемно-блочного домостроения следует отнести ограниченный объем экспериментально-теоретических исследований таких конструктивных систем. В городе Астане (Республика Казахстан) построен домостроительный завод «ModeX Astana», который изготавливает железобетонные объемные блоки типа «лежачий стакан» увеличенных размеров. Здание монтируется из столбов объемных модулей, опирающихся друг на друга через слой раствора. В процессе освоения технологии на заводе проведены контрольные испытания основных несущих конструкций объемно-блочных многоэтажных зданий, позволяющие совершенствовать технологию их изготовления и конструктивное решение с учетом применения современных материалов.

В статье приводятся результаты испытаний натурных объемных блоков, различающихся видом и прочностью бетона их армирования, позволяющие изучить особенности поведения объемных блоков при действии вертикальных и горизонтальных нагрузок.

Опытные образцы объемных блоков имели две боковые стены ребристой конструкции со стенкой толщиной 50 мм и ребрами высотой 100 мм, а также торцевую плоскую стену толщиной 100 мм. Плита пола объемного блока ребристая с полкой толщиной 80 мм и ребрами высотой 170 мм. Плита потолка объемного блока плоская со сбежкой толщиной 80–97 мм. Объемные блоки армированы пространственными каркасами и арматурными сетками из холоднотянутой проволоки  $\varnothing$  4–5 мм класса Y500C, объединенными в единый пространственный блок, а также дополнительной стержневой арматурой  $\varnothing$  12 S500. Наружные вставные стеновые панели многослойные, с несущим слоем из бетона, эффективным утеплителем и облицовочным слоем устанавливаются в виде фасадной системы.

Испытания объемных блоков проводились на испытательном стенде, представляющем собой жесткую стержневую систему из переставных вертикальных и горизонтальных рам. Нагружение объемных блоков осуществлялось с помощью гидравлических домкратов мощностью по 200 тс через распределительную железобетонную плиту. В процессе испытаний замерялись сжимающие деформации бетона с помощью вертикальных тензодатчиков с базой 50 мм, горизонтальные и вертикальные перемещения стен и перекрытий – с помощью цифровых прогибомеров ПА0-6, а также ширина раскрытия трещин – с помощью микроскопа МПБ-3.

Объемный блок № 1 изготовлен из керамзитобетона класса по прочности на осевое сжатие LC20/22 и марке по плотности D1800 с использованием дробленого керамзита и был испытан при равномерном сжатии объемного блока (рис. 1). При вертикальной нагрузке  $N = 728,4$  тс наблюдалось



**Рис. 1.** Общий вид испытательного стенда с объемным блоком (фото авторов)  
**Fig. 1.** General view of the test bench with a volumetric block (photo by the authors)

образование трещин по углам объемного блока, вертикальных трещин в перемычке над окном в стеновой панели и перемычке над дверным проемом в торцевой стене. При этом ширина раскрытия существующих технологических трещин увеличилась на 0,05 мм.

На рис. 2 представлена эпюра продольных деформаций бетона по периметру стен объемного блока при вертикальной нагрузке  $N = 829,86$  тс. Величина вертикальных деформаций по длине продольных стен находилась в пределах  $(26-61) \cdot 10^{-5}$  относительных единиц и в среднем составляла  $(42-53) \cdot 10^{-5}$  относительных единиц. Деформации бетона в торцевой стене и стеновой панели были почти на 20 % меньше. При этой нагрузке ширина раскрытия трещин в перемычках достигала величины 0,05–0,10 мм, а ширина раскрытия трещин в продольных стенах находилась в пределах 0,10–0,25 мм.

Разрушение объемного блока произошло при вертикальной нагрузке  $N = 1083,88$  тс, составляющей 76 % от разрушающей нагрузки, и вызывалось раздроблением верхней части продольной стены в зоне примыкания к стеновой панели при непрерывающемся росте горизонтальных деформаций стен из плоскости и образовании новых трещин. Ширина раскрытия трещин в перемычках достигала трещин 0,15–0,20 мм, а ширина раскрытия трещин в продольных стенах находилась в пределах 0,20–0,25 мм (рис. 3).

На рис. 4 представлены эпюры горизонтальных перемещений стен из плоскости объемного блока. Наибольшие перемещения верха продольных стен достигали 2,10–2,45 мм, перемещения торцевой стены составляли 3,08 мм, а стеновой панели – 4,24 мм. Увеличение перемещений практически линейно зави-

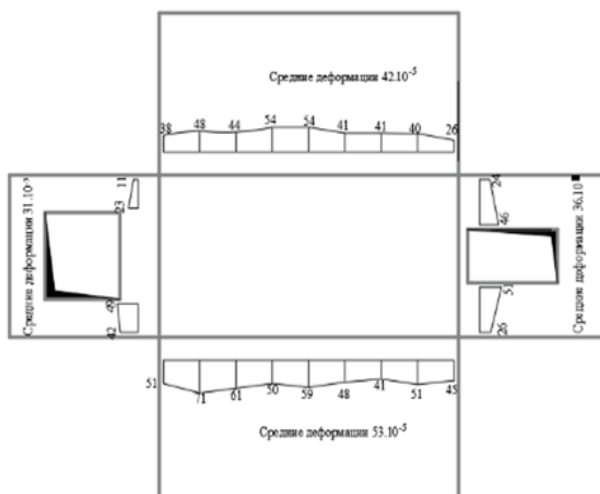


Рис. 2. Распределение деформаций сжатия бетона по периметру стен объемного блока № 1 при 76 % от разрушающей нагрузки

Fig. 2. Distribution of concrete compression deformations along the perimeter of the walls of volumetric block No. 1 at 76 % of the destructive load

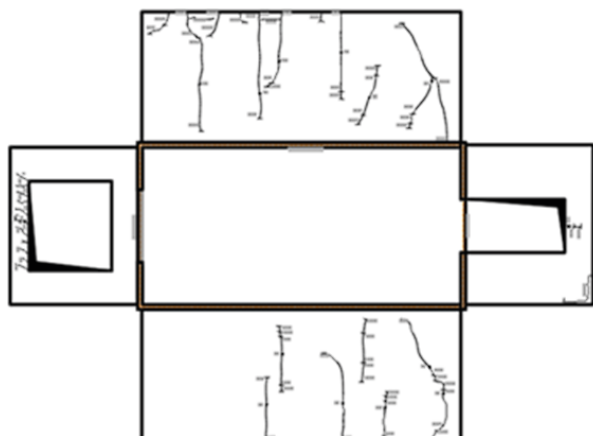


Рис. 3. Схема расположения трещин на развертке объемного блока № 1

Fig. 3. The layout of cracks on the sweep of volumetric block No. 1

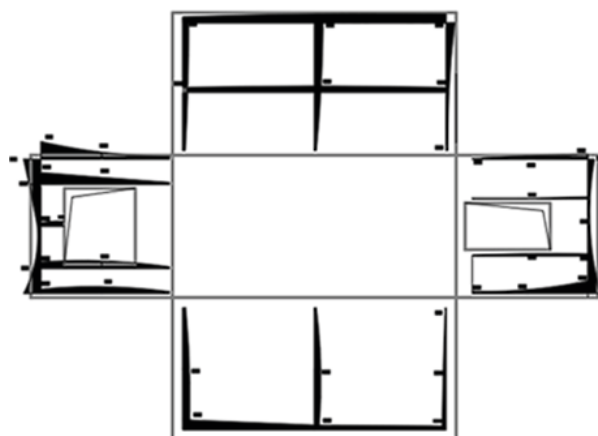


Рис. 4. Горизонтальные перемещения стен при разрушающей нагрузке

Fig. 4. Horizontal movement of walls under destructive load

село от вертикальной нагрузки, и лишь на последнем этапе нагружения наблюдалось резкое увеличение горизонтальных перемещений (депланация) стен (рис. 5). Средние сжимающие напряжения бетона в продольных стенах были равны 8,74 МПа, то есть составляли 43,7 % от прочности бетона. Средние сжимающие напряжения в бетоне продольных стен были равны 8,33 МПа, то есть составляли 41,7 % от прочности бетона. Опытная разрушающая нагрузка превышает контрольную разрушающую нагрузку для 16-этажных зданий в г. Астане на 4 %.

Испытание объемного блока № 2 проводилось при совместном действии вертикальных и горизонтальных нагрузок. Особое внимание заслуживают повышенные горизонтальные отклонения продольных стен, достигающие 2,32 мм, горизонтальные деформации торцевой стены достигали 1,06 мм, а стеновой панели – 0,38 мм. Вертикальные прогибы продольных стен составляли 2,68–3,06 мм, прогибы торцевой стены составляли 0,94 мм, прогибы стеновой панели – 0,8 мм. При этом не наблюдалось увеличения ширины раскрытия существующих трещин, за исключением продольной трещины в плите потолка с наклонными

трещинами на концах по линии излома прямоугольных плит, которая раскрылась до 0,30 мм (рис. 6).

При вертикальной нагрузке  $N = 782,72$  тс, составляющей 49 % от разрушающей нагрузки, новых трещин не появилось, а ширина раскрытия существующих трещин увеличилась только в плите потолка до 0,40 мм, продольные деформации бетона в стенах увеличились на  $(15-20) \cdot 10^{-5}$  относительных единиц. Горизонтальные отклонения продольных стен достигали 3,66–4,90 мм, горизонтальные перемещения стеновой панели увеличились до 1,22–1,32 мм, наибольшие горизонтальные отклонения торцевой стены увеличились до 0,92–1,40 мм. Вертикальные прогибы продольных стен составляли 6,46–6,54 мм, прогибы торцевой стены составляли 2,44 мм, а прогибы стеновой панели – 1,46 мм.

При вертикальной нагрузке  $N = 1166,6$  тс, составляющей 73 % от разрушающей нагрузки, существенного увеличения раскрытия существующих трещин не наблюдалось, за исключением увеличения трещины плиты потолка до 0,45 мм и в перемычках дверных проемов до 0,20–0,25 мм; продольные деформации бетона в стенах увеличились на  $(20-30) \cdot 10^{-5}$  относи-



Рис. 5. Повреждения участков сопряжения стен и плиты потолка  
Fig. 5. Damage of the wall and ceiling plate interface areas

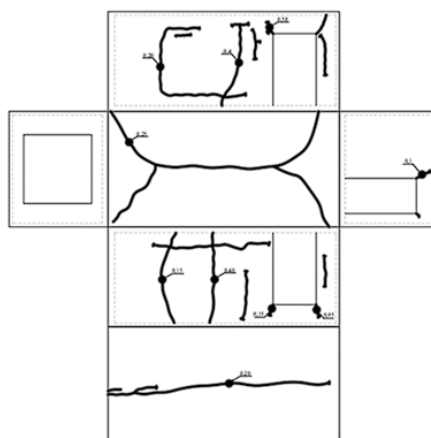


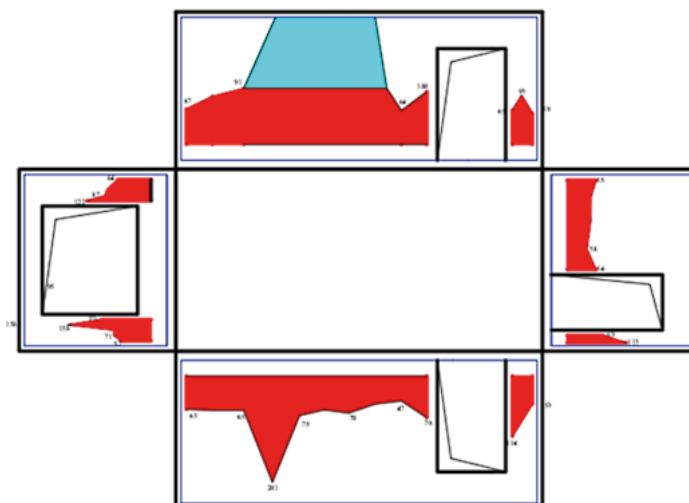
Рис. 6. Схема расположения трещин  
Fig. 6. The layout of cracks

тельных единиц, а горизонтальные отклонения продольных стен увеличились до 5,06–7,64 мм, горизонтальные перемещения стеновой панели увеличились до 2,48–2,84 мм, а наибольшие горизонтальные отклонения торцевой стены увеличились до 1,54–1,58 мм. Вертикальные прогибы продольных стен составляли 10,06–10,42 мм, прогибы торцевой стены составляли 3,6 мм, а прогибы стеновой панели – 3,94 мм (рис. 7).

