

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0005-9889

# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

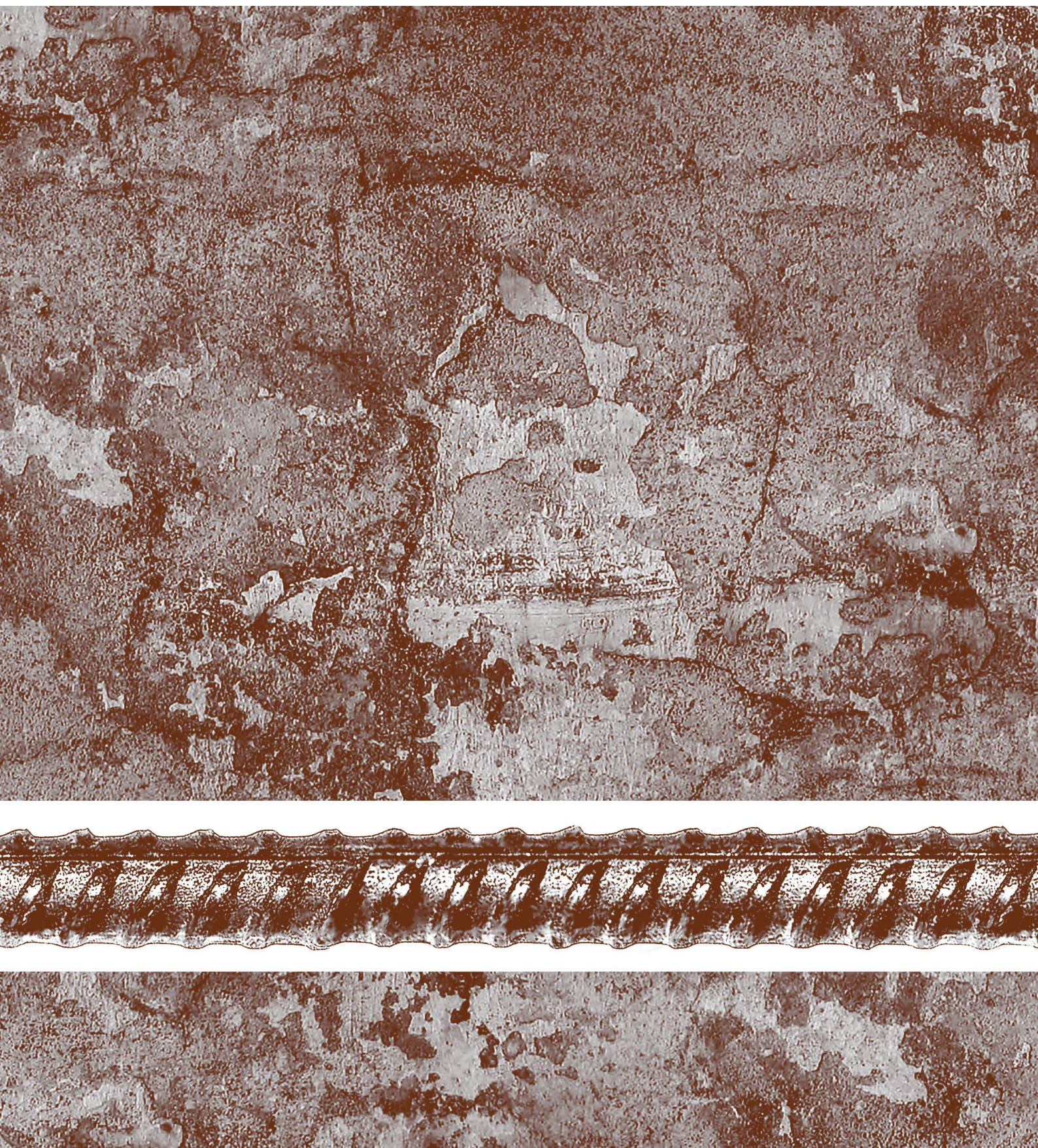
2

616

2023

WWW.BZHB.RU

ИЗДАЕТСЯ С 1955 ГОДА





**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 в Министерстве печати и  
информации РФ  
Рег. ПИ № ФС 77-76959 от 09.10.2019  
ISSN 0005-9889 (Print)  
Основан: Институт НИИЖБ Госстроя СССР  
и ВНИИжелезобетон  
Минстройматериалов СССР

# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Издается с 1955 г.

2 (616)  
Март–апрель 2023

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

В.В. ДЬЯЧКОВ

**Перспективы применения стальной арматуры с защитными  
покрытиями в железобетонных конструкциях . . . . . 5**

В.Н. СТРОЦКИЙ, В.И. САВИН, В.В. ПОЛЕТАЕВ

**Прочностные характеристики легкого бетона  
на гранулированной пеностеклокерамике. . . . . 14**

Л.А. ТИТОВА, М.И. БЕЙЛИНА, В.А. ШАБАЛИН, М.Ю. ТИТОВ, С.И. ИВАНОВ

**Пересмотр стандарта ГОСТ 32803 «Бетоны напрягающие.  
Технические условия» в свете возможности дальнейшего  
развития области применения эффективных бетонов. . . . . 31**

## ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

А.Л. АЛТУХОВ, Л.Г. СЕРГЕЕВА, Р.Ш. ШАРИПОВ

**Некоторые результаты технического обследования и подходы  
к усилению монолитных железобетонных конструкций  
спортивного комплекса «Центр скалолазания» . . . . . 40**

### *В помощь инженеру–проектировщику*

С.А. ЗЕНИН

**К вопросу расчета железобетонных конструкций  
на действие изгибающих моментов, продольных  
и поперечных сил по СП 63.13330.2018 . . . . . 50**

#### **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,  
корп. 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, building 2, Ryazansky prospect,  
 Moscow, 109428, Russian Federation

**Publisher:** JSC Research Center of Construction

Address: 6, bld. 1, 2nd Institutskaya str.,  
 Moscow, 109428, Russian Federation

The journal is registered by the RF  
 Ministry of Press, Broadcasting and Mass  
 Communications PI № FS 77-76959  
 dated 09.10.2019 (Russia)  
 ISSN 0005-9889 (Print)

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

# BETON I ZHELEZOBETON

Published since 1955

2 (616)  
 March–April'2023

## BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

V.V. DYACHKOV

**Prospects for the use of steel reinforcement  
 with protective coatings in reinforced concrete structures . . . . . 5**

V.N. STROTSKY, V.I. SAVIN, V.V. POLETAEV

**Strength characteristics of lightweight concrete  
 based on granular foam glass ceramics . . . . . 14**

L.A. TITOVA, M.I. BEILINA, V.A. SHABALIN, M.Yu. TITOV, S.I. IVANOV

**Revision of the State Standard 32803 "Self-stressing concrete.  
 General specifications" in the light of the possibility of further  
 development of the field of application of effective concrete . . . . . 31**

## TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

A.L. ALTUKHOV, L.G. SERGEEVA, R.Sh. SHARIPOV

**Some results of the technical survey and approaches  
 to strengthening of the monolithic reinforced concrete structures  
 of the sports complex "Climbing Center" . . . . . 40**

### *To help a design engineer*

S.A. ZENIN

**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 . . . . . 50**

**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, заместитель генерального директора АО «НИЦ «Строительство» по научной работе (Москва, Российская Федерация)

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

---

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

**ВОЛКОВ Ю.С.**, канд. техн. наук, советник РААСН, ученый секретарь НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» (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», член-корреспондент РААСН (Москва, Российская Федерация)

**КРЫЛОВ С.Б.**, д-р техн. наук, заведующий лабораторией механики железобетона НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», член-корреспондент 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 – KIT (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 ВНИИЖелезобетон» (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)

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

## Editorial team:

**ZVEZDOV A.I.**, Editor-in-Chief, Dr. Sci. (Engineering), Deputy Director General for Research, 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)

---

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

**VOLKOV Yu.S.**, Cand. Sci. (Engineering), Advisor of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Scientific Secretary of Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction (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, Corresponding 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, Corresponding 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 VNIIZhelezbekon" 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, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Counselor of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (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)

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

**FALIKMAN V.R.**, Cand. Sci. (Chemical), Doctor of Materials Science, 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)

В.В. ДЬЯЧКОВ

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

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ С ЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

## Аннотация

*Введение.* Коррозия стальной арматуры является одним из главных факторов разрушения железобетонных конструкций, подвергающихся воздействию агрессивных сред. Применение стальной арматуры с защитными покрытиями, наносимыми на ее поверхность в заводских условиях, является одним из важных направлений в создании долговечных железобетонных конструкций.

*Цель.* Показать возможные перспективы применения в России различных защитных покрытий арматуры для увеличения долговечности железобетонных конструкций в условиях воздействия агрессивных сред. Разработать предложения о необходимости выполнения научно-исследовательских работ для создания нормативной базы и внедрения в практику строительства арматуры с защитным покрытием.

*Материалы и методы.* Определение перспектив применения защитных покрытий арматуры в железобетонных конструкциях выполнено с помощью анализа научно-технической литературы, статей, нормативно-технических документов и информации из открытых источников по изучаемой проблеме.

*Результаты.* Приведен опыт применения стальной арматуры с защитными покрытиями в России и за рубежом. Выделены наиболее применяемые технологии нанесения защитных покрытий на арматуру в заводских условиях. На примере исследований показаны основные достоинства и недостатки арматуры с защитным покрытием как в части долговечности самого покрытия, так и в части совместной работы с бетоном. Состояние отечественной и зарубежной нормативных баз значительно отличается друг от друга. В отличие от России, за рубежом создана обширная нормативная база, позволяющая выполнять проектирование железобетонных конструкций с арматурой с защитными покрытиями. На примере зарубежного опыта выявлены наиболее экономически целесообразные виды защитных покрытий. При некотором удорожании стоимости арматуры с защит-

ными покрытиями по сравнению с обычной арматурой экономическая эффективность в целом достигается за счет увеличения межремонтного срока службы железобетонной конструкции.

*Выводы.* Современная практика проектирования и строительства показывает, что для целого ряда железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия агрессивных сред, является необходимым применение арматуры с защитными покрытиями. Существуют большие перспективы применения арматуры с защитными покрытиями в России, однако в этом направлении необходимо развивать нормативно-техническую базу. По итогам анализа вопроса даны предложения о необходимости выполнения научно-исследовательских работ и перечень необходимых нормативно-технических документов для внедрения в практику строительства арматуры с защитным покрытием.

**Ключевые слова:** арматура, бетон, железобетонные конструкции, защитное покрытие, условия окружающей среды, арматура с цинковым покрытием, арматура с эпоксидным покрытием

**Для цитирования:** Дьячков В.В. Перспективы применения стальной арматуры с защитными покрытиями в железобетонных конструкциях // *Бетон и железобетон*. 2023. № 2 (616). С. 5–13. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2\(616\)-5-13](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2(616)-5-13)

## 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 17.02.2023

Поступила после рецензирования 21.03.2023

Принята к публикации 23.03.2023

V.V. DYACHKOV

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

# PROSPECTS FOR THE USE OF STEEL REINFORCEMENT WITH PROTECTIVE COATINGS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

## Abstract

*Introduction.* Corrosion of steel reinforcement is one of the main factors of destruction of reinforced concrete structures exposed to aggressive environment. The use of steel reinforcement with protective coatings applied to its surface in factory conditions is one of the important directions in the creation of durable reinforced concrete structures.

*Aim.* To show possible prospects for the use of various reinforcement protective coatings in Russia to increase the durability of reinforced concrete structures under the influence of aggressive environment. To develop proposals on the need to carry out research work to create a regulatory base and introduce into practice the construction of reinforcement with a protective coating.

*Materials and methods.* The determination of the prospects for the use of protective coatings of reinforcement in reinforced concrete structures was carried out by analyzing scientific and technical literature, articles, regulatory and technical documents and information from open sources on the problem under study.

*Results.* The experience of using steel reinforcement with protective coatings in Russia and abroad is given. The most widely used technologies for applying protective coatings to reinforcement in factory conditions are highlighted. The main advantages and disadvantages of reinforcement with a protective coating are shown on the example of studies, both in terms of the durability of the coating itself and in terms of working together with concrete. The state of the domestic and foreign regulatory base differs significantly from each other. In contrast to Russia, an extensive regulatory base has been created abroad that allows the design of reinforced concrete structures with reinforcement with protective coatings. Using the example of foreign experience, the most economically feasible types of protective coatings have been identified. With a certain increase in the cost of reinforce-

ment with protective coatings compared to black reinforcement, economic efficiency is generally achieved by increasing the service life of the reinforced concrete structure.

*Conclusions.* Modern design and construction practice shows that for a number of reinforced concrete structures operating under the influence of aggressive environment, it is necessary to use reinforcement with protective coatings. There are great prospects for the use of reinforcement with protective coatings in Russia, but it is necessary to develop a regulatory and technical base in this direction. Based on the results of the analysis of the issue, proposals are given on the need to carry out research and a list of necessary regulatory and technical documents for the introduction of reinforcement with a protective coating into the practice of construction.

**Keywords:** reinforcement, concrete, reinforced concrete structures, protective coating, environmental conditions, galvanized rebar, epoxy coated rebar

**For citation:** Dyachkov V.V. Prospects for the use of steel reinforcement with protective coatings in reinforced concrete structures. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 2 (616), pp. 5–13. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2\(616\)-5-13](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2(616)-5-13)

## 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 authors declare that there is no conflict of interest.

Received 17.02.2023

Revised 21.03.2023

Accepted 23.03.2023



### Введение

Согласно СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» [1], одним из важнейших требований к железобетонным конструкциям является требование по долговечности. Для выполнения данного требования конструкция должна иметь такие начальные характеристики, чтобы в течение установленного длительного времени (расчетный срок службы) она удовлетворяла требованиям по безопасности и эксплуатационной пригодности с учетом влияния на геометрические характеристики конструкции и механические характеристики материалов различных расчетных воздействий (длительное действие нагрузки, неблагоприятные климатические, технологические, температурные и влажностные воздействия, попеременное замораживание и оттаивание, агрессивные воздействия и др.). Проектирование железобетонных конструкций выполняется таким образом, чтобы на протяжении всего расчетного срока эксплуатации конструкций обеспечивалась сохранность стальной арматуры и ее совместная работа с бетоном. К числу требований, обеспечивающих безопасность, эксплуатационную пригодность и долговечность конструкции, добавляются соответствующие требования к арматуре, одним из которых является недопущение ее повреждения в результате воздействия окружающей среды с последующим ухудшением механических и иных свойств.

### Материалы и методы

В соответствии с действующими нормативными документами предупреждение повреждений арматуры железобетонных конструкций обеспечивают методами первичной и вторичной защиты. Первичная защита строительных конструкций реализуется на стадии проектирования в соответствии с требованиями ГОСТ 31384 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования» [2] и СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии» [3] и заключается в выборе оптимальных конструктивных решений и материалов. Вторичная защита реализуется в соответствии с СП 72.13330.2016 «Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии» [4] и обеспечивает защиту от коррозии в тех случаях, когда меры первичной защиты недостаточны или по различным причинам не могут быть реализованы.

Одной из мер первичной защиты является использование арматуры с нанесенными по ее поверхности защитными покрытиями, выполняемыми в заводских условиях. Работа защитных покрытий арматуры, в том числе ее влияние на сцепление с бетоном и работа в условиях воздействия агрессивных сред, исследовалась как за рубежом, так и в России. В нашей стране исследования арматуры с покрытиями выполнялись под руководством проф. В.М. Москвина, С.Н. Алексеева, В.Ф. Степановой и др. [5–10], в

результате чего даны рекомендации по применению в железобетонных конструкциях, подверженных воздействию агрессивных сред. За рубежом исследования в данном направлении обширны и представлены во многих современных работах [11–27].

### Результаты

Технология нанесения защитных покрытий в настоящее время за рубежом является уже отработанной. Для арматуры с защитными покрытиями разработана группа стандартов [28–33], на основании которых можно проектировать железобетонные конструкции с такой арматурой.

Таким образом, результаты анализа зарубежных исследований показывают, что применение стальной арматуры с покрытиями является одним из перспективных направлений в создании железобетонных конструкций, стойких к воздействию негативных условий эксплуатации.

Следует отметить, что в России накоплен определенный опыт в исследованиях, нормировании и внедрении арматуры с внешним покрытием. Речь идет о стальных семипроволочных канатах, применяемых в качестве напрягаемой арматуры в предварительно напряженных железобетонных конструкциях. Проведенные в центре новых видов арматуры, сварки и армирования железобетона (лаборатории арматуры) НИИЖБ исследования, а также данные зарубежных исследований канатной арматуры, заключенной в кольцевую оболочку из полиэтилена высокой плотности, показали возможность применения ее в преднапряженных конструкциях без сцепления с бетоном. Выполненные исследования позволили разработать ГОСТ Р 58386-2019 «Канаты защищенные в оболочке для предварительно напряженных конструкций. Технические условия» [34] и внести соответствующие изменения в СП 63.13330.2018 [1].

Вместе с тем приходится констатировать, что в России до последнего времени слабо изучена и не до конца освоена технология производства стержневой арматуры с покрытием, нет достаточного объема исследований, соответственно отсутствуют данные по механическим характеристикам и особенностям ее работы в железобетонных конструкциях. Как следствие, отсутствует нормативно-техническая (база) документация, необходимая для проектирования железобетонных конструкций с такой арматурой.

Как уже отмечалось, за рубежом вопросы защиты стальной арматуры решают с помощью нанесения покрытий и применения арматуры из нержавеющей [35] или микролегированной стали (специальные стали) [36]. Экономическую целесообразность применения стойкой к коррозии стальной арматуры показывает сравнительная оценка стоимости (в относительных единицах), выполненная Федеральным управлением автомобильных дорог США (FHWA) (рис. 1).

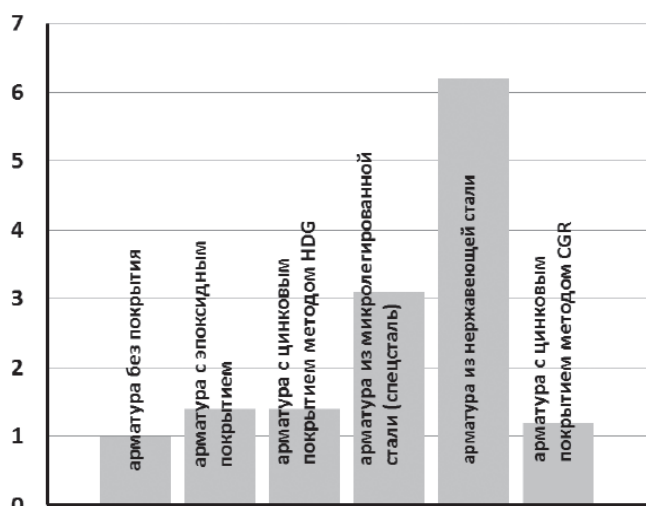


Рис. 1. Сравнительная оценка стоимости арматуры  
 Fig. 1. Comparative assessment of the cost of reinforcement

Анализ данных рис. 1 показывает, что наименее экономически обоснованным является применение арматуры из нержавеющей стали и из микролегированных специальных сталей за счет содержания в составе дорогостоящих легирующих элементов.

Поэтому на данном этапе исследований по экономическим соображениям вопросы применения арматуры из нержавеющей и микролегированной стали, очевидно, не являются первостепенными. Соответственно, в части перспектив внедрения арматуры, стойкой к агрессивным воздействиям, вопросы применения нержавеющей и микролегированной стали на данном этапе решено не рассматривать.

Увеличение себестоимости арматуры с цинковыми и полимерными покрытиями до 20 % по сравнению с обычной арматурой видится более перспективным, так как такое удорожание компенсируется за счет существенного повышения межремонтного срока службы железобетонных конструкций. При этом фактическое удорожание стоимости проекта в целом составляет 3–5 %. В дальнейшей эксплуатации даже достигается экономический эффект от использования арматуры с покрытием за счет многократного повышения межремонтного срока службы конструкции.

С учетом изложенного проанализируем вопросы внедрения арматуры с защитными покрытиями. За рубежом практическое использование стальной арматуры с покрытиями началось с середины 1970-х годов. За прошедшее время построено большое количество мостов, причалов, паркингов и других сооружений, контактирующих с агрессивной средой.

Анализ зарубежных данных показывает, что наиболее распространено применение следующих покрытий, которые наносятся на стальную арматуру в заводских условиях:

– **порошковое полимерное покрытие на основе эпоксидных смол** (на англ. языке применяется термин **epoxy coated rebar – сокр. ECR**), технологический процесс выполнения которого состоит из предварительной пескоструйной обработки арматуры, последующего индукционного нагрева, порошкового напыления смолы, ее полимеризации и охлаждения покрытой арматуры.

– **горячее цинкование** (на англ. языке применяется термин **hot-dip galvanized rebar – сокр. HDG**), которое состоит из этапов подготовки поверхности арматуры перед цинкованием, сушки перед погружением в ванну цинкования, собственно цинкования, последующего охлаждения и контроля. Основным недостатком метода горячего цинкования (HDG) является возможное водородное охрупчивание высокопрочного арматурного проката с временным сопротивлением более 800–1000 МПа.

– **непрерывное горячее цинкование** (на англ. языке применяется термин **continuous galvanized rebar – сокр. CGR**), технологический процесс которого состоит из пескоструйной обработки арматуры, химической подготовки арматуры для последующего индукционного нагрева, непосредственно самого индукционного нагрева, прохождения арматуры через желоба с расплавленным цинком, последующего удаления излишков цинка с завершающим охлаждением арматуры.

Это более совершенная технология нанесения цинкового покрытия на арматуру. Данный метод обеспечивает экономный расход цинка по сравнению с традиционным методом горячего цинкования за счет быстрой непрерывной и равномерной обработки, которая приводит к уменьшению массы покрытия и снижению издержек для производства. За счет добавления в небольшом количестве алюминия покрытие быстрее пассивируется, корродирует с меньшей скоростью и выделяет меньше продуктов коррозии цинка, чем обычные покрытия, выполненные горячим цинкованием [11]. Покрытие, выполненное по технологии CGR, имеет толщину не более 50 мкм и эквивалентно по своим защитным свойствам более толстому покрытию, выполненному по технологии HDG.

– **двойное покрытие с использованием цинкования и нанесения порошкового полимерного покрытия** (на англ. языке применяется термин **dual coated rebar – сокр. DCR**) – технологический процесс, который состоит из последовательного нанесения друг на друга цинкового и порошкового полимерного покрытия.

Возрастающие объемы производства стальной арматуры с защитными покрытиями за рубежом связаны, в первую очередь, с доказанной экономической эффективностью применения и развитой нормативно-технической базой за счет большого количества исследований как долговечности самих покрытий, так и особенностей работы такой арматуры в железобетонных конструкциях.

Исследования показывают более высокую стойкость к агрессивным средам арматуры с покрытиями по сравнению с обычной арматурой [12, 13, 27]. Сравнительные испытания разных покрытий между собой показывают различную долговечность и недостатки того или иного покрытия. Например, в работах [14, 25] и ряде других указывается, что толщина цинкового покрытия в хлоридных средах с течением времени уменьшается.

В ряде исследований было установлено, что арматура с эпоксидным покрытием склонна к механическим повреждениям покрытия при транспортно-складских операциях и во время установки в опалубку.

Кроме этого, использование покрытий на основе эпоксидных составов предъявляет особые требования к технологии производства арматурных работ. Работы необходимо выполнять при температуре не ниже +10 °С, не допускается хранение арматуры под прямым воздействием солнечного света, во избежание появления трещин на покрытии необходимо применять увеличенные диаметры оправок для гнутых стержней, при выполнении арматурных работ следует использовать вязальную проволоку в защитной оболочке, а также соблюдать определенные меры предосторожности при транспортировке во избежание повреждения покрытия.

Вместе с тем исследования совместной работы стальной арматуры с различными покрытиями и бетона выявили снижение прочности сцепления. Так, эпоксидные покрытия в некоторых случаях снижают прочность сцепления арматуры с бетоном до 40 % [17–19, 22]. Степень снижения прочности сцепления арматуры с эпоксидным покрытием зависит от множества факторов, включая диаметр арматуры, относительную площадь смятия поперечных ребер  $f_R$ , степень адгезии покрытия к арматуре и толщину самого покрытия [15, 20, 21].

Если снижение прочности сцепления арматуры с эпоксидным покрытием наблюдается во всех исследованиях, то для арматуры с цинковым покрытием ситуация иная. Так, результаты испытаний показали отсутствие разницы в прочности сцепления обычной арматуры и арматуры с цинковым покрытием. Вместе с тем указывается на влияние неравномерной толщины оцинкованного покрытия между поперечными ребрами арматуры, что привело к снижению прочности сцепления арматуры с бетоном. Однако большинство исследований [16, 26] и ряд других, наоборот, указывают, что прочность сцепления арматуры с цинковым покрытием даже выше по сравнению с обычной арматурой. Объясняется это тем, что после бетонирования на поверхности покрытия образуется адгезионный слой гидроксидов цинка кальция (СаНZn), который изменяется в зависимости от рН бетона и служит дополнительной связью между арматурой и бетоном.

Выявленные особенности работы в бетоне арматуры с покрытием отражены в зарубежных нормах,

где применяют различные коэффициенты, учитывающие наличие покрытия на арматуре. Ниже приведены зависимости (1)–(3) для вычисления длины анкеровки арматуры, представленные соответственно в американских нормах проектирования ACI-318 “Building Code Requirements for Structural Concrete” [37], AASHTO “Standard Specifications for Highway Bridges” [38] и в европейском документе Model Code 2010 [39]:

$$l_d = \left( \frac{3}{40} \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\psi_e \psi_s \psi_g}{\left( \frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b, \quad (1)$$

где  $\psi_e$  – коэффициент, учитывающий вид защитного покрытия на арматуре:

1,2 или 1,5 – для арматуры с эпоксидным покрытием применяется в зависимости от расположения арматуры в конструкции;

1,0 – для арматуры с цинковым покрытием и без покрытия.

$$l_d = \frac{0,04 A_b f_y}{\sqrt{f'_c}} \geq 0,0004 d_b f_y. \quad (2)$$

В данном случае к вычисленной длине анкеровки по формуле (2) применяются повышающие коэффициенты 1,15 или 1,5 в зависимости от расположения арматуры с эпоксидным покрытием в конструкции.

$$l_b = \frac{\phi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} \geq l_{b,min}, \quad (3)$$

где  $f_{bd}$  – предельная прочность (напряжения) сцепления арматуры с бетоном

$$f_{bd} = (\alpha_2 + \alpha_3) f_{bd,0} - 2 p_{tr} / \gamma_c < 2.0 f_{bd,0} - 0.4 p_{tr} / \gamma_c < 1.5 (\sqrt{f_{ck}}) / \gamma_c,$$

где  $\alpha_2$  – коэффициент, учитывающий расположение арматуры с эпоксидным покрытием

$$\alpha_2 = (c_{min} / \phi)^{0.8} \cdot (c_{max} / c_{min})^{0.15}$$

$f_{bd,0}$  – базовая прочность (напряжения) сцепления арматуры

$$f_{bd,0} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 (f_{ck} / 25)^{0.5} / \gamma_c,$$

где  $\eta_1$  – коэффициент, учитывающий вид поверхности арматуры:

1,75 – для арматуры периодического профиля, включая оцинкованную арматуру и арматуру из нержавеющей стали;

1,4 – для арматуры с эпоксидным покрытием.

