

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

**6**  
631  
**2025**

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

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

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

ISSN 0005-9889 (Print)

ISSN 3034-1302 (Online)

Основан: Институт НИИЖБ Госстроя СССР  
и ВНИИЖелезобетон  
Минстройматериалов СССР

#### Авторы

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

#### Редакция

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

#### Перепечатка

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

Редакция не несет ответственности  
за содержание рекламы и объявлений.

Адрес редакции: 2-я Институтская ул.,  
д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская  
Федерация  
Тел.: +7(495) 602-00-70, доб. 1022/1023  
E-mail: bzhb.ru@yandex.ru  
<http://bzhb.ru>

Свободная цена

# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Издается с 1955 г.

6 (631)

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

БАКЛЫКОВ И.В.

Применение струнных тензодатчиков в железобетонных  
конструкциях: от теории колебаний к инженерным решениям. . . . . 5

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

АМБАРЦУМЯН С.А., ЕЛКИНА Е.Ю., ВОРОБЬЕВА Е.Ю., КУЛИЕВА Л.А., ЧИЛИН И.А., СЕЛЮТИН Н.М.

Оптимизация рецептурных и температурно-временных параметров  
технологии производства железобетонных элементов  
крупногабаритных модулей. . . . . 15

## III МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ БЕТОНЫ И ТЕХНОЛОГИИ: ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ» 15–16 ОКТЯБРЯ 2025 г., КРАСНОДАР

АФАНАСЬЕВА Я.В.

Использование костробетона (hempcrete) как экологически чистого  
строительного материала. . . . . 28

КУСТАРЕВ Г.В., ДАНИЛОВ Р.Г., АНДРЮХОВ Н.М.

Определение параметров автобетоносмесителей и обобщение  
оптимальных решений методом подобных преобразований. . . . . 33

ИВАНОВА Т.А., ЖУКОВ А.Д.

Влияние толщины несущего слоя торкретбетона на прочностные  
характеристики несущих конструкций. . . . . 43

МАХОТЛОВА М.Ш., КАЗИЕВ В.М., КОКОЕВ М.Н.

Вторичное сырье в современном строительстве. . . . . 56

МОРГУН Л.В., МОРГУН В.Н.

Ресурсосберегающая технология пенобетона. . . . . 63



**Founder of the journal:**

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

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

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

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

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

ISSN 0005-9889 (Print)

ISSN 3034-1302 (Online)

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

**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

# BETON I ZHELEZOBETON

Published since 1955

6 (631)

## BUILDING CONSTRUCTIONS AND FACILITIES

BAKLYKOV I.V.

**Application of vibrating string strain gauges in reinforced concrete  
 structures: from vibration theory to engineering solutions . . . . . 5**

## BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

AMBARTSUMYAN S.A., ELKINA E.Yu., VOROBYOVA E.Yu., KULIEVA L.A., CHILIN I.A., SEL'YUTIN N.M.

**Optimization of formulary and temperature–time parameters  
 of the production technology of reinforced concrete elements  
 of large–sized modules . . . . . 15**

## 3<sup>TH</sup> INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE „MODERN CONCRETES AND TECHNOLOGIES: PROBLEMS, SOLUTIONS, PROSPECTS“ OCTOBER 15–16, 2025, KRASNODAR

AFANASIEVA Ya.V.

**Use of hempcrete as an environmentally friendly building material . . . . . 28**

KUSTAREV G.V., DANILOV R.G., ANDRYUKHOV N.M.

**Determination of parameters of concrete mixers and generalization  
 of optimal solutions by the method of similar transformations. . . . . 33**

IVANOVA T.A., ZHUKOV A.D.

**The effect of the thickness of the load–bearing layer of shotcrete on the  
 strength characteristics of load–bearing structures . . . . . 43**

MAKHOTLOVA M.Sh., KAZIEV V.M., KOKOEV M.N.

**Recycled materials in modern construction. . . . . 56**

MORGUN L.V., MORGUN V.N.

**Resource–saving aerated concrete technology. . . . . 63**



## Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения;

2.1.5 – Строительные материалы и изделия.



## Editorial team

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

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

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

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.1.1 – Building constructions, buildings and structures;

2.1.5 – Building materials and products.



УДК 624.012.45: 531.781.2:534.1

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-5-14](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-5-14)**И.В. БАКЛЫКОВ**

АО «Институт Гидропроект», Волоколамское шоссе, д. 2, г. Москва, 125993, Российская Федерация

# ПРИМЕНЕНИЕ СТРУННЫХ ТЕНЗОДАТЧИКОВ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ: ОТ ТЕОРИИ КОЛЕБАНИЙ К ИНЖЕНЕРНЫМ РЕШЕНИЯМ

## Аннотация

**Введение.** Струнные тензодатчики деформаций, или тензодатчики струнного типа, являются высокоточными приборами, предназначенными для измерения деформаций в различных конструкциях, включая бетон. Эти устройства широко применяются при мониторинге сооружений. В основе работы таких датчиков лежит измерение изменений резонансной частоты натянутой струны в зависимости от приложенных усилий, что позволяет точно определять деформации в конструкциях. В статье рассматривается теоретическое обоснование при определении собственных колебаний струны в зависимости от силы натяжения и прикладываемых усилий.