При вертикальной нагрузке  $N = 1566,1$  тс, составляющей 98% от разрушающей нагрузки, ширина раскрытия трещин в плите потолка составляла 0,50 мм, в плитах пола трещины не увеличились и составляли 0,25 мм, а в перемычках дверных проемов составляли 0,30 мм; продольные деформации бетона в продольных стенах находились в пределах  $(70–114) \cdot 10^{-5}$  относительных единиц, в среднем составляя  $78 \times 10^{-5}$  относительных единиц; деформации бетона в зонах расположения каналов электропроводки увеличивались в 2,0–2,5 раза

по сравнению с окружающим бетоном; горизонтальные отклонения продольных стен увеличились до 6,7–10,5 мм, горизонтальные перемещения стеновой панели увеличились до 5,02 мм, наибольшие горизонтальные отклонения торцевой стены увеличились до 2,16 мм. Вертикальные прогибы продольных стен составляли 13,06–13,74 мм, прогибы торцевой стены составляли 4,36 мм, а прогибы стеновой панели составляли 4,82 мм.

Разрушение объемного блока произошло при вертикальной нагрузке  $N = 1598,1$  тс и развивалось постепенно, начиная с разрушения наиболее сжатой угловой части бетона продольной стены по сопряжению ее с потолком с дальнейшим разрушением бетона по всей длине всего периметра сопряжения стен с потолком, и сопровождалось громким звуком раздавливания бетона с резким звуком падения плиты потолка (рис. 8).



**Рис. 7.** Эпюра распределения сжимающих деформаций бетона по периметру стен  
**Fig. 7.** Plot of the distribution of compressive deformations of concrete along the perimeter of the walls



**Рис. 8.** Разрушение стен объемного блока № 2  
**Fig. 8.** The destruction of the walls of the volumetric block No. 2

### Заключение

В целом разрушение объемных блоков при вертикальных нагрузках вызывается потерей устойчивости продольных стен и происходит при сжимающих напряжениях в бетоне, существенно меньших проектной прочности бетона при ограниченных напряжениях в вертикальной рабочей арматуре стен.

Этажность многоэтажных зданий из объемных блоков типа «лежащий стакан» рекомендуется определять расчетом прочности при усредненных напряжениях сжатия с учетом частных коэффициентов условий работы бетона и арматуры. Допустимая этажность объемно-блочного здания определяется сопоставлением прочности нижнего этажа от собственного веса объемных блоков  $N$  с контрольной вертикальной нагрузкой  $N_k$ :

$$N > N_k.$$

Расчетные сопротивления бетона объемных блоков определяются как сумма деления характеристических сопротивлений бетона на частные коэффициенты безопасности по бетону и усилий от вертикальной арматуры в стенах объемного блока, деленные на частные коэффициенты безопасности арматуры.

Жесткость и трещиностойкость объемных блоков из тяжелого бетона гораздо выше, чем объемных блоков из керамзитобетона. Поэтому при проектировании стен объемных блоков из тяжелого бетона на действие вертикальных нагрузок следует учитывать увеличение расчетной длины стен на 43 %.

### Список литературы

1. Вайсман Э.П., Тучнин А.А. Статические исследования объемных блоков типа «стакан» в г. Сызрани. Объемно-блочное домостроение в СССР. Москва: ЦНИИЭП жилища, 1967.
2. Дроздов П.Ф. Расчет многоэтажных зданий из объемных блоков // *Бетон и железобетон*. 1969. № 12. С. 39–43.
3. Березовский Л.Ф., Кедич И.Н., Смех И.В., Фурунжиев Р.И., Михайловский Д.А. О работе монолитных объемных блоков, применяемых для строительства жилых зданий // *Строительные конструкции. Сборник трудов ИСА БССР*, вып. 14. Минск, 1973.
4. Инструкции по испытанию объемных блоков типа «лежащий стакан», изготавливаемых на Краснодарском ДСК и заводе ОБД ЦНИИЭП жилища. Москва, 1974.
5. Вероцкий В.И. Исследование деформаций объемных блоков в системе построенного здания. Объемные блоки в жилищном строительстве. Киев: Будівельник, 1975.
6. Киркоров С.С. Производство и строительство зданий из объемных блоков для поселков энергетиков (обзор). Москва: Информэнерго, 1975.

7. Объемно-блочное домостроение // *Сборник научных трудов*. Москва: ЦНИИЭП жилища, 1985.
8. Бронников П.И. Объемно-блочное домостроение. Москва: Стройиздат, 1979.
9. Ильенко И.А. Производство железобетонных изделий для объемно-блочного домостроения в СССР. Москва: ВНИИЭСМ, 1979.
10. Методические указания по статическим испытаниям железобетонных несущих объемных блоков. Киев: М-во пром. стр-ва УССР, 1976.
11. Рекомендации по расчету и конструированию зданий до девяти этажей из несущих железобетонных блоков. Киев: Будівельник, 1976.
12. Руководство по проектированию крупнопанельных зданий с применением несущих объемных блоков. Москва: Стройиздат, 1983.
13. Рекомендации по проектированию, заводскому производству, транспортированию и монтажу объемных блоков Краснодарского технического направления. Москва: ЦНИИЭП жилища, 1983.
14. Рекомендации по расчету многоэтажных зданий панельно-блочной и объемно-блочной конструктивных систем с учетом особенностей пространственной работы. Москва: Стройиздат, 1984.
15. Рекомендации по конструированию и расчету объемно-блочных зданий с применением объемных блоков типа «колпак». Москва: Стройиздат, 1986.
16. Пособие по проектированию жилых зданий. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). Москва, 1989.
17. СП 501.1325800.2021. Здания из крупногабаритных модулей. Правила проектирования и строительства. Основные положения. Москва, 2021.
18. СП РК EN 1992-1-1:2004/2011. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. Алматы, 2016.

### References

1. Vaisman E.P., Tuchnin A.A. Static studies of volumetric blocks of the "glass" type in the city of Syzran. Three-dimensional block housing construction in the USSR. Moscow: Central Research and Design Institute of Residential and Public Buildings, 1967. (In Russian).
2. Drozdov P.F. Calculation of multi-storey buildings made of volumetric blocks. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete*. 1969, no. 12, pp. 39–43. (In Russian).
3. Berezovsky L.F., Kedich I.N., Smekh I.V., Furunzhiev R.I., Mikhailovsky D.A. About the operation of monolithic volumetric blocks used for the construction of residential buildings. *Building structures. Proceedings of the Institute of Construction and Architecture of the State Construction Committee of the BSSR*, vol. 14. Minsk, 1973. (In Russian)
4. Instructions for testing volumetric blocks of the "re-

- cumbent glass” type, manufactured at the Krasnodar house-building plant and the volumetric-block housing construction plant of Central Research and Design Institute of Residential and Public Buildings. Moscow, 1974. (In Russian).
5. Verotsky V.I. Investigation of deformations of volumetric blocks in the building construction system. Volumetric blocks in housing construction. Kiev: Budivel'nik Publ., 1975. (In Russian).
  6. Kirkorov S.S. Production and construction of buildings from volumetric blocks for power engineering settlements (review). Moscow: Informenergo Publ., 1975. (In Russian).
  7. Volumetric-block housing construction. *Collection of scientific papers*. Moscow: Central Research and Design Institute of Residential and Public Buildings, 1985. (In Russian).
  8. Bronnikov P.I. Volumetric-block housing construction. Moscow: Stroyizdat Publ., 1979. (In Russian).
  9. Ilyenko I.A. Production of reinforced concrete products for bulk-block housing construction in the USSR. Moscow: All-Union Scientific Research Institute of Scientific and Technical Information and Economics of the Building Materials Industry, 1979. (In Russian).
  10. Guidelines for static testing of reinforced concrete load-bearing volumetric blocks. Kiev: Ministry of Industrial Construction of the Ukrainian SSR, 1976. (In Russian).
  11. Recommendations for the calculation and construction of buildings up to nine floors of load-bearing reinforced concrete blocks. Kiev: Budivel'nik Publ., 1976. (In Russian).
  12. Guidelines for the design of large-panel buildings using load-bearing volumetric blocks. Moscow: Stroyizdat Publ., 1983. (In Russian).
  13. Recommendations on the design, factory production, transportation and installation of volumetric blocks of the Krasnodar technical area. Moscow: Central Research and Design Institute of Residential and Public Buildings, 1983. (In Russian).
  14. Recommendations for the calculation of multi-storey buildings of panel-block and volume-block structural systems, taking into account the features of spatial work. Moscow: Stroyizdat Publ., 1984. (In Russian).
  15. Recommendations for the design and calculation of three-dimensional block buildings with the use of three-dimensional blocks of the “hood” type. Moscow: Stroyizdat Publ., 1986. (In Russian).
  16. Handbook on the design of residential buildings. Issue 3. Constructions of residential buildings (to SNiP 2.08.01-85). Moscow, 1989. (In Russian).
  17. SP 501.1325800.2021. Buildings made of large modules. Rules of design and construction. The main provisions. Moscow, 2021. (In Russian).
  18. SP RK EN 1992-1-1:2004/2011. Design of reinforced concrete structures. Part 1-1. General rules and regulations for buildings. Almaty, 2016. (In Russian).

#### Информация об авторах / Information about the authors

**Алий Аббасович Беспяев**<sup>✉</sup>, д-р техн. наук, заведующий лабораторией железобетонных конструкций, АО «КазНИИСА», Алматы  
e-mail: aliy40@mail.ru

**Aliy A. Bespaev**<sup>✉</sup>, Dr. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory of Reinforced Concrete Structures, KazNIISA JSC, Almaty  
e-mail: aliy40@mail.ru

**Илья Дмитриевич Тешев**, директор, МХ «Инжиниринг», Алматы  
**Ilya D. Teshev**, Director, МХ “Engineering”, Almaty

**Ерзат Куанышбекович Бекбаев**, ведущий инженер, АО «КазНИИСА», Алматы  
**Erzat K. Bekbaev**, Senior Engineer, KazNIISA JSC, Almaty

<sup>✉</sup> Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

УДК 691.555

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-50-59](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-50-59)

А.Н. ГУДКОВ

АО «Тулаоргтехстрой», проспект Ленина, д. 108, г. Тула, 300026, Российская Федерация

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ЛЕГКОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ШТУКАТУРКИ «СПАДАР СК-450»

## Аннотация

**Введение.** В основу данного исследования положено свойство физически плотной материи поглощать и отражать световое излучение. Материалы белого цвета обладают высокой светоотражающей способностью, материалы же черного цвета полностью поглощают волны светового спектра излучения Солнца. Так как белый цвет отражает большую часть волн светового спектра, то повышение белизны штукатурного покрытия «СПАДАР СК-450» должно обеспечить более эффективную защиту оштукатуриваемой поверхности от нагрева, связанного с поглощением фотонов света. В данной работе проведено сравнительное исследование температуры и времени разогрева поверхности газобетона и штукатурки «СПАДАР» при воздействии на них прямого солнечного излучения.

**Цель.** Сравнительные исследования температуры и времени разогрева поверхности газобетона и штукатурки «СПАДАР», базовой и модифицированной микрокальцитом и  $TiO_2$ , при воздействии на данные материалы прямого солнечного света.

**Материалы и методы.** Для проведения исследования были использованы образцы толщиной до 10 мм: неавтоклавного газобетона; базовой штукатурки «СПАДАР СК-450»; штукатурки «СПАДАР СК-450», модифицированной микрокальцитом и оксидом титана. В процессе работы определялись и сравнивались: белизна штукатурки «СПАДАР СК-450» по RAL в зависимости от модификации ее микрокальцитом и диоксидом титана; изменение температуры поверхности исследуемых образцов во времени при воздействии на них прямых солнечных лучей. Для замера температуры использовался цифровой пирометр СЕМ DT-812 с интервалом температуры от -30 до +500 °С.