В представленной далее зависимости (4) из EN 1992-1-1 “Eurocode 2: Design of concrete structures” [40] и формуле (5) из СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» [1] при вычислении длины анкеровки коэффициенты, учитывающие особенности работы покрытой арматуры в бетоне, не представлены:

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} \geq l_{b,min}, \quad (4)$$

где  $l_{b,rqd}$  – базовая длина анкеровки арматуры

$$l_{b,rqd} = \left(\frac{\phi}{4}\right) \left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}\right),$$

где  $f_{bd}$  – базовая прочность (напряжения) сцепления арматуры

$$\begin{aligned} f_{bd} &= 2,25\eta_1\eta_2f_{ctd} \\ l_{0,an} &= \frac{R_s A_s}{R_{bond} u_s}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $R_{bond}$  – расчетное сопротивление сцепления арматуры с бетоном

$$R_{bond} = \eta_1 \eta_2 R_{bt}.$$

Анализ формул (1)–(3) ACI, AASHTO и Model Code [37–39] показывает, что применяемые коэффициенты приводят к увеличению длины анкеровки арматуры с эпоксидным покрытием до 50 % и зависят от диаметра арматуры, прочности бетона и расположения арматуры в конструкции. Для арматуры с цинковым покрытием длина анкеровки соответствует обычной арматуре.

Из приведенных рассуждений следует, что теоретически, при наличии соответствующих исследований и разработки нормативно-технической базы, перспективы производства и внедрения арматуры с цинковыми покрытиями являются наиболее многообещающими, имея в виду как близкие к обычной арматуре ее характеристики сцепления, так и отсутствие возможных повреждений, которые характерны для арматуры с эпоксидным покрытием.

### Выводы

Учитывая, что для целого ряда конструкций по условиям имеющихся сред эксплуатации применение арматуры с покрытиями является необходимым, то соответственно возникает задача по осуществлению внедрения данной арматуры в практику строительства.

Для решения этой задачи необходимо выполнить следующий комплекс НИР и НИОКР:

- Мониторинг и анализ зарубежных и отечественных нормативных и технических документов, устанавливающих требования к арматуре с защитными покрытиями, требования к ее производству, методам приемки и контроля с целью установления состава перспективных НИР/НИОКР по установлению основных технических требований для арматуры с покрытием.

- Исследования качества защитных покрытий арматуры в части обеспечения требуемой толщины, равномерности распределения по наружной поверхности гладкой арматуры и арматуры периодического профиля и адгезии покрытий к поверхности арматуры с разработкой предложений для составления проектов стандартов по техническим условиям на стержневую арматуру с покрытиями.

- Научно-техническое сопровождение по отработке технологии нанесения защитных покрытий на

арматуру в условиях производства на металлургических комбинатах и смежных предприятиях для получения покрытий требуемого качества в соответствии с разработанными проектами технических условий.

- Исследования долговечности покрытий арматуры с различными качественными характеристиками составов покрытий в условиях влияния различных сред эксплуатации, а также при совместной работе с бетоном с последующей разработкой предложений по условиям применения арматуры с покрытиями для учета при составлении проекта нормативного документа по проектированию железобетонных конструкций с арматурой, имеющей защитное покрытие.

- Комплексные исследования механических свойств арматуры с защитными покрытиями и требуемых показателей качества покрытий с целью установления нормируемых и контролируемых показателей качества покрытий и с целью разработки предложений для составления проектов стандартов на методы испытаний и приемки арматуры с покрытиями.

- Исследования прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных элементов с арматурой с покрытием для дальнейшего учета при составлении проекта нормативного документа по проектированию железобетонных конструкций с арматурой, имеющей защитное покрытие.

- Исследования сцепления арматуры с бетоном с различными параметрами покрытий и без покрытий с составлением предложений по расчету длины анкеровки арматуры с бетоном для последующего учета в проекте нормативного документа по проектированию железобетонных конструкций с арматурой, имеющей защитное покрытие.

По результатам перечисленных исследований на первом этапе работ необходимо будет разработать проекты нижеследующих нормативно-технических документов по классификации арматуры по виду покрытий, а также по внедрению арматуры с цинковым покрытием, которая на основании изложенных выше рассуждений на данном этапе состояния исследований представляется наиболее приемлемой для внедрения:

- ГОСТ «Прокат арматурный с защитными покрытиями для железобетонных конструкций. Классификация»;

- ГОСТ «Прокат арматурный с цинковым покрытием для железобетонных конструкций. Технические условия»;

- ГОСТ «Прокат арматурный с цинковым покрытием для железобетонных конструкций. Методы испытаний и правила приемки»;

- СТО «Железобетонные конструкции с арматурой с цинковым покрытием. Правила проектирования»;

- Методические пособия и указания, разработанные в развитие указанных стандартов.

1. Современная практика строительства железобетонных зданий и сооружений в условиях воздействия различных неблагоприятных сред эксплуатации показывает необходимость получения соответствующих проектных решений, для которых обеспечивается требуемая долговечность железобетонных конструкций. Одним из путей повышения долговечности железобетонных конструкций является применение стальной арматуры с защитными покрытиями.

2. Для внедрения конструкций с защитными покрытиями арматуры предложен комплекс научно-исследовательских работ, на основании которого будет подготовлена первоочередная нормативно-техническая база для внедрения в производство и практику проектирования арматурного проката с защитным покрытием и железобетонных конструкций повышенной долговечности на их основе.

### Список литературы

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: Росстандарт; 2019.
2. ГОСТ 31384-2017. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования. Москва: Росстандарт; 2018.
3. СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85. Москва: Росстандарт; 2017.
4. СП 72.13330.2016. Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии. Москва: Росстандарт; 2017.
5. Отчет по поисковой теме: 13-3.1.5-92 «Провести исследование и разработать предложения по оптимизации составов и способов нанесения антикоррозионных покрытий на термомеханически упрочненную стержневую арматуру в условиях металлургического завода. Москва: НИИЖБ; 1992. 53 с.
6. Заключение по свойствам эпоксидного покрытия «Scotchkote-215» производства фирмы «3М» для арматуры железобетонных конструкций по предлагаемым областям его применения. Москва: НИИЖБ; 1996. 14 с.
7. Кравченко Т.Г., Алексеев С.Н. Железобетонные конструкции с оцинкованной арматурой // *Бетон и железобетон*. 1981. № 6. С. 25.
8. Стругова Ю.Н. Исследование коррозионного поведения оцинкованной арматуры в условиях контактирования с бетоном. Дисс... канд. техн. наук. Москва; 1970. 143 с.
9. Заренин С.В. Полимерные защитные покрытия стальных связей и арматуры железобетонных конструкций. Дисс... канд. техн. наук. Москва; 1985. 159 с.
10. Баланчук В.Д. Порошковая технология полимерных покрытий для защиты от коррозии арматуры железобетона. Международная конференция «Долговечность и защита конструкций от коррозии. Строительство, реконструкция». Москва; 1999. С. 559–566.
11. Yeomans S.R. Galvanized Reinforcement in Bridge and Coastal Construction. Proc. IABSE 2019 Congress. New York, September 4–6, 2019.
12. Sturgeon W. Joseph, O'Reilly Matthew, Darwin David, Ann Jo. Browning Rapid macrocell tests of ASTM A775, A615, and A1035 reinforcing bars. *Structural Engineering and Engineering Materials*. SL Report 10-4. The University of Kansas Center for Research. 2010.
13. Ogunsanya Ibrahim. Evaluation of the Corrosion Behaviour of Continuously Galvanized Rebar. A thesis presented to the University of Waterloo in fulfilment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Mechanical Engineering. Waterloo, Ontario, Canada, 2016. 161 p.
14. Clear Kenneth C. Time-to-Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete Slabs, vol. 4: Galvanized Reinforcing Steel. Interim report. 1981, p. 42.
15. Miller Gerald G., Kepler Jennifer L., Darwin David. Effect of Epoxy Coating Thickness on Bond Strength of Reinforcing Bars. *ACI Structural Journal*. May, 2003, pp. 314–320.
16. Molina L., Javier F., Ruiz F., Alejandro M., et al. Bond strength of galvanized steel: experimental and numerical study based on pull-out tests. Third International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering University of Seville. June 24–26, 2015, pp. 143–158.
17. Treece R.A., Jirsa J.O. Bond Strength of Epoxy-Coated Reinforcing Bars. *ACI Materials Journal*. March-April, 1989, vol. 86, no. 2.
18. Hamad Bilal S., Jirsa James O., D'Abreu d Paolo Natalie I. Effect of epoxy coating on bond and anchorage of reinforcement in concrete structures. Research Report. Center for Transportation Research The University of Texas at Austin. December, 1990. 264 p.
19. Grundhoffer T., French C., Leon R., Bond behavior of uncoated and epoxy-coated reinforcement in concrete. Final Report. University of Minnesota Center of Transportation Studies and National Science Foundation. May, 1992. 233 p.
20. Choi O.C., Hadje-Ghaffari H., Darwin D., McCabe S.L. Bond of epoxy-coated reinforcement: bar parameters. *ACI Materials Journal*. 88 (Compendex), pp. 207–217.
21. Cairns J., Abdullah R.B. Influence of rib geometry on strength of epoxy-coated reinforcement. *ACI Structural Journal*. 1995, vol. 92, iss. 7, pp. 23–27.
22. Cairns J., Abdullah R. Fundamental tests on the effect of an epoxy coating on bond strength. *ACI Materials Journal*. 1994, vol. 91, iss. 4, pp. 331–338.
23. Kayali O., Yeomans S.R. Bond of ribbed galvanized reinforcing steel in concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2000, vol. 22, iss. 6, pp. 459–467. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00049-4](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00049-4)
24. Sistonen E., Tukiainen P., Huovinen S. Bonding of Hot Dip Galvanised Reinforcement in Concrete, Nordic Concrete Research; Publication no. 34, 2/2005, The Nordic Concrete Federation, Oslo, Norway, 2005, pp. 1–14.

25. Kobayashi K., Takewaka K. Experimental Studies of Epoxy-Coated Reinforcing Steel for Corrosion Protection. *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*. 1984, vol. 6, no. 2, pp. 99–116. [https://doi.org/10.1016/0262-5075\(84\)90039-3](https://doi.org/10.1016/0262-5075(84)90039-3)

26. Yeomans S.R. *Galvanized Steel Reinforcement in Concrete*. Elsevier Ltd, Oxford. 2004, p. 316.

27. Yeomans S.R. Performance of Black, Galvanized, and Epoxy-Coated Reinforcing Steels in Chloride-Contaminated Concrete. *Corrosion*. 1994, vol. 50, iss. 1, pp. 72–81. <https://doi.org/10.5006/1.3293496>

28. ASTM A775/A775M-22. Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars.

29. ASTM A767/A767M-19. Standard Specification for Zinc-Coated (Galvanized) Steel Bars for Concrete Reinforcement.

30. ASTM A1094/A1094M-20. Standard Specification for Continuous Hot-Dip Galvanized Steel Bars for Concrete Reinforcement.

31. ASTM A1055/A1055M-16. Standard Specification for Zinc and Epoxy Dual-Coated Steel Reinforcing Bars.

32. ISO 14654:1999. Epoxy-coated steel for the reinforcement of concrete.

33. ISO 14657:2005. Zinc-coated steel for the reinforcement of concrete.

34. ГОСТ Р 58386-2019. Канаты защищенные в оболочке для предварительно напряженных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2019.

35. ASTM A955/A995M-20c. Deformed and Plain Stainless Steel Bars for Concrete Reinforcement.

36. A1035/A1035M-20. Standard Specification for Deformed and Plain, Low-Carbon, Chromium, Steel Bars for Concrete Reinforcement.

37. ACI 318-19. Building Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019.

38. AASHTO. Standard Specifications for Highway Bridges. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C., 2002.

39. *fib Model Code for Concrete Structures 2010*. International Federation for Structural Concrete (fib), Lausanne, Switzerland, 2013.

40. EN 1992-1-1. 2004. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. CEN, Brussels, 2004.

### References

1. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Moscow: Rosstandart; 2019. (In Russian).

2. State Standard 31384-2017. Protection of concrete and reinforced concrete structures from corrosion. General technical requirements. Moscow: Rosstandart; 2018. (In Russian).

3. SP 28.13330.2017. Protection of building structures

from corrosion. Updated version of SNiP 2.03.11-85. Moscow: Rosstandart; 2017. (In Russian).

4. SP 72.13330.2016. Protection of buildings, facilities and structures against corrosion. Moscow: Rosstandart; 2017. (In Russian).

5. Report on the search topic: 13-3.1.5-92 “To conduct research and develop proposals for optimizing the compositions and methods for applying anti-corrosion coatings on thermomechanically hardened rod reinforcement in a metallurgical plant. Moscow: NIIZHB; 1992. 53 p. (In Russian).

6. Conclusion on the properties of the epoxy coating “Scotchkote-215” manufactured by the company “3M” for reinforcement of reinforced concrete structures in the proposed areas of its application. Moscow: NIIZHB; 1996. 14 p. (In Russian).

7. Kravchenko T.G., Alekseev S.N. Reinforced concrete structures with galvanized reinforcement. *Beton i Zhelezobeton [Concrete and Reinforced Concrete]*. 1981, no. 6, p. 25. (In Russian).

8. Strugova Yu.N. Investigation of the corrosion behavior of galvanized reinforcement in contact with concrete. Diss... Cand. Sci. (Eng.). Moscow; 1970. 143 p. (In Russian).

9. Zarenin S.V. Polymer protective coatings of steel ties and reinforcement of reinforced concrete structures. Diss... Cand. Sci. (Eng.). Moscow; 1985. 159 p. (In Russian).

10. Balanchuk V.D. Powder technology of polymer coatings for corrosion protection of reinforced concrete reinforcement. International Conference “Durability and corrosion protection of structures. Construction, reconstruction”. Moscow; 1999. Pp. 559–566. (In Russian).

11. Yeomans S.R. Galvanized Reinforcement in Bridge and Coastal Construction. Proc. IABSE 2019 Congress. New York, September 4–6, 2019.

12. Sturgeon W. Joseph, O'Reilly Matthew, Darwin David, Ann Jo. Browning Rapid macrocell tests of ASTM A775, A615, and A1035 reinforcing bars. *Structural Engineering and Engineering Materials*. SL Report 10-4. The University of Kansas Center for Research. 2010.

13. Ogunsanya Ibrahim. Evaluation of the Corrosion Behaviour of Continuously Galvanized Rebar. A thesis presented to the University of Waterloo in fulfilment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Mechanical Engineering. Waterloo, Ontario, Canada, 2016. 161 p.

14. Clear Kenneth C. Time-to-Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete Slabs, vol. 4: Galvanized Reinforcing Steel. Interim report. 1981, p. 42.

15. Miller Gerald G., Kepler Jennifer L., Darwin David. Effect of Epoxy Coating Thickness on Bond Strength of Reinforcing Bars. *ACI Structural Journal*. May, 2003, pp. 314–320.

16. Molina L., Javier F., Ruiz F., Alejandro M., et. al. Bond strength of galvanized steel: experimental and

numerical study based on pull-out tests. Third International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering University of Seville. June 24–26, 2015, pp. 143–158.

17. Treece R.A., Jirsa J.O. Bond Strength of Epoxy-Coated Reinforcing Bars. *ACI Materials Journal*. March-April, 1989, vol. 86, no. 2.

18. Hamad Bilal S., Jirsa James O., D'Abreu d Paolo Natalie I. Effect of epoxy coating on bond and anchorage of reinforcement in concrete structures. Research Report. Center for Transportation Research The University of Texas at Austin. December, 1990. 264 p.

19. Grundhoffer T., French C., Leon R. Bond behavior of uncoated and epoxy-coated reinforcement in concrete. Final Report. University of Minnesota Center of Transportation Studies and National Science Foundation. May, 1992. 233 p.

20. Choi O.C., Hadje-Ghaffari H., Darwin D., McCabe S.L. Bond of epoxy-coated reinforcement: bar parameters. *ACI Materials Journal*. 88 (Compendex), pp. 207–217.

21. Cairns J., Abdullah R.B. Influence of rib geometry on strength of epoxy-coated reinforcement. *ACI Structural Journal*. 1995, vol. 92, iss. 7, pp. 23–27.

22. Cairns J., Abdullah R. Fundamental tests on the effect of an epoxy coating on bond strength. *ACI Materials Journal*. 1994, vol. 91, iss. 4, pp. 331–338.

23. Kayali O., Yeomans S.R. Bond of ribbed galvanized reinforcing steel in concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2000, vol. 22, iss. 6, pp. 459–467. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00049-4](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00049-4)

24. Sistonen E., Tukiainen P., Huovinen S. Bonding of Hot Dip Galvanized Reinforcement in Concrete, Nordic Concrete Research; Publication no. 34, 2/2005, The Nordic Concrete Federation, Oslo, Norway, 2005, pp. 1–14.

25. Kobayashi K., Takewaka K. Experimental Studies of Epoxy-Coated Reinforcing Steel for Corrosion Protection. *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*. 1984, vol. 6, no. 2, pp. 99–116. [https://doi.org/10.1016/0262-5075\(84\)90039-3](https://doi.org/10.1016/0262-5075(84)90039-3)

26. Yeomans S.R. Galvanized Steel Reinforcement in Concrete. Elsevier Ltd, Oxford. 2004, p. 316.

27. Yeomans S.R. Performance of Black, Galvanized, and Epoxy-Coated Reinforcing Steels in Chloride-Contaminated Concrete. *Corrosion*. 1994, vol. 50, iss. 1, pp. 72–81. <https://doi.org/10.5006/1.3293496>

28. ASTM A775/A775M-22. Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars.

29. ASTM A767/A767M-19. Standard Specification for Zinc-Coated (Galvanized) Steel Bars for Concrete Reinforcement.

30. ASTM A1094/A1094M-20. Standard Specification for Continuous Hot-Dip Galvanized Steel Bars for Concrete Reinforcement.

31. ASTM A1055/A1055M-16. Standard Specification for Zinc and Epoxy Dual-Coated Steel Reinforcing Bars.

32. ISO 14654:1999. Epoxy-coated steel for the reinforcement of concrete.

33. ISO 14657:2005. Zinc-coated steel for the reinforcement of concrete.

34. State Standard R 58386-2019. Ropes protected in a shell for prestressed structures. Technical conditions. Moscow: Standartinform; 2019. (In Russian).

35. ASTM A955/A995M-20c. Deformed and Plain Stainless Steel Bars for Concrete Reinforcement.

36. A1035/A1035M-20. Standard Specification for Deformed and Plain, Low-Carbon, Chromium, Steel Bars for Concrete Reinforcement.

37. ACI 318-19. Building Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019.

38. AASHTO. Standard Specifications for Highway Bridges. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C., 2002.

39. fib Model Code for Concrete Structures 2010. International Federation for Structural Concrete (fib), Lausanne, Switzerland, 2013.

40. EN 1992-1-1. 2004. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. CEN, Brussels, 2004.

#### Информация об авторе /

#### Information about the author

**Вячеслав Владимирович Дьячков**, канд. техн. наук, заместитель руководителя центра № 3 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва e-mail: [d\\_vv@mail.ru](mailto:d_vv@mail.ru)

**Vyacheslav V. Dyachkov**, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Head of the Centre No. 3 of NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: [d\\_vv@mail.ru](mailto:d_vv@mail.ru)

В.Н. СТРОЦКИЙ✉, В.И. САВИН, В.В. ПОЛЕТАЕВ

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

## ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕГКОГО БЕТОНА НА ГРАНУЛИРОВАННОЙ ПЕНОСТЕКЛОКЕРАМИКЕ

### Аннотация

*Введение.* За последние 20–30 лет разработана широкая номенклатура эффективных пористых заполнителей с повышенным содержанием стеклофазы различных видов и на их основе низкотеплопроводных легких бетонов различных структур.

В АО «НИЦ «Строительство» за последние годы разработана новая высокоэффективная одностадийная технология по производству пористой гранулированной пеностеклокерамики (ПСКГ). Она основана на получении сырьевых гранул путем смешивания и гранулирования высокопористого порошка опал-кристобалитовой породы с натрийсодержащим раствором. Это обеспечивает максимальную площадь межфазной границы, максимально равномерное распределение всех компонентов на микроуровне и, как следствие, обеспечивает стеклообразование при температуре, не выходящей за интервал вспенивания готовой стеклофазы.

*Целью* исследования является изучение проблематики особенностей прочностных характеристик легкого бетона на гранулированной пеностеклокерамике (ПСКГ).

*Материалы и методы.* Прочность кубов из легкого бетона на ПСКГ при сжатии ( $R$ ) определяли на образцах размером  $10 \times 10 \times 10$  см и  $7 \times 7 \times 7$  см по ГОСТ 10180-2012 с оценкой прочности по ГОСТ 18105-2018.

Коэффициент призмной прочности ( $K_{\text{пн}}$ ) определяли по результатам испытаний на сжатие образцов-призм размерами  $10 \times 10 \times 40$  см и  $7 \times 7 \times 28$  см и изготовленных из одного замеса образцов-кубов размерами  $10 \times 10 \times 10$  см и  $7 \times 7 \times 7$  см.

Прочность на растяжение при изгибе ( $R_{\text{из}}$ ) и раскалывании ( $R_{\text{р}}$ ) определяли соответственно на образцах-призмах размером  $10 \times 10 \times 40$  см и образцах кубах размером  $10 \times 10 \times 10$  см по ГОСТ 10180-2012 с оценкой значений прочности по ГОСТ 18105-2018.

Прочность на осевое растяжение ( $R_{\text{об}}$ ) и раскалывание ( $R_{\text{т}}$ ) определяли соответственно на образцах-

призмах размером  $7 \times 7 \times 28$  см по ГОСТ 10180-2012. Прочность призм ( $R_{\text{пр}}$ ) определяли на образцах призмах  $10 \times 10 \times 40$  см по ГОСТ 24452-80.

*Результаты.* В статье приведены результаты экспериментально-теоретических исследований основных прочностных свойств теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов на пеностеклокерамике гранулированной (ПСКГ) плотностью от 500 до 800 кг/м<sup>3</sup>, а также конструкционных легких бетонов плотностью до 1700 кг/м<sup>3</sup> оптимальных составов (призмной прочности на сжатие, коэффициента призмной прочности, прочности при осевом растяжении, прочности на растяжении при изгибе и раскалывании).

Проанализированы различные зависимости по оценке полученных экспериментальных данных и даны рекомендации по внесению в нормативные документы, в частности, в СП 351.1325800.2017 «Бетонные и железобетонные конструкции из легких бетонов. Правила проектирования».

*Выводы.* Получены опытные данные по более высокому коэффициенту призмной прочности для легкого бетона на ПСКГ, которые в перспективе могут быть основанием для увеличения нормативных расчетных сопротивлений прочности при осевом сжатии для такого вида легкого бетона.

Значения и формулы для определения призмной прочности и коэффициента призмной прочности легкого бетона испытанных составов на ПСКГ могут быть использованы при расчете и проектировании крупноформатных панелей стен нового типа.

Получены опытные и расчетные данные по прочности на растяжение испытанных составов легкого бетона поризованной структуры на ПСКГ, которые могут быть учтены при корректировке нормативных документов.

При применении легкого бетона поризованной структуры на ПСКГ для повышения усадочной трещиностойкости такого бетона для ограждающих конструкций целесообразно использовать дисперсное арми-



рование полимерной фиброй, повышающей также теплозащитные свойства таких конструкций.

**Ключевые слова:** легкий бетон, пеностеклокерамика гранулированная (ПСКГ), начальный модуль упругости, прочность на сжатие, призмочная прочность, предельные деформации при сжатии, прочность при осевом растяжении, прочность на растяжение при изгибе, прочность на растяжение при раскалывании

**Для цитирования:** Строчки В.Н., Савин В.И., Полетаев В.В. Прочностные характеристики легкого бетона на гранулированной пеностеклокерамике // *Бетон и железобетон*. 2023. № 2 (616). С. 14–30. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2\(616\)-14-30](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2(616)-14-30)

#### Вклад авторов

Строчки В.Н. – проведение испытаний, написание статьи, анализ опытных данных, приведенных в статье. Савин В.И. – изготовление опытных образцов, анализ опытных данных, приведенных в статье. Полетаев В.В. – редакционная правка статьи.

#### Финансирование

Финансирование исследований осуществлялось на основании хозяйственного договора № 217/2021 от 24.05.2021 г. по теме: «Исследование физико-механических, деформативных и теплофизических свойств легких бетонов с низкой теплопроводностью и плотностью менее 800 кг/м<sup>3</sup> на гранулированной пеностеклокерамике для несущих и ограждающих конструкций нового типа».

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 07.02.2023

Поступила после рецензирования 01.03.2023

Принята к публикации 09.03.2023

V.N. STROTSKY✉, V.I. SAVIN, V.V. POLETAEV

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

## STRENGTH CHARACTERISTICS OF LIGHTWEIGHT CONCRETE BASED ON GRANULAR FOAM GLASS CERAMICS

#### Abstract

*Introduction.* Over the past 20–30 years, a wide range of effective porous aggregates with a high content of glass phase of various types and low-heat-conducting lightweight concretes of various structures based on them has been developed.