**Цель** заключается не только в рассмотрении теоретической работы струнного датчика и описании колебаний струны, но и в оценке напряженно-деформированного состояния прибора при воздействии усилий. Также целью работы является проверка соответствия теоретических результатов с фактическими данными, получаемыми с помощью струнных датчиков, с численными экспериментами, выполненными на базе конечно-элементной модели датчика. Несмотря на многолетний опыт применения струнных датчиков, такие исследования в аналогичных условиях, с учетом специфики задачи и типов конструкций, еще не проводились.

**Материалы и методы.** Для анализа использованы аналитические методы расчета и метод конечных элементов для оценки напряженно-деформированного состояния струнных датчиков. Для проверки теоретических решений была выполнена верификация расчетов с использованием программного комплекса ANSYS.

**Результаты.** В результате проведенного анализа была разработана математическая модель для определения резонансной частоты струны, а также исследованы ее вибрационные характеристики. Кроме того, была выполнена верификация расчетов с использо-

ванием программного комплекса ANSYS и сравнены теоретические данные с фактическими измерениями, что подтвердило высокую точность расчетов. Приведенные результаты демонстрируют хорошее согласование теоретических моделей с реальными данными, что подтверждает надежность метода и его применимость в практике мониторинга напряжений в арматуре железобетонных конструкций.

**Выводы.** Таким образом, использование струнных тензодатчиков для мониторинга напряжений в арматуре железобетонных конструкций представляет собой перспективный и эффективный метод. Данная работа, с учетом проверки соответствия теоретических расчетов и фактических данных, а также верификации с помощью метода конечных элементов, подтверждает надежность разработанной методики расчета напряженно-деформированного состояния датчиков. Эти датчики обеспечивают точные данные о напряжениях в арматуре и могут использоваться для долговременного мониторинга в различных конструкциях, что повышает безопасность и долговечность объектов.

**Ключевые слова:** струнные датчики, напряжения в арматуре, железобетон, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов, собственная частота колебания, ANSYS

**Для цитирования:** Баклыков И.В. Применение струнных тензодатчиков в железобетонных конструкциях: от теории колебаний к инженерным решениям // *Бетон и железобетон*. 2025. № 6 (631). С. 5–14. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-5-14](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-5-14). EDN: WJODMW.

## 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 11.02.2025

Поступила после рецензирования 26.06.2025

Принята к публикации 23.10.2025

**I.V. BAKLYKOV**

Hydroproject Institute JSC, Volokolamskoe Shosse, 2, Moscow, 125993, Russian Federation

# APPLICATION OF VIBRATING STRING STRAIN GAUGES IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES: FROM VIBRATION THEORY TO ENGINEERING SOLUTIONS

**Abstract**

*Introduction.* String strain sensors, or string-type strain gauges, are high-precision devices designed to measure deformations in various structures, including concrete. These devices are widely used in the monitoring of constructions. The operation of these sensors is based on measuring changes in the resonant frequency of a taut string depending on the applied forces, which allows for precise determination of deformations in structures. This article presents the theoretical justification for determining the natural vibrations of a string depending on the tension force and applied forces.

*Aim.* The objective of this work is not only to analyze the theoretical behavior of the string sensor and describe the vibrations of the string, but also to evaluate the stress-strain state of the device under the influence of forces. Another goal of the work is to verify the consistency of the theoretical results with the actual data obtained from string sensors, compared with numerical experiments conducted using a finite element model of the sensor. Despite the long-standing use of string sensors, such studies in similar conditions, taking into account the specific nature of the problem and types of structures, have not yet been conducted.

*Materials and methods.* Analytical calculation methods and the finite element method were used to assess the stress-strain state of string sensors. To verify the theoretical solutions, calculations were performed using the ANSYS software package.

*Results.* As a result of the conducted analysis, a mathematical model was developed to determine the resonance frequency of the string, and its vibrational characteristics were also investigated. Additionally, the calculations were verified using the ANSYS software package, and the theoretical data were compared with actual measurements, which confirmed the high accuracy of the calculations. The results presented demonstrate good agreement be-

tween the theoretical models and real data, confirming the reliability of the method and its applicability in monitoring stresses in the reinforcement of reinforced concrete structures.

*Conclusions.* Thus, the use of string strain sensors for monitoring stresses in the reinforcement of reinforced concrete structures represents a promising and effective method. This work, including the verification of theoretical calculations against actual data and the validation through finite element modeling, confirms the reliability of the developed method for calculating the stress-strain state of the sensors. These sensors provide accurate data on stresses in the reinforcement and can be used for long-term monitoring in various structures, enhancing the safety and durability of the objects.

**Keywords:** string sensors, reinforcement stresses, reinforced concrete, stress-strain state, finite element method, natural frequency of oscillation, ANSYS

**For citation:** Baklykov I.V. Application of vibrating string strain gauges in reinforced concrete structures: from vibration theory to engineering solutions. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 6 (631), pp. 5–14. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-5-14](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-5-14). EDN: WJODMW.

**Author contribution statement**

The author takes responsibility for all aspects of the paper.

**Funding**

No funding support was obtained for the research.

**Conflict of interest**

The author declares no conflict of interest.

Received 11.02.2025

Revised 26.06.2025

Accepted 23.10.2025



### Введение

Струнные датчики деформаций, или тензодатчики струнного типа, – это высокоточные приборы, предназначенные для измерения деформаций в различных конструкциях, включая железобетон. Они широко применяются в геотехнике, мониторинге инженерных сооружений [1–9].