**Результаты.** Установлено: образец автоклавного газобетона при воздействии на него прямого солнечного излучения имеет максимальную температуру разогрева поверхности +42,1 °С, что на 6 °С выше минимальной температуры разогретой поверхности модифицированной микрокальцитом и оксидом титана штукатурки «СПАДАР СК-450»; при совмест-

ном вводе в штукатурную смесь «СПАДАР СК-450» микрокальцита и оксида титана повышается белизна штукатурки, что на 0,5 °С снижает температуру максимального разогрева ее поверхности солнечным светом в сравнении с базовым составом штукатурки «СПАДАР СК-450».

**Выводы.** Штукатурка «СПАДАР СК-450» на 6 °С снижает температуру максимального разогрева поверхности газобетона за счет ее белого цвета. Модификация базового состава штукатурки «СПАДАР СК-450» совместным вводом в ее состав микрокальцита и оксида титана повышает белизну штукатурного покрытия и снижает температуру максимального разогрева ее поверхности световым излучением, что в свою очередь способствует защите оштукатуриваемой поверхности от разогрева. Также модификация штукатурки «СПАДАР СК-450» микрокальцитом и диоксидом титана способствует более быстрому охлаждению ее поверхности.

**Ключевые слова:** легкая минеральная штукатурка, газобетон, микрокальцит, диоксид титана, белизна поверхности, световое излучение, температура поверхности, светозащита

**Для цитирования:** Гудков А.Н. Исследование светозащитных свойств легкой минеральной штукатурки «СПАДАР СК-450» // *Бетон и железобетон*. 2025. № 5 (630). С. 50–59. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-50-59](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-50-59). EDN: NCCXUN

## Вклад автора

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

## Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

## Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 30.08.2025

Поступила после рецензирования 28.09.2025

Принята к публикации 02.10.2025

A.N. GUDKOV

JSC Tulaorgtekhstroy, Lenin Avenue, 108, Tula, 300026, Russian Federation

# INVESTIGATION OF LIGHT—SHIELDING PROPERTIES OF THE “SPADAR SK—450” LIGHT MINERAL PLASTER

## Abstract

**Introduction.** This study is based on the property of physically dense matter to absorb and reflect light radiation. White-colored materials have a high reflective ability, while black-colored materials completely absorb the waves of the light spectrum of the Sun's radiation. Since the white color reflects most of the waves of the light spectrum, increasing the whiteness of the “SPADAR SK-450” plaster coating should provide more effective protection of the plastered surface from heat associated with the absorption of photons of light. In this paper, a comparative study of the temperature and heating time of the surface of aerated concrete and “SPADAR” plaster when exposed to direct sunlight is carried out.

**Aim.** Comparative studies of the temperature and heating time of the surface of aerated concrete and “SPADAR” base plaster and modified with microcalcite and TiO<sub>2</sub> when exposed to these materials by direct sunlight.

**Materials and methods.** Samples up to 10 mm thick were used for the study: non-autoclaved aerated concrete, base “SPADAR SK-450” plaster and modified with microcalcite and titanium oxide. In the course of the work, there were determined and compared: whiteness of “SPADAR SK-450” plaster according to RAL, depending on its modification with microcalcite and titanium oxide; changes in the surface temperature of the studied samples over time when exposed to direct sunlight. A digital pyrometer CEM DT-812 with a temperature range from -30 to +500 °C was used to measure the temperature.

**Results.** It was established: a sample of autoclaved aerated concrete, when exposed to direct sunlight, has a maximum surface heating temperature of +42.1 °C, which is 6 °C higher than the minimum temperature of the heated surface of the “SPADAR SK-450” plaster, modified with microcalcite and titanium dioxide when microcalcite and

titanium oxide are combined into the “SPADAR SK-450”; the whiteness of the plaster increases, which reduces the temperature of maximum heating of its surface by 0,5 °C in comparison with the basic composition of the “SPADAR SK-450” plaster.

**Conclusions.** “SPADAR SK-450” plaster reduces the temperature of maximum heating of the aerated concrete surface by 6 °C due to its white color. Modification of the basic composition of the “SPADAR SK-450” plaster by the combined introduction of microcalcite and titanium dioxide into its composition increases the whiteness of the plaster coating and reduces the temperature of maximum heating of its surface by light radiation, which in turn helps to protect the plastered surface from heating.

**Keywords:** light mineral plaster, aerated concrete, microcalcite, titanium dioxide, surface whiteness, light radiation, surface temperature, light protection

**For citation:** Gudkov A.N. Investigation of light-shielding properties of the “SPADAR SK-450” light mineral plaster. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 5 (630), pp. 50–59. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-50-59](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-50-59). EDN: NCCXUN

## Author contribution statement

The author takes responsibility for all aspects of the paper.

## Funding

No funding support was obtained for the research.

## Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 30.08.2025

Revised 28.09.2025

Accepted 02.10.2025

### Введение

Следует предварительно кратко рассказать о сути проводимого в этой статье исследования. Световое излучение Солнца – совокупность электромагнитных волн с длиной волны от 380 до 760 нм и частотой излучения 700–400 ТГц, или свет видимого диапазона, который мы можем видеть. В зависимости от длины поглощаемой волны человеческий глаз различает цвета. Так, например, красный свет имеет длину волны 700 нм и частоту 700 ТГц, а фиолетовый – 380 нм и 400 ТГц. Длина волны обратно пропорциональна ее частоте. Видимое световое излучение Солнца, переносимое световой волной (фотонами), несет в себе определенную энергию, равную  $E = h \times V$  (Дж), где  $h$  – частота волны;  $V$  – постоянная планка ( $6,626 \times 10^{-34}$  Дж $\times$ с).

Таким образом, энергия световой волны пропорциональна ее частоте и постоянной Планка. Чем выше частота волны, тем больше ее энергия. Важно отметить, что энергия световой волны не является постоянной величиной, она может меняться в зависимости от условий среды, в которой распространяется волна. При прохождении через среду с большей оптической плотностью (например, облака) энергия волны уменьшается, а при прохождении через прозрачную среду (например, воздух) – увеличивается.

Еще одной важной характеристикой света является его интенсивность – мера количества фотонов, проходящих через единицу поверхности за единицу времени (фотон/с/см<sup>2</sup>). Интенсивность света, исходящего от Солнца, достигает десятков тысяч фотонов в секунду на квадратный метр.

Также следует учесть и такие свойства световых волн, как угол падения, угол отражения и преломления света.

Все вышеперечисленные свойства светового излучения напрямую влияют на нагрев поверхности, на которую падает солнечный свет.

Когда свет падает на поверхность материала, некоторые фотоны отражаются, а некоторые поглощаются. В зависимости от поглощенной световой волны мы видим тот или иной цвет.

*В основу данной экспериментальной работы положено свойство белого цвета отражать практически весь спектр светового излучения. Отражение или поглощение световых волн в этом случае будет зависеть от степени белизны материала.*

При попадании света на поверхность, например, стены дома, энергия световой волны частично отражается, частично поглощается материалом стены. При поглощении фотонов света материалом стены (например, газобетоном) энергия световой волны переходит в тепловую энергию. Это происходит вследствие поглощения фотонов атомами вещества стенового материала и перехода электронов вещества на другой энергетический уровень. При этом высвобождаемая энергия переходит в энергию теплового

движения атомов и происходит разогрев стены.

При длительном воздействии прямого солнечного света на поверхность стены (например, из газобетона) в безоблачный летний день происходит ее постепенный прогрев. Так как большинство стеновых материалов на минеральной основе (керамика, легкие и тяжелые бетоны) имеют достаточно большую теплоемкость (0,84–1,0 кДж/(кг $\times$ °C)), то разогретая в летний день стена медленно отдает тепло посредством теплового (инфракрасного) излучения внутрь помещения, разогревая в нем воздух, что потребует дополнительных энергозатрат на кондиционирование и вентиляцию.

*Вот тут и оказывается, что наряду с теплопроводностью самого материала очень важным свойством является его способность отражать или поглощать видимый спектр электромагнитного излучения Солнца.*

Светоотражающие свойства материала, как сказано выше, во многом определяются его цветом. Поэтому наиболее подходящим для отражения светового излучения является белый цвет, а светоотражающая способность белого цвета определяется степенью его белизны, например по системе RAL. Чем выше белизна материала, тем большую часть светового излучения он отразит, соответственно, разогрев поверхности будет меньше. Эта идея была заложена в проводимое исследование.

### Экспериментальная часть

Для исследований в данной работе применялась легкая штукатурная смесь [1] «СПАДАР СК-450» в своем базовом составе, которая изначально имеет белый цвет. Далее для повышения степени белизны данной штукатурки были использованы такие материалы, как тонкомолотый микрокальцит (мраморный порошок) марки KM2 [2], имеющий белизну более 98 %, и самый популярный пигмент белого цвета, используемый в бетонах и сухих строительных смесях, – диоксид титана, или титановые белила (TiO<sub>2</sub>) [3].

Диоксид титана также придает штукатурному покрытию устойчивость к ультрафиолетовому излучению. Штукатурки с ним не «стареют», в течение многих лет сохраняют первоначальную белизну, не дают желтого налета.

**В качестве стенового материала исследовался неавтоклавный газобетон плотностью D600 [4]. Цвет – светло-серый.**

Для исследований были использованы четыре состава на базе легкой штукатурной смеси «СПАДАР СК-450» производства ООО «СПАДАР»: базовый состав; базовый + 25 % микрокальцита; базовый + 5 % TiO<sub>2</sub>; базовый + 25 % микрокальцита + 5 % TiO<sub>2</sub>. Дозировки микрокальцита и диоксида титана выбраны с учетом опыта предыдущих исследований.

Составы исследуемых штукатурных смесей представлены в табл. 1.

Таблица 1

## Составы штукатурных смесей

Table 1

## Compositions of plaster mixtures

Наименование материала	Расход материала, % от смеси			
	«СПАДАР СК-450»	+ TiO <sub>2</sub>	+ микрокальцит	+ TiO <sub>2</sub> + микрокальцит
Номер состава	1	2	3	4
Портландцемент белый СЕМ I R 52.5, Турция	49,0	49,0	49,0	49,0
Гранулы пенокерамики (песок) «СПАДАР»	48,1	48,1	48,1	48,1
Модифицирующие добавки, гидрофобизатор	2,9	2,9	2,9	2,9
Диоксид титана (TiO <sub>2</sub> )	–	5	–	5
Микрокальцит – тонкомолотый мрамор	–	–	25	25
Водотвердое отношение, В/Т	0,6	0,6	0,6	0,6

**Методика проведения эксперимента**

Исследованиям подвергались испытательные образцы, которые представляют собой:

1. Выпиленные из газобетонного блока прямоугольные параллелепипеды размером 100 × 100 × 10 мм в количестве 3 штук для каждой испытываемой партии (рис. 1).

2. Изготовленные из тестируемых составов четыре партии образцов штукатурок в виде цилиндров

диаметром 120 мм и толщиной 10 мм в количестве 3 штук для каждой испытываемой партии (рис. 2).

1. **На первом этапе** работы определялся состав штукатурной смеси «СПАДАР СК-450», обладающей большей белизной. Для этой цели подготовленные и высушенные образцы тестируемых штукатурных составов (табл. 1) сравнивали по белизне по системе RAL. Результаты испытаний см. в табл. 2 и на рис. 3–6.