In recent years, JSC Research Center of Construction has developed a new highly efficient single-stage technology for the production of porous granular foam glass ceramics (UCS). It is based on the production of raw granules by mixing and granulating a highly porous powder of opal-cristobalite rock with a sodium-containing solution. This ensures the maximum area of the interfacial boundary, the most uniform distribution of all components at the micro level and, as a result, ensures glass formation at a temperature that does not exceed the foaming interval of the finished glass phase.

*The aim* of the publication is to study the problems of the features of the strength characteristics of lightweight concrete on granular foam glass ceramics.

*Materials and methods.* The strength of cubes made of light concrete on the UCS under compression ( $R$ ) was determined on samples with a size of 10 × 10 × 10 cm and 7 × 7 × 7 cm according to State Standard 10180-2012 with an assessment of strength according to State Standard 18105-2018.

The prismatic strength coefficient ( $K_{pp}$ ) was determined by the results of compression tests of samples-prisms with dimensions of 10 × 10 × 40 cm and 7 × 7 × 28 cm and samples made from the same batch-cubes with dimensions of 10 × 10 × 10 cm and 7 × 7 × 7 cm.

Bending tensile strength ( $R_{bt}$ ) (Figure 2) and splitting strength ( $R_{sp}$ ) were determined, respectively, on 10 × 10 × 40 cm prism samples and 10 × 10 × 10 cm cube samples according to

State Standard 10180-2012 with an assessment of strength values according to State Standard 18105-2018. Axial tensile strength ( $R_{tb}$ ) and splitting strength ( $R_{tr}$ ) were determined, respectively, on prism samples measuring  $7 \times 7 \times 28$  cm according to State Standard 10180-2012. The strength of the prisms (prismatic strength,  $R_p$ ) was determined on samples of prisms  $10 \times 10 \times 40$  cm according to State Standard 24452-80.

**Results.** The article presents the results of experimental and theoretical studies of the basic strength properties of thermal insulation and structural-thermal insulation lightweight concrete on granulated foam ceramic (UCS) with a density of 500 to 800 kg/m<sup>3</sup>, as well as structural lightweight concrete with a density of up to 1700 kg/m<sup>3</sup> of optimal compositions (prismatic compressive strength, prismatic strength coefficient, axial tensile strength, tensile strength during bending and splitting).

Various dependencies on the evaluation of the experimental data obtained are analyzed and recommendations are given for inclusion in regulatory documents, in particular, in SP 351.1325800.2017 "Concrete and reinforced concrete structures made of light concrete. Design rules".

**Conclusions.** Experimental data have been obtained on a higher prismatic strength coefficient for lightweight concrete at the UCS, which in the future may be the basis for increasing the standard design strength resistance under axial compression for this type of lightweight concrete.

The values and formulas for determining the prismatic strength and the prismatic strength coefficient of light concrete of the tested compositions at the UCS can be used in the calculation and design of large-format wall panels of a new type.

Experimental and calculated data on the tensile strength of the tested compositions of lightweight concrete of a porous structure at the UCS have been obtained, which can be taken into account when adjusting regulatory documents.

When using lightweight concrete of a porous structure on the UCS to increase the shrinkage crack resistance of such concrete for enclosing structures, it is advisable to use dispersed reinforcement with polymer fiber, which also increases the heat-protective properties of such structures. The article presents the results of studies of

the main strength properties of thermal insulation and structural-thermal insulation lightweight concretes on the UCS with a density of 500 to 800 kg/m<sup>3</sup>, as well as structural lightweight concretes with a density of up to 1700 kg/m<sup>3</sup> of optimal compositions.

Various dependencies on the evaluation of the experimental data obtained are analyzed and recommendations are given for inclusion in regulatory documents, in particular, in SP 351.1325800.2017 "Concrete and reinforced concrete structures made of light concrete. Design rules".

**Keywords:** lightweight concrete, granulated foam glass ceramics (UCS), initial modulus of elasticity, compressive strength, prismatic strength, ultimate compression deformation, axial tensile strength, bending tensile strength, splitting tensile strength

**For citation:** Strotsky V.N., Savin V.I., Poletaev V.V. Strength characteristics of lightweight concrete based on granular foam glass ceramics. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 2 (616), pp. 14–30. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2\(616\)-14-30](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2(616)-14-30)

#### Author contribution statements

Strotsky V.N. – conducting tests, writing an article, analyzing the experimental data given in the article.

Savin V.I. – production of prototypes, analysis of experimental data given in the article.

Poletaev V.V. – editorial revision of the article.

#### Funding

Research funding was carried out on the basis of the contract No. 217/2021 dated 24.05.2021 on the topic: "Investigation of physics-mechanical, deformative and thermophysical properties of lightweight concretes with low thermal conductivity and a density of less than 800 kg/m<sup>3</sup> on granular foam glass ceramics for load-bearing and enclosing structures of a new type".

#### Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

*Received 07.02.2023*

*Revised 01.03.2023*

*Accepted 09.03.2023*

Целью исследования является изучение проблематики особенностей прочностных характеристик легкого бетона на гранулированной пеностеклокерамике (ПСКГ). В статье приведены результаты экспериментально-теоретических исследований призмочной прочности на сжатие, коэффициента призмочной прочности, прочности при осевом растяжении, прочности на растяжение при изгибе и раскалывании. Исследования проводились на основании договора № 217/2021 от 24.05.2021 г. по теме: «Исследование физико-механических, деформативных и теплофизических свойств легких бетонов с низкой теплопроводностью и плотностью менее 800 кг/м<sup>3</sup> на гранулированной пеностеклокерамике для несущих и ограждающих конструкций нового типа».

**1. Призмочная прочность при сжатии, коэффициент призмочной прочности**

Прочность призм (призмочную прочность  $R_b$ ) и коэффициент призмочной прочности ( $K_{pn}$ ) определяли по результатам испытаний на сжатие образцов-

призм размерами 10 × 10 × 40 см и 7 × 7 × 28 см по [1], а также изготовленных из одного замеса образцов-кубов размерами 10 × 10 × 10 см и 7 × 7 × 7 см, испытанных по [2].

Результаты испытания призм на сжатие приведены в табл. 1.1.

В [3] для определения предела призмочной прочности в зависимости от кубиковой прочности бетона на стекловидных пористых заполнителях приведена следующая формула

$$R_b = 0,9523 \cdot R - 0,4343. \quad (1.1)$$

В [4] основную прочностную характеристику бетона (призмочную прочность  $R_b$ ) предложено определять по формуле

$$R_b = 0,555 \cdot R + 0,3901. \quad (1.2)$$

В табл. 1.2 приведено сравнение расчетных значений, вычисленных по формулам (1.1) и (1.2), с опытными данными.

**Таблица 1.1**  
**Table 1.1**

**Средние значения призмочной прочности  $R_b$  и коэффициента призмочной прочности  $K_{pn}$**   
**Average values of the prismatic strength  $R_b$  and the prismatic strength coefficient  $K_{pn}$**

№ призм	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Призмочная прочность на сжатие, $R_b$ , МПа	Кубиковая прочность, $R$ , МПа	Коэффициент призмочной прочности, $K_{pn}$
ПК-1	551	1,311	1,6	0,82
ПК-2	572	2,245	2,4	0,935
ПК-4	618	2,93	3,8	0,77
ПК-5	595	2,33	2,675	0,87
ПК-6	690	3,20	4,8	0,67
ПК-8	756	3,83	4,4	0,87
ПК-9	742	3,08	3,65	0,84
ПК-10	794	4,25	5,67	0,75
ПК-12	795	4,425	5,53	0,80
ПК-14	755	3,6	4,57	0,788
ПК-17-2	744	2,25	3,70	–
ПК-17-3	744	2,43	3,70	0,66
ПК-18-1	603	1,20	1,27	0,945
ПК-18-2	651	1,71	1,40	–
ПК-18-3	628	1,26	1,27	0,99
ПК-19-2	602	1,40	1,40	1,0
ПК-19-3*	606	1,001	1,11	0,902
ПК-19-3	587	1,38	1,4	0,986
ПК-16	1596	15,5	16,40	0,945
ПК-16*	1708	16,8	16,50	1,02

*Примечание:* 1. Приведенные в табл. 1.1 данные по кубиковой прочности принимались с учетом результатов испытаний кубов размерами 7 × 7 × 7 см.

2. Указанные в табл. 1.1 призмочки ПК-16 (ПК-16-2, ПК-16-5, ПК-16-6) и ПК-16\* (ПК-16-8, ПК-16-4, ПК-16-Х) изготовлены из легкого бетона плотной структуры на кварцевом песке.

Таблица 1.2  
Table 1.2

**Опытные и расчетные значения призмной прочности**  
**Experimental and calculated values of prismatic strength**

№ призмы	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Кубиковая прочность, $R$ , МПа	Призмная прочность на сжатие, $R_b$ , МПа, (опыт)	Призмная прочность на сжатие, $R_b^{расч}$ , МПа, (расчет по ф-ле (1.1))	Призмная прочность на сжатие, $R_b^{расч}$ , МПа, (расчет по ф-ле (1.2))
ПК-1	551	1,6	1,311	1,09 (83%)	<b>1,28 (97,6%)</b>
ПК-2	572	2,4	2,245	1,85 (82,4%)	1,72 (76,6%)
ПК-4	618	3,8	2,93	3,18 (108,5%)	2,5 (85,3%)
ПК-5	595	2,675	2,33	2,113 (90,7%)	1,875 (80,5%)
ПК-6	690	4,8	3,20	4,14 (129,4%)	<b>3,05 (95,3%)</b>
ПК-8	756	4,4	3,83	3,76 (98,2%)	2,83 (73,9%)
ПК-9	742	3,65	3,08	3,04 (98,7%)	2,42 (78,6%)
ПК-10	794	5,67	4,25	4,965 (116,8%)	3,54 (83,3%)
ПК-12	795	5,53	4,425	4,83 (109,2%)	3,46 (78,2%)
ПК 14	755	4,57	3,6	3,92 (109%)	2,93 (81,4%)
ПК-17-2	744	3,70	2,25	3,09 (137,3%)	<b>2,44 (108,4%)</b>
ПК-17-3	744	3,70	2,43	3,09 (127,2%)	<b>2,44 (100,4%)</b>
ПК-18-1	603	1,27	1,20	0,775 (64,6%)	<b>1,095 (91,25%)</b>
ПК-18-2	651	1,40	1,71	0,9 (52,6%)	1,17 (88,4%)
ПК-18-3	628	1,27	1,26	0,775 (61,5%)	1,095 (86,9%)
ПК-19-2	602	1,40	1,40	0,9 (64,3%)	1,17 (83,6%)
ПК-19-3*	606	1,11	1,001	0,623 (62,2%)	1,01 (100,9%)
ПК-19-3	587	1,4	1,38	0,9 (65,2%)	1,17 (84,8%)
ПК-16	1596	16,40	15,5	15,18 (98%)	9,49 (61,2%)
ПК-16*	1708	16,50	16,8	15,28 (91%)	9,55 (56,8%)

Примечание: 1. Приведенные в табл. 1.2 данные по кубиковой прочности принимались с учетом результатов испытаний кубов размерами 7 × 7 × 7 см.

2. Указанные в табл. 1.2 призмы ПК-16 (ПК-16-2, ПК-16-5, ПК-16-6) и ПК-16\* (ПК-16-8, ПК-16-4, ПК-16-Х) изготовлены из легкого бетона плотной структуры на кварцевом песке.

Как показывают данные табл. 1.2, расчетные значения призмной прочности, вычисленные по формуле (1.1), коррелируют с опытными значениями при значениях кубиковой прочности  $R > 1,4$  МПа. Формула (1.2) дает хорошую сходимость только в отдельных случаях (выделенных жирным шрифтом), а также лучшую сходимость по сравнению с формулой (1.1) при малых значениях прочности  $R < 1,4$  МПа.

На рис. 1.1 по данным табл. 1.2 (с учетом значений, вычисленных по формуле (1.1)) построен график зависимости призмной прочности  $R_b$  от кубиковой прочности  $R$ .

На графике показана также линия аппроксимации опытных значений  $R_b$  с хорошей достоверностью  $R^2 = 0,9899$ , описывающая более уточненную по сравнению с формулой (1.1) зависимость

$$R_b = 1,0383 \cdot R - 0,9978, \quad (1.3)$$

которую можно использовать при практических расчетах.

Статистическая обработка данных табл. 1.2 для образцов ПК-18-1–ПК-19-3 с прочностью 1,4 МПа и менее позволила предложить формулу для определения призмной прочности легкого бетона на ПСКГ для  $R \leq 1,4$  МПа. Данная зависимость имеет вид степенной функции

$$R_b = 0,2134e^{1,3855R}. \quad (1.4)$$

По результатам проведенных испытаний коэффициент призмной прочности  $K_{пн}$  для испытанных составов ПСКГ (ПК-2–ПК-19) поризованной структуры отличается большим разбросом, значения  $K_{пн}$  находятся в широком диапазоне от 0,66 до 1,0 (табл. 1.1) при среднем значении  $K_{пн} = 0,85$ , что, на наш взгляд, связано с неоднородностью заполнителя.

Значения коэффициента призмной прочности для легкого бетона плотной структуры на кварцевом песке по данным испытаний отличаются несколько меньшим разбросом и расположены в области от 0,945 до 1,02 при средней величине 0,98.

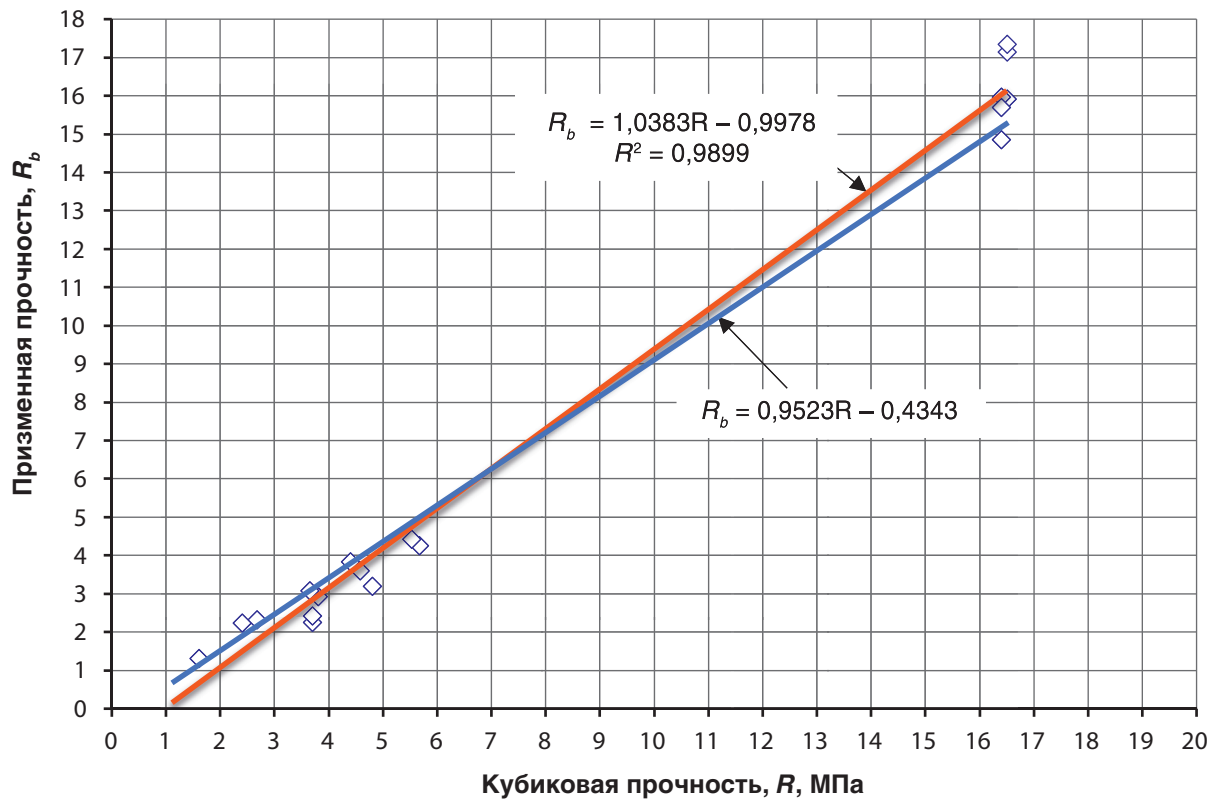


Рис. 1.1. Зависимость призменной Rb прочности от кубиковой прочности R  
 Fig. 1.1. Dependence of prismatic strength Rb on cubic strength R

Нормируемый коэффициент призменной прочности легкого бетона, с учетом изменчивости, определяется по формуле

$$K_{\text{пр}} = 0,77 - 0,001 \cdot R \geq 0,72, \quad (1.5)$$

где R – средняя кубиковая прочность, МПа. Сопоставление опытных значений  $K_{\text{пр}}$  с расчетными приведено на графике, показанном на рис. 1.2 и 1.2а.

На графиках (рис. 1.2 и 1.2а) видно, что для поризованного бетона на ПСКГ при кубиковой прочности  $R < 3,5$  МПа и для бетона плотной структуры на кварцевом песке при  $R > 15$  МПа опытные значения  $K_{\text{пр}}$  в целом превышают вычисленные по формуле (1.5).

По данным Г.А. Бужевича [6] и Т.А. Кузмич [7], значение опытного коэффициента  $K_{\text{пр}}$  для легкого бетона получается больше, чем по формуле (1.5). Статистическая обработка опытных данных (в количестве 164) по значению коэффициента призменной прочности керамзитобетона на пористом песке при прочности от 2,5 до 12,5 МПа выявила тенденцию увеличения этого коэффициента до 0,83 при прочности бетона менее 5 МПа.

Коэффициент призменной прочности дацизитобетона (вулканического стекла) плотной структуры, по данным [8], составил 0,82–0,87; для бетонов поризо-

ванной структуры, в частности для дацизитогазобетона, коэффициент  $K_{\text{пр}}$  был в пределах 0,84–0,88, а для дацизитопенобетона  $K_{\text{пр}} = 0,78–0,87$ . То есть для дацизитобетонов классов по прочности от В2,5 до В10 значения коэффициента призменной прочности также превышали определяемые по формуле (1.5).

Математический анализ показал, что для значений призменной прочности  $K_{\text{пр}}$  в качестве функциональной зависимости лучше подходит полиномиальная функция, чем линейная, которая может быть записана в следующем виде

$$K_{\text{пр}} = 0,0051 R^2 - 0,0876 R + 1,0563. \quad (1.6)$$

Полученные опытные данные и формула (1.6) по коэффициенту призменной прочности для легкого бетона на ПСКГ могут быть в дальнейшем основанием для увеличения нормативных расчетных сопротивлений прочности при осевом сжатии для такого вида легкого бетона. На данный же момент времени, до накопления большего количества экспериментальных данных, можно сделать вывод о возможности применения [5] для нормирования призменной прочности  $R_b$ , коэффициента призменной прочности  $K_{\text{пр}}$  и, соответственно, нормативных и расчетных сопротивлений для легкого бетона на ПСКГ.

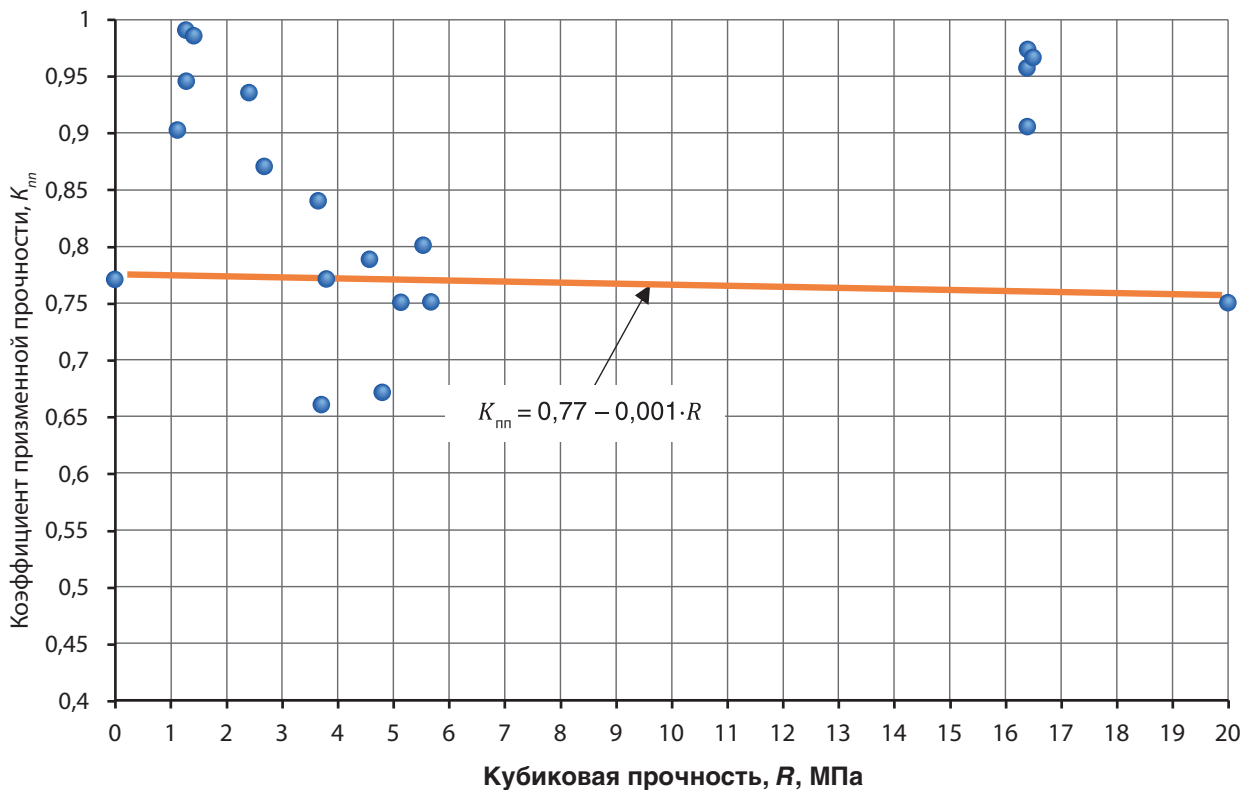


Рис. 1.2. График зависимости коэффициента призматической прочности  $K_{nn}$  от кубиковой прочности  $R$   
 Fig. 1.2. Graph of the dependence of the prismatic strength coefficient  $K_{pp}$  on the cubic strength  $R$

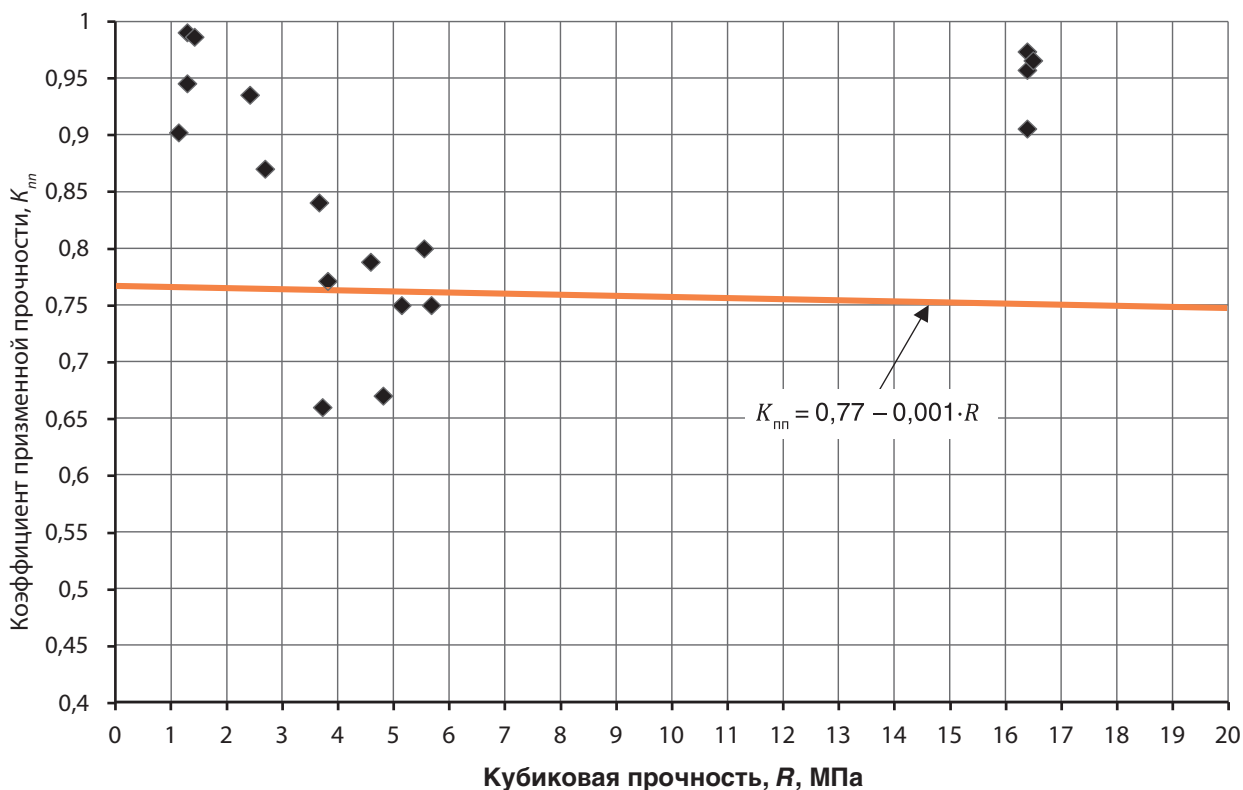
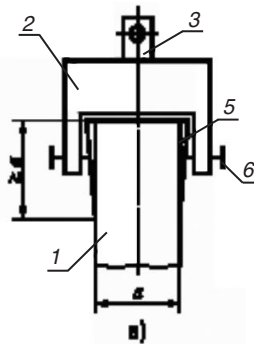


Рис. 1.2а. График зависимости коэффициента призматической прочности  $K_{nn}$  от кубиковой прочности  $R$   
 Fig. 1.2а. Graph of the dependence of the prismatic strength coefficient  $K_{pp}$  on the cubic strength  $R$

**2. Прочность на растяжение при осевом действии нагрузки, при изгибе, при раскалывании**

Прочность на осевое растяжение ( $R_t$ ) определяли на образцах-призмах размером  $7 \times 7 \times 28$  см по [2] (рис. 2.1а, 2.1б).