В основе струнного датчика лежит натянутая металлическая струна, закрепленная между двумя креплениями [7]. При деформации конструкции (растяжении или сжатии), к которой прикреплен датчик, изменяется длина корпуса датчика, а вместе с ней – и натяжение струны. Это приводит к изменению резонансной частоты ее колебаний.

Частота колебаний измеряется электронным способом, и по ней рассчитывается деформация. Связь между деформацией и частотой известна и достаточно стабильна [10, 11].

В табл. 1 приведено сравнение струнных датчиков и тензорезистивных датчиков (тензодатчиков сопротивления) с акцентом на измерение напряжений в арматуре железобетонных конструкций.

### Струнные датчики:

- устанавливаются до бетонирования вдоль арматурного стержня или ввариваются в арматуру;

- при этом обеспечивают **надежную долговременную работу в теле конструкции**, в том числе под воздействием щелочной среды и влаги;

- подходят для **длительного мониторинга** напряженного армирования, например в предварительно напряженных конструкциях, в сухих доках и плотинах.

### Тензорезистивные датчики:

- легко монтируются **на открытую арматуру** или внешние поверхности;

- подходят **для экспериментальных лабораторных исследований** или **временного мониторинга** (например, в период строительства);

- требуют идеальной адгезии и защиты от влаги, особенно при эксплуатации в бетоне, – возможна деградация при длительном воздействии щелочной среды.

Общий вид струнного датчика деформаций типа ПСАС (преобразователь силы арматурный струнный) [1] представлен на рис. 1, разрез вдоль показан на рис. 2.

Сравнение струнных и тензорезистивных датчиков деформаций

Таблица 1

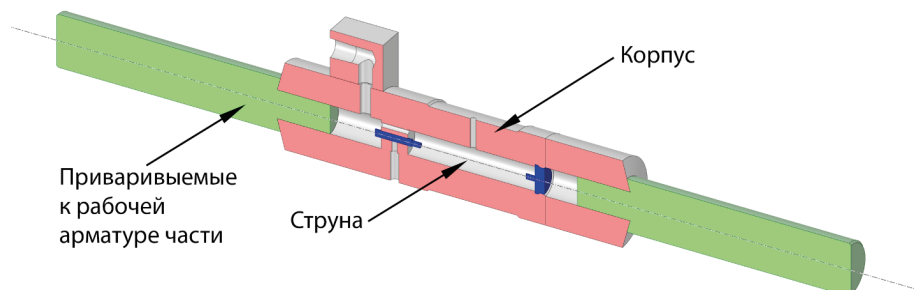
Table 1

Comparison of string and strain-resistive strain sensors

Характеристика	Струнные датчики	Тензорезистивные датчики (тензорезисторы)
Принцип работы	Измерение частоты колебаний струны	Измерение изменения электрического сопротивления
Измеряемая величина	Частота → деформация	Сопротивление → деформация
Диапазон измерений	Широкий (до $\pm 5000$ мкм/м и более)	Обычно до $\pm 2000$ мкм/м
Точность	Высокая (погрешность $< 0,1$ %)	Высокая, но может ухудшаться от условий
Температурная чувствительность	Низкая, возможна термокомпенсация	Высокая, требует тщательной термокомпенсации
Чувствительность к ЭМ-помехам	Низкая (работа основана на механике)	Высокая (основана на измерении тока)
Долговечность	Высокая (10–30 лет и более)	Средняя (месяцы или годы в агрессивной среде)
Коррозионная стойкость	Высокая (герметичный корпус из нержавеющей стали)	Низкая (требует защиты и герметизации)
Применимость к арматуре	Да, возможно интегрировать в тело бетона	Часто используется на открытых участках
Возможность удаленного мониторинга	Да (подключение к автоматическим системам)	Ограничено (высокие требования к экранированию)
Монтаж	Более громоздкий, требует анкеровки	Компактный, можно приклеить на арматуру
Цена	Дороже	Дешевле



**Рис. 1.** Общий вид струнного датчика деформаций типа РСАС  
**Fig. 1.** General view of the RSFT type string strain



**Рис. 2.** Разрез струнного датчика деформаций типа РСАС  
**Fig. 2.** Section of a string strain gauge of the RSFT type

Каждое устройство РСАС имеет индивидуальную градуировочную зависимость, которая связывает колебания струны с усилиями в кН. Обычно эта зависимость определяется с использованием формулы (1), приведенной в паспорте прибора:

$$A \times \left( \frac{1000000}{Z^2} - C^2 \right) + B \times \left( \frac{1000}{Z} - C \right), \quad (1)$$

что представляет из себя квадратичное уравнение относительно  $Z$  (2):