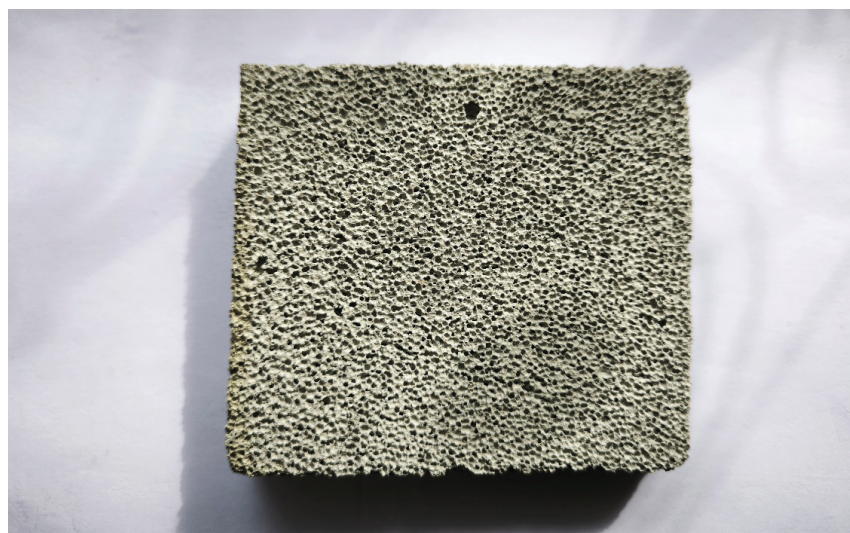


Рис. 1. Фото образца газобетона  
Fig. 1. Photo of a sample of aerated concrete

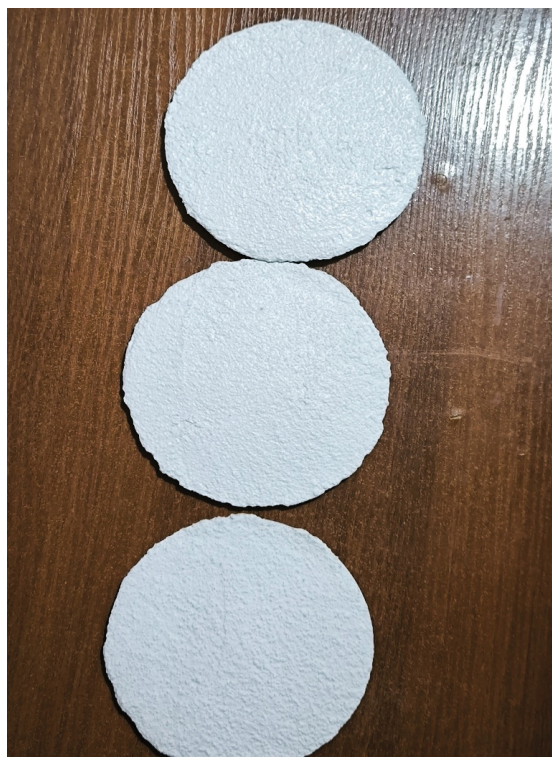


Рис. 2. Фото образцов тестируемой штукатурки «СПАДАР СК-450»  
 Fig. 2. Photo of samples of the tested “SPADAR SK-450” plaster

Цвета исследуемых составов штукатурки «СПАДАР СК-450» по системе RAL

Таблица 2

The colors of the studied “SPADAR SK-450” plaster compositions according to the RAL system

Table 2

Номер состава	1	2	3	4
	базовый	+ 5 % TiO <sub>2</sub>	+ 25 % микро-кальцита	+ 5 % TiO <sub>2</sub> + 25 % микро-кальцита
Цвет по RAL	9002 – белый светло-серый	9002 – белый светло-серый	9002 – белый светло-серый	9010 – белый

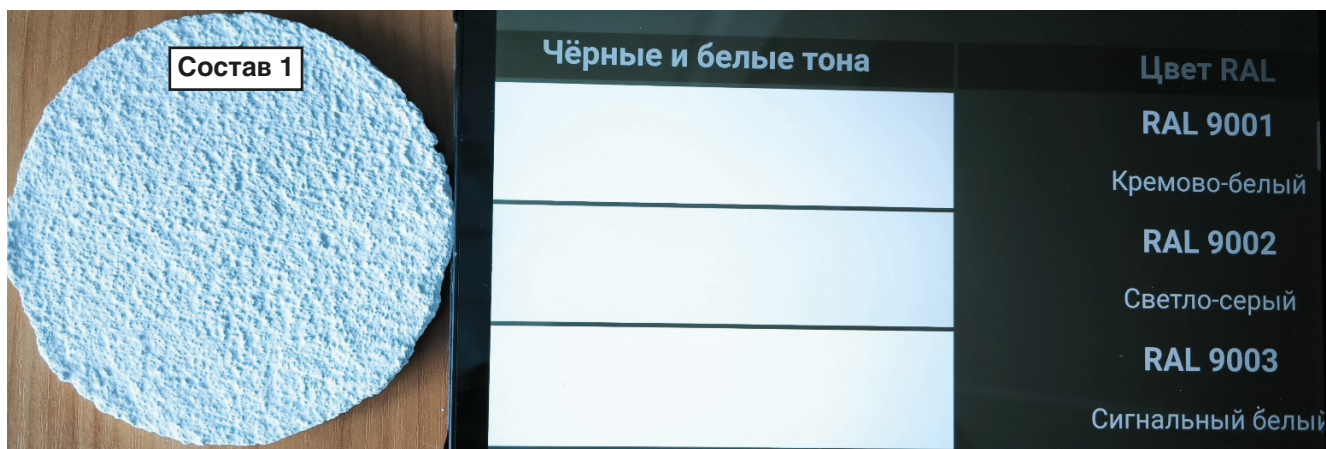
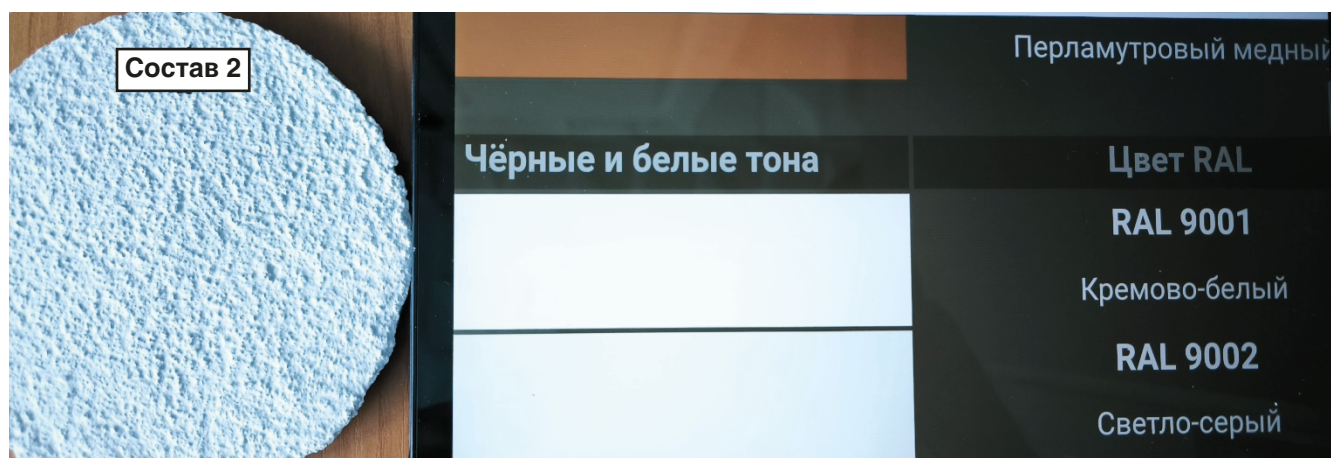
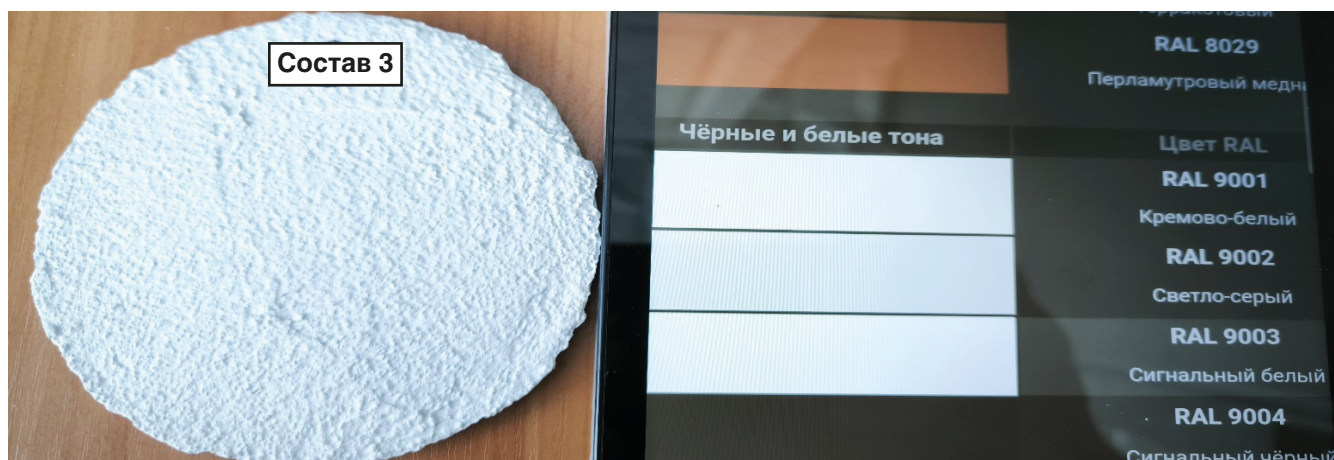


Рис. 3. Фото штукатурки «СПАДАР СК-450», базовый. Цвет по RAL – 9002, белый светло-серый  
 Fig. 3. Photo of the basic “SPADAR SK-450” plaster. The color according to RAL is 9002, light gray white



**Рис. 4.** Фото штукатурки «СПАДАР СК-450», модифицированной диоксидом титана. Цвет по RAL – 9002, белый светло-серый  
**Fig. 4.** Photo of the “SPADAR SK-450” plaster modified with titanium dioxide. The color according to RAL is 9002, light gray white



**Рис. 5.** Фото штукатурки «СПАДАР СК-450», модифицированной микрокальцитом. Цвет по RAL – 9002, белый светло-серый  
**Fig. 5.** Photo of the “SPADAR SK-450” plaster modified with microcalcite. The color according to RAL is 9002, light gray white



**Рис. 6.** Фото штукатурки «СПАДАР СК-450», модифицированной микрокальцитом и оксидом титана. Цвет по RAL – 9010, белый  
**Fig. 6.** Photo of the “SPADAR SK-450” plaster modified with microcalcite and titanium oxide. The color according to RAL is 9010, white

**Анализ полученных результатов**

Как мы видим из табл. 2 и рис. 3–5, ввод в состав штукатурной смеси «СПАДАР СК-450» по отдельности диоксида титана и микрокальцита КМ2 с белизной 98 % не привел к изменению цвета штукатурки – RAL

9002, белый светло-серый, т. е. штукатурка не имеет высокой степени белизны. При этом дозировки диоксида кремния и микрокальцита достаточно высокие, они были выбраны с учетом результатов предыдущих испытаний и разработок сухих штукатурных смесей.

Совместный же ввод данных материалов (диоксида кремния и микрокальцита) привел к увеличению белизны штукатурки – **RAL 9010**, белый цвет.

Это можно объяснить тем, что ввод микрокальцита способствует более равномерному распределению титановых белил (диоксида титана) в штукатурном растворе при его приготовлении и большему окрашиванию штукатурки в белый цвет.