Результаты испытания призм на осевое растяжение приведены в табл. 2.1.



**Рис. 2.1а.** Схемы зажимных захватов по [2]  
 1 – образец; 2 – захват;  
 3 – концевой элемент шарнира Гука; 4 – ось; 5 – цанга;  
 6 – стягивающие винты  
**Fig. 2.1a.** Schemes of clamping grips according to [2]  
 1 – sample; 2 – gripper;  
 3 – end element of the Hook hinge;  
 4 – axis; 5 – collet;  
 6 – tightening screws



**Рис. 2.1б.** Общий вид при испытании на осевое растяжение образцов-призм размерами  $7 \times 7 \times 28$  см  
**Fig. 2.1b.** General view when testing for axial tension of a  $7 \times 7 \times 28$  cm prism samples

В соответствии с табл. 2.2 коэффициент перехода от прочности на сжатие  $R$  к прочности на осевое растяжение  $R_t$  составляет для поризованных бетонов 0,075–0,084, а для бетонов плотной структуры (ПК-16) этот коэффициент меньше и равен 0,05.

В соответствии с табл. Л.1 [2] коэффициент перехода от прочности на сжатие  $R$  к прочности на осевое растяжение  $R_t$  для тяжелых бетонов составляет 0,07.

По данным Г.А. Бужевича [6], отношение прочности легкого бетона при осевом растяжении к прочности при сжатии ( $R_t/R$ ) для бетонов низких классов (до В7,5) колеблется в интервале 0,12–0,17, а для более высоких классов по прочности этот коэффициент меньше и находится в диапазоне от 0,06 до 0,1.

На графике (рис. 2.2) приведены опытные значения прочности при осевом растяжении и зависимость  $R_t$  от кубиковой прочности на сжатие  $R$ , а также линия аппроксимации.

На основании математической обработки опытных данных нами была получена зависимость прочности на осевое растяжение  $R_t$  от кубиковой прочности на сжатие  $R$ , которая может быть с большой долей достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,9786$  описана следующей формулой

$$R_t = 0,0405 \cdot R + 0,1413. \quad (2.1)$$

По данным [8], прочность дацизитобетона (на заполнителе из вулканического стекла) поризованной структуры имеет большой разброс в показателях  $R_t$ , которые в ряде случаев до 20 % ниже нормируемых показателей для легких бетонов плотной структуры.

В табл. 2.2 приведены сравнительные значения  $R_t$  легких бетонов поризованной и плотной структуры на ПСКГ и дацизитобетона.

**Таблица 2.1**  
**Table 2.1**

**Результаты испытаний образцов-призм на осевое растяжение**  
**Results of tests of prism samples for axial tension**

Маркировка	Масса, т, г	Размеры, см	Плотность в момент испытания, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Разрушающая нагрузка, $P$ , кН	Прочность, $R_t$ , МПа	$R_{tm}$ , МПа	$R^*$ , МПа	$K = R_{tm}/R$
ПК-13-1	1139	7 × 7 × 28	830	1,99	0,345	0,355	4,8	0,074
ПК-13-2	1166		850	2,16	0,375			
ПК-13-3	1125		820	1,99	0,345			
ПК-15-1	1043		760	1,30	0,2255	0,264	3,30	0,08
ПК-15-2	1125		820	1,40	0,243			
ПК-15-3	1128		822	1,51	0,262			
ПК-15-4	1139		830	1,88	0,326			
ПК-16-2	1596		1665	4,40	0,763	0,81	16,50	0,05
ПК-16-3	1665		1717	4,67	0,810			
ПК-16-7	1708		1741	4,90	0,850			

\* по результатам испытаний кубов  $7 \times 7 \times 7$  см.

Таблица 2.2  
Table 2.2

**Прочности на осевое растяжение легких бетонов на ПСКГ и дацизитобетона  
(на заполнителе из вулканического стекла)  
Axial tensile strength of light concrete on UCS and dacite concrete (on volcanic glass aggregate)**

Вид легкого бетона	Маркировка	Плотность в момент испытания, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Кубиковая прочность, $R$ , МПа	Прочность на осевое растяжение, $R_t$ , МПа	$K = R_t/R$
Поризованный легкий бетон на ПСКГ	ПК-13	830	4,8*	0,36	0,075
	ПК-15	800	3,30*	0,277	0,084
Дацизитобетон низкопрочный и поризованный	ДГ-12	900	3,7	0,23	0,062
	Д-12	900	4,1	0,31	0,076
	ДП-13	900	5,0	0,38	0,076
Легкий бетон плотной структуры на ПСКГ с кварцевым песком	ПК-16	1700	16,50	0,83	0,05
Дацизитобетон средней прочности	Д-15	1100	8,0	0,62	0,078
	Д-16	1200	10,8	0,88	0,081
	Д-17	1200	15,5	1,28	0,082
	ДГ-13	1000	6,3	0,58	0,092
	ДГ-14	1100	8,8	0,75	0,085
	ДП-14	1000	7,8	0,56	0,072

\* по результатам испытаний кубов 7 × 7 × 7 см.

Как следует из табл. 2.2, полученные значения  $R_t$  для легкого бетона поризованной структуры на ПСКГ кубиковой прочностью  $R = 3,30–4,8$  МПа (по данным испытаний кубиков 7 × 7 × 28 см) несколько превышают соответствующие значения для дацизитобетона прочностью  $R = 3,7–4,1$  МПа и практически корреспондируются при прочностях  $R = 4,8$  МПа и  $R = 5,0$  МПа (для дацизитобетона), а также, в целом, близки к нормируемым по [5] величинам  $R_{bt,n}$  и  $R_{bt,ser}$  ( $R_{bt,n} = 0,25$  МПа,  $R_{bt,ser} = 0,35$  МПа соответственно для В2,5 и В3,5 по табл. 6.3 [5] для легкого бетона на пористом песке).

В то же время значения  $R_t = 0,83$  МПа для легкого бетона на ПСКГ плотной структуры прочностью

16,5 МПа в ~1,5 раза меньше соответствующего значения для дацизитобетона прочностью 15,5 МПа и меньше нормируемой (по табл. 6.3 [5]) величины  $R_{bt,n} = 1,1$  МПа для легкого бетона на пористом песке.

Прочность на растяжение при изгибе ( $R_{tb}$ ) (рис. 2.3) и раскалывании ( $R_{tt}$ ) (рис. 2.4) определяли соответственно на образцах-призмах размером 10 × 10 × 40 см и образцах-кубах размером 10 × 10 × 10 см по [2] с оценкой значений прочности по [9].

Показатели прочности легкого бетона на растяжение при раскалывании и при изгибе приведены соответственно в табл. 2.3, 2.3а, 2.4, 2.4а.



**Рис. 2.3.** Общий вид при испытании образца–призмы на растяжение при изгибе размерами 10 × 10 × 40 см  
**Fig. 2.3.** General view when testing of a 10 × 10 × 40 cm prism sample for tensile bending



**Рис. 2.4.** Общий вид при испытании на раскалывание образца–куба размерами 10 × 10 × 10 см  
**Fig. 2.4.** General view during the splitting test of a 10 × 10 × 10 cm cube sample



Таблица 2.3

Table 2.3

**Результаты испытаний образцов-кубов 10 × 10 × 10 см и 7 × 7 × 7 см на растяжение при раскалывании**  
**Results of the 10 × 10 × 10 cm and 7 × 7 × 7 cm cube samples tensile cracking tests**

Маркировка состава	Масса, <i>m</i> , г	Размеры, см			Плотность в момент испытания, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Кубиковая прочность, <i>R</i> , МПа	Разрушающая нагрузка, <i>P</i> , кН	Прочность, $R_{tt}$ , МПа	$R_{tm}$ , МПа	$K_{tt} = R_{tm}/R$
ПК-1	550	10,0	9,9	10,0	556	1,6	5,8	0,34	0,35	0,22
	548	10,0	10,0	10,0	548		6,2	0,36		
	550	10,0	10,0	10,0	550		5,5	0,32		
ПК-2	564	9,9	10,0	10,1	564	2,4	5,8	0,34	0,335	0,14
	558	10,0	10,0	10,0	558		4,46	0,26		
	574	10,1	10,0	10,0	568		5,7	0,33		
ПК-3	580	10,0	10,0	9,9	586	2,2	6,55	0,38	0,385	0,175
	578	10,0	10,1	10,0	572		6,77	0,39		
	558	10,1	10,0	10,0	552		6,06	0,35		
ПК-4	572	10,0	10,0	10,0	572	2,8	6,6	0,39	0,395	0,14
	572	10,0	10,0	10,0	572		6,6	0,39		
	580	10,0	10,0	10,0	580		6,9	0,40		
ПК-5	566	10,0	10,0	10,0	566	3,1	6,4	0,37	0,385	0,124
	570	10,0	10,0	10,0	570		6,5	0,38		
	572	10,0	10,0	10,0	572		6,6	0,39		
ПК-6	614	10,0	10,0	10,0	614	2,8	7,7	0,45	0,42	0,15
	604	10,0	10,0	10,0	604		6,7	0,39		
	600	10,0	10,0	10,0	600		6,5	0,38		
ПК-8	698	10,0	10,0	10,1	691	4,4	10,3	0,60	0,59	0,134
	683	10,0	10,0	10,0	683		9,9	0,58		
	682	10,1	10,0	10,0	675		8,7	0,50		
ПК-9	656	10,0	10,0	10,0	656	4,1	7,1	0,42	0,54	0,13
	684	10,0	10,0	10,0	684		8,8	0,52		
	740	10,0	10,0	10,0	740		9,5	0,56		
ПК-10	672	10,0	10,0	10,0	672	3,7	8,3	0,49	0,56	0,15
	748	10,0	9,9	10,0	756		10,7	0,63		
	642	10,1	10,0	10,0	636		8,2	0,48		
ПК-12	750	10,0	10,0	9,9	758	4,20	9,5	0,56	0,545	0,13
	718	10,0	10,0	10,0	718		9,1	0,53		
	730	10,1	10,0	10,0	723		7,6	0,44		
ПК-13	774	10,0	10,0	10,0	774	4,90	9,9	0,58	0,61	0,1245
	722	9,9	10,0	10,0	729		9,9	0,59		
	787	10,0	10,0	10,0	787		10,8	0,63		
ПК-13	290	7,0	7,0	7,0	845	4,80	6	0,68	0,77	0,16
	299	7,0	7,0	7,0	872		6,9	0,78		
	280	7,0	7,0	7,0	816		6,7	0,76		
ПК-14	761	10,0	10,0	10,0	761	4,57	9,6	0,56	0,61	0,1335
	765	10,0	10,0	10,1	757		11,2	0,66		
	782	10,0	10,0	10,0	782		8,3	0,49		
ПК-15	739	10,0	10,0	10,0	739	2,90	7,1	0,42	0,49	0,17
	740	10,0	10,0	10,0	740		9,6	0,56		
	732	10,0	10,0	10,0	732		6,9	0,40		

Продолжение таблицы 2.3  
Table 2.3 continuation

Маркировка состава	Масса, $m$ , г	Размеры, см			Плотность в момент испытания, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Кубиковая прочность, $R$ , МПа	Разрушающая нагрузка, $P$ , кН	Прочность, $R_{tt}$ , МПа	$R_{ttm}$ , МПа	$K_{tt} = R_{ttm}/R$
ПК-15	284	7,0	7,0	7,0	828	3,30	7	0,79	0,66	0,20
	278	7,0	7,0	7,0	810		4,6	0,52		
	281	7,0	7,0	7,0	819		4,5	0,51		
ПК-16	1628	10,0	10,0	10,0	1628	16,40	34,9	2,04	1,88	0,115
	1608	10,0	10,0	10,0	1608		33,1	1,94		
	1598	10,0	10,0	10,0	1598		30,0	1,76		
	1539	10,0	10,0	10,0	1539		30,7	1,80		
	1567	10,0	10,0	10,0	1567		28,1	1,65		
	1549	10,0	10,0	10,0	1549		27,8	1,63		
ПК-17	556	10,0	10,0	10,0	556	3,70	9,5	0,56	0,57	0,154
	574	10,0	10,0	10,0	574		9,8	0,57		
	556	10,0	10,0	10,0	556		9,1	0,53		
ПК-18	609	10,0	10,0	10,0	609	0,88	3,3	0,19	0,22	0,25
	622	10,0	10,0	10,0	622		3,6	0,21		
	619	10,0	10,0	10,0	619		3,8	0,22		
ПК-19	797	10,0	10,0	10,0	797	1,09	3	0,18	0,22	0,202
	764	10,0	10,0	10,0	764		4,4	0,26		
	777	10,0	10,0	10,0	777		2,8	0,16		

Таблица 2.3а  
Table 2.3а

Результаты испытаний образцов-кубов 10 × 10 × 10 см и 7 × 7 × 7 см на растяжение при раскалывании, осевом растяжении и изгибе  
Results of the 10 × 10 × 10 cm and 7 × 7 × 7 cm cube samples tensile cracking, axial stretching and bending tests

Маркировка состава	Масса, $m$ , г	Размеры, см			Плотность в момент испытания, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Кубиковая прочность, $R$ , МПа	Прочность на растяжение при раскалывании, $R_{tt}$ , МПа	$R_{ttm}$ , МПа	Прочность на осевое растяжение, $R_{ttm}$ , МПа	$K_{tt} = R_{ttm}/R_{ttm}$	Прочность на растяжение при изгибе, $R_{ttb}$ , МПа	$K_{ttb} = R_{ttm}/R_{ttb}$
ПК-13	774	10,0	10,0	10,0	774	4,90	0,58	0,61	0,36	1,69	0,94	0,65
	722	9,9	10,0	10,0	729		0,59					
	787	10,0	10,0	10,0	787		0,63					
ПК-13	290	7,0	7,0	7,0	845	4,80	0,68	0,77	0,36	2,14	0,94	0,82
	299	7,0	7,0	7,0	872		0,78					
	280	7,0	7,0	7,0	816		0,76					
ПК-15	739	10,0	10,0	10,0	739	2,90	0,42	0,49	0,277	1,77	0,58	0,845
	740	10,0	10,0	10,0	740		0,56					
	732	10,0	10,0	10,0	732		0,40					
ПК-15	284	7,0	7,0	7,0	828	3,30	0,79	0,66	0,277	2,38	0,58	1,14
	278	7,0	7,0	7,0	810		0,52					
	281	7,0	7,0	7,0	819		0,51					
ПК-16	1628	10,0	10,0	10,0	1628	16,40	2,04	1,88	0,83	2,265	2,50	0,75
	1608	10,0	10,0	10,0	1608		1,94					
	1598	10,0	10,0	10,0	1598		1,76					
	1539	10,0	10,0	10,0	1539		1,80					
	1567	10,0	10,0	10,0	1567		1,65					
	1549	10,0	10,0	10,0	1549		1,63					

Таблица 2.4  
Table 2.4

**Результаты испытаний образцов–призм 10 × 10 × 40 см на растяжение при изгибе**  
**Results of 10 × 10 × 40 cm prism samples bending tension tests**

Маркировка состава	Масса, <i>m</i> , г	Размеры, см			Плотность в момент испытания, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Кубиковая прочность, <i>R</i> , МПа	Разрушающая нагрузка, <i>P</i> , кН	Прочность, $R_{tb}$ , МПа	$R_{tbm}$ , МПа	$K_{tb} = R_{tbm}/R$
ПК-1	2364	9,9	10,1	40,0	591	1,6	1,50	0,41	0,45	0,28
	2314	9,9	10,1	40,0	579		1,52	0,42		
	2334	10,0	10,0	40,0	584		1,75	0,48		
ПК-3	2564	9,8	10,2	40,0	641	2,2	2,17	0,59	0,665	0,30
	2410	9,9	10,0	39,9	610		2,07	0,58		
	2430	9,9	10,1	39,9	609		2,72	0,74		
ПК-4	2299	10,0	10,0	40,0	575	2,8	1,43	0,395	0,395	0,14
ПК-5	2302	10,0	10,0	40,0	576	3,1	2,49	0,687	0,687	0,22
ПК-6	2434	10,0	10,0	40,0	609	2,8	2,88	0,79	0,79	0,28
ПК-9	2773	10,0	10,0	40,0	693	4,1	1,49	0,41	0,41	0,1
ПК-10	2796	10,0	10,0	40,0	699	3,7	1,56	0,43	0,43	0,116
ПК-12	2812	10,0	10,0	40,0	703	4,20	1,59	0,44	0,44	0,105
ПК-13	3271	10,0	10,0	40,0	818	4,90	3,5	0,97	0,94	0,19
	3315	10,0	10,0	40,0	829		3,3	0,91		
ПК-14	3075	10,0	10,0	40,0	769	4,57	2,4	0,66	0,66	0,144
ПК-15	3032	10,0	10,0	40,0	758	2,90	2,0	0,55	0,58	0,20
	3092	10,0	10,0	40,0	773		2,2	0,61		
ПК-16	6269	10,0	10,0	40,0	1567	16,40	8,69	2,40	2,50	0,152
	6246	10,0	10,0	40,0	1562		7,77	2,14		
	6491	10,0	10,0	40,0	1623		9,74	2,69		

Таблица 2.4а  
Table 2.4а

**Результаты испытаний образцов–призм 10 × 10 × 40 см на растяжение при изгибе, раскалывании и осевом растяжении**  
**Results of 10 × 10 × 40 cm prism samples tensile bending, splitting and axial stretching tests**

Маркировка состава	Масса, <i>m</i> , г	Размеры, см			Плотность в момент испытания, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Кубиковая прочность, <i>R</i> , МПа	Прочность на растяжение при изгибе, $R_{tb}$ , МПа	$R_{tbm}$ , МПа	Прочность на осевое растяжение, $R_{tm}$ , МПа	Прочность на растяжение при раскалывании, $R_{tcm}$ , МПа	$K_{tb} = R_{tbm}/R$
ПК-13	3271	10,0	10,0	40,0	818	4,90	0,97	0,94	0,36	0,61	2,6
	3315	10,0	10,0	40,0	829		0,91			0,77	
ПК-15	3032	10,0	10,0	40,0	758	2,90	0,55	0,58	0,277	0,49	2,09
	3092	10,0	10,0	40,0	773		0,61			0,66	
ПК-16	6269	10,0	10,0	40,0	1567	16,40	2,40	2,50	0,83	1,88	3,01
	6246	10,0	10,0	40,0	1562		2,14				
	6491	10,0	10,0	40,0	1623		2,69				

В соответствии с табл. Л.1 [2] коэффициент перехода от прочности на сжатие  $R$  к прочности на растяжение при изгибе  $R_{ib}$  составляет для тяжелого бетона  $K = 0,12$ , в то же время, согласно табл. 2.4, коэффициент перехода  $K_{ib}$  находится в диапазоне 0,1–0,30 и в среднем составляет  $K_{ib} = 0,185$ .

Коэффициент перехода от прочности на сжатие  $R$  к прочности на растяжение при раскалывании  $R_{tt}$  по [2] для тяжелого бетона составляет 0,08, в соответствии же с табл. 2.3 значения коэффициента перехода  $K_{tt}$  расположены в диапазоне 0,115–0,25 при среднем значении  $K_{tt} = 0,158$ .

То есть для легкого бетона на ПСКГ указанные коэффициенты перехода  $K_{ib}$  и  $K_{tt}$  больше, чем для тяжелого бетона, что, предположительно, связано с особенностями поризованной структуры легкого бетона. Что же касается легкого бетона ПСКГ плотной структуры (на кварцевом песке), то для него указанные коэффициенты  $K_{ib} = 0,152$  и  $K_{tt} = 0,115$  несколько ближе к нормируемым значениям для тяжелого бетона (соответственно 0,12 и 0,08), приведенным в табл. Л.1 [2].

Коэффициент перехода от прочности на осевое растяжение  $R_t$  к прочности на растяжение при изгибе  $R_{ib}$  для тяжелого бетона, согласно табл. Л.1 [2], равен 1,82. Соответствующий коэффициент  $K_{ibb}$  для легкого бетона на ПСКГ по табл. 2.4а находится в диапазоне 2,09–3,01 при среднем значении  $K_{ibb} = 2,57$ .

Коэффициент перехода от прочности на осевое растяжение  $R_t$  к прочности на растяжение при раскалывании  $R_{tt}$  для тяжелого бетона, согласно табл. Л.1

[2], составляет 1,2. Коэффициент  $K_{ttt}$  для легкого бетона на ПСКГ по табл. 2.3а равен 1,69–2,38 при среднем значении  $K_{ttt} = 2,05$ .

Коэффициент перехода от прочности на растяжение при изгибе  $R_{ib}$  к прочности на растяжение при раскалывании  $R_{tt}$  для тяжелого бетона, согласно табл. Л.1 [2], составляет 0,67. По табл. 2.3а коэффициент  $K_{tbb} = 0,65$ –1,14 при среднем значении 0,84.

На основании математического анализа опытных данных, приведенных в табл. 2.3–2.4а, следует, что зависимости прочности на растяжение при раскалывании  $R_{tt}$  от кубиковой прочности на сжатие  $R$  с большой долей достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,9692$  и  $R^2 = 0,9696$  могут быть описаны либо линейной функцией

$$R_{tt} = 0,1067 \cdot R + 0,1398, \quad (2.2)$$

либо полиномиальной зависимостью

$$R_{tt} = -0,0004 \cdot R^2 + 0,1145 \cdot R + 0,1205, \quad (2.3)$$

а зависимость прочности на растяжение при изгибе  $R_{ib}$  от кубиковой прочности на сжатие  $R$  с достоверностью аппроксимации  $R^2 = 0,9199$  может быть описана полиномиальной зависимостью

$$R_{ib} = 0,0082 \cdot R^2 - 0,0151 \cdot R + 0,5362. \quad (2.4)$$

Известна также формула, приведенная в [10], для определения прочности на растяжение для легких бетонов на пористых заполнителях, которая имеет вид

$$R_t = 0,27 \cdot R^{0.6}. \quad (2.5)$$

В табл. 2.5 для сравнения приведены значения

**Таблица 2.5**  
**Table 2.5**

**Прочности на растяжение легких бетонов на ПСКГ и на вулканическом стекле (дацизитобетона) при различных схемах испытаний**  
**Tensile strength of light concrete on UCS and on volcanic glass (dacite concrete) under various test schemes**

Вид легкого бетона	Маркировка	Плотность в момент испытания, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Кубиковая прочность, $R$ , МПа	Прочность на осевое растяжение, $R_t$ , МПа	Прочность на растяжение при раскалывании, $R_{tt}$ , МПа	Прочность на растяжение при изгибе, $R_{ib}$ , МПа	$R_{tt}/R_t$	$R_{ib}/R_t$	Прочность $R_t$ расч по формуле (2.5)	$R_t$	$R_{ib}$
Поризованный легкий бетон на ПСКГ	ПК-13	830	4,8*; 4,90	0,36	0,77; <b>0,61</b>	0,94	1,7–2,14	2,6	0,692; 0,70	<b>0,65;</b> 0,66	0,6526; 0,66
	ПК-15	800	3,30*; 2,90	0,277	0,66; <b>0,49</b>	<b>0,58</b>	1,77–2,4	2,09	0,553; 0,51	<b>0,49;</b> 0,45	<b>0,576;</b> <b>0,56</b>
Дацизитобетон низкопрочный и поризованный	ДГ-12	900	3,7	0,23	–	–	–	–	0,592	0,535	0,593
	Д-12	900	4,1	0,31	–	–	–	–	0,63	0,577	0,612
	ДП-13	900	5,0	0,38	–	–	–	–	0,71	0,67	0,6657
Легкий бетон плотной структуры на ПСКГ с кварцевым песком	ПК-16	1700	16,50	0,83	1,88	<b>2,50</b>	2,3	3,01	1,452	1,9	<b>2,52</b>
Дацизитобетон средней прочности	Д-15	1100	8,0	0,62	–	–	–	–	0,94	0,99	0,94
	Д-16	1200	10,8	0,88	–	–	–	–	1,126	1,29	1,33
	Д-17	1200	15,5	1,28	–	–	–	–	1,4	1,79	2,272
	ДГ-13	1000	6,3	0,58	–	–	–	–	0,815	0,812	0,77
	ДГ-14	1100	8,8	0,75	–	–	–	–	0,995	1,08	1,038
	ДП-14	1000	7,8	0,56	–	–	–	–	0,926	0,972	0,917

\* по результатам испытаний кубов 7 × 7 × 7 см.

прочности на растяжение, определенные при различных схемах испытаний, вычисленные по формуле (2.5), а также по формулам (2.2), (2.4).

Как следует из данных в табл. 2.5, полученные значения прочности на растяжение при раскалывании  $R_{tt}$  и изгибе  $R_{tb}$  для легкого бетона на ПСКГ превышают (в 1,3–3,01 раза) значения прочности при осевом растяжении  $R_t$ , а расчетные значения  $R_t$ , вычисленные по формуле (2.5), соответственно, ближе к опытным величинам прочности на растяжение при раскалывании и изгибе. Для дацизитобетона значения прочности при осевом растяжении также меньше расчетных значений  $R_t^{расч}$  по формуле (2.5). Однако с увеличением прочности на сжатие опытные значения прочности при осевом растяжении для дацизитобетона приближаются к  $R_t^{расч}$ . Для бетона на ПСКГ такой тенденции не наблюдается.

Дополнительно были проведены испытания образцов, хранившихся в помещениях с влажностью, не превышающей 60 % (то есть в относительно сухом состоянии), прочности на растяжение которых оказались значительно меньше соответствующих значений для образцов, хранившихся до испытаний в камере нормального твердения при влажности более 90 %.

Результаты этих испытаний приведены в табл. 2.6, 2.9. Для сравнения в табл. 2.7, 2.8 приведены результаты испытаний на растяжение при изгибе образцов, хранившихся до испытаний в камере нормального твердения при влажности более 90 %.