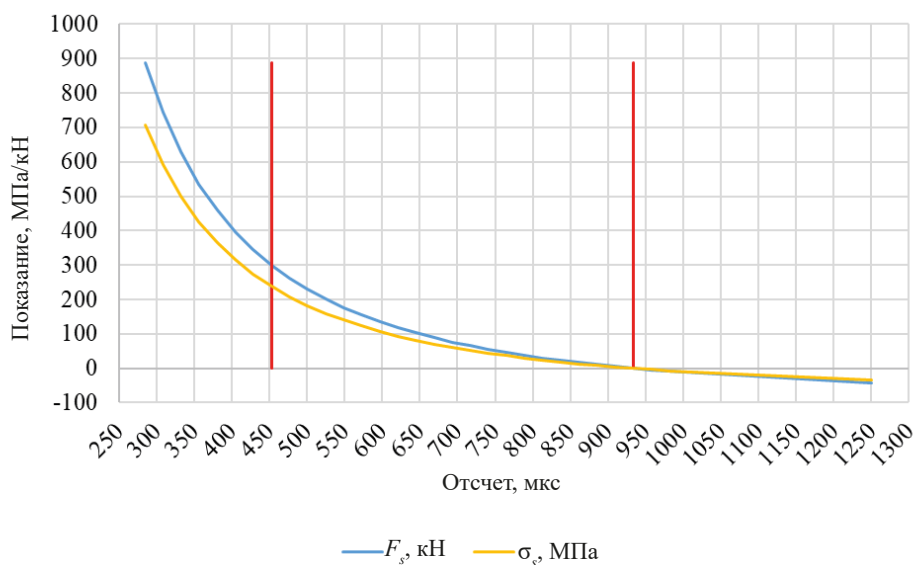
$$(A \times C^2 + B \times C) \times Z^2 + (-1000 \times B) \times Z + (-1000000 \times A). \quad (2)$$

Коэффициенты тарируются при изготовлении и должны быть указаны в паспорте прибора. При тарировке определяются коэффициенты  $A$ ,  $B$  и  $C$ .  $Z$  является переменной.

Исходной переменной в струнных датчиках является период колебаний в микросекундах (мкс), который вычисляется при колебаниях струны с заданной частотой. Пример градуировочной зависимости приведен на рис. 3.

Согласно рис. 3, зависимость имеет нелинейный характер. Вертикальные линии обозначают пределы измерений, при превышении которых погрешность измерений начинает возрастать.  $F_s$  – усилие в арматуре, кН, а  $\sigma_s$  – напряжение в арматуре, МПа.

**Цель** настоящей работы заключается в рассмотрении теоретической работы струнного датчика, описании колебания струны и оценке напряженно-деформированного состояния прибора при воздействии усилий.



**Рис. 3.** Пример градуировочной зависимости струнного датчика деформаций типа РСАС  
**Fig. 3.** Example of the calibration dependence of a string strain gauge of the RSFT type



### Материалы и методы

В работе используются аналитические методы расчета и метод конечных элементов для анализа напряженно-деформированного состояния струнных датчиков деформаций.

### Результаты

В работе представлены теоретические выкладки, касающиеся работы струнных датчиков деформаций, а также проведен анализ напряженно-деформированного состояния датчика с определением собственных частот колебаний струны. Разработаны математические модели, описывающие динамическое поведение струны, и выполнены расчеты ее вибрационных характеристик.

Для проверки достоверности теоретических решений была проведена верификация расчетов с использованием программного комплекса ANSYS [12, 13]. В рамках исследования был выполнен модальный анализ струны, в ходе которого определены ее основные формы и собственные частоты колебаний.

Собственная частота струны – это частота, с которой конструкция может колебаться без внешнего воздействия после начального возмущения. Она определяется исключительно геометрией, массой и жесткостью конструкции, а также исходным напряжением в ней.

Период колебаний – наименьший промежуток времени, за который система совершает одно полное колебание (то есть возвращается в то же состояние, в котором она находилась в первоначальный момент, выбранный произвольно).

Период колебаний и частота связаны взаимной обратной зависимостью, которая выражается формулой (3):

$$T = \frac{1}{\nu}. \quad (3)$$

Для определения собственной частоты струны, заданной конкретными физико-механическими параметрами и геометрией, применяется формула (4):

$$f_n = \frac{n}{2 \times l} \sqrt{\frac{F_{st}}{\rho \times S}}, \quad (4)$$

где  $f_n$  – частота колебаний, Гц;

$l$  – длина струны, м;

$F_{st}$  – сила натяжения струны, Н;

$\rho$  – плотность материала струны, кг/м<sup>3</sup>;

$S$  – площадь поперечного сечения струны, м<sup>2</sup>.

При известной частоте колебаний струны можно определить силу натяжения  $F_{st}$  (напряжения  $\sigma_{st}$ ) в ней по формуле (5):

$$F_{st} = \rho \times S \times (2 \times l \times f_n)^2, \quad (5)$$

где  $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$  – плотность струны;

$S = \frac{\pi \times d^2}{4} = 3,14159 \times 10^{-8} \text{ м}^2$  – площадь сечения струны ( $d = 0,2 \text{ мм}$ );

$l = 0,06 \text{ м}$  – длина струны.