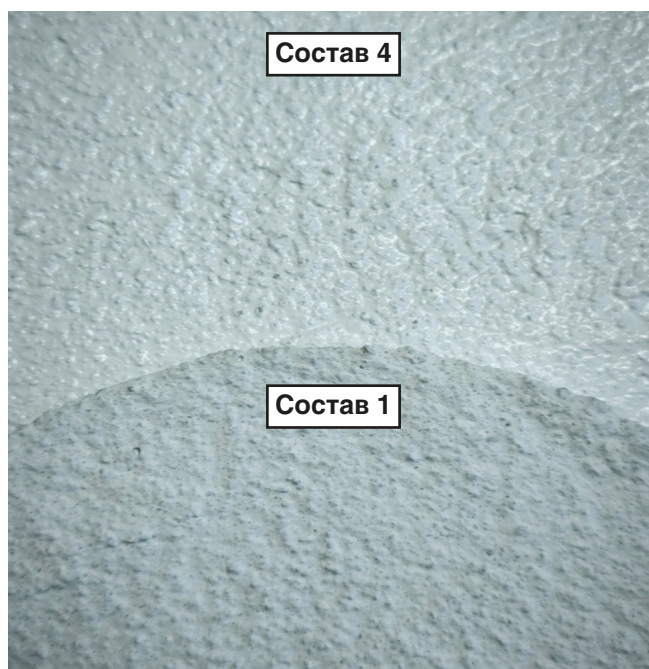
При сравнительном осмотре образцов штукатурки **состава 1** (базовый) и **состава 4** (с диоксидом титана и микрокальцитом) (табл. 1) также видны различия в цветовых оттенках (рис. 7).

**2. На втором этапе** исследовательской работы изучалось изменение температуры поверхности исследуемых образцов во времени при воздействии на них

прямых солнечных лучей. Для замера температуры использовался цифровой пирометр CEM DT-812 с интервалом температуры от -30 до +500 °С.

Для этих целей высушенные до постоянной массы образцы газобетона и исследуемых составов штукатурных смесей помещались на поверхность, на которую падал прямой солнечный свет, температура поверхности образцов замерялась в начале эксперимента и через 5, 10, 30, 60, 120, 300 минут воздействия на них прямого солнечного излучения. Замеры проводились в ясный солнечный день с 10 часов утра до 15 часов дня. Температура в помещении, где проводился эксперимент, (25 ± 0,5) °С.

Результаты испытаний изложены в табл. 3.



**Рис. 7.** Базовый состав 1 и состав 4 штукатурной смеси «СПАДАР СК-450». Видны различия в цветовых оттенках. Состав 1 имеет более серый оттенок, чем состав 4

**Fig. 7.** Base composition 1 and composition 4 of the “SPADAR SK-450” plaster mixture. Differences in color shades are visible. Composition 1 has a grayer shade than composition 4

**Таблица 3**  
**Таблица изменения температуры поверхности исследуемых материалов при воздействии прямого излучения Солнца**

**Table 3**  
**Table of changes in the surface temperature of the studied materials exposed to direct solar radiation**

Материал	Температура разогрева поверхности Солнцем, °С						
	0 мин	5 мин	10 мин	30 мин	60 мин	120 мин	300 мин
1. Газобетон	25,3	36,3	37,6	40,4	41,4	41,5	42,1
2. Штукатурка «СПАДАР», состав 1 – базовый	25,3	30,3	33,8	35,9	36,2	36,2	36,3

Продолжение таблицы 3

Материал	Температура разогрева поверхности Солнцем, °С						
	0 мин	5 мин	10 мин	30 мин	60 мин	120 мин	300 мин
3. Штукатурка «СПАДАР», состав 2 + 5 % TiO <sub>2</sub>	25,3	30,3	32,4	35,8	36,1	36,2	36,3
4. Штукатурка «СПАДАР», состав 2 + 25 % микрокальцита	25,2	30,2	32,5	35,8	36,2	36,2	36,3
5. Штукатурка «СПАДАР», состав 2 + 5 % TiO <sub>2</sub> + 25 % микрокальцита	25,0	29,6	32,0	34,3	35,7	35,8	35,8

**Анализ полученных результатов**

Как видно из результатов испытаний, в табл. 3 и графике (рис. 8), в начальный момент измерения температура образцов, находившихся в тени, равна температуре окружающего воздуха в помещении.

При начале воздействия прямого солнечного излучения уже через 5 минут температура поверхности газобетонных образцов превышает температуру поверхности образцов штукатурного покрытия «СПАДАР» на 6 °С. При этом на протяжении всего периода наблюдений температура поверхности исследуемых

образцов постепенно растет, достигая уже через час практически максимальных значений с небольшим последующим приростом. При этом к 300 минутам наблюдений температура поверхности газобетонных образцов достигает 42,1 °С, что на 5,8–6,0 °С больше температуры поверхности образцов штукатурной смеси «СПАДАР».

Образцы штукатурной смеси «СПАДАР» № 1–3 (в табл. 3 под номерами 2–4) имеют практически идентичную динамику и величину температуры разогрева их поверхности, что в общем согласуется

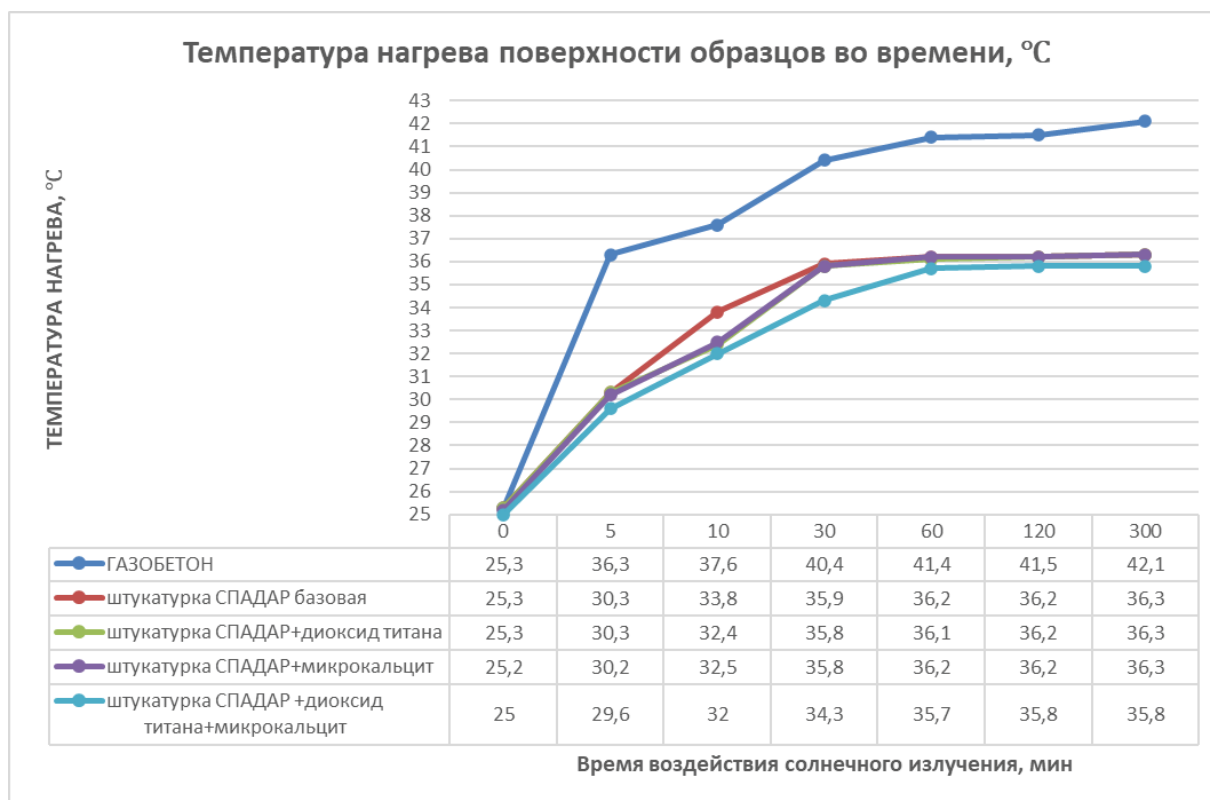


Рис. 8. График зависимости температуры нагрева исследуемых образцов от времени воздействия прямого солнечного излучения  
 Fig. 8. Graph of the dependence of the heating temperature of the studied samples on the time of exposure to direct sunlight

с результатами первой части работы, установившими, что данные модификации штукатурки «СПАДАР» идентичны по цветовому оттенку (табл. 2 и рис. 3–5) – RAL 9002, белый светло-серый.

Штукатурка состава 4 (в табл. 3 под номером 5), модифицированная совместным вводом диоксида титана и микрокальцита, имеет минимальную температуру разогрева поверхности среди исследуемых модификаций, хотя и совсем незначительно отличающуюся от остальных (на 0,5 °С ниже остальных). Тем не менее это подтверждает наше предположение, что повышение белизны штукатурки «СПАДАР СК-450» будет способствовать снижению ее максимальной температуры разогрева.

#### Снижение температуры поверхности образцов в тени

Очень интересная особенность модифицированной штукатурки «СПАДАР СК-450» (состава 4) была выявлена в ходе проведения экспериментальной части работы, а именно, что после помещения исследуемых образцов в тень уже через минуту температура ее поверхности снижалась с 35,8 до 34,0 °С (на 1,8 °С), в то время как у остальных штукатурок температура поверхности снижалась за это же время с 36,3 до 35,9 °С, то есть на 0,4 °С (рис. 9).

#### Анализ полученных данных

Таким образом, установлено, что штукатурка «СПАДАР СК-450», состав 4, имеет свойство быстрее охлаждаться при отсутствии прямого солнечного излучения в отличие от других тестируемых составов (составы 1–3).

Газобетонные образцы, по истечении 1 минуты нахождения в тени, снизили температуру своей поверхности с 42,1 до 41,9 °С, то есть на 0,2 °С, что меньше исследуемых модификаций штукатурки «СПАДАР СК-450». Это может свидетельствовать о том, что белый цвет штукатурного покрытия также способствует более быстрому охлаждению нагретой поверхности.

#### Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Штукатурная смесь «СПАДАР СК-450» благодаря своему белому цвету при воздействии на нее прямого солнечного излучения нагревается на 5,8–6,0 °С меньше, чем газобетонный образец, имеющий серый цвет. Это подтверждает предположение, что белый цвет более эффективно отражает солнечное излучение, что в свою очередь будет способствовать защите от перегрева отделяемой штукатурной смесью «СПАДАР СК-450» поверхности, в том числе и из газобетона.

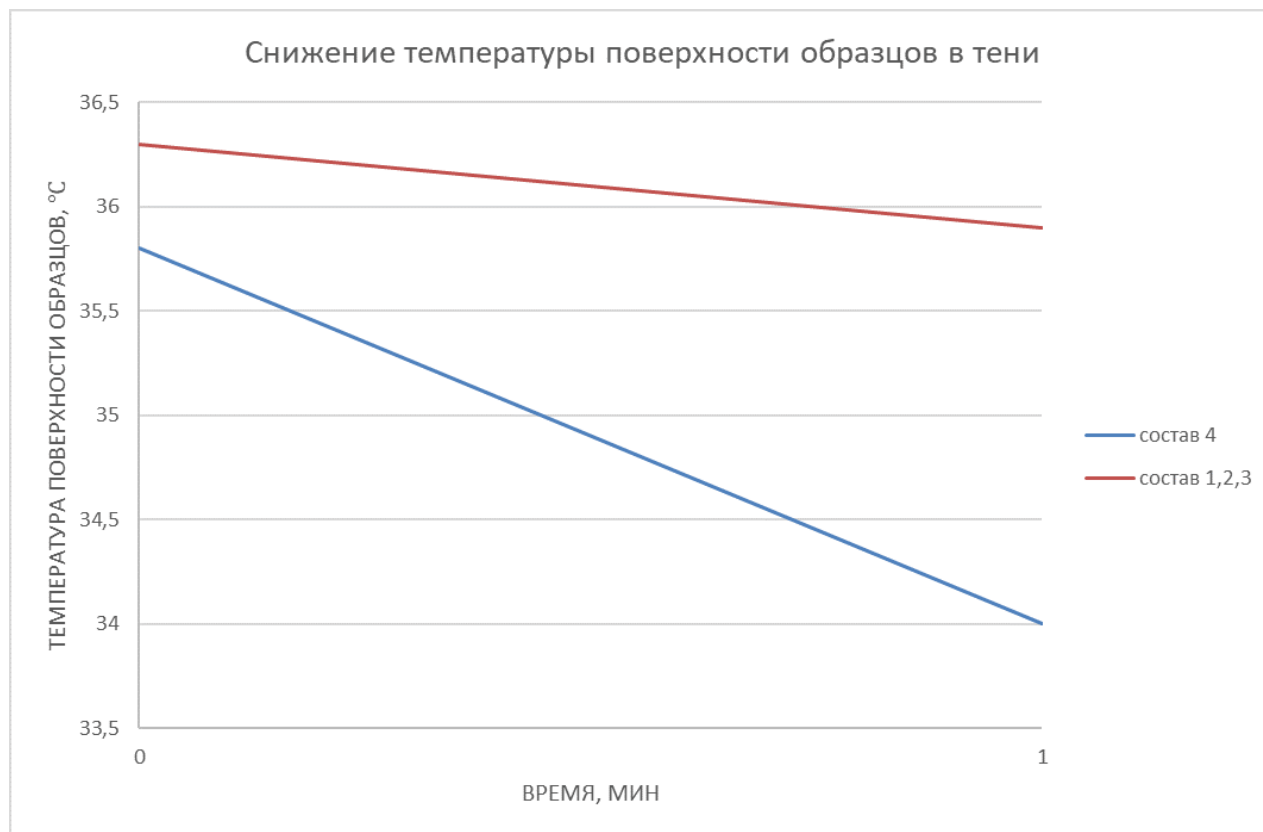


Рис. 9. Скорость снижения температуры образцов в тени, °С/мин  
 Fig. 9. The rate of temperature decrease of the samples in the shade, °C/min

2. Модификация штукатурной смеси «СПАДАР СК-450» совместным вводом микрокальцита высокой белизны и диоксида титана способствует увеличению белизны штукатурного покрытия, что в свою очередь понижает температуру разогрева ее поверхности и ускоряет охлаждение.