Как показывает анализ данных в табл. 2.6, 2.7, 2.8, значения прочностей на растяжение при изгибе  $R_{tb}$  для образцов, хранившихся в помещениях с влажностью, не превышающей 60 % (то есть в относительно сухом

**Таблица 2.6**  
**Table 2.6**

**Результаты испытаний образцов–призм 10 × 10 × 40 см составов ПК–4, ПК–9, ПК–10 и ПК–12 на растяжение при изгибе, хранившихся при сухом влажностном режиме по истечении более 120 суток**  
**Results of 10 × 10 × 40 cm prism samples of the compositions PK–4, PK–9, PK–10 and PK–12, stored under dry conditions after more than 120 days, tensile bending tests**

Маркировка состава	Дата		Масса, <i>m</i> , г	Размеры, см			Плотность в момент испытания, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Кубиковая прочность, <i>R</i> , МПа	Разрушающая нагрузка, <i>P</i> , кН	Прочность, $R_{tb}$ , МПа	$R_{tbm}$
	Формование	Испытания									
ПК-4-1	13.04.21	28.09.21	2330	10	10	40	583	2,8	0,3	0,083	0,124
ПК-9-1	20.04.21	28.09.21	2743	10	10	40	686	4,1	0,58	0,16	
ПК-10-1	22.04.21	28.09.21	2589	10	10	40	647	3,7	0,51	0,14	
ПК-12-1	22.04.21	28.09.21	2691	10	10	40	673	4,2	0,41	0,113	

**Таблица 2.7**  
**Table 2.7**

**Результаты испытаний образцов–призм 10 × 10 × 40 см составов ПК–4, ПК–9, ПК–10, ПК–12 на растяжение при изгибе, хранившихся до испытаний в камере нормального твердения при влажности более 90 %**  
**Results of 10 × 10 × 40 cm prism samples of PK–4, PK–9, PK–10, PK–12 compositions, stored before testing in a normal hardening chamber at a humidity of more than 90 %, bending tensile strength tests**

Маркировка состава	Дата		Масса, <i>m</i> , г	Размеры, см			Плотность в момент испытания, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Кубиковая прочность, <i>R</i> , МПа	Разрушающая нагрузка, <i>P</i> , кН	Прочность, $R_{tb}$ , МПа	$R_{tbm}$
	Формование	Испытания									
ПК-4	13.04.21	18.05.21	2299	10,0	10,0	40,0	575	2,8	1,43	0,395	0,42
ПК-9	20.04.21	18.05.21	2773	10,0	10,0	40,0	693	4,1	1,49	0,41	
ПК-10	22.04.21		2796	10,0	10,0	40,0	699	3,7	1,56	0,43	
ПК-12			2812	10,0	10,0	40,0	703	4,20	1,59	0,44	

**Таблица 2.8**  
**Table 2.8**

**Прочность на растяжение при изгибе  $R_{tb}$  образцов–призм составов ПК–11, хранившихся до испытаний в камере нормального твердения при влажности более 90 %**  
**Tensile strength during bending of  $R_{tb}$  samples–prisms of PK–11 compositions, stored before testing in a normal hardening chamber at a humidity of more than 90 %**

Маркировка состава	Дата		Масса, <i>m</i> , г	Размеры, см			Плотность в момент испытания, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Разрушающая нагрузка, <i>P</i> , кН	Прочность, $R_{tb}$ , МПа	$R_{tbm}$ , МПа
	Формование	Испытания								
ПК-11-1	22.04.21	06.07.2021	2366	10,0	10,0	40,0	592	1,33	0,37	0,39
ПК-11-2			2425	10,0	10,0	40,0	606	1,43	0,39	
ПК-11-3			2302	10,0	10,0	40,0	576	1,49	0,41	

Таблица 2.9  
Table 2.9

Результаты испытаний образцов-призм 7 × 7 × 28 см составов ПК-11 на осевое растяжение, хранившихся при сухом влажностном режиме по истечении более 120 суток  
Results of 7 × 7 × 28 cm prism samples of PK-11 compositions, stored under dry conditions after more than 120 days, axial stretching tests

Маркировка состава	Масса, m, г	Размеры, см			Плотность в момент испытания, ρ, кг/м <sup>3</sup>	Разрушающая нагрузка, P, кН	Прочность, R <sub>t</sub> , МПа	R <sub>tm</sub> , МПа
ПК-11-2	821	7,0	7,0	28,0	598	0,49	0,085	0,085
ПК-11-3	812	7,0	7,0	28,0	592	0,49	0,085	

состоянии), оказались значительно меньше соответствующих значений для образцов, хранившихся до испытаний в камере нормального твердения при влажности более 90 %. В частности, для образцов-призм ПК-4-1, ПК-9-1, ПК-10-1, ПК-12-1, хранившихся при сухом влажностном режиме и испытанных на изгиб (табл. 4.6), значения R<sub>tb</sub> в 3,9–4,8 раза меньше, чем у образцов этих же составов, хранившихся до испытаний в камере нормального твердения при влажности более 90 % (табл. 2.7), а также в среднем более чем в 3 раза меньше, чем у образцов состава ПК-11 с меньшей прочностью на сжатие, также хранившихся в камере нормального твердения.

Прочность на осевое растяжение R<sub>t</sub> у образцов ПК-11-2, ПК-11-3 (табл. 2.9), хранившихся в сухом влажностном режиме, в 4,6–4,8 раза меньше, чем у образцов ПК-11-2, ПК-11-3, испытанных на изгиб и хранившихся при влажности более 90 %. При этом прочность R<sub>t</sub> образцов ПК-11-2 и ПК-11-3, хранившихся при сухом влажностном режиме, достаточно хорошо совпадает с прочностью на растяжение при изгибе R<sub>tb</sub> для образца ПК-4-1, хранившегося в таких же условиях.

Такое значительное снижение прочности при растяжении для испытанных составов легкого бетона на ПСКГ может быть объяснено повышенной влажностной усадкой такого бетона, проявившейся за довольно

длительный промежуток времени и приведшей к большим собственным внутренним напряжениям в сечении образцов между их наружной поверхностью и бетоном внутри.

По результатам приведенных в табл. 2.6 пониженных значений R<sub>tb</sub> построен график, показанный на рис. 2.9.

На основании данных, приведенных на рис. 2.9, следует, что зависимость прочности на растяжение при изгибе от кубиковой прочности на сжатие может быть описана полиномиальной зависимостью

$$R_{tb} = -0,0746 \cdot R^2 + 0,5566 \cdot R - 0,8912. \quad (2.8)$$

Полученные опытные и расчетные (по формуле (2.8)) данные по сниженной прочности на растяжение испытанных составов легкого бетона поризованной структуры на ПСКГ должны быть учтены при внесении изменений в положения пункта 6.1.11 (табл. 6.3 и 6.4) [5].

Для применения легкого бетона на ПСКГ испытанных составов целесообразно для повышения усадочной трещиностойкости такого бетона в ограждающих конструкциях (крупноформатных стеновых панелей нового типа) использовать дисперсное армирование полимерной фиброй, одновременно увеличивающей теплозащитные свойства таких конструкций (путем некоторого снижения коэффициента теплопроводности легкого фибробетона за счет дополнительного воздухоовлечения).

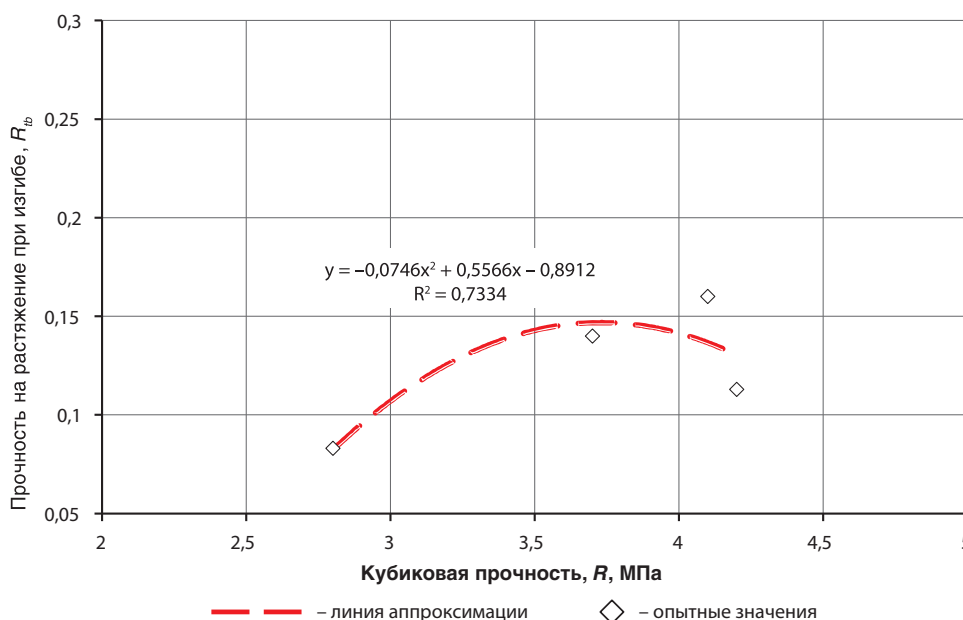


Рис. 2.9. Зависимость прочности на растяжение при изгибе R<sub>tb</sub> от прочности бетона на сжатие R  
Fig. 2.9. Dependence of the tensile strength during bending R<sub>tb</sub> on the compressive strength R of concrete

### Общие выводы и предложения

1. Полученные опытные данные по более высокому коэффициенту призмочной прочности для легкого бетона на ПСКГ в перспективе могут быть основанием для увеличения нормативных расчетных сопротивлений прочности при осевом сжатии для такого вида легкого бетона. До накопления большего количества экспериментальных данных в настоящее время призмочную прочность и, соответственно, нормативные и расчетные сопротивления при осевом сжатии для легкого бетона на ПСКГ принимать в соответствии с [5].

Значения и формулы для определения призмочной прочности и коэффициента призмочной прочности легкого бетона испытанных составов на ПСКГ могут быть использованы при расчете и проектировании крупноформатных панелей стен нового типа (марок 1.НС.629.299.45-1 и 1.НС.809.302.45-1 по чертежам ООО «Индустриальные проектные решения»), рекомендованных ООО «Префабрика».

2. Полученные опытные и расчетные данные по прочности на растяжение испытанных составов легкого бетона поризованной структуры на ПСКГ (табл. 2.6 и 2.9, формула (2.8) должны быть учтены при корректировке положения пункта 6.1.11 (табл. 6.3 и 6.4) [5].

При применении легкого бетона поризованной структуры на ПСКГ целесообразно для повышения усадочной трещиностойкости такого бетона для ограждающих конструкций (крупноформатных стеновых панелей нового типа (марок 1.НС.629.299.45-1 и 1.НС.809.302.45-1 по чертежам ООО «Индустриальные проектные решения») использовать дисперсное армирование полимерной фиброй, одновременно повышающей теплозащитные свойства таких конструкций.

### Список литературы

1. ГОСТ 24452-80. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона. Москва: Государственный комитет СССР по делам строительства; 1982.

2. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Москва: Министерство регионального развития; 2013.

3. Давидюк А.Н. Легкие конструктивно-теплоизоляционные бетоны на стекловидных пористых заполнителях. Научное издание. Москва: Издательство Красная звезда; 2008. 208 с.

4. Черноусов Н.Н., Бондарев Б.А., Стурова В.А., Бондарев А.Б., Ливенцева А.А. Аналитические зависимости влияния плотности материала на прочность и деформативность конструкционного бетона при осевом сжатии // *Строительные материалы*. 2022. № 5. С. 58–67. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-58-67>. EDN: NDKYMY

5. СП 351.1325800.2017. Бетонные и железобетонные конструкции из легких бетонов. Правила проектирования. Москва: Росстандарт; 2017.

6. Бужевич Г.А. Легкие бетоны на пористых заполнителях Москва: Стройиздат; 1970. 272 с.

7. Кузмич Т.А. Коэффициент призмочной прочностинизкомарочного керамзитобетона/Совершенствование легких бетонов и конструкций из них: Сб. науч. тр. под ред. И.Е. Путляева, Ю.В. Чиненкова. Москва: НИИЖБ; 1988. 123 с.

8. Гнатусь Н.А. Дацизитобетон. Под ред. И.Е. Путляева. Москва: Недра; 1991. 124 с.

9. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. Москва: Росстандарт; 2020.

10. Несветаев Г.В. Закономерности деформирования и прогнозирования стойкости бетонов при силовых и температурных воздействиях: Автореферат дисс. ... д.т.н. Ростов-на-Дону: РГСУ; 1998. 48 с.

### References

1. State Standard 24452-80. Concrete. Methods for determining the prismatic strength, modulus of elasticity and Poisson's ratio. Moscow: USSR State Committee for Construction; 1982. (In Russian).

2. State Standard 10180-2012. Concrete. Methods for determining strength from control samples. Moscow: Ministry of Regional Development; 2013. (In Russian).

3. Davidiyuk A.N. Lightweight structural and thermal insulation concretes on vitreous porous aggregates. Scientific edition. Moscow: Krasnaya Zvezda Publishing House; 2008. 208 p. (In Russian).

4. Chernousov N.N., Bondarev B.A., Sturova V.A., Bondarev A.B., Liventseva A.A. Analytical dependences of the effect of material density on the strength and deformability of structural concrete under axial compression. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022, no. 5, pp. 58–67. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-58-67>. EDN: NDKYMY

5. SP 351.1325800.2017. Concrete and reinforced concrete structures made of light concrete. Design rules. Moscow: Rosstandart; 2017. (In Russian).

6. Buzhevich G.A. Light concretes on porous aggregates. Moscow: Stroyizdat; 1970. 272 p. (In Russian).


7. Kuzmich T.A. The coefficient of prismatic strength of low-grade keramzit-concrete. Improvement of light concrete and structures made of them. Moscow: NIIZHB; 1988. 123 p. (In Russian).


8. Gnatus N.A. Dacite concrete. Edited by I.E. Putlyaev. Moscow: "Nedra"; 1991. 124 p. (In Russian).

9. State Standard 18105-2018. Concrete. Rules for strength control and evaluation. Moscow: Rosstandart; 2020. (In Russian).

10. Nesvetaev G.V. Regularities of deformation and prediction of concrete resistance under force and temperature influences: Abstract of dissertation ... Doctor of Technical Sciences. Rostov-on-Don: RGSU; 1998. 48 p. (In Russian).


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

**Валерий Николаевич Строцкий** , канд. техн. наук, заместитель заведующего лабораторией легких и ячеистых бетонов и конструкций № 5 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: np.ots@mail.ru

**Valeriy N. Strotsky** , Cand. Sci. (Engineering), Deputy Head of the Laboratory of Light and Cellular Concrete and Structures No. 5, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: np.ots@mail.ru

**Владимир Иванович Савин**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории коррозии и долговечности бетона и железобетона № 13 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
**Vladimir I. Savin**, Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher at the Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete No. 13, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

**Владимир Васильевич Полетаев**, канд. техн. наук, заведующий лабораторией легких и ячеистых бетонов и конструкций № 5 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
**Vladimir V. Poletaev**, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory of Light and Cellular Concrete and Structures No. 5, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

 Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



Л.А. ТИТОВА, М.И. БЕЙЛИНА, В.А. ШАБАЛИН, М.Ю. ТИТОВ, С.И. ИВАНОВ✉  
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

# ПЕРЕСМОТР СТАНДАРТА ГОСТ 32803 «БЕТОНЫ НАПРЯГАЮЩИЕ. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ» В СВЕТЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ БЕТОНОВ

## Аннотация

**Введение.** ГОСТ 32803 был разработан более 8 лет назад и учитывал уровень развития производства и подход к проблеме в данный период. В то же время за прошедший период расширилась область применения напрягающих бетонов, были разработаны новые технологии производства таких бетонов как на заводах железобетонных изделий, так и на строительной площадке. Применение современных технологий производства напрягающих бетонов и разработка новых видов таких бетонов, в частности, самоуплотняющихся и жаростойких, существенно расширяет область использования напрягающих бетонов в конструкциях, к которым предъявляют требования по качеству поверхности и долговечности, по прочности, водонепроницаемости, морозостойкости, отсутствию дефектов.

При этом такие бетоны можно эффективно использовать для подземного строительства и в специальных конструкциях, таких как емкостные и гидротехнические сооружения, с получением в применяемых для их строительства бетонах высоких марок по водонепроницаемости, морозостойкости и истираемости.

**Цель.** Пересмотр ГОСТ 32803 осуществлялся с целью уточнения и корректировки видов напрягающего бетона и расширяющих добавок для производства таких бетонов.

**Материалы и методы.** В новой редакции стандарта учтена возможность применения как отходов производств, так и новых материалов.

**Результаты.** Представлена актуализированная редакция стандарта, составленная с учетом новых и актуализированных редакций ранее разработанных нормативных документов.

**Выводы.** Использование расширяющих добавок в составе напрягающего бетона, в том числе и доба-

вок, позволяет решать актуальную задачу по защите окружающей среды, т. к. для изготовления таких добавок используются крупнотоннажные отходы различных промышленных производств.

**Ключевые слова:** напрягающий бетон, бетон с компенсированной усадкой, расширяющая добавка, самонапряжение, область применения, водонепроницаемость, морозостойкость, истираемость

**Для цитирования:** Титова Л.А., Бейлина М.И., Шабалин В.А., Титов М.Ю., Иванов С.И. Пересмотр стандарта ГОСТ 32803 «Бетоны напрягающие. Технические условия» в свете возможности дальнейшего развития области применения эффективных бетонов // *Бетон и железобетон*. 2023. № 2 (616). С. 31–39. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2\(616\)-31-39](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2(616)-31-39)

## Вклад авторов

Титова Л.А. – общее руководство, анализ результатов НИОКР, подготовка статьи.

Бейлина М.И. – разработка программы исследований, обзор литературных данных, обработка результатов экспериментальной работы, выводы по работе.

Шабалин В.А. – проведение эксперимента, обработка результатов экспериментальной работы.

Титов М.Ю. – пересмотр ГОСТ, его актуализация и редактирование.

Иванов С.И. – анализ результатов НИОКР, подготовка статьи.

## Финансирование

Работа выполнялась за счет средств ФАУ «ФЦС».

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 20.12.2022

Поступила после рецензирования 19.02.2023

Принята к публикации 09.03.2023

L.A. TITOVA, M.I. BEILINA, V.A. SHABALIN, M.Yu. TITOV, S.I. IVANOV✉

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

# REVISION OF THE STATE STANDARD 32803 "SELF–STRESSING CONCRETE. GENERAL SPECIFICATIONS" IN THE LIGHT OF THE POSSIBILITY OF FURTHER DEVELOPMENT OF THE APPLICATION FIELD OF EFFICIENT CONCRETE

## Abstract

*Introduction.* State Standard 32803 was developed more than 8 years ago and took into account the level of development of production and the approach to the problem in this period. At the same time, over the past period, the scope of application of straining concretes has expanded, new technologies for the production of such concretes have been developed both at precast concrete plants and on the construction sites. The use of modern technologies for the production of straining concretes and the development of new types of such concretes, in particular self-compacting and heat-resistant, significantly expands the scope of use of straining concretes in structures that are subject to requirements for surface quality and durability, strength, water resistance, frost resistance, absence of defects.

At the same time, such concretes can be effectively used for underground construction and in special structures, such as capacitive and hydraulic structures, with obtaining high grades of water permeability resistance, frost resistance and abrasion resistance in the concretes used for their construction.

*Aim.* The revision of State Standard 32803 was carried out in order to clarify and adjust the types of straining concrete and expanding additives for the production of such concretes.

*Materials and methods.* The new edition of the standard takes into account the possibility of using both waste products and new materials.

*Results.* An updated version of the standard is presented, compiled taking into account new and updated editions of previously developed regulatory documents.

*Conclusions.* The use of expanding additives in the composition of prestressing concrete, including additives, makes it possible to solve the urgent problem of protecting the environment, since large-tonnage waste from various industrial productions is used for the manufacture of such additives.

**Keywords:** self-tensioning concrete, concrete with compensated shrinkage, expanding additive, self-stressing, scope, water resistance, frost resistance, abrasion resistance

**For citation:** Titova L.A., Beilina M.I., Shabalin V.A., Titov M.Yu., Ivanov S.I. Revision of the State Standard 32803 "Self-stressing concrete. General specifications" in the light of the possibility of further development of the field of application of effective concrete. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 2 (616), pp. 31–39. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2\(616\)-31-39](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2(616)-31-39)

## Author contribution statements

Titova L.A. – general management, analysis of R&D results, preparation of the article.

Beilina M.I. – development of a research program, review of literature data, processing of experimental results, conclusions on the work.

Shabalin V.A. – conducting an experiment, processing the results of experimental work.

Titov M.Yu. – State Standard revision, updating and editing.

Ivanov S.I. – analysis of R&D results, preparation of the article.

## Funding

The work was carried out at the expense of the FAO "FCS".

## Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Received 20.12.2022

Revised 19.02.2023

Accepted 09.03.2023

Основными задачами современного строительства являются разработка и внедрение новых эффективных материалов, обеспечивающих надежность и долговечность конструкций и сооружений. Среди таких эффективных материалов особое место занимает напрягающий бетон как материал с уникальными показателями по прочности, плотности, долговечности.

Актуальность работы вызвана необходимостью совершенствования системы градостроительной деятельности, для чего потребовалось внести изменение в существующую нормативную базу по применению напрягающего бетона с учетом современных требований, а также результатов научных исследований, выполненных в последние годы.

Основанием для проведения работы по Изменению № 1 к ГОСТ 32803-2014 «Бетоны напрягающие. Технические условия» [1] является реализация национального проекта «Жилье и городская среда» до 2024 года для решения задачи актуализации действующих нормативно-технических документов с целью внедрения новых передовых технологий и ограничения использования устаревших технологий.

Согласно ГОСТ [1], напрягающий бетон – это бетон, содержащий в качестве вяжущего напрягающий цемент или комплексное вяжущее (портландцемент с расширяющей добавкой), который при твердении обеспечивает расширение и самонапряжение в условиях ограничения деформаций расширения. В зависимости от значения контролируемой величины самонапряжения ( $S_p$ ) бетоны подразделяются на бетоны с компенсированной усадкой (до  $S_p = 1,0$  МПа) и напрягающие ( $S_p$  более 1,0 МПа).

Для производства напрягающего бетона в качестве вяжущего используют напрягающий цемент, выпускаемый в соответствии с ГОСТ Р 56727-2015 [2], или портландцемент, соответствующий ГОСТ 31108-2020 [3], в сочетании с расширяющей добавкой по ГОСТ Р 56592-2015 [4] и ТУ 5743-006-46854090-98 [5].

В результате многолетних исследований, в т. ч. выполненных в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, была разработана теория развития расширения и самонапряжения напрягающих бетонов [6, 7] и конструкций на их основе [8–11].

Механизм твердения напрягающего бетона заключается в направленном кристаллообразовании в твердеющем цементном камне с обеспечением регулируемого расширения, происходящего в еще пластичной структуре материала. В то же время в условиях ограничения деформаций расширения развивается самонапряжение, компенсирующее растягивающие напряжения, которые могут приводить к образованию доэксплуатационных трещин в бетоне. Расширяющие добавки могут вводиться в смесительную установку при производстве бетона или непосредственно в автобетоносмеситель при загрузке бетонной смеси.

Промышленное производство напрягающего бетона было организовано со второй половины прошлого века в Белоруссии, Украине, Казахстане, а также в различных регионах России: в Москве и Московской области, Западной Сибири. В настоящее время эта логистика изменилась в связи с распадом СССР. В России (в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева) разработан целый ряд расширяющих добавок, которые позволяют более технологично и экономически предпочтительнее получать напрягающие бетоны на основе расширяющих добавок. Такие добавки в качестве сырьевых материалов используют природные материалы и промышленные отходы, тем самым решая еще и экологические проблемы – утилизацию крупнотоннажных отходов [12–16].

В силу вышесказанного, при пересмотре действующего межгосударственного стандарта особое внимание было уделено современному состоянию исследований и практики применения напрягающего бетона на основе расширяющих добавок. При этом одной из главных целей работы ставилось приведение рассматриваемого стандарта в соответствие с требованиями группы основных смежных стандартов на бетоны и бетонные смеси [17–29].

Рассмотрим основные из внесенных изменений и дополнений.

**В разделе 3 «Термины и определения»** принята новая формулировка пункта 3.1: «Бетоны с компенсированной усадкой и напрягающие – бетоны, содержащие в качестве вяжущего напрягающий цемент или портландцемент с расширяющей добавкой, обеспечивающие расширение бетона в процессе его твердения».

Данная формулировка расширена по сравнению с прежней, так как регулирование свойств расширяющих добавок позволяет получить не только напрягающие бетоны, но и бетоны с компенсированной усадкой. Последние имеют большую перспективу применения во многих конструкциях, в которых должны быть обеспечены технологическая трещиностойкость и высокое качество готовых поверхностей бетона.

**В разделе 4 «Классификация»** важным дополнением стало внесение в стандарт мелкозернистого напрягающего бетона. Как известно, мелкозернистые бетоны составляют достаточно значительный объем производства и имеют широкое применение в практике строительства, особенно в тех регионах, где отсутствуют необходимые природные запасы материалов для производства крупного заполнителя.

Кроме того, внесено дополнение в условные обозначения бетонных смесей, имея в виду приведение обозначений смесей напрягающих бетонов к обозначениям, принятым в основном стандарте по бетонным смесям, ГОСТ 7473-2010 «Смеси бетонные. Технические условия» [17]. Данное дополнение позволяет рассматривать напрягающий бетон в составе общего подхода к требованиям, предъявляемым ко всем бетонным смесям.

В разделе 5 «Технические требования» в части установления прочностных характеристик напрягающих бетонов положения прежней редакции ГОСТ [1] остались без изменений. Вместе с тем по ряду других требований были внесены определенные коррективы.

Так, был расширен параметрический ряд напрягающего бетона по средней плотности для тяжелого бетона до D2600, имея в виду, что аналогичное требование содержится в основном ГОСТ 26633-2012 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия» [28].

В части нормирования требований по самоупрочнению произведено дифференцирование марок напрягающего бетона отдельно для бетонов с компенсированной усадкой и для бетонов с нормируемой величиной самоупрочнения. Так, для бетона с компенсированной усадкой приняты марки Sp0,6; Sp0,8; Sp1,0; а для бетона с нормируемой величиной самоупрочнения – Sp1,2; Sp1,4; Sp1,6; Sp1,8; Sp2,0. В сравнении с прежней редакцией данного стандарта снижена верхняя граница марок бетона с самоупрочнением с 4 до 2 МПа, имея в виду, что марки по самоупрочнению выше Sp2 не всегда представляются реально достижимыми и целесообразными в массовом строительстве.