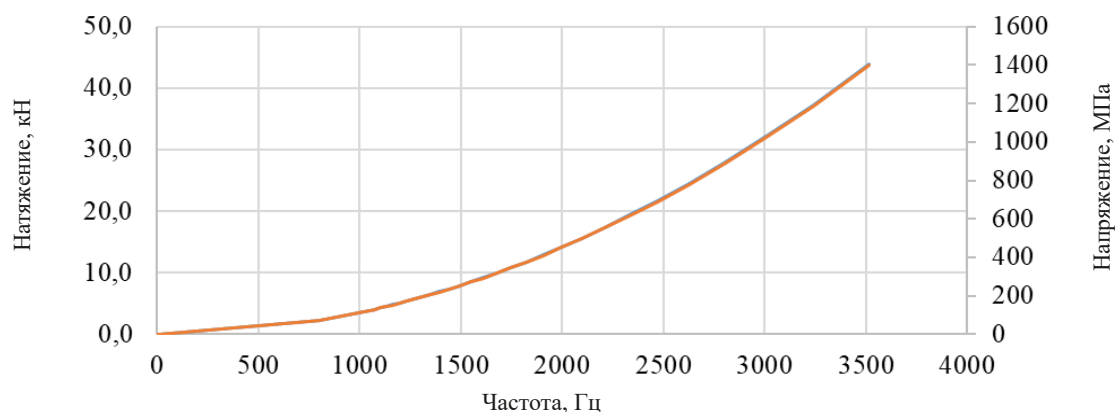
Усилия натяжения можно пересчитать в напряжения, возникающие в ней по формуле (6), зависимость частоты колебания струны от напряжений в ней показаны на рис. 4:

$$\sigma_{st} = \frac{F_{st}}{S}. \quad (6)$$

На рис. 5 показана зависимость напряжений  $\sigma_{st}$  в струне от напряжений в арматуре  $\sigma_s$ .

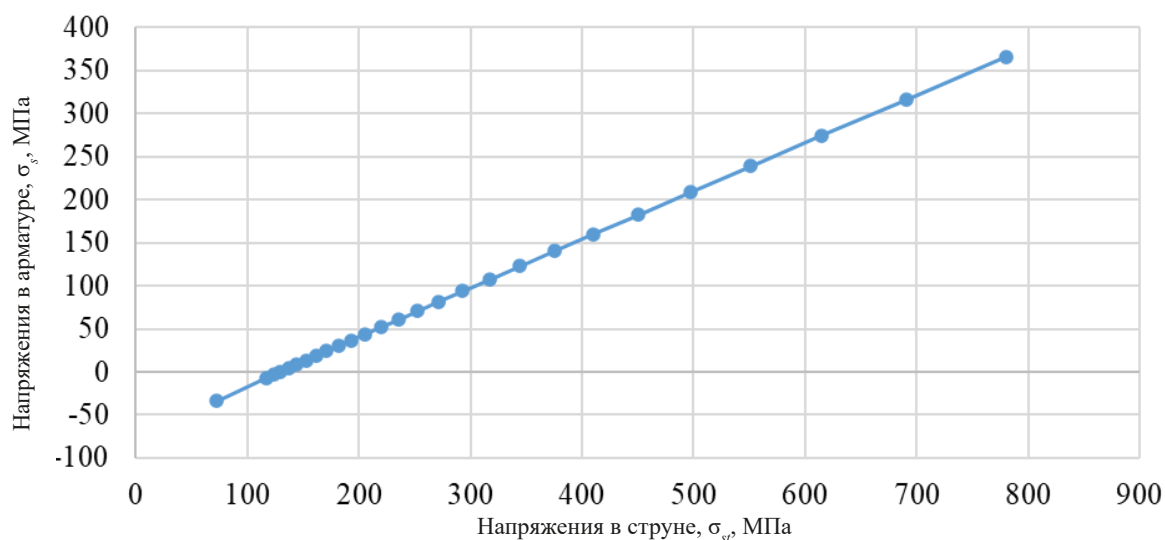
Для определения напряженно-деформированного состояния прибора ПСАС была разработана пространственная конечно-элементная модель, показанная на рис. 6. На основе этой модели выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния и модальный анализ.

На рис. 7 показаны результаты расчета в виде горизонтальных напряжений при приложении к прибору усилия растяжения 565 кН.