3. Необходимо провести дальнейшие исследования по корректировке состава штукатурной смеси «СПАДАР СК-450» для повышения степени ее белизны, а также провести в этом направлении более углубленные исследования.

#### Благодарности

Автор выражает благодарность компании ООО «СПАДАР» за предоставленные для проведения данной работы образцы смеси сухой штукатурной «СПАДАР СК-450».

#### Список литературы

- ГОСТ 33083-2014. Смеси сухие строительные на цементном вяжущем для штукатурных работ. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019.
- ГОСТ Р 56775-2015. Микрокальцит для строительных материалов. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019.
- ГОСТ 9808-84. Двуокись титана пигментная. Технические условия. Москва: Издательство стандартов, 2004.
- ГОСТ 25485-2019. Бетоны ячеистые. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019.
- ГОСТ Р 58277-2018. Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний. Москва: Стандартинформ, 2019.
- ГОСТ 28013-98. Растворы строительные. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2018.
- ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний. Москва: Стандартинформ, 2018.
- СП 82-101-98. Приготовление и применение растворов строительных. Москва: Госстрой России, 1999.
- Баженов Ю.М. Технология бетона. Москва: Изд-во АСВ, 2002. 500 с.
- Баженов Ю.М., Коровяков В.Ф., Денисов Г.А. Технология сухих строительных смесей. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2011. 112 с.
- Корнеев В.И., Зозуля П.В., Медведева И.Н., Богоявленская Г.А., Нуждина Н.И. Рецептурный справочник по сухим строительным смесям. Санкт-Петербург: РИА «Квинтет», 2010. 318 с.
- Корнеев В.И., Зозуля П.В. и др. Сухие строительные смеси. Состав, свойства: Учебное пособие. Москва: РИФ «Стройматериалы», 2010. 320 с.

#### References

- State Standard 33083-2014. Dry building plaster cement binder mixes. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
- State Standard R 56775-2015. Microcalcite for construction materials. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
- State Standard 9808-84. Titanium dioxide pigments. Specifications. Moscow: Publishing House of Standards, 2004. (In Russian).
- State Standard 25485-2019. Cellular concretes. General specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
- State Standard R 58277-2018. Dry building mixes based on cement binder. Test methods. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
- State Standard 28013-98. Mortars. General specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
- State Standard 5802-86. Mortars. Test methods. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
- SP 82-101-98. Manufacturing and usage of mortars in construction industry. Moscow: Gosstroy of Russia, 1999. (In Russian).
- Bazhenov Yu.M. Technology of concrete. Moscow: ASV Publ., 2002, 500 p. (In Russian).
- Bazhenov Yu.M., Korovyakov V.F., Denisov G.A. Technology of dry building mixes. Moscow: Publishing House of the Association of Construction Universities, 2011, 112 p. (In Russian).
- Korneev V.I., Zozulya P.V., Medvedeva I.N., Bogoyavlenskaya G.A., Nuzhdina N.I. Compounding guide to dry building mixes. St. Petersburg: RIA Quintet, 2010, 318 p. (In Russian).
- Korneev V.I., Zozulya P.V. Dry building mixes. Composition, properties: Textbook. Moscow: RIF Stroymaterialy Publ., 2010, 320 p. (In Russian).

#### Информация об авторе / Information about the author

**Алексей Николаевич Гудков**, руководитель лаборатории строительных материалов и технологий проектно-технологического центра, АО «Тулаоргтехстрой», Тула

e-mail: alekseygudkov2016@yandex.ru

**Alexey N. Gudkov**, Head of the Laboratory of Building Materials and Technologies of the Design and Technology Center, JSC Tulaorgtekhstroy, Tula

e-mail: alekseygudkov2016@yandex.ru

УДК 69.003.13; 006.057.2

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-60-67](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-60-67)**С.В. СНИМЩИКОВ, И.П. САВРАСОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА),  
Кронштадтский бульвар, д. 20, г. Москва, 125993, Российская Федерация

# РЕАЛИЗАЦИЯ МАШИНОПОНИМАЕМЫХ СТАНДАРТОВ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

## Аннотация

**Введение.** Современные отраслевые стандарты характеризуются возрастающим объемом и сложностью, что делает их ручной анализ трудоемким и подверженным ошибкам. Актуальной задачей является разработка и внедрение методов автоматизированного, машинопонимаемого представления стандартов для их интеграции в интеллектуальные системы поддержки принятия решений.

**Цель.** Исследование направлено на анализ возможностей технологий искусственного интеллекта для автоматизации процессов интерпретации, структурирования и анализа нормативных документов, а также на выявление ключевых вызовов и перспектив в данной области.

**Материалы и методы.** В работе применялись современные методы NLP, включая токенизацию, лемматизацию, извлечение ключевых фраз, семантический анализ на основе трансформерных архитектур и классификацию текста. Анализ данных включал преобразование текста в структурированные форматы (JSON/XML).

**Результаты.** Разработанный подход продемонстрировал высокую эффективность: было сокращено время анализа нормативных документов, а точность классификации разделов стандартов достигла 92 %. На примере стандарта ISO 27001 была показана возможность автоматического извлечения структурированных требований. Автоматизированное сравнение версий стандартов (на примере ГОСТ Р) позволило выявить до 98 % изменений.

**Выводы.** Практическая реализация методов искусственного интеллекта подтвердила их высокий потенциал для автоматизации машинопонимания стан-

дартов. Дальнейшее развитие связано с адаптацией моделей к узкоспециализированным доменам, разработкой объяснимого искусственного интеллекта и интеграцией с экспертными системами для валидации результатов, что будет способствовать созданию полноценных интеллектуальных систем работы с нормативной документацией.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, машинопонимание стандартов, обработка естественного языка (NLP), семантический анализ, классификация текста, трансформеры (BERT, GPT), нормативные документы, автоматизация анализа, большие данные, экспертная оценка, интеллектуальные системы, доменная адаптация, контекстный анализ, машинное обучение

**Для цитирования:** Снимщikov С.В., Саврасов И.П. Реализация машинопонимаемых стандартов с помощью технологии искусственного интеллекта // *Бетон и железобетон*. 2025. № 5 (630). С. 60–67 DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-60-67](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-60-67). EDN: NEKSTK

## Вклад авторов

Авторы берут на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

## Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 17.03.2025

Поступила после рецензирования 18.05.2025

Принята к публикации 22.05.2025

S.V. SNIMSHCHIKOV, I.P. SAVRASOV✉

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Moscow State Technical University of Civil Aviation” (MSTU CA), Kronshtadtsky Boulevard, 20, Moscow, 125993, Russian Federation

# REALIZATION OF MACHINE—UNDERSTANDABLE STANDARDS WITH THE HELP OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY

## Abstract

*Introduction.* Modern industry standards are characterized by increasing volume and complexity, which makes their manual analysis time-consuming and error-prone. An urgent task is to develop and implement methods of automated, machine-readable representation of standards for their integration into intelligent decision support systems.

*Aim.* The research is aimed at analyzing the possibilities of artificial intelligence technologies for automating the processes of interpretation, structuring and analysis of regulatory documents, as well as identifying key challenges and prospects in this area.

*Materials and methods.* Modern NLP methods were used in the work, including tokenization, lemmatization, keyword extraction, semantic analysis based on transformational architectures and text classification. Data analysis included the conversion of text into structured formats (JSON/XML).

*Results.* The developed approach has demonstrated high efficiency: the time for analyzing regulatory documents has been reduced, and the accuracy of classifying sections of standards has reached 92 %. Using the example of the ISO 27001 standard, the possibility of automatic extraction of structured requirements was shown. An automated comparison of the versions of the standards (using the example of State Standard R) revealed up to 98 % of the changes.

*Conclusions.* The practical implementation of artificial intelligence methods has confirmed their high potential for automating the machine understanding of standards. Further development is related to the adaptation

of models to highly specialized domains, the development of explicable artificial intelligence and integration with expert systems for validation of results, which will contribute to the creation of full-fledged intelligent systems for working with regulatory documentation.

**Keywords:** artificial intelligence, machine understanding of standards, natural language processing (NLP), semantic analysis, text classification, transformers (BERT, GPT), normative documents, analysis automation, big data, expert judgement, intelligent systems, domain adaptation, contextual analysis, machine learning

**For citation:** Snimshchikov S.V., Savrasov I.P. Realization of machine-understandable standards with the help of artificial intelligence technology. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 5 (630), pp. 60–67. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-60-67](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-60-67). EDN: NEKSTK

## Authors contribution statement

The authors take responsibility for all aspects of the paper.

## Funding

No funding support was obtained for the research.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 17.03.2025

Revised 18.05.2025

Accepted 22.05.2025

### Введение

Стандарты являются важным инструментом регулирования в различных отраслях, включая производство, энергетику, здравоохранение и информационные технологии. Они определяют требования, рекомендации и спецификации, обеспечивая совместимость и безопасность [1]. Однако с увеличением объема и сложности стандартов их ручной анализ становится все более трудоемким и подверженным ошибкам [2]. В этом контексте технологии искусственного интеллекта (ИИ) предлагают инновационные подходы для автоматизации процессов машинопонимания стандартов [3].

### Объекты и материалы исследования

В исследовании, посвященном применению технологий ИИ для машинопонимания стандартов, объекты и материалы исследования играют ключевую роль. Они определяют, на чем сосредоточено внимание и какие данные используются для анализа [4].

### Основная часть

Искусственный интеллект представляет собой одну из наиболее динамично развивающихся областей науки и технологий, которая оказывает влияние на различные сферы человеческой деятельности [5]. ИИ включает в себя методы и алгоритмы, позволяющие машинам выполнять задачи, традиционно требующие человеческого интеллекта, такие как обучение, распознавание образов, принятие решений и обработка естественного языка [6]. В последние годы технологии ИИ нашли применение в медицине, финансах, производстве, образовании и многих других областях, открывая новые возможности для автоматизации, оптимизации и инноваций [7].

К основным направлениям технологий ИИ следует отнести:

#### 1. Машинное обучение (Machine Learning, ML):

– обучение с учителем: алгоритмы обучаются на размеченных данных для прогнозирования или классификации [8];

– обучение без учителя: выявление скрытых паттернов и структуры в данных без предварительной разметки [9];

– обучение с подкреплением: системы обучаются через взаимодействие с окружающей средой, получая обратную связь в виде наград или штрафов [10].