Вместе с тем введение такого ограничения для марки по самоупрочнению приводит к противоречию в сравнении с требованиями норм проектирования бетонных и железобетонных конструкций СП 63.13330.2018 [30], в котором верхняя граница марки по самоупрочнению составляет Sp4. Учитывая изложенное, в дальнейшем будет необходимо рассмотреть вопрос о приведении требований СП 63.13330.2018 [30] в этой части к требованию актуализированной редакции данного стандарта.

В части нормирования требований, в зависимости от условий эксплуатации конструкций в части марки напрягающего бетона по морозостойкости, в рассматриваемый стандарт внесены более детальные требования, имея в виду то обстоятельство, что в ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» [20] предусмотрено два базовых метода для определения марок по морозостойкости тяжелого и мелкозернистого бетонов. В этой связи уточненные параметрические ряды по морозостойкости представляются следующими:

– по первому базовому методу: F<sub>1</sub>50; F<sub>1</sub>75; F<sub>1</sub>100; F<sub>1</sub>150; F<sub>1</sub>200; F<sub>1</sub>300; F<sub>1</sub>400; F<sub>1</sub>500;

– по второму базовому методу: F<sub>2</sub>100; F<sub>2</sub>150; F<sub>2</sub>200; F<sub>2</sub>300.

Тем же ГОСТ 10060-2012 [20], учитывая обстоятельство, что конструкции из легких бетонов не применяются для дорожных и аэродромных покрытий, а также в конструкциях, которые эксплуатируются при действии минерализованной воды, нормирование марок по морозостойкости производят исключительно по первому базовому методу. При этом для легких

бетонов установлен следующий параметрический ряд марок по морозостойкости: F<sub>1</sub>50; F<sub>1</sub>75; F<sub>1</sub>100; F<sub>1</sub>200; F<sub>1</sub>300; F<sub>1</sub>400.

В соответствии с СП 63.13330.2018 [30], в зависимости от водонепроницаемости, устанавливаются следующие марки от W2 до W20 для тяжелого и мелкозернистого напрягающих бетонов и от W2 до W12 для легкого бетона. Марки по водонепроницаемости в актуализированном ГОСТ 32803 представлены следующими параметрическими рядами:

– для тяжелого и мелкозернистого напрягающих бетонов: W8; W10; W12; W14; W16; W18; W20;

– для легкого напрягающего бетона: W8; W10; W12; W14; W16.

Сопоставление требований СП 63.13330.2018 [30] и данного стандарта показывает, что нижняя граница марок по водонепроницаемости по стандарту выше как для тяжелого и мелкозернистого бетонов, так и для легкого бетона в сравнении с СП 63.13330.2018 [30]. Кроме того, верхняя граница марок по водонепроницаемости для легких напрягающих бетонов выше в требованиях стандарта. Указанные несоответствия двух нормативных документов в дальнейшем могут потребовать проведения корректировки требований СП 63.13330.2018 [30] для обеспечения соответствия требованиям ГОСТ 32803.

Кроме того, в актуализированном стандарте появилось требование по истираемости, которое было внесено с целью гармонизации с классификацией бетонов, установленной в ГОСТ 25192-2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования» [26]. По истираемости при испытании на круге истирания устанавливаются марки G1, G2, G3, которые соответствуют низкой, средней и высокой истираемости по классификации ГОСТ 25192-2012 [26].

Учитывая, что показатели качества бетона в раннем возрасте могут не соответствовать приведенным требованиям, новым пунктом 5.1.7 фиксируется требование, что все установленные показатели качества бетона должны быть обеспечены в проектном возрасте.

В части требований к бетонным смесям в подраздел 5.3 «Требования к бетонным смесям» был внесен пункт 5.3.3 о том, что «при назначении к бетону нескольких проектных требований состав бетонной смеси должен обеспечивать получение бетона с нормируемыми показателями в соответствии с требованиями настоящего стандарта». Данным пунктом для бетонных смесей, в случае предъявляемых к ним наряду с другими требованиями, достижение показателей качества, в том числе и для напрягающего бетона, требуется обеспечивать требования, как и для последнего.

**Раздел 6 «Правила приемки»** был значительно расширен.

Необходимым дополнением стало внесение положения о том, что приемку напрягающего бетона про-

изводят не только в соответствии с требованиями ГОСТ 7473-2010 [17], ГОСТ 13015-2012 [31], но и ГОСТ 18105-2018 [24]. При этом имелось в виду, что прочность бетона является одним из его важнейших показателей качества.

Кроме того, новым пунктом 6.2 указывается, что контроль и оценку показателей качества напрягающих бетонных смесей и бетона следует проводить партиями по ГОСТ 7473-2010 [17] по методикам ГОСТ 10181-2000 [23], ГОСТ 18105-2018 [24], ГОСТ 31914-2012 [32] и настоящего стандарта.

Дополнительно внесено положение о том, что оценку качества бетона по морозостойкости, водонепроницаемости, плотности производят при подборе каждого состава бетона по ГОСТ 27006-86 [29], а в дальнейшем не реже одного раза в 6 месяцев, а также при изменении состава бетона или используемых материалов. При этом оценку и приемку бетонов с компенсированной усадкой и напрягающих предложено производить:

- по прочности – по ГОСТ 10180-2012 [22], ГОСТ 18105-2018 [24], ГОСТ 31914-2012 [32] и настоящему стандарту;
- по самонапряжению – по настоящему стандарту;
- по водонепроницаемости – по ГОСТ 12730.5-2018 [33];
- по морозостойкости – по ГОСТ 10060-2012 [20];
- по истираемости – по ГОСТ 13087-2018 [34].

**Разделы стандарта 7 «Методы контроля» и 8 «Гарантии производителя (поставщика)»** не получили принципиальных изменений и дополнений, в них были сделаны только отдельные редакционные правки.

Вместе с тем проект актуализированного стандарта был дополнен новым **разделом 9 «Указания по применению»**, в котором содержится важное требование об учете как при проектировании, так и при возведении конструкций при положительной и отрицательной температурах повышенной экзотермии напрягающих бетонов, происходящей в процессе набора прочности.

Кроме того, в актуализированный стандарт было включено новое справочное **Приложение А «Расширяющие добавки для бетонов с компенсированной усадкой и напрягающих»**.

Необходимость создания такого приложения связана с тем, что в настоящее время основной способ получения напрягающих бетонов основан на введении расширяющей добавки в бетонную смесь на портландцементе. В то же время расширяющие добавки могут быть на алюминатной, оксидной или алюминатно-оксидной основе и производиться по обжиговой или безобжиговой технологии. Ранее проведенными работами отечественных и зарубежных ученых доказано, что процессы гидратации цементов на расширяющих добавках и бетонов на их основе во многом зависят от вида, активности и количества расширяющей добавки, что связано со скоростью образования продуктов гидратации, вызывающих расширение и рост прочности бетона [6, 7, 13, 15].

Поэтому в Приложении А указывается, что по качественному составу расширяющие добавки могут быть:

- на сульфоалюминатной основе;
- на оксидной основе;
- на алюминатно-оксидной основе.

Кроме того, дается информация по необходимому количеству вводимых в состав бетона добавок в зависимости от их качественного состава. Так, для получения бетона с компенсированной усадкой и напрягающего бетона предлагается введение в его состав расширяющей добавки в количестве, представленном в табл. 1.

По результатам экспертизы в ТК 465 «Строительство» проект актуализированного ГОСТ 32803 был признан удовлетворяющим потребностям национальной экономики. Все обоснованные замечания и полезные предложения заинтересованных лиц и организаций, участвовавших в публичном обсуждении, а также экспертов ТК 465 «Строительство» были приняты разработчиками и учтены при подготовке окончательной редакции проекта изменения стандарта.

Следует отметить, что в последние годы был проведен ряд научно-исследовательских работ по определению нормируемых параметров напрягающих бетонов с различными видами армирования. Результаты данных работ были учтены при пересмотре ГОСТ 32803 [1].

**Таблица 1**  
**Table 1**

**Требуемое количество расширяющей добавки для получения напрягающего бетона**  
**The required amount of expansion additive to produce straining concrete**

№ п/п	Вид расширяющей добавки	Количество расширяющей добавки в % от массы цемента	
		для бетона с нормируемой величиной самонапряжения	для бетона с компенсированной усадкой
1	сульфоалюминатного типа	8–15	5–8
2	оксидного типа	2–4	1–2
3	алюминатно-оксидного типа	3–8	3–5

Таблица 2

Table 2

**Сравнительные характеристики бетонов различного состава**  
**Comparative characteristics of concretes of various compositions**

Вид бетона	Расход вяжущего, кг		Полученные показатели качества					
	ПЦ М500Д0	РД	$S_p$ , МПа	$R_{сж}$ , МПа	$B_{тв}$ , МПа	$G$	$W$	$F_1$
Товарный бетон	400	–	–	40,7	6,2	0,74	8	300
Напрягающий бетон	НЦ 400	–	2,0	46,1	7,7	0,39	20	500
Напрягающий бетон	ПЦ 345	55	1,85	46,3	7,5	0,40	20	500
Бетон с компенсированной усадкой	ПЦ 370	30	0,75	45,4	7,0	0,41	18	500

В качестве вяжущего в этих работах был использован как напрягающий цемент по ГОСТ Р 56727-2015 [2], так и портландцемент в сочетании с расширяющей добавкой по ТУ 5743-006-46854090-98 [5]. На основе таких вяжущих были получены напрягающие бетоны с новыми свойствами: самоуплотняющиеся и жаростойкие классов по прочности на сжатие до В50 и выше.

Кроме того, были проведены исследования влияния расширяющих добавок и напрягающих цементов на качественные показатели бетонов при применении равноподвижных составов бетона. В данных исследованиях количество расширяющей добавки варьировалось от 7,5 до 15 %. Исследования показали (табл. 2), что применение напрягающих бетонов и бетонов с компенсированной усадкой позволяет при равных расходах вяжущего получать более высокие качественные показатели бетона по прочности на сжатие и растяжение, по истираемости, морозостойкости и водонепроницаемости по сравнению с обычными бетонами.

Представленные в табл. 2 данные свидетельствуют, что введение в состав бетона расширяющей добавки в количестве 7–8 % позволяет получить бетон с компенсированной усадкой, тем самым сокращая расход вяжущего и придавая бетону повышенную водонепроницаемость и морозостойкость. Введение 14 % расширяющей добавки обеспечивает получение напрягающего бетона с энергией самонапряжения ( $S_p$ ) – 2,0 МПа и с высокими характеристиками по прочности, водонепроницаемости и морозостойкости.

**Выводы**

1. Пересмотр действующего стандарта ГОСТ 32803 [1] позволит значительно расширить область применения напрягающего бетона и бетона с компенсированной усадкой.

2. Применение напрягающего бетона в различных областях строительства, с учетом требований пересмотренного стандарта ГОСТ 32803 [1], позволит:

- улучшить эксплуатационные характеристики бетонов;

- сократить расход цемента и противоморозных добавок;
- сократить сроки строительства;
- увеличить период межремонтных работ;
- оптимизировать принимаемые проектные решения в части устройства гидроизоляции;
- получить бесшовные конструкции большой протяженности;
- иметь возможность круглогодичного бетонирования.

3. Использование расширяющих добавок в составе напрягающего бетона, в том числе и добавок, представленных в Приложении А актуализированного ГОСТ 32803, позволяет решать актуальную задачу по защите окружающей среды, т. к. для изготовления таких добавок используются крупнотоннажные отходы различных промышленных производств.

**Список литературы**

1. ГОСТ 32803-2014. Бетоны напрягающие. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2015.
2. ГОСТ Р 56727-2015. Цементы напрягающие. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2019.
3. ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2020.
4. ГОСТ Р 56592-2015. Добавки минеральные для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ; 2015.
5. ТУ 5743-006-46854090-98. Добавки расширяющие. 1998.
6. Михайлов В.В., Литвер С.Л. Расширяющийся и напрягающий цементы и самонапряженные железобетонные конструкции. Москва: Стройиздат; 1974. 312 с.
7. Михайлов В.В., Баженов Ю.М. Подбор состава для самонапряженных конструкций с учетом технологического фактора // *Бетон и железобетон*. 1987. № 8 (389). С. 13–14.

8. Самонапряженные и непрерывно армированные конструкции: Сб. науч. тр. / Н.-и., проект.-конструкт. и технол. ин-т бетона и железобетона; Под ред. В.В. Михайлова, А.И. Звездова. Москва: НИИЖБ; 1989. 109 с.

9. Звездов А.И., Титов М.Ю. Бетон с компенсированной усадкой для возведения трещиностойких конструкций большой протяженности // *Бетон и железобетон*. 2001. № 4 (511). С. 17–20. EDN: UBNDVU

10. Титова Л.А. Эффективные водонепроницаемые бетоны нового поколения для морских и речных РТС // *Морские порты*. 2016. № 1. С. 30–33.

11. Титов М.Ю., Бахолдин Б.В., Ястребов П.И. Исследование особенностей железобетонных свай с использованием керамзитового гравия // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 1. С. 24–28. EDN: XRKBZX

12. Титова Л.А., Бейлина М.И., Гончарова Ю.В. Опыт применения расширяющих добавок на стройках г. Москвы. Сб. научн. тр. VII Международного научно-методического семинара. Брест: БГТУ; 2001. С. 365–368.

13. Титова Л.А., Бейлина М.И. Расширяющие добавки для бетонов нового поколения // *Бетон и железобетон*. 2001. № 4 (511). С. 24–27. EDN: ZVTNQF

14. Титова Л.А., Титов М.Ю., Крылов С.Б., Харитонов В.А. Бесшовные конструкции большой протяженности из напрягающего бетона с разработкой математической модели // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 1. С. 45–49. EDN: XRKCCZ

15. Титова Л.А., Бейлина М.И. Регулирование свойств бетона путем введения расширяющих добавок // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2017. № 1 (12). С. 120–125. EDN: YINNCJ

16. Титов М.Ю., Титова Л.А., Бейлина М.И. Применение промышленных отходов для получения расширяющих компонентов // *Бетон и железобетон*. 2022. № 6 (614). С. 33–37. DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-614-6-33-37>. EDN: YQJACH

17. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2018.

18. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. Москва: Госстрой России; 1995.

19. ГОСТ 8736-93. Песок для строительных работ. Технические условия. Москва: Минстрой России; 1995.

20. ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости. Москва: Стандартинформ; 2014.

21. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. Москва: Министерство промышленности строительных материалов СССР; 1987.

22. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Москва: Стандартинформ; 2013.

23. ГОСТ 10181-2000. Смеси бетонные. Методы испытаний. Москва: Госстрой России; 2001.

24. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. Москва: Стандартинформ; 2020.

25. ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические требования. Москва: Стандартинформ; 2010.

26. ГОСТ 25192-2012. Бетоны. Классификация и общие технические требования. Москва: Стандартинформ; 2013.

27. ГОСТ 25820-2000. Бетоны легкие. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2008.

28. ГОСТ 26633-2012. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2014.

29. ГОСТ 27006-86. Бетоны. Правила подбора состава. Москва: Стандартинформ; 2006.

30. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: Росстандарт; 2019.

31. ГОСТ 13015-2012. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. Москва: Стандартинформ; 2014.

32. ГОСТ 31914-2012. Бетоны высокопрочные тяжелые и мелкозернистые для монолитных конструкций. Правила контроля и оценки качества. Москва: Стандартинформ; 2014.

33. ГОСТ 12730.5-2018. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости. Москва: Стандартинформ; 2019.

34. ГОСТ 13087-2018. Бетоны. Методы определения истираемости. Москва: Стандартинформ; 2019.

### References

1. State Standard 32803-2014. Self-stressing concrete. General specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2015. (In Russian).

2. State Standard R 56727-2015. Self-stressing cements. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).

3. State Standard 31108-2020. Common cements. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2020. (In Russian).

4. State Standard R 56592-2015. Mineral admixtures for concretes and mortars. General specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2015. (In Russian).

5. TU 5743-006-46854090-98. Expanding additives. 1998. (In Russian).

6. Mikhailov V.V., Litver S.L. Expanding and stressing cements and self-stressed concrete structures. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1974. 312 p. (In Russian).

7. Mikhailov V.V., Bazhenov Yu.M. Selection of the

composition for self-stressed structures, taking into account the technological factor. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1987, no. 8 (389), pp. 13–14. (In Russian).

8. Self-stressed and continuously reinforced structures. *Sat. scientific tr. / Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete*; ed. V.V. Mikhailov and A.I. Zvezdov. Moscow: NIIZHB; 1989. 109 p. (In Russian).

9. Zvezdov A.I., Titov M.Yu. Shrinkage-compensated concrete for the construction of crack-resistant structures of great length. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2001, no. 4 (511), pp. 17–20. (In Russian). EDN: UBNDDBU

10. Titova L.A. Efficient watertight new generation concretes for sea and river RTS. *Seaports*. 2016, no. 1, pp. 30–33. (In Russian).

11. Titov M.Yu., Bakholdin B.V., Yastrebov P.I. Research in features of reinforced concrete piles with the use of clay gravel. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2017, no. 1, pp. 24–28. (In Russian). EDN: XRKBZX

12. Titova L.A., Beilina M.I., Goncharova Yu.V. Experience in the use of expanding additives at construction sites in Moscow. *Sat. scientific tr. VII International Scientific and Methodological Seminar. Brest: BSTU*; 2001. Pp. 365–368. (In Russian).

13. Titova L.A., Beilina M.I. Expanding admixtures for new generation concretes. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2001, no. 4 (511), pp. 24–27. (In Russian). EDN: ZVTNQQF

14. Titova L.A., Titov M.Yu., Krylov S.B., Kharitonov V.A. Jointless structures of great length from self-stressing concrete with development of a mathematical model. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2017, no. 1, pp. 45–49. (In Russian). EDN: XRKCCZ

15. Titova L.A., Beilina M.I. Control of the properties of concrete by introducing expansion agents. *Vestnik NIC Stroitel'stvo* [Bulletin of Science and Research Center of Construction]. 2017, no. 1 (12), pp. 120–125. (In Russian). EDN: YINNCJ

16. Titov M.Yu., Titova L.A., Beilina M.I. Application of industrial waste for the production of expansion components. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022, no. 6 (614), pp. 33–37. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-614-6-33-37>. EDN: YQJACH

17. State Standard 7473-2010. Fresh concrete. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).

18. State Standard 8267-93. Crushed stone and gravel of solid rocks for construction works. Specifications. Moscow: Gosstroy of Russia; 1995. (In Russian).

19. State Standard 8736-93. Sand for construction works. Specifications. Moscow: Ministry of Construction of Russia; 1995. (In Russian).

20. State Standard 10060-2012. Concretes. Methods for determination of frost-resistance. Moscow: Standartinform Publ.; 2014. (In Russian).

21. State Standard 10178-85. Portland cement and portland blastfurnace slag cement. Specifications. Moscow: USSR Ministry of Building Materials Industry; 1987. (In Russian).

22. State Standard 10180-2012. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens. Moscow: Standartinform Publ.; 2013. (In Russian).

23. State Standard 10181-2000. Concrete mixtures. Methods of testing. Moscow: Gosstroy of Russia; 2001. (In Russian).

24. State Standard 18105-2018. Concretes. Rules for control and assessment of strength. Moscow: Standartinform Publ.; 2020. (In Russian).

25. State Standard 24211-2008. Admixtures for concretes and mortars. General specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2010. (In Russian).

26. State Standard 25192-2012. Concretes. Classification and general technical requirements. Moscow: Standartinform Publ.; 2013. (In Russian).

27. State Standard 25820-2000. Lightweight aggregates concretes. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2008. (In Russian).

28. State Standard 26633-2012. Heavy-weight and sand concretes. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2014. (In Russian).

29. State Standard 27006-86. Concretes. Rules for mix proportioning. Moscow: Standartinform Publ.; 2006. (In Russian).

30. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Moscow: Rosstandart; 2019. (In Russian).

31. State Standard 13015-2012. Concrete and reinforced concrete products for construction. General technical requirements. Rules for acceptance, marking, transportation and storage. Moscow: Standartinform Publ.; 2014. (In Russian).

32. State Standard 31914-2012. High-strength heavy-weight and fine-grane concretes for situ-casting structures. Rules for control and quality assessment. Moscow: Standartinform Publ.; 2014. (In Russian).

33. State Standard 12730.5-2018. Concretes. Methods for determination of water tightness. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).

34. State Standard 13087-2018. Concretes. Methods of abrasion test. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).



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

**Лариса Анатольевна Титова**, канд. техн. наук, заместитель заведующего лабораторией напрягающих бетонов и самонапряженных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
**Larisa A. Titova**, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Head of the Laboratory of Prestressing Concrete and Self-Stressed Structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

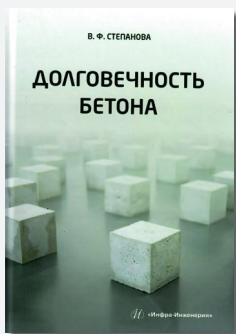
**Майя Исааковна Бейлина**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории напрягающих бетонов и самонапряженных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
**Maya I. Beilina**, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, Laboratory of Prestressing Concrete and Self-Stressed Structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

**Владимир Александрович Шабалин**, ведущий инженер лаборатории напрягающих бетонов и самонапряженных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
**Vladimir A. Shabalin**, Researcher, Laboratory of Prestressing Concrete and Self-Stressed Structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

**Михаил Юрьевич Титов**, канд. техн. наук, заведующий лабораторией напрягающих бетонов и самонапряженных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
**Mikhail Yu. Titov**, Cand. Sci. (Engineering), Self-Stressed Head of the Laboratory of Prestressing Concrete and Self-Stressed Structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

**Сергей Ильич Иванов**✉, канд. техн. наук, главный специалист центра № 23 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: 5378018@mail.ru  
**Sergey I. Ivanov**✉, Cand. Sci. (Engineering), Chief Specialist of Center No. 23, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: 5378018@mail.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



***Вышло в свет учебное пособие «Долговечность бетона».***

***Автор пособия – заведующий лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», доктор технических наук, профессор, академик Российской инженерной академии, Почетный строитель России и г. Москвы, дважды лауреат премии Правительства РФ Валентина Федоровна Степанова.***

*В пособии приведена теория коррозии бетона и металла, рассматривается правильный подход к выбору строительных материалов, приготовлению бетона и железобетона, обеспечивающих требуемую долговечность конструкций. Даны основные признаки коррозии бетона в жидких агрессивных средах, механизм коррозии арматуры. Показаны способы повышения коррозионной стойкости бетона и обеспечения сохранности арматуры на стадии проектирования состава бетона в процессе приготовления и эксплуатации конструкций. Приведены математические модели коррозии бетона, позволяющие совершенствовать технологию получения бетонов повышенной долговечности.*

*Пособие ориентировано на студентов, обучающихся по направлению «Строительство», а также будет полезно всем специалистам, занимающимся изучением бетона и железобетона.*

А.Л. АЛТУХОВ✉, Л.Г. СЕРГЕЕВА, Р.Ш. ШАРИПОВ

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

# НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ И ПОДХОДЫ К УСИЛЕНИЮ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСА «ЦЕНТР СКАЛОЛАЗАНИЯ»

## Аннотация

Строительство спортивных сооружений с использованием монолитного железобетона приобрело в последнее время устойчивую тенденцию к своему развитию. Этому во многом способствовало развитие нормативной базы проектирования, а также современных строительных технологий. В то же время практика внедрения монолитных конструкций показывает, что зачастую имеет место некачественное производство строительных работ. На примере возводимого здания Центра скалолазания показаны основные дефекты и отклонения, допущенные в железобетонных конструкциях.

Одними из главных дефектов являлись зафиксированные повреждения коротких консолей главных пилонов сооружения, на которые опираются большепролетные фермы покрытия. Обследование показало, что в результате возникло недопустимое техническое состояние указанных элементов. Для приведения конструкций к нормативному уровню технического состояния была разработана и реализована конструкция усиления опорных узлов ферм, которая описана в тексте статьи.

**Ключевые слова:** монолитный железобетон, короткая консоль, бетон, арматура, обследование, дефекты, усиление

**Для цитирования:** Алтухов А.Л., Сергеева Л.Г., Шарипов Р.Ш. Некоторые результаты технического обследования и подходы к усилению монолитных железобетонных конструкций спортивного комплекса «Центр скалолазания» // *Бетон и железобетон*. 2023. № 2 (616). С. 40–49. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2\(616\)-40-49](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2(616)-40-49)

## Вклад авторов

Алтухов А.Л. – руководитель проекта, анализ результатов, подготовка статьи.

Сергеева Л.Г. – участие в проектных работах, подготовка статьи.

Шарипов Р.Ш. – участие в проектных работах, подготовка статьи.

## Финансирование

Статья подготовлена по результатам научно-исследовательской работы, выполненной по договору с заказчиком.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Поступила в редакцию 13.02.2023*

*Поступила после рецензирования 10.03.2023*

*Принята к публикации 16.03.2023*

A.L. ALTUKHOV✉, L.G. SERGEEVA, R.Sh. SHARIPOV

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

# SOME RESULTS OF THE TECHNICAL SURVEY AND APPROACHES TO STRENGTHENING OF THE MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF THE SPORTS COMPLEX "CLIMBING CENTER"

## Abstract

The construction of sports facilities using cast-in-place reinforced concrete has recently acquired a steady trend towards its development. This was largely facilitated by the development of the regulatory framework for design, as well as modern construction technologies. At the same time, the practice of implementing monolithic structures shows that there is often a low-quality production of construction works. The main defects and deviations made in reinforced concrete structures are shown on the example of the Climbing Center building under construction.

One of the main defects was the recorded damage to the corbels of the main pylons of the structure, on which the large-span trusses rest. The survey showed that the result was an unacceptable technical condition of these elements. In order to bring the structures to the standard level of technical condition, a design for strengthening the support nodes of the trusses was developed and implemented, which is presented in the text of the article.

**Keywords:** cast-in-place reinforced concrete, corbel, concrete, reinforcing steel, inspection, defects, strengthening

**For citation:** Altukhov A.L., Sergeeva L.G., Sharipov R.Sh. Some results of the technical survey and approaches to strengthening of the monolithic reinforced concrete structures of the sports complex "Climbing Center". *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 2 (616), pp. 40–49. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2\(616\)-40-49](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2(616)-40-49)

## Author contribution statements

Altukhov A.L. – project manager, analysis of the results, preparation of the article.

Sergeeva L.G. – participation in design work, preparation of an article.