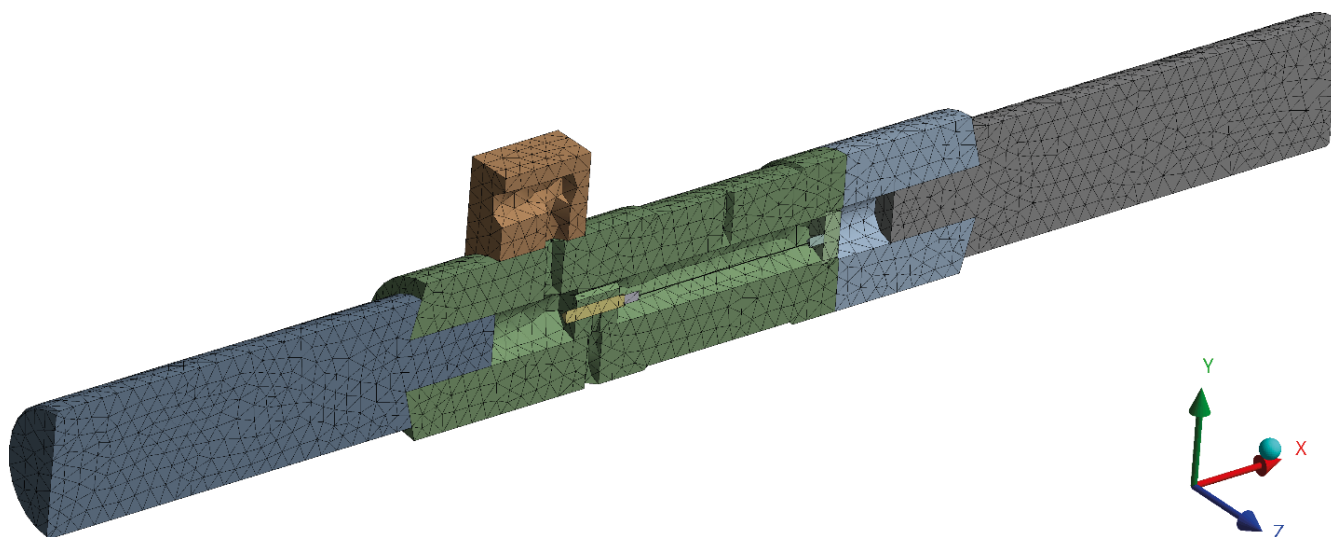


**Рис. 4.** Теоретическая зависимость частоты колебания струны ПСАС от ее натяжения (левая шкала) и от напряжения в ней (правая шкала)

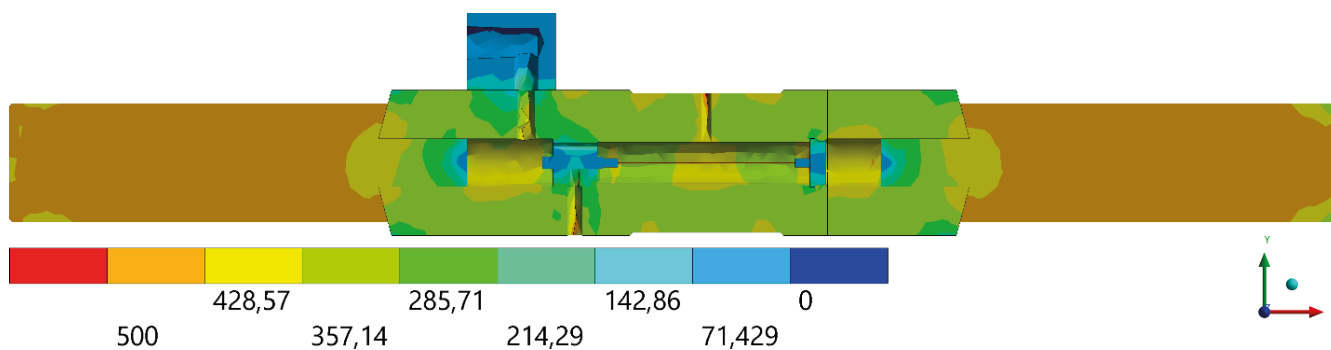
**Fig. 4.** Theoretical dependence of the oscillation frequency of a RSFT string on its tension (left scale) and on the stress in it (right scale)



**Рис. 5.** Зависимость напряжений в струне  $\sigma_{st}$  от напряжений в арматуре  $\sigma_s$   
**Fig. 5.** Dependence of stresses in the string  $\sigma_{st}$  on stresses in the reinforcement  $\sigma_s$



**Рис. 6.** Пространственная конечно-элементная модель ПСАС  
**Fig. 6.** Spatial finite element model of the RSFT



**Рис. 7.** Горизонтальные напряжения в корпусе ПСАС при усилии растяжения 565 кН, МПа  
**Fig. 7.** Horizontal stresses in the RSFT body at a tensile force of 565 kN, MPa



Далее, с учетом полученного напряженно-деформированного состояния, выполнен модальный анализ и определены собственные частоты колебания струны. На рис. 8 показана первая форма собственной частоты колебания при усилии растяжения 565 кН.

На рис. 9 показан график зависимостей напряжений в корпусе ПСАС, струне и в арматуре в зависимости от усилия растяжения.

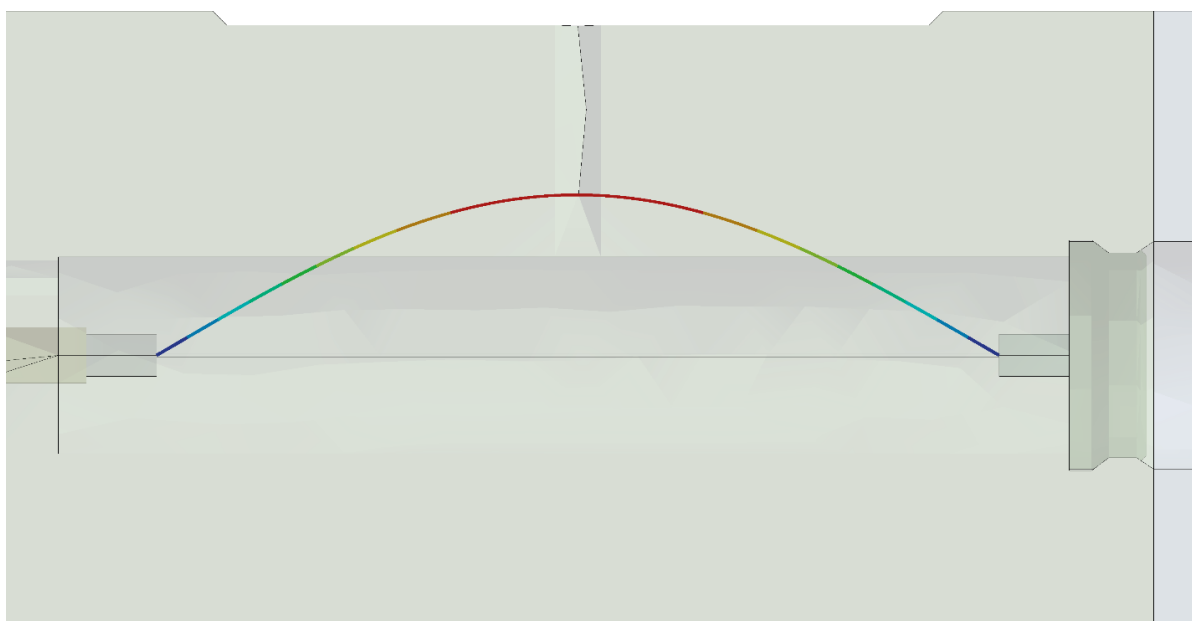
На рис. 10 показаны сравнительные зависимости фактической градуировочной характеристики прибора ПСАС и вычисленной на основе метода конечных элементов.