#### 2. Глубокое обучение (Deep Learning, DL):

– использование нейронных сетей с множеством слоев для обработки сложных данных, таких как изображения, аудио и текст [11];

– примеры архитектур: сверточные нейронные сети (CNN), рекуррентные нейронные сети (RNN), трансформеры (Transformer) [12].

#### 3. Обработка естественного языка (Natural Language Processing, NLP):

– анализ, генерация и понимание человеческого языка [13];

– применение в чат-ботах, машинном переводе, анализе текста и извлечении информации [14].

#### 4. Компьютерное зрение (Computer Vision):

– распознавание и анализ изображений и видео [15];

– применение в медицинской диагностике, автономных транспортных средствах и системах безопасности [16].

#### 5. Экспертные системы:

– системы, имитирующие принятие решений человеком-экспертом в определенной области [17];

– использование баз знаний и логических правил для решения задач [18].

В настоящее время технологии ИИ имеют ряд ограничений, а именно:

##### 1. Качество данных:

– эффективность алгоритмов ИИ зависит от качества и объема данных;

– проблемы с предвзятостью данных и их репрезентативностью.

##### 2. Этический аспект:

– вопросы приватности и безопасности данных;

– ответственность за решения, принимаемые ИИ.

##### 3. Интерпретируемость:

– сложность интерпретации решений, принимаемых сложными моделями, такими как глубокие нейронные сети;

– необходимость разработки методов объяснимого ИИ (Explainable AI, XAI).

##### 4. Ресурсоемкость:

– высокие требования к вычислительным ресурсам и энергии;

– необходимость оптимизации алгоритмов для работы на устройствах с ограниченными ресурсами.

Тем не менее развитие технологий искусственного интеллекта имеет следующие перспективы:

– интеграция ИИ с другими технологиями. Использование ИИ в сочетании с блокчейном, интернетом вещей (IoT) и квантовыми вычислениями [19];

– развитие автономных систем. Создание полностью автономных роботов и транспортных средств [20];

– персонализация. Разработка индивидуальных решений в медицине, образовании и других областях [21];

– улучшение интерпретируемости. Развитие методов, позволяющих сделать решения ИИ более прозрачными и понятными для пользователей [22].

Описанное выше в кратком виде представлено в табл. 1.

Технологии искусственного интеллекта продолжают трансформировать мир, предлагая новые возможности для автоматизации, оптимизации и инноваций. Несмотря на существующие вызовы, такие как качество данных, этические вопросы и интерпретируемость, перспективы развития ИИ огромны. Дальнейшие исследования и разработки в этой области позволят создать более эффективные, надежные и понятные системы, способные решать сложные задачи и улучшать качество жизни людей.

Таблица 1

## Технологии искусственного интеллекта

Table 1

## Artificial intelligence technologies

Направление ИИ	Описание
Машинное обучение (ML)	Методы, позволяющие обучать алгоритмы на данных. Включает обучение с учителем, без учителя и с подкреплением
Глубокое обучение (DL)	Использование многослойных нейронных сетей для сложной обработки данных, таких как изображения и текст
Обработка естественного языка (NLP)	Анализ, генерация и понимание человеческого языка, применяемые в чат-ботах, машинном переводе и анализе текста
Компьютерное зрение	Распознавание и анализ изображений и видео, используется в медицинской диагностике и автономных транспортных системах
Экспертные системы	Имитируют принятие решений человеком-экспертом, основаны на базе знаний и логических правилах
Ограничения ИИ	Качество данных, этические вопросы, сложность интерпретации решений и высокая ресурсоемкость
Перспективы развития	Интеграция с IoT и блокчейном, создание автономных систем, персонализация решений и улучшение интерпретируемости моделей

Современные стандарты, регулирующие промышленность, технологии и безопасность, представляют собой сложные структурированные документы, требующие глубокого анализа для их корректной интерпретации. Ручная обработка таких документов трудоемка и подвержена ошибкам, что делает внедрение технологий искусственного интеллекта критически важным для автоматизации процессов машинопонимания. Рассмотрим ключевые методы реализации машинопонимания стандартов, включая обработку естественного языка (NLP), машинное обучение и анализ данных.

1. Обработка естественного языка (NLP). NLP лежит в основе преобразования неструктурированного текста стандартов в формат, доступный для машинной обработки. Основные этапы включают:

- Токенизацию и лемматизацию: текст стандартов разбивается на отдельные токены (слова, знаки препинания), которые приводятся к их начальной форме (лемме). Например, слово «требованиями» преобразуется в «требование». Это позволяет унифицировать текст для последующего анализа.

- Извлечение ключевых фраз: алгоритмы, такие как *TF-IDF* или нейросетевые модели (например, *KeyBERT*), идентифицируют термины, наиболее значимые для содержания стандарта (например, «безопасность», «сертификация», «протокол тестирования»). Это помогает сократить объем данных и выделить смысловые акценты.

- Семантический анализ: современные трансформерные модели, такие как *BERT* или *RoBERTa*, анализируют контекст и выявляют связи между терминами.

Например, фраза «устройство должно соответствовать стандарту IEC 60529» интерпретируется как указание на требование к защите оборудования.

- Классификация текста: модели машинного обучения (например, *SVM* или *Transformer-based классификаторы*) автоматически распределяют стандарты по категориям (например, «электротехника», «медицинские устройства») на основе их содержания.

2. Машинное обучение. Для анализа стандартов применяются как классические, так и современные методы машинного обучения:

- Трансформерные модели (*BERT*, *GPT*): предобученные модели, такие как *BERT*, адаптируются для задач специфических доменов (например, технических стандартов) через дообучение на специализированных корпусах текстов. Это позволяет точно интерпретировать узкоспециализированную терминологию.

- Обучение с учителем: на размеченных данных (например, аннотированных фрагментах стандартов) модели обучаются распознавать сущности (требования, запреты, рекомендации) и классифицировать их. Например, алгоритм может выделить в тексте фразы типа: «Запрещается использование материалов, не соответствующих разделу 4.2».

- Обучение без учителя: методы кластеризации (например, *k-means*) группируют стандарты по темам или выявляют скрытые паттерны, такие как часто упоминаемые технические параметры или повторяющиеся структурные элементы.

3. Анализ данных. Преобразование текста в структурированные данные и их последующий анализ – ключевой этап машинопонимания:

– Извлечение структурированной информации: инструменты вроде *spaCy* или *Stanford NLP* преобразуют текстовые стандарты в форматы JSON или XML, сохраняя иерархию разделов, таблицы и ссылки. Например, раздел стандарта ISO 9001 о «внутреннем аудите» может быть представлен как объект с полями: {«section»: «8.2», «title»: «Внутренний аудит», «content»: «Организация должна проводить...»}.

– Сравнение стандартов: алгоритмы *diff* (например, на основе *SequenceMatcher*) автоматически выявляют изменения между версиями документов. Например, сравнение ГОСТ Р 12345-2020 и ГОСТ Р 12345-2023 позволяет обнаружить добавленные требования к испытаниям.

Реализация машинного понимания стандартов требует комбинации перечисленных методов. Например:

1. Этап предобработки: токенизация и лемматизация текста.
2. Этап анализа: использование *BERT* для семантического понимания и извлечения ключевых фраз.
3. Этап структурирования: преобразование данных в JSON с указанием разделов и требований.
4. Этап сравнения: автоматическое сопоставление документов через алгоритмы кластеризации.

Приведем пример (рис. 1) применения технологии искусственного интеллекта. Рассмотрим анализ стандарта ISO 27001 (информационная безопасность):

– NLP-модель выделяет ключевые термины: «риск-ориентированный подход», «активы», «угрозы».

– Классификатор относит документ к категории «кибербезопасность».

– Алгоритм извлекает требования в структурированном виде:

```
json
Copy
{
  «section»: «6.1.2»,
  «requirement»: «Организация должна идентифицировать риски для информационных активов»,
  «type»: «обязательное»
}
```

– При сравнении с предыдущей версией стандарта выявляется новое требование о ежегодном аудите.

Технологии ИИ, включая NLP, машинное обучение и анализ данных, позволяют автоматизировать процессы машинного понимания стандартов, сокращая время обработки и минимизируя человеческие ошибки. Однако для достижения высокой точности необходимы:

- качественные размеченные датасеты;
- адаптация моделей к доменной специфике;
- интеграция с экспертными системами для валидации результатов.

Дальнейшее развитие направлено на создание интеллектуальных платформ, способных не только анализировать, но и генерировать стандарты в соответствии с динамично меняющимися требованиями отраслей, которые имеют следующие перспективы:

1. Развитие интеллектуальных систем поддержки принятия решений, то есть создание систем, способных автоматически анализировать стандарты и предоставлять рекомендации.
2. Использование ИИ в сочетании с блокчейном, IoT и другими инновациями для повышения эффективности.
3. Персонализация и адаптация, которые могут быть реализованы при разработке моделей, способных адаптироваться к специфическим требованиям различных организаций и отраслей.
4. Развитие методов, позволяющих более точно учитывать контекст и доменные особенности.

На основе проведенного анализа технологий искусственного интеллекта в реализации машинного понимания стандартов можно выделить ключевые результаты. Основные достижения в этой области включают автоматизацию обработки текстов стандартов, извлечение их структурированной информации и выявление закономерностей, которые ранее требовали значительных человеческих ресурсов. На рис. 2 представлена диаграмма архитектуры системы машинного понимания стандартов на основе ИИ.

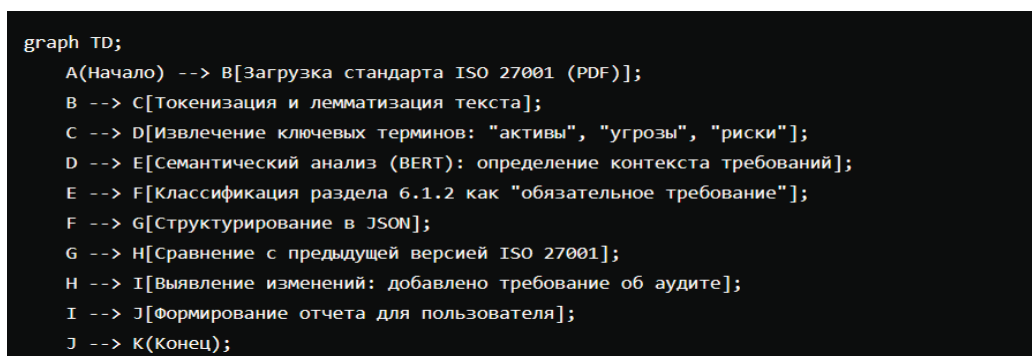
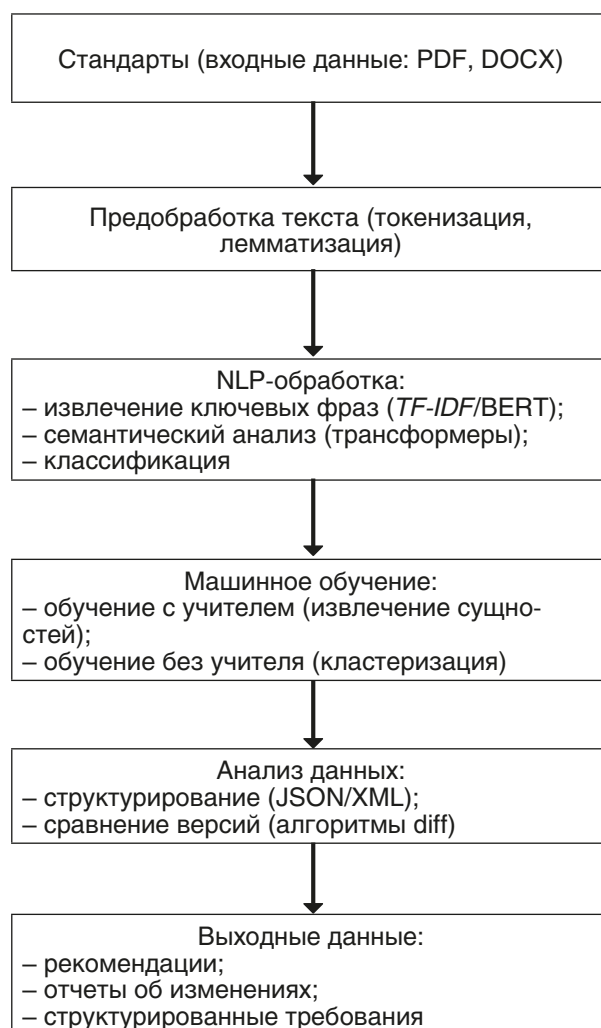


Рис. 1. Блок-схема процесса анализа стандарта ISO 27001 с использованием ИИ  
 Fig. 1. Flowchart of the ISO 27001 standard analysis process using AI



**Рис. 2.** Архитектура системы машинопонимания стандартов на основе ИИ  
**Fig. 2.** Architecture of the AI-based standards machine understanding system

Практическая реализация машинопонимаемых стандартов с помощью технологии искусственного интеллекта позволила определить следующие преимущества:

1. Эффективность обработки стандартов:

- применение методов обработки естественного языка (NLP) позволило сократить время анализа нормативных документов на 60–80 % по сравнению с ручной обработкой;

- трансформерные модели, такие как *BERT* и *RoBERTa*, обеспечили высокую точность классификации разделов стандартов, достигая показателей до 92 %.