Sharipov R.Sh. – participation in design work, preparation of an article.

## Funding

The article was prepared based on the results of research work carried out under an agreement with the customer.

## Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

*Received 13.02.2023*

*Revised 10.03.2023*

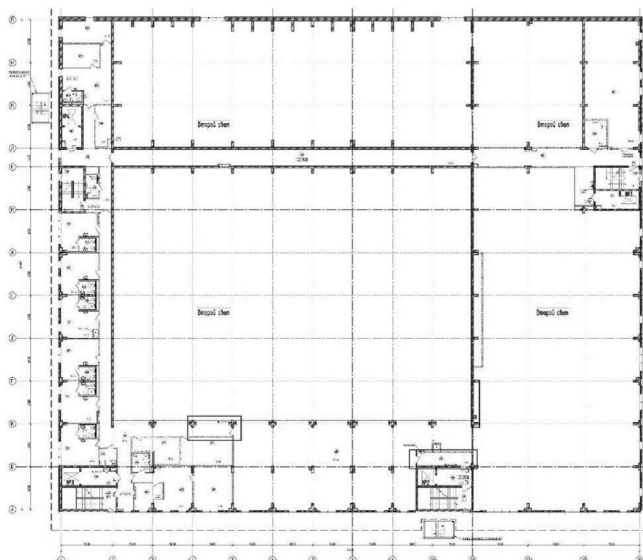
*Accepted 16.03.2023*



**Рис. 1.** Архитектурный облик Центра скалолазания  
**Fig. 1.** Architectural appearance of the Climbing Center

Объект исследования представляет собой строящееся здание Центра скалолазания, расположенное по адресу: г. Москва, ул. 3-я Песчаная, д. 2 (рис. 1). Сооружение по своему назначению является спортивным.

Данный строительный объект главным образом выполнен в монолитном железобетоне и имеет высоту до 7 этажей (см. план 7-го этажа на рис. 2), включая подвал. В представленной проектной документации указано, что все несущие конструкции рассматриваемого сооружения запроектированы с учетом требований технических регламентов, норм проектирования и стандартов [1–13].



**Рис. 2.** План несущих конструкций 7-го этажа (стальные фермы условно не показаны)  
**Fig. 2.** The plan of the bearing structures of the 7th floor (steel trusses are conditionally not shown)

Конструктивная система здания – каркасно-стенная (смешанная). Несущие конструкции фундаментных плит, стен, пилонов, плит перекрытия и покрытия (преимущественно) выполнены из монолитного железобетона. Конструкции покрытия в зонах второго света на уровне 7-го этажа выполнены из стальных ферм пролетом 15, 18, 21 и 36 м.

На момент проведения работ по обследованию строительство объекта не завершено, объект не введен в эксплуатацию. Работа по обследованию была выполнена в соответствии с техническим заданием, которым, в связи с определенными конструктивными решениями проекта, повлекшими за собой непредусмотренные строительные работы, была зафиксирована необходимость проведения строительной организацией дополнительных работ. Обследование выполнялось с учетом требований соответствующих нормативно-технических документов [14–21]. К настоящему времени по результатам обследования были выполнены работы по разработке технических решений для проекта усиления в связи с выявленными дефектами и недоработками в проектной документации, по которым в настоящее время выполняется комплекс работ по усилению железобетонных конструкций.

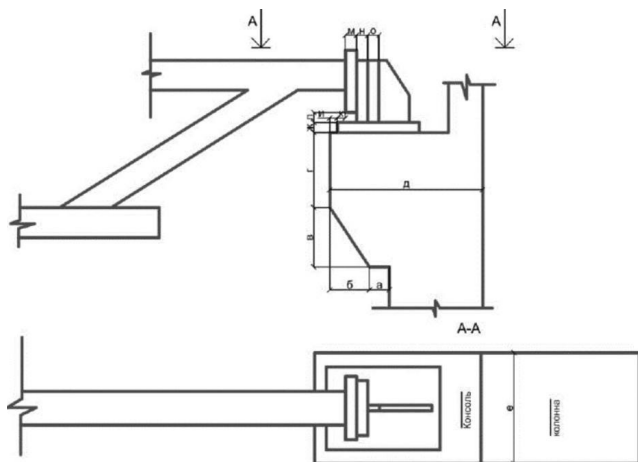
При обследовании особое внимание было уделено конструкциям железобетонных консолей пилонов, на которые опираются металлические фермы покрытия, имеющие наибольшее значение для обеспечения требуемой безопасности и эксплуатационной пригодности всего здания. Для данных конструкций выполнено детальное инструментальное обследование, которое заключалось в определении их геометрических параметров, выполнении испытаний по определению прочности бетона неразрушающими методами, уточнении фактических параметров армирования, крепления закладных деталей, узлов опирания металлоконструкций на них и др.

Выявленные при обследовании дефекты, повреждения и несоответствия монолитных железобетонных конструкций главным образом были связаны с отклонениями от проектной конструкции узла опирания большепролетных стальных ферм на короткие консоли железобетонных пилонов на уровне 7-го этажа (рис. 3).

Так, в качестве наиболее характерных отклонений в исполнении указанных узлов сопряжения можно выделить следующие:

- опорный торец фермы не имеет непосредственного опирания на консоль, сдвиг опорного ребра в сторону цифровых осей;
- опорный торец фермы и опорное ребро опираются на консоль через металлические вставки (пластины, арматура), опирание фермы выполнено преимущественно на край консоли со значительным снижением площади опирания;
- опорный торец фермы и опорное ребро опираются на консоль через не отцентрированные металлические вставки (арматура, пластины) с подъемом до 50 мм;
- наплывы бетона, раковины, каверны, сколы бетона, оголение арматуры, коррозия арматуры, механические повреждения арматуры, перерезка основной и дополнительной арматуры коротких консолей;
- оголение арматуры, коррозия арматуры и анкеров закладной опорной пластины, перекося закладной опорной пластины, наличие инородных включений в бетоне, разуплотнение бетона;
- жесткое закрепление (приварка) ферм к закладным деталям, опорные узлы которых для принятой конструкции пилонов должны быть подвижны.

Кроме того, в ряде вертикальных конструкций пилонов были зафиксированы отклонения от вертикали в размере до 103 мм, которые превосходили допусковые СП 70.13330.2012 [6] значения.



**Рис. 3.** Проектная конструкция узла опирания стальных ферм на короткие консоли монолитных пилонов

**Fig. 3.** Design of the steel truss support on short consoles of monolithic pylons unit by project

Конструкция стальных ферм в зоне опирания на короткие консоли пилонов была выполнена так, что место сопряжения растянутого подкоса и верхнего сжатого пояса фермы у опоры по факту оказалось существенно ближе к шарнирной скользящей опоре фермы (рис. 4), чем это было предусмотрено проектным решением (рис. 3). По этой причине некоторые фермы при монтаже не вписывались в имевшиеся пролеты, поэтому растянутый подкос начинал опираться на короткую консоль с соответствующим нарушением требуемой схемы опирания и работы стальных ферм (рис. 5).

Для проведения беспрепятственного монтажа ферм строительная организация произвела срезку части выступающих в пролет коротких консолей железобетонных пилонов на различную глубину вплоть до их почти полного удаления (пример представлен на рис. 6). При этом фермы стали вписываться в существующие пролеты. Однако после этого возникли другие проблемы. Первой из них стала чрезмерная близость опор стальных ферм к обрезу консолей (см. рис. 6а), которая могла привести к существенной концентрации напряжений в бетоне под опорой фермы с опасностью существенной деформации закладных деталей и последующему риску соскальзывания опоры фермы с короткой консоли.

Другой проблемой стало нарушение проектной конструкции армирования коротких консолей, которая показана на рис. 6. Так, после проведенной срезки выступающих частей консолей во время строительно-монтажных работ была перерезана как основная арматура консоли у ее верхней грани, так и поперечные горизонтальные хомуты, расположенные по высоте консоли. В результате была полностью нарушена работа указанной арматуры. Кроме того, были перерезаны опорные закладные детали консолей.



**Рис. 4.** Фактическая конструкция узла опирания стальных ферм на короткие консоли пилонов

**Fig. 4.** The actual design of the steel truss support on short pylon consoles unit

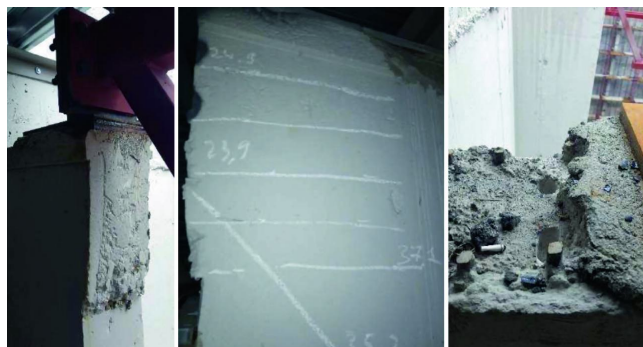


а

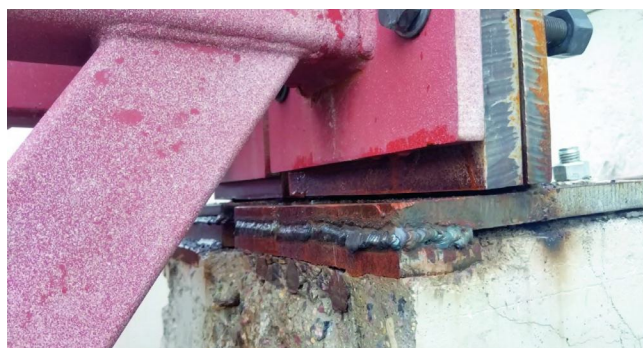


б

**Рис. 5.** Фотофиксация монтажа стальной фермы (а) с демонстрацией опорной части фермы (б), не вписывающейся в проектные размеры узла опирания на короткие консоли пилонов  
**Fig. 5.** Photofixation of the installation of a steel truss (а) with a demonstration of the supporting part of the truss (б), which does not fit into the design dimensions of the support on short pylon consoles unit

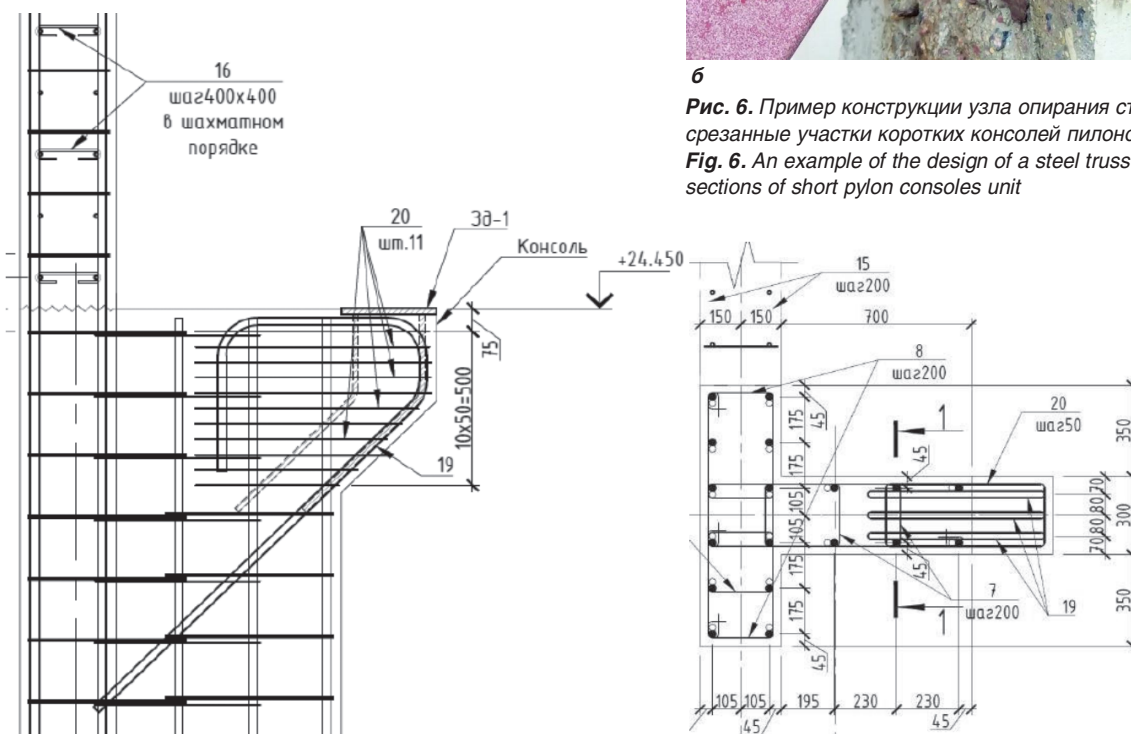


а



б

**Рис. 6.** Пример конструкции узла опирания стальных ферм на срезанные участки коротких консолей пилонов  
**Fig. 6.** An example of the design of a steel truss support on cut sections of short pylon consoles unit



**Рис. 7.** Проектная конструкция армирования коротких консолей  
**Fig. 7.** Design of reinforcement of short consoles by project

Проектное решение армирования изначально уже содержало некоторый недостаток, который заключался в том, что основная арматура консоли (3Ф25А500С), расположенная у верхней плоскости короткой консоли и анкерующаяся в растянутом бетоне, была законструирована не вполне удачно. Так, в соответствии с Приложением Ж СП 63.13330.2018 [5] основное армирование у верхней грани консоли доводится горизонтально в направлении противоположной грани пилона в направлении противоположной грани пилона (рис. 8) на длину анкеровки от расчетного сечения.

В случае если длины зоны анкеровки основной арматуры по горизонтали оказывается недостаточно, производят загиб горизонтальной арматуры на 90 градусов с образованием вертикального отгиба у противоположной от консоли грани поперечного сечения (см., например, рис. 10.2 СП 63.13330.2018 [5]). Тогда конструкция армирования коротких консолей может быть принята в соответствии, например, с рекомендациями Еврокода-2 [22] (рис. 9).

В рассматриваемом проектном решении коротких консолей могла быть реализована рекомендованная СП 63.13330.2018 [5] конструкция с горизонтальным расположением основной и дополнительной арматуры вплоть до противоположной грани, так как ширина поперечного сечения пилона (1000 мм) вполне позволяла произвести такое конструирование. В результате от проектного расчетного сечения до конца анкеруемых отгибами стержней расстояние составляет около 750 мм, что менее основной длины анкеровки (1035 мм). Соответственно, арматура не была заведена за расчетное сечение на требуемую длину анкеровки.

После полученных результатов обследования

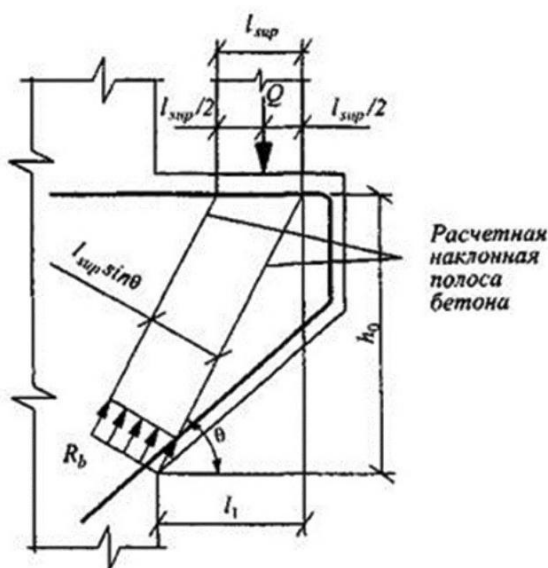


Рис. 8. Расчетная схема и конструирование основного армирования короткой консоли  
 Fig. 8. Design scheme and construction of the main reinforcement of the short console

была произведена оценка прочности коротких консолей с учетом произведенных повреждений арматуры и закладных деталей.

Работа коротких железобетонных консолей призвана обеспечить восприятие действующих поперечных сил для обеспечения прочности по наклонной сжатой полосе между грузом и опорой и при действии изгибающего момента по СП 63.13330.2018 [5] в соответствии с моделью наклонных сечений.

Прочность по наклонной полосе характеризуется максимальным значением поперечной силы, которое может быть воспринято наклонной полосой, находящейся под воздействием сжимающих усилий вдоль полосы и растягивающих усилий от поперечной арматуры, пересекающей наклонную полосу. При этом прочность бетона определяют по сопротивлению бетона осевому сжатию с учетом влияния сложного напряженного состояния в наклонной полосе по формулам (1) и (2).

Расчет коротких консолей на действие поперечной силы для обеспечения прочности по наклонной сжатой полосе между грузом и опорой производили из условия (Ж.1) Приложения Ж СП 63.13330.2018 [5] по формуле:

$$Q \leq 0,8 R_b b l_{sup} \sin^2 \theta (1 + 5\alpha \mu_w), \quad (1)$$

где  $Q$  – поперечная сила в нормальном сечении элемента;

$l_{sup}$  – длина площадки опирания фермы вдоль вылета консоли;

$\theta$  – угол наклона расчетной сжатой полосы бетона к горизонтали;

$\mu_w$  – коэффициент армирования хомутами, расположенными по высоте консоли.

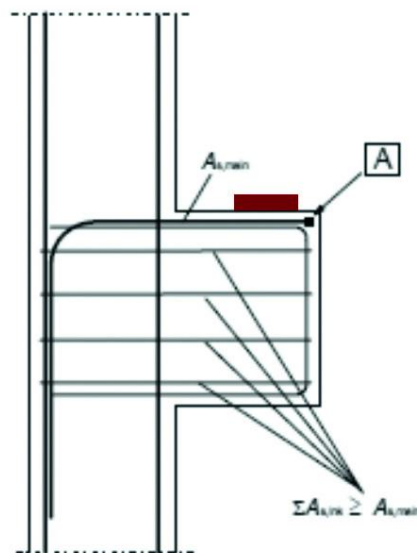


Рис. 9. Конструкция основного и дополнительного армирования короткой консоли, принимаемая в соответствии с Еврокодом-2  
 Fig. 9. The design of the main and additional reinforcement of the short console in accordance with Eurocode-2

Кроме того, производили расчет по наклонному сечению на действие изгибающего момента из условия (Ж.2) Приложения Ж СП 63.13330.2018 [5] по формуле:

$$Q \frac{l_1}{h_0} \leq R_s A_s. \quad (2)$$

Расчеты коротких консолей производили в предположении отсутствия перерезанной основной арматуры консоли и перерезанных хомутов, расположенных по высоте консоли. Расчеты показали, что прочность консоли по каждому из указанных выше условий не обеспечивается.

Кроме того, была проведена проверка напряжений сжатия в бетоне в местах передачи нагрузки на консоль согласно требованиям п. Ж.1 Приложения Ж СП 63.13330.2018 [5]. Расчет показал, что вследствие сосредоточенной передачи нагрузки от ферм в условиях отсутствия закладных деталей напряжения в бетоне превосходили расчетное сопротивление бетона смятию.

Таким образом, с учетом полученных результатов технического состояния коротких консолей и произведенных на их основании поверочных расчетов, согласно [2, 14], категория технического состояния несущих коротких консолей характеризуется снижением несущей способности, при котором существует опасность для пребывания людей и сохранности конструкций и оборудования. Данное техническое состояние было квалифицировано как недопустимое, соответственно представлялось необходимым проведение усиления железобетонных коротких консолей.

На последующем этапе работ совместно со специалистами ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко было под-

готовлено проектное решение усиления рассматриваемых опорных узлов. Конструкцией усиления (рис. 10, 11) предусматривается перераспределение вертикальной нагрузки с ребер опорных узлов ферм на дополнительно привариваемые вертикальные стальные пластины. Указанные дополнительные пластины в свою очередь опираются на дополнительные стальные кронштейны, жестко соединенные с железобетонными пилонами и стенами, которые передают основную нагрузку от опор фермы. Таким образом, поврежденные железобетонные короткие консоли в части восприятия действующей сосредоточенной нагрузки усиливаются новыми элементами в виде стальных кронштейнов.

Несмотря на достаточность прочности консоли непосредственно под опорными «ножами» ферм, существовала опасность соскальзывания ферм с консолей при упругой работе каркаса здания от поперечных сил в колоннах, что усугублялось наличием вертикального деформационного шва на всю высоту здания по середине зала с пролетом 36 м (поперек ферм).

Оценка величины силы трения между опорным узлом фермы и закладной деталью показала, что она существенно ниже возникающих в колоннах поперечных сил. Строители при обрезке коротких консолей, вероятно, предполагали вероятность соскальзывания ферм, для чего сваркой зафиксировали опорные узлы ферм к остающимся после обрезки фрагментам пластин закладных деталей консолей. Расчеты, выполненные при комплексной оценке напряженно-

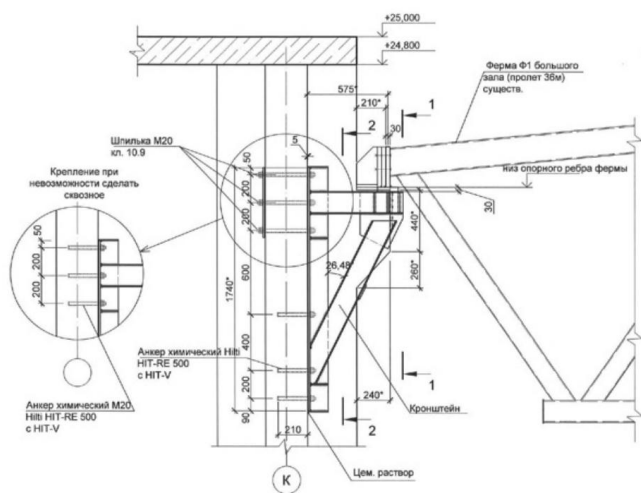


Рис. 10. Конструкция усиления коротких железобетонных консолей в составе пилонов

Fig. 10. Short reinforced concrete consoles of pylons reinforcement design

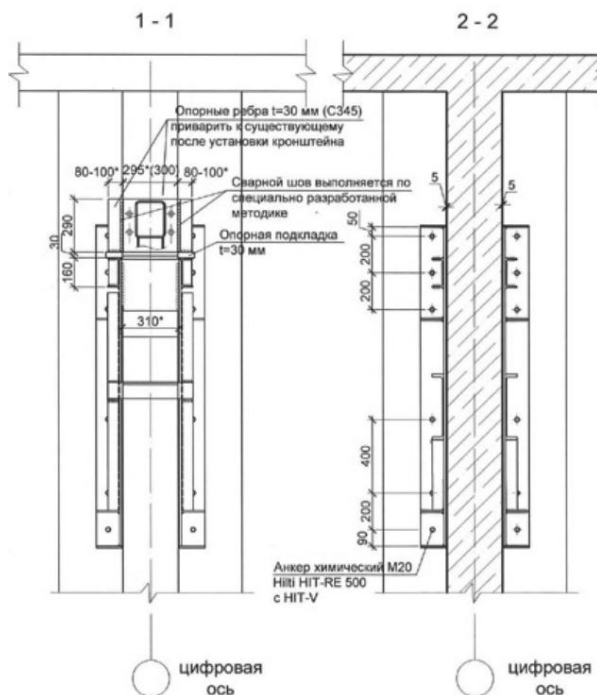


Рис. 11. Конструкция усиления коротких железобетонных консолей в составе пилонов (разрезы 1-1 и 2-2)

Fig. 11. Short reinforced concrete consoles of pylons reinforcement design (sections 1-1 and 2-2)





**Рис. 12.** Реализация проектной конструкции усиления коротких консолей железобетонных пилонов  
**Fig. 12.** Implementation of the design of short consoles of reinforced concrete pylons reinforcement

деформированного состояния конструкций, показали, что при закреплении узлов ферм от горизонтальных смещений в них возникают непредусмотренные расчетом существенные горизонтальные усилия в верхнем поясе, вызывающие необходимость их учета при расчете ферм. Кроме того, в таких условиях необходимо дополнительно оценить способность закладных деталей коротких консолей сопротивляться сдвигу от реакции колонн.

Исходя из необходимости обеспечения подвижности опорного узла ферм, конструкция усиления была запроектирована таким образом, что обеспечиваются свободные горизонтальные перемещения опор ферм (рис. 12).

**Выводы**

1. Практика применения монолитных железобетонных конструкций на примере строящегося Центра скалолазания показывает возможность возникновения дефектов при строительстве. Подобные дефекты могут снижать несущую способность монолитных конструкций и конструктивных систем, выполняемых на их основе, а потому должны предупреждаться заранее на стадиях проектирования и строительства.

2. При проектировании каркасов зданий следует более тщательно осуществлять разработку расчетных моделей с оценкой возникновения подвижных узлов опирания, предусматривать последствия устройства жестких узлов соединений с последующим анализом возможности восприятия возникающих усилий другими несущими элементами конструктивной системы сооружения.

Кроме того, предлагается обратить внимание на недопустимость организации деформационных швов вдоль пролета при наличии стропильных конструкций (поперек шва), не учитывающих возможные значительные горизонтальные подвижки.

3. С целью исключения ситуаций с образованием недопустимого технического состояния конструкций рекомендуется в процессы проектирования зданий и сооружений из монолитного железобетона интегрировать этапы научно-технического сопровождения проектирования (НТСП) зданий и сооружений, а также научно-технического сопровождения их строительства (НТСС) при участии специализированных научных организаций.

**Список литературы**

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (с изменениями на 2 июля 2013 года): Федеральный закон от 25 декабря 2009 г. № 384-ФЗ. Москва, Кремль; 2009. № 384-ФЗ, (30.12.2009).
2. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. Москва: Госстрой РФ; 2003.
3. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Москва: Росстандарт; 2017.
4. СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85. Москва: Росстандарт; 2017.
5. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: Стандартинформ; 2019.
6. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. Москва: Минрегион России; 2013.
7. СП 72.13330.2016. Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии. Москва: Росстандарт; 2017.
8. СП 430.1325800.2018. Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ; 2019.
9. СП 435.1325800.2018. Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приемки работ. Москва: Стандартинформ; 2019.
10. ГОСТ 13015-2012. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. Москва: Росстандарт; 2014.
11. ГОСТ 17624-2012. Бетоны. Ультразвуковой

метод определения прочности. Москва: Стандартинформ; 2014.

12. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. Москва: Стандартинформ; 2009.

13. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. Москва: Росстандарт; 2015.

14. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Москва: Стандартинформ; 2014.

15. ГОСТ 22690-2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. Москва: Стандартинформ; 2016.

16. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. Москва: Стандартинформ; 2019.

17. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий. Москва: АО «ЦНИИПромзданий»; 2004. 275 с.

18. Пособие по практическому выявлению пригодности к восстановлению поврежденных строительных конструкций зданий и сооружений и способам их оперативного усиления. Москва: ОАО «ЦНИИПромзданий»; 1996. 99 с.

19. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. Москва: ОАО «ЦНИИПромзданий»; 2001. 101 с.

20. Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций зданий и сооружений. Методические рекомендации. Москва; 2018. 50 с.

21. Рекомендации по натурным обследованиям железобетонных конструкций. Москва: НИИЖБ; 1972. 79 с.

22. European committee for standardisation. EN 1992-1-1, Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1, General rules and rules for buildings.

### References

1. Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij (s izmeneniyami na 2 iyulya 2013 goda): Federal'nyj zakon ot 25 dekabrya 2009 g. No. 384-FZ. Moscow, Kremlin; 2009. No. 384-FZ, (30.12.2009). (In Russian).

2. SP 13-102-2003. Pravila obsledovaniya nesushchikh stroitel'nykh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij. Moscow: Gosstroj RF; 2003. (In Russian).

3. SP 20.13330.2016. Loads and actions. Moscow: Rosstandart; 2017. (In Russian).

4. SP 28.13330.2017. Protection against corrosion of construction. Updated version of SNiP 2.03.11-85. Moscow: Rosstandart; 2017. (In Russian).

5. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).

6. SP 70.13330.2012. Load-bearing and separating constructions. Updated version of SNiP 3.03.01-87. Moscow: Minregion Rossii; 2013. (In Russian).

7. SP 72.13330.2016. Protection of buildings, facilities and structures against corrosion. Moscow: Rosstandart; 2017. (In Russian).

8. SP 430.1325800.2018. Monolithic structural systems. Design rules. Moscow: Standartinform; 2019. (In Russian).

9. SP 435.1325800.2018. Monolithic constructions of concrete and reinforced concrete. Rules of production and acceptance of work. Moscow: Standartinform; 2019. (In Russian).

10. State Standard 13015-2012. Concrete and reinforced concrete products for construction. General technical requirements. Rules for acceptance, marking, transportation and storage. Moscow: Rosstandart; 2014. (In Russian).

11. State Standard 17624-2012. Concrete. Ultrasonic method of strength determination. Moscow: Standartinform; 2014. (In Russian).

12. State Standard 15467-79. Product-quality control. Basic concepts. Terms and definitions. Moscow: Standartinform; 2009. (In Russian).

13. State Standard 27751-2014. Reliability for constructions and foundations. General principles. Moscow: Rosstandart; 2015. (In Russian).

14. State Standard 31937-2011. Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition. Moscow: Standartinform; 2014. (In Russian).

15. State Standard 22690-2015. Concretes. Determination of strength by mechanical methods of nondestructive testing. Moscow: Standartinform; 2016. (In Russian).

16. State Standard 18105-2018. Concretes. Rules for control and assessment of strength. Moscow: Standartinform; 2019. (In Russian).

17. Posobie po obsledovaniyu stroitel'nykh konstrukcij zdaniy. Moscow: AO "CNIIPromzdaniy". 2004. 275 p. (In Russian).

18. Posobie po prakticheskomu vyyavleniyu prigodnosti k vosstanovleniyu povrezhdennykh stroitel'nykh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij i sposobam ikh operativnogo usileniya. Moscow: ОАО "CNIIpromzdaniy". 1996. 99 p. (In Russian).


19. Rekomendacii po ocenke nadezhnosti stroitel'nykh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij po vneshnim priznakam. Moscow: ОАО "CNIIpromzdaniy". 2001. 101 p. (In Russian).

20. Metodika ocenki ostatochnogo resursa nesushchikh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij. Metodicheskie rekomendacii. Moscow; 2018. 50 p. (In Russian).


21. Rekomendacii po naturnym obsledovaniyam zhelezobetonnykh konstrukcij. Moscow: NIIZHB; 1972. 79 p. (In Russian).

22. European committee for standardisation. EN 1992-1-1, Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1, General rules and rules for buildings.

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

**Алексей Львович Алтухов** , руководитель центра № 25 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: aaltuhov@cstroy.ru

**Alexey L. Altukhov** , Head of the Center No. 25, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow


e-mail: aaltuhov@cstroy.ru

**Людмила Георгиевна Сергеева**, главный специалист центра № 25 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

**Lyudmila G. Sergeeva**, Chief Specialist of the Center No. 25, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

**Равиль Шамильевич Шарипов**, канд. техн. наук, заместитель директора по научной и производственной работе НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

**Ravil Sh. Sharipov**, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Director for Scientific and Production Activities, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

 Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## 23 – 26 апреля 2024

# II МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОНГРЕСС

Наука. Инновации. Цели. Строительство (МСК-2024)

сайт конгресса

[www.forum-cstroy.ru](http://www.forum-cstroy.ru)



**В помощь инженеру-проектировщику**

УДК 624.012.3/.4(083.13)

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)

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

# К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ДЕЙСТВИЕ ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ, ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ ПО СП 63.13330.2018

**Аннотация**

В статье приведены ответы на вопросы по указаниям СП 63.13330.2018 по проектированию бетонных и железобетонных конструкций, наиболее часто поступающие в адрес разработчиков свода правил от его пользователей. Рассмотрен круг вопросов, касающихся указаний свода правил по расчету прочности нормальных и наклонных сечений железобетонных конструкций и по расчету их трещиностойкости. Представлены ответы на вопросы пользователей свода правил, даны пояснения его отдельных указаний, а для некоторых указаний приведены рекомендации по их выполнению.

**Ключевые слова:** бетон, железобетон, арматура, расчет по прочности, изгибающий момент, поперечная сила, продольная сила

**Для цитирования:** 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)

**Вклад автора**

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

**Финансирование**

Часть вопросов рассмотрена за счет средств финансирования, выделенных ФАУ «ФЦС».

**Конфликт интересов**

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

*Поступила в редакцию 03.04.2023*

*Поступила после рецензирования 10.04.2023*

*Принята к публикации 20.04.2023*

*To help a design engineer*

S.A. ZENIN

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

# 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

## **Abstract**

The article provides answers to questions on the instructions of SP 63.13330.2018 on the design of concrete and reinforced concrete structures, most often received by the developers of the set of rules from its users. The range of issues related to the instructions of the set of rules for calculating the strength of normal and inclined sections of reinforced concrete structures and for calculating their crack resistance is considered. Answers to the questions of users of the set of rules are presented, explanations of its individual instructions are given, and for some instructions, recommendations are given for their implementation.

**Keywords:** concrete, reinforced concrete, reinforcement, strength calculation, bending moment, transverse force, longitudinal force

**For citation:** 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)

## **Author contribution statement**

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

## **Funding**

Some of the issues were considered at the expense of funding allocated by the FAO “FCA”.

## **Conflict of interest**

The author declare that there is no conflict of interest.

*Received 03.04.2023*

*Revised 10.04.2023*

*Accepted 20.04.2023*

Действующая редакция СП 63.13330.2018 [1] содержит общие указания по расчету бетонных и железобетонных конструкций по предельным состояниям первой и второй групп. В некоторых случаях проектировщики и эксперты сталкиваются с необходимостью уточнения и разъяснения отдельных положений СП 63.13330.2018 [1] для конкретных конструктивных решений. Ниже изложены краткие пояснения тех указаний СП 63.13330.2018 [1] по расчету бетонных и железобетонных конструкций по предельным состояниям первой группы и по трещиностойкости, которые больше всего вызывают вопросы у пользователей.

### **1. Об учете физической и геометрической нелинейности при расчете бетонных и железобетонных конструкций.**

Как известно, работа железобетона характеризуется неупругой работой материалов – бетона и арматуры, а также образованием трещин в растянутом бетоне. Неупругая работа материалов, именуемая как физическая нелинейность, учитывается во всех расчетных методиках СП 63.13330.2018 [1], в том числе в виде непосредственного использования диаграмм деформирования материалов, либо применением эмпирических коэффициентов, полученных опытным путем и обеспечивающих необходимую надежность конструкций и достаточную сходимости разработанных математических моделей физическим моделям разрушения. Учет геометрической нелинейности при расчете железобетонных конструкций по прочности особенно важен для внецентренно сжатых элементов. Для гибких сжатых элементов продольный изгиб оказывает существенное влияние на значение действующих усилий в нормальных сечениях, в СП 63.13330.2018 [1] это учтено в методике расчета внецентренно сжатых элементов. Влияние продольного изгиба во внецентренно сжатых элементах, согласно СП 63.13330.2018 [1], может быть учтено двумя способами: путем расчета по деформированной схеме и приближенным способом по недеформированной схеме. В первом способе расчеты выполняют методом последовательных приближений, связанном с пересчетом жесткостей отдельных сечений элемента с учетом нелинейных свойств бетона и арматуры (диаграмм деформирования материалов), а также образования трещин. Упрощенный способ расчета выполняют по недеформированной схеме с использованием коэффициента продольного изгиба  $\eta$ , вводимого к эксцентриситету приложения продольной силы и увеличивающего его. Расчет по недеформированной схеме также включает в себя упрощенное определение расчетной длины сжатого элемента при помощи условных коэффициентов, учитывающих вид заделки на концах элемента.

Следует отметить, что расчет с применением условного понижающего коэффициента, вводимого к начальному модулю упругости бетона по всей высоте внецентренно сжатого элемента, не относится к рас-

чету по деформированной схеме. Такой подход широко применяется на практике для определения действующих усилий при расчете конструктивных систем методом конечных элементов. Этот подход позволяет учитывать в целом перераспределение усилий между вертикальными и горизонтальными конструкциями, но он не учитывает распределение жесткостей по высоте элемента. Последующий расчет по прочности нормального сечения внецентренно сжатого элемента на усилия, полученные при таком подходе, требует расчета по недеформированной схеме с использованием коэффициента продольного изгиба  $\eta$ .

Следует отметить, что упрощенный метод по недеформированной схеме, изложенный в СП 63.13330.2018 [1], содержит консервативные значения коэффициентов расчетных длин. Как показали исследования [2], в ряде случаев значение коэффициента расчетной длины может быть уменьшено в зависимости от величины и направления углов поворота заделок, эквивалентной жесткости стержня в предельном состоянии и его гибкости. По результатам анализа влияния данных факторов и сравнительного анализа с опытными данными в СП 430.1325800.2018 [3] были предложены зависимости для определения расчетных длин железобетонных колонн с прямоугольным постоянным по высоте поперечным сечением, выполненных из тяжелого железобетона с классами по прочности не выше В60. Значения расчетных длин внецентренно сжатых элементов в отдельных случаях могут быть снижены на 15–30 %, их уточнение, с учетом фактических углов поворота и жесткостей, позволяет более корректно оценить прочность нормального сечения с учетом продольного изгиба.

### **2. О расчете слабоармированных элементов.**

При расчете железобетонных элементов на действие изгибающих моментов и продольных сил по прочности необходимо учитывать положения пункта 8.1.3 СП 63.13330.2018 [1], согласно которому для железобетонных элементов, у которых предельное усилие по прочности  $M_{ult}$  оказывается меньше предельного усилия по образованию трещин  $M_{crs}$  (определяемого в соответствии с пунктами 8.2.8–8.2.14 [1]), площадь сечения продольной растянутой арматуры  $A_s$  должна быть увеличена по сравнению с требуемой из расчета по прочности не менее чем на 15 % или определена из расчета по прочности на действие предельного усилия по образованию трещин.

Как видно, формулировка пункта 8.1.3 СП 63.13330.2018 [1] предполагает два возможных варианта реализации конструктивного решения. Первый – это увеличение площади расчетного армирования, принимаемой равной  $A_s^* \cdot 1.15$ , где  $A_s^*$  – площадь растянутой арматуры, определенной по расчету нормального сечения по прочности (согласно подразделу 8.1 [1]). Второй вариант – это определение требуемого содержания арматуры  $A_s$  (также согласно подразделу 8.1 [1]) на действие усилия, значение

которого принимают равным предельному усилию по образованию трещин ( $M_{crc}$  или  $N_{crc}$ ). Следует отметить, что значение предельного усилия по образованию трещин в данном случае определяют в соответствии с положениями подраздела 8.2 [1], т. е. при нормативных значениях прочности бетона на растяжение, выполняя расчет по предельным усилиям или по нелинейной деформационной модели. При возникновении ситуации, описанной в пункте 8.1.3 [1], допускается применять любой из указанных методов. При этом рекомендуется использовать оба метода и по их результатам принять наиболее оптимальное решение с точки зрения конструирования и расхода арматуры.

В дополнение к вышесказанному можно отметить, что в настоящее время в ряде документов по проектированию отдельных видов бетонных и железобетонных конструкций (СП 311.1325800.2017 [4], СП 360.1325800.2017 [5], СП 164.1325800.2014 [6]) введена уточненная упрощенная методика расчета момента образования трещин в нормальных сечениях элементов с прямоугольной формой поперечного сечения.

**3. Об учете нелинейных свойств бетона при оценке трещиностойкости элемента.**

В действующей методике СП 63.13330.2018 [1] момент образования трещин  $M_{crc}$  упрощенным методом допускается определять для таких элементов с использованием коэффициента  $\gamma$  учитывающего нелинейные свойства бетона растянутой зоны сечения. При этом значение коэффициента  $\gamma$  принимают равным 1,3. Выполненные исследования [7] показали, что нормативное значение коэффициента  $\gamma$  для сечения прямоугольной формы, приведенное в СП 63.13330.2018 [1], занижено для бетонов низких классов. Теоретические значения, установленные по результатам расчетов момента трещинообразования с учетом нелинейных свойств бетона растянутой зоны на основе диаграмм деформирования, выше и варьируются в пределах 1,35–1,7 для бетонов классов В100–В25 соответственно.

С учетом этого для корректной оценки конструктивных решений, конструирование которых выполняется в соответствии с пунктом 8.1.3 [1], рекомендуется при расчете момента образования трещин с учетом неупругих деформаций растянутого бетона для элементов с прямоугольной формой сечения значение упругопластического момента сопротивления для крайнего растянутого волокна бетона  $W_{pl}$  вычислять по формуле:

$$W_{pl} = \gamma \cdot W_{red}, \tag{1}$$

в которой значение коэффициента  $\gamma$  принимают по зависимости, указанной в сводах правил [4–6]

$$\gamma = 1,73 - 0,005 \cdot (B - 15), \tag{2}$$

здесь  $B$  – числовая характеристика класса бетона по прочности на осевое сжатие;

$W_{red}$  – упругий момент сопротивления приведенного сечения по растянутой зоне сечения, определяемый в соответствии с пунктом 8.2.12 [1].

Применение зависимости (2) позволит увеличить момент трещинообразования для бетонов низких классов (до В100) до 30 %.

**4. Об особенностях расчета прочности по наклонным сечениям элемента.**

Расчеты по прочности наклонных сечений, согласно СП 63.13330.2018 [1], включают в себя несколько проверок: расчет по сжатой наклонной полосе на действие поперечных сил, расчет наклонных сечений на действие поперечных сил и расчет наклонных сечений на действие изгибающих моментов. Это связано с необходимостью обеспечения прочности конструкции по всем различным возможным схемам разрушений конструкции по наклонным сечениям. При наличии поперечной арматуры напряжения в ней, как правило, первыми достигают своих предельных значений. После этого с дальнейшим ростом нагрузки возможно два варианта разрушения: первый – вследствие разрушения бетона над наклонной трещиной по причине достижения напряжений в нем предельных значений, при этом напряжения в растянутой арматуре не достигнут своих предельных значений; второй – вследствие разрушения бетона над трещиной при напряжениях в арматуре, равных предельному значению. При большом насыщении сечения поперечной арматурой может произойти третий вариант разрушения – разрушение бетона между наклонными трещинами. Недопущение первого варианта разрушения контролируется в СП 63.13330.2018 [1] расчетом наклонного сечения на действие поперечных сил (пункт 8.1.33), второго варианта разрушения – расчетом наклонного сечения на действие изгибающих моментов (пункт 8.1.35), а третьего варианта разрушения – условием прочности по полосе между наклонными сечениями (пункт 8.1.32).

Методика расчета наклонных сечений на действие поперечных сил, приведенная в пункте 8.1.34 [1], предусматривает возможность оценки влияния одновременного действия продольных и поперечных сил на прочность наклонного сечения.

Влияние сжимающих и растягивающих напряжений при расчете по полосе между наклонными сечениями и по наклонным сечениям следует учитывать с помощью коэффициента  $\varphi_n$ , на который умножают правую часть условий (8.55), (8.57) или (8.61) – при сжимающих напряжениях и условий (8.57) или (8.61) СП 63.13330.2018 – при растягивающих напряжениях. Уточнение для растягивающих напряжений было введено Изменением № 2 к СП 63.13330.2018 [1] для исключения некорректного применения коэффициента  $\varphi_n$  в условиях оценки прочности сечения по сжатой наклонной полосе при отсутствии растягивающих напряжений.

По сравнению с предыдущей версией СП 63.13330.2012 [8] в действующей редакции СП 63.13330.2018 [1] расчет по прочности наклонных сечений при действии продольных сил, согласно пункту 8.1.34 [1], выполняются с учетом продольной арматуры. Это отражено при определении значения средних сжимающих (растягивающих) напряжений в бетоне  $\sigma_{cp}$  от воздействия продольных сил, определяемого расчетом на основе нелинейной деформационной модели или по формуле

$$\sigma_{cp} = \frac{N}{A_{red}}, \quad (3)$$

где  $A_{red}$  – площадь приведенного поперечного сечения элемента, определяемая с учетом неупругих свойств бетона при сжатии и растяжении

$$A_{red} = A + \frac{\alpha}{\nu_b} A_s, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – коэффициент приведения арматуры к бетону,  $\alpha = E_s/E_b$ ;

$\nu_b$  – коэффициент упругости бетона при сжатии или растяжении.

Допускается величину  $A_{red}$  определять упрощенным способом, принимая значение коэффициента  $\nu_b$  равным

– при действии сжимающей продольной силы

$$\nu_b = \frac{R_b}{\varepsilon_{b0} \cdot E_b}, \quad (5)$$

– при действии растягивающей продольной силы

$$\nu_b = \nu_{bt} = \frac{R_{bt}}{\varepsilon_{bt0} \cdot E_b}, \quad (6)$$

где значения относительных деформаций бетона при сжатии и растяжении  $\varepsilon_{b0}$ ,  $\varepsilon_{bt0}$  принимают по пункту 6.1.14 [1] для непродолжительного действия нагрузки.

При определении площади приведенного поперечного сечения элемента  $A_{red}$  допускается площадь бетона в поперечном сечении  $A$  принимать равной площади поперечного сечения элемента – без вычета площади сечения продольной арматуры  $A_s$ .

При расчетах по пункту 8.1.35 [1] наклонных сечений на действие изгибающих моментов рассматривают наклонные сечения, проходящие через ослабленные зоны элементов: в зоне анкеровки арматуры на свободных опорах, в зоне обрыва продольной растянутой арматуры (не доведения до опоры), в местах отгибов, в подрезках и т. п. Если все сечение элемента сжато, то такую проверку не выполняют.

**5. О расчете прочности наклонных сечений элементов с отличной от прямоугольной формой сечения.**

Одним из вопросов, часто задаваемых пользова-

телями СП 63.13330 [1], является вопрос расчета по прочности наклонных сечений элементов с формой поперечного сечения, отличной от простой прямоугольной, таких как круг, кольцо, тавр и др. Действующая редакция СП 63.13330 [1] не содержит указания по расчету прочности наклонных сечений таких элементов. В 2021 году специалистами НИИЖБ им. А.А. Гвоздева по данному вопросу были выполнены исследования [9, 10], по результатам которых разработаны предложения по расчету прочности наклонных сечений элементов с учетом различной формы поперечного сечения. В настоящее время планируется проведение экспериментальных исследований для проверки этих предложений и последующего включения в нормы.

### Список литературы

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Москва; 2019.
2. Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В. К вопросу оценки расчетной длины внецентренно сжатых железобетонных элементов // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2021. № 3 (30). С. 17–29. DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3\(30\)-17-29](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3(30)-17-29). EDN: TDOMYX
3. СП 430.1325800.2018. Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ; 2019.
4. СП 311.1325800.2017. Бетонные и железобетонные конструкции из высокопрочных бетонов. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ; 2018.
5. СП 360.1325800.2017. Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ; 2018.
6. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования. Москва: Росстандарт; 2015.
7. Мухамедиев Т.А. Учет неупругих свойств бетона при расчете железобетонных конструкций по образованию трещин // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2018. № 5 (280). С. 24–29. EDN: XZIZYL
8. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Москва; 2013.
9. Мухамедиев Т.А., Зенин С.А. О расчете прочности наклонных сечений железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения // *Строительные материалы*. 2022. № 8. С. 70–74. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-805-8-70-74>. EDN: AGUOMO
10. Мухамедиев Т.А., Зенин С.А., Жарких А.С. Оценка надежности метода расчета прочности наклонных сечений железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения // *Вестник НИЦ*



«Строительство». 2022. № 2 (33). С. 139–149. DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-139-149](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-139-149). EDN: FBWFRF

#### References

1. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003. Moscow; 2018. (In Russian).
2. Zenin S., Sharipov R., Kudinov O. On the issue of estimating the effective length of non-centrally compressed reinforced concrete elements. *Vestnik NIC Stroitel'stvo* [Bulletin of Science and Research Center of Construction]. 2021, no. 3 (30), pp. 17–29. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3\(30\)-17-29](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3(30)-17-29). EDN: TDOMYX
3. SP 430.1325800.2018. Monolithic structural systems. Design rules. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
4. SP 311.1325800.2017. High strength concrete and reinforced high strength concrete structures. Design guideline. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).
5. SP 360.1325800.2017. Steel fiber reinforced concrete structures. Design rules. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).
6. SP 164.1325800.2014. Strengthening of reinforced concrete structures by FRP composites. Regulation of design. Moscow: Rosstandart; 2014. (In Russian).
7. Mukhamediev T.A. Account inelastic properties of concrete when calculating concrete structures for cracking. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii* [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2018, no. 5, pp. 24–29. (In Russian). EDN: XZIZYL
8. SP 63.13330.2012. Concrete and won concrete construction. Design requirements. Updated version of SNiP 52-01-2003. Moscow; 2013. (In Russian).
9. Mukhamediev T.A., Zenin S.A. On the calculation of the strength of inclined sections of reinforced concrete elements with different cross-section shapes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022, no. 8, pp. 70–74. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-805-8-70-74>. EDN: AGUOMO
10. Mukhamediev T.A., Zenin S.A., Zharkikh A.S. The reliability assessment of the method for calculating the strength of oblique sections in reinforced concrete elements with various cross-sectional shape. *Vestnik NIC Stroitel'stvo* [Bulletin of Science and Research Center of Construction]. 2022, no. 2 (33), pp. 139–149. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-139-149](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-139-149). EDN: FBWFRF

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

**Сергей Алексеевич Зенин**, канд. техн. наук, заведующий лабораторией железобетонных конструкций и конструктивных систем НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: lab01@mail.ru  
тел.: +7 (499) 174-75-17

**Sergei A. Zenin**, Cand. Sci. (Engineering), Head of Laboratory of Reinforced Concrete Structures and Structural Systems, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: lab01@mail.ru  
tel.: +7 (499) 174-75-17



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

Мы – команда единомышленников, способных реализовать сложнейшие инженерные проекты.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ**

**ИЗЫСКАНИЯ**

**СТРОИТЕЛЬСТВО**

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

## УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР

**АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»**



**ниц строительство**  
научно-исследовательский центр



С 1927 ГОДА  
**95**  
ЛЕТ

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:**

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

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

**www.cstroy.ru**

**motorina@cstroy.ru | smirnova@cstroy.ru**





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

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



Обучение в аспирантуре,  
докторантуре

Прикрепление для  
подготовки диссертации без  
освоения образовательных  
программ



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»



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»

# ПРИЕМ В АСПИРАНТУРУ НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО» до 30 сентября 2023 года !

Научные специальности:

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

Обучение очное - 4 года  
Подробнее на сайте [cstroy.ru](http://cstroy.ru)



Наши контакты: Центр подготовки кадров (глав.корпус,4 этаж,к.400 (5)  
Моторина Екатерина Сергеевна  
+7 (495) 602-00-70 доб. 1172, 8-916-307-75-80; [motorina@cstroy.ru](mailto:motorina@cstroy.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.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации печатного издания ПИ № ФС77-75188 от 22.02.2019 г., сетевого издания – Эл № ФС77-82129 от 18.10.2021 г.

Журнал зарегистрирован в Национальном центре ISSN (International Standard Serial Number): **печатное – 2224-9494, сетевое – 2782-3938.**

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.

Журнал «Вестник НИЦ «Строительство» (*print*) включен в утвержденный Минобрнауки России Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

**Журнал распространяется на конференциях, выставках, форумах строительной отрасли.** Подробная информация на сайте [vestnik.cstroy.ru](http://vestnik.cstroy.ru).

Телеграм-канал журнала: <https://t.me/vestnikcstroy>.

Подписной индекс ООО «Урал Пресс», ООО «АРЗИ» – **36569.**

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

Адрес редакции: г. Москва, 2-я Институтская,  
дом 6, корпус 1, кабинет 115

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

Выпускающий редактор – Починина Наталья

e-mail: [pochininane@cstroy.ru](mailto:pochininane@cstroy.ru)



Научно-технический журнал  
Бетон и железобетон  
Вып. 2 (616) 2023

Редактор выпуска Починина Н.Е.  
Компьютерная верстка Болдырев В.  
Дата выхода в свет 30.05.2023  
Формат 60x88 1/8  
Бумага мелованная. Офсетная печать.  
Тираж 300 экз. Заказ № 230984

Подписной индекс в каталоге ОАО «АРЗИ» 85502

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии  
ООО «Андоба пресс»,  
125363, Москва, Осташковская ул., 14, стр 18,  
[www.andoba.ru](http://www.andoba.ru), [elena@andoba.ru](mailto:elena@andoba.ru)

# 100+ TECHNO BUILD

X Международный  
строительный форум  
и выставка

3-6 ОКТЯБРЯ 2023  
ЕКАТЕРИНБУРГ

[forum-100.ru](http://forum-100.ru)