Из рис. 10 видно, что напряжения, рассчитанные на основе разработанной пространственной

конечно-элементной модели прибора ПСАС, и напряжения, определенные на основе градуировочной характеристики, достаточно близки. Это позволяет прийти к выводу, что разработанная методика учета напряженно-деформированного состояния колебаний на основе прибора ПСАС достаточно хорошо описывает физический процесс.

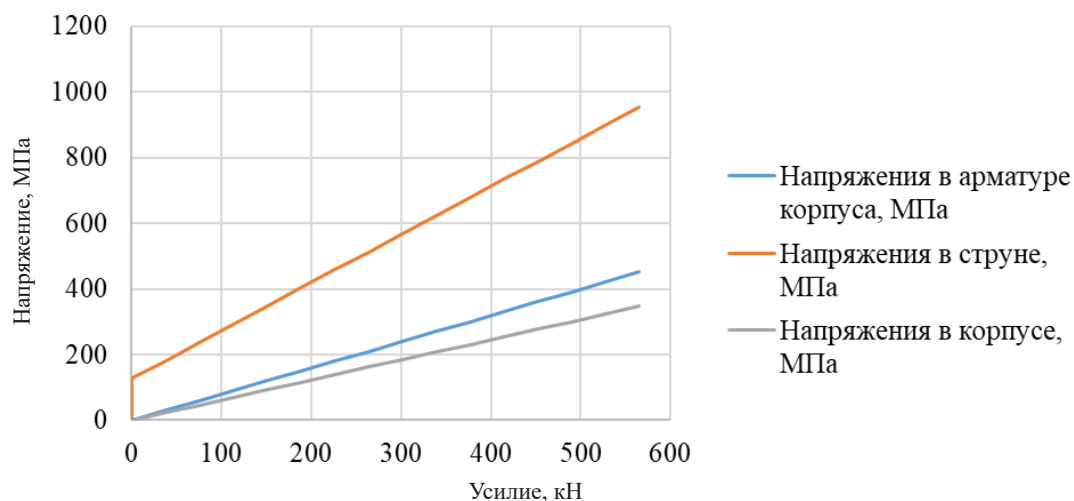
Применение приборов ПСАС в реальной инженерной практике показано на примере измерения напряжений в рабочей арматуре железобетонной конструкции фундаментной плиты реального гидротехнического сооружения.

На рис. 11 приведен пример установки ПСАС на рабочую арматуру фундаментной плиты.



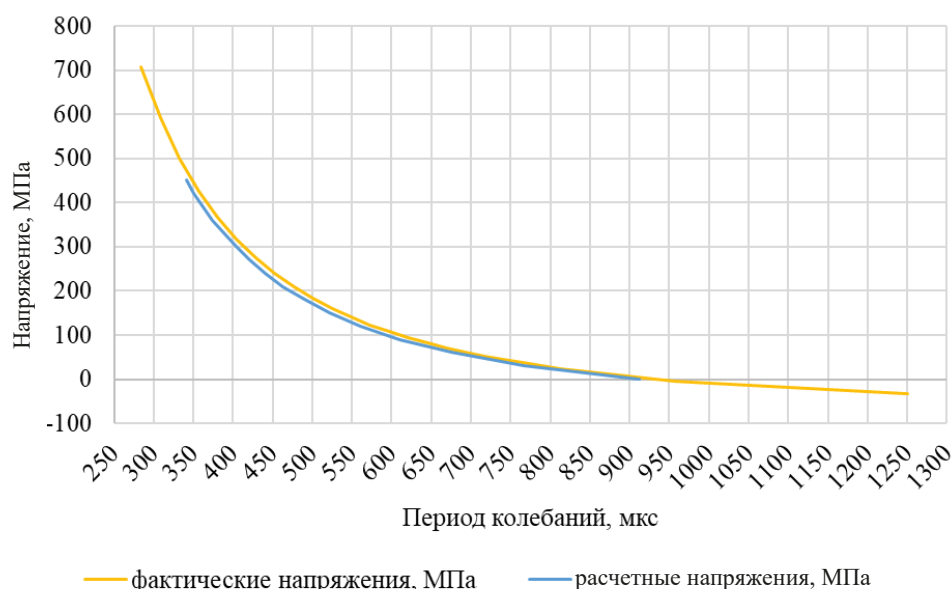
**Рис. 8.** Первая собственная форма колебания струны ПСАС ( $f_n = 2934$  Гц) при усилии растяжения 565 кН, МПа. Масштаб деформаций 1500:1