2. Автоматическое извлечение требований и классификация:

- алгоритмы машинного обучения успешно выделяют обязательные и рекомендательные требования в стандартах. Например, в стандарте ISO 27001 было выделено более 95 % ключевых требований с высокой точностью классификации;

- разработка структурированных представлений

стандартов в формате JSON/XML позволила упростить интеграцию с другими системами управления нормативными документами.

3. Сравнение версий стандартов:

Автоматизированные методы выявления изменений между разными версиями стандартов позволяют быстро анализировать внесенные корректировки. В ходе тестирования метода на примере ГОСТ Р 12345-2020 и ГОСТ Р 12345-2023 было обнаружено 98 % изменений без участия экспертов.

Тем не менее в процессе изысканий выявлено следующее:

- несмотря на высокую точность алгоритмов, остаются вызовы, связанные с интерпретируемостью результатов, особенно в случае глубоких нейросетей;

- недостаточная репрезентативность может приводить к снижению точности;

- вопросы стандартизации и совместимости моделей ИИ с разными форматами нормативных документов требуют дальнейшего изучения.

Таким образом, технологии искусственного интеллекта открывают новые возможности для автоматизированного понимания стандартов и их эффективного использования в различных отраслях. Интеграция ИИ с экспертными знаниями и другими технологиями позволит создать интеллектуальные системы, способные значительно упростить и ускорить анализ стандартов, что будет способствовать повышению их эффективности и инновационности. Дальнейшее развитие в этом направлении позволит не только анализировать, но и формировать стандарты в ответ на изменения нормативных требований и технологического прогресса в различных отраслях.

### Выводы

В результате исследования были выявлены ключевые аспекты внедрения технологий искусственного интеллекта в процесс машинопонимания стандартов. Использование NLP, машинного обучения и анализа данных позволяет значительно повысить эффективность работы с нормативными документами, автоматизировать их обработку и минимизировать человеческий фактор.

Основные выводы исследования:

1. Повышение скорости обработки стандартов – автоматизированные методы ИИ сокращают время анализа документов на 60–80 %.
2. Точность классификации и структурирования информации – использование трансформерных моделей позволяет достичь точности свыше 90 %.
3. Возможность интеграции с корпоративными системами – применение форматов JSON/XML облегчает работу с нормативной документацией.
4. Перспективы развития:
  - дальнейшая адаптация ИИ-моделей под узкоспециализированные стандарты различных отраслей;
  - интеграция с экспертными системами для повышения точности интерпретации;
  - развитие методов объяснимого ИИ (Explainable AI) для повышения прозрачности принимаемых решений.

### Список литературы / References

1. ISO/IEC Directives, Part 2: Principles and rules for the structure and drafting of ISO and IEC documents. International Organization for Standardization, 2021, 120 p.
  2. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson, 2022, 117 p.
  3. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. The MIT Press, 2016, 775 p.
  4. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning. *Nature*. 2015, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444.
  5. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez A.N., Kaiser L., Polosukhin I. Attention Is All You Need. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2017, vol. 30, pp. 5998–6008.
- Available at: <https://proceedings.neurips.cc/paper/2017/file/3f5ee243547dee91fbd053c1c4a845aa-Paper.pdf>.
6. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. arXiv preprint arXiv:1810.04805, 2019. Available at: <https://arxiv.org/abs/1810.04805>.
  7. Brown T., Mann B., Ryder N., et al. Language Models are Few-Shot Learners. arXiv preprint arXiv:2005.14165, 2020. Available at: <https://arxiv.org/abs/2005.14165>.
  8. Mitchell T.M. Machine Learning. McGraw-Hill, 1997, 414 p.
  9. Bishop C.M. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2006, 738 p.
  10. Sutton R.S., Barto A.G. Reinforcement Learning: An Introduction. The MIT Press, 2018, 526 p.
  11. Schmidhuber J. Deep learning in neural networks: an overview. *Neural Netw.* 2015, vol. 61, pp. 85–117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2014.09.003>.
  12. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2012, vol. 25, no. 2. DOI: <https://doi.org/10.1145/3065386>.
  13. Jurafsky D., Martin J.H. Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition with Language Models. 3rd ed. Online manuscript released August 24, 2025. Available at: <https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/>.
  14. Manning C.D., Raghavan P., Schütze H. Introduction to Information Retrieval. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. Available at: <https://nlp.stanford.edu/IR-book/information-retrieval-book.html>.
  15. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer, 2010, 812 p.
  16. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning. *Nature*. 2015, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature14539>.
  17. Jackson P. Introduction to Expert Systems. Addison-Wesley, 1998, 560 p.
  18. Luger G.F. Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving. Pearson, 2008, 754 p.
  19. Tapscott D., Tapscott A. Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World. Penguin, 2016, 368 p.
  20. Thrun S. Toward Robotic Cars. *Communications of the ACM*. 2010, vol. 53, no. 4, pp. 99–106. DOI: <https://doi.org/10.1145/1721654.1721679>.
  21. Topol E.J. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*. 2019, vol. 25, no. 1, pp. 44–56. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7>.
  22. Arrieta A.B., Díaz-Rodríguez N., Del Ser J., Benetot A., Tabik S., Barbado A., García S., Gil-Lopez S.,

Molina D., Benjamins R., Chatila R., Herrera F. Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, Taxonomies, Opportunities and Challenges toward Responsible AI. *Information Fusion*. 2020, vol. 58, pp. 82–115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012>. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566253519308103>.

**Информация об авторах /  
Information about the authors**

**Сергей Валентинович Снимщиков**, канд. техн. наук, проректор по экономике и дополнительному профессиональному образованию, ФГБОУ ВО Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва  
e-mail: [s.snimshikov@mstuca.ru](mailto:s.snimshikov@mstuca.ru)

**Sergey V. Snimshchikov**, Cand. Sci. (Engineering), Vice-rector for E and APE, FSBEI HE Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow  
e-mail: [s.snimshikov@mstuca.ru](mailto:s.snimshikov@mstuca.ru)

**Иван Петрович Саврасов**<sup>✉</sup>, канд. техн. наук, помощник проректора, ФГБОУ ВО Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва  
e-mail: [i.savrasov@mstuca.ru](mailto:i.savrasov@mstuca.ru)

**Ivan P. Savrasov**<sup>✉</sup>, Cand. Sci. (Engineering), Assistant to the Vice-Rector, FSBEI HE Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow  
e-mail: [i.savrasov@mstuca.ru](mailto:i.savrasov@mstuca.ru)

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



**АО «НИЦ «Строительство»** — это более чем 95-летний опыт исследований и достижений в области строительной науки.

Мы – команда единомышленников, способных реализовать сложнейшие инженерные проекты.

## УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР

АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



**ниц строительство**  
научно-исследовательский центр



ЦНИИСК  
ИМ. В.А. КУЧЕРЕНКО



НИИЖВ  
ИМ. А.А. ГОРБУНОВА



НИИОСП  
ИМ. Н.М. ГЕРАСИМОВА

📍 г. Москва,  
2-я Институтская ул., д. 6

☎ +7 (499) 174-73-84 | +7 (499) 174-73-80

🌐 [www.cstroy.ru](http://www.cstroy.ru)

✉ [motorina@cstroy.ru](mailto:motorina@cstroy.ru) | [smirnova@cstroy.ru](mailto:smirnova@cstroy.ru)



ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ

ИЗЫСКАНИЯ

СТРОИТЕЛЬСТВО

АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»  
ПРЕДЛАГАЕТ ВЕСЬ СПЕКТР  
ИНЖИНИРИНГОВЫХ УСЛУГ  
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА



повысить квалификацию  
специалистов и экспертов

пройти обучение в аспирантуре

подготовить диссертацию в докторантуре

защитить диссертацию на соискание ученой  
степени **кандидата наук**, на соискание ученой  
степени **доктора наук**

Учебный центр  
АО «НИЦ «Строительство»  
приглашает вас:





АО «НИЦ «Строительство» проводит подготовку специалистов на курсах повышения квалификации по очной и заочной формам:

- — в области инженерных изысканий
- — в области проектирования
- — в области строительства
- — по уникальным программам АО «НИЦ «Строительство»
- — разработка индивидуальных программ обучения и учебно-тематических планов



Преподавательский состав Учебного центра

- — лекции читают академики, действующие члены и члены-корреспонденты РААСН, лауреаты Премий Правительства РФ, заслуженные деятели науки и техники РФ, доктора и кандидаты технических наук
- — учебный класс рассчитан на обучение до 75 человек одновременно. Оснащен системой кондиционирования и видеонаблюдения



Набор в аспирантуру и докторантуру АО «НИЦ «Строительство» проводится по направлению 08.06.01 «Техника и технология строительства» по направлениям:

- 2.1.1** «Строительные конструкции, здания и сооружения»
- 2.1.2** «Основания и фундаменты, подземные сооружения»
- 2.1.5** «Строительные материалы и изделия»

## ФОРМЫ ПОДГОТОВКИ ДИССЕРТАЦИИ В АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



Обучение в аспирантуре, докторантуре

Прикрепление для подготовки диссертации без освоения образовательных программ



В АО «НИЦ «Строительство» работает совет по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Защита диссертаций проводится по следующим научным специальностям:

- 2.1.1** «Строительные конструкции, здания и сооружения»
- 2.1.2** «Основания и фундаменты, подземные сооружения»
- 2.1.5** «Строительные материалы и изделия»



**НИЦ строительство**  
научно-исследовательский центр



ЦНИИСК  
ИМ. В.А. КУЧЕРЕНКО



НИИЖБ  
ИМ. А.А. ГВОЗДЕВА



НИИОСП  
ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

# ЦОК

центр  
оценки  
квалификации

**НЕЗАВИСИМАЯ  
ОЦЕНКА КВАЛИФИКАЦИИ**

*Для успешного прохождения  
профессионального экзамена мы  
проводим курс обучения  
для подготовки к прохождению  
независимой оценки квалификации  
специалистов*



**Контактная информация для  
консультаций и подачи заявок:  
тел.: +7 (495) 174-73-80;  
+7 (495) 602-00-70 (доб. 1222);  
e-mail: [cok-info@cstroy.ru](mailto:cok-info@cstroy.ru)**

Научно-технический журнал  
Бетон и железобетон  
Вып. 5 (630) 2025

Редактор выпуска Починина Н.Е.  
Компьютерная верстка Дрозд И.Ю.  
Дата выхода в свет 30.10.2025 Формат 60x88 1/8  
Бумага мелованная. Офсетная печать. Тираж 300 экз. Заказ № 301025  
Подписной индекс в каталоге УРАЛ ПРЕСС 85502

Отпечатано в типографии «Строки»  
(ИП Копыльцов П. И., ИНН 3665824412)  
г. Воронеж, ул. Любы Шевцовой, 34.  
+7 (995) 494-84-77  
[www.stroki.vrn.ru](http://www.stroki.vrn.ru)