**Fig. 8.** The first natural form of vibration of the RSFT string ( $f_n = 2934$  Hz) at a tensile force of 565 kN, MPa. The deformation scale is 1500:1



**Рис. 9.** Зависимости напряжений в корпусе ПСАС, струне и арматуре от усилия растяжения

**Fig. 9.** Stress dependences in the PSAS body, string and reinforcement on the tensile force



**Рис. 10.** Зависимости напряжений в арматуре, определенные по фактической градуировочной характеристике, и расчетные напряжения с помощью МКЭ

**Fig. 10.** Stress dependences in reinforcement, determined by the actual calibration characteristic, and calculated stresses using FEM



**Рис. 11.** Пример установки РСАС на рабочую арматуру в фундаментной плите

**Fig. 11.** Example of installing a RSFT on a work reinforcement in a foundation plate

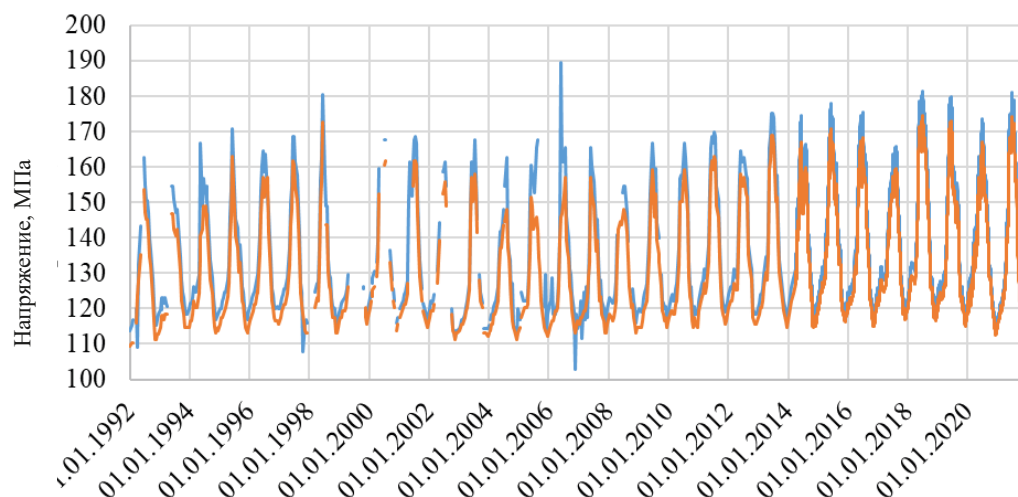
Пример результатов показаний напряжений в рабочей арматуре фундаментной плиты по РСАС, установленному во время строительства в 1983 году.

Как видно из рис. 12, в настоящее время приборы, установленные во время строительства сооружения в 1982 году, работают и в текущий момент, показывая сезонные изменения напряжений в арматуре.

### Выводы

Статья посвящена применению струнных тензодатчиков деформаций (РСАС) для мониторинга напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций. В ходе исследования рассмотрены теоретические основы работы струнных датчиков, а также проведены аналитические и численные





**Рис. 12.** Пример изменения напряжений в арматуре фундаментной плиты по данным РСАС, установленного во время строительства в 1982 г.

**Fig. 12.** Example of stress changes in the reinforcement of the foundation plate according to the RSFT installed during construction in 1982

расчеты их вибрационных характеристик с использованием метода конечных элементов. Результаты теоретических выкладок и расчетов подтверждают высокую точность и надежность струнных датчиков при измерении напряжений в арматуре железобетонных конструкций.

Основным преимуществом струнных датчиков является их высокая долговечность и коррозионная стойкость, что делает их подходящими для длительного мониторинга в сложных условиях. Эти датчики обеспечивают высокую точность измерений и могут работать в агрессивных средах, где другие типы датчиков могут быстро выйти из строя. Сравнение с тензорезистивными датчиками показывает, что струнные датчики имеют более широкий диапазон измерений и меньше зависят от температурных колебаний и электромагнитных помех, что также делает их предпочтительными для длительного использования.

Верификация результатов с использованием программного комплекса ANSYS подтвердила, что теоретические модели и расчеты напряженно-деформированного состояния датчиков могут быть точно использованы в практических задачах мониторинга. Модальный анализ, проведенный в рамках работы, показал, что струнные датчики способны обеспечить точные данные о напряжениях в арматуре.

Целью данной работы также было проверить соответствие теоретических моделей, разработанных для струнных датчиков, с фактическими данными, получаемыми с их помощью, и численными экспериментами, выполненными на базе конечно-элементной модели датчика. Несмотря на многолетний опыт применения струнных датчиков, такие исследования в аналогичных условиях и с учетом специфики рассматриваемых конструкций ранее не проводились. Поэтому

результаты данной работы являются важным шагом в верификации и усовершенствовании применения струнных датчиков для мониторинга напряжений в железобетонных конструкциях.

Таким образом, использование струнных тензодатчиков для мониторинга напряжения в арматуре железобетонных конструкций представляет собой перспективный и эффективный метод, способствующий повышению безопасности и долговечности строительных объектов.

#### Список литературы / References

1. Ахметкереев М.Х., Брайцев В.В., Гуляев Н.А., Зиновьев Р.К., Кузин А.Г., Николаев В.Б., Петрашень И.Р., Салов В.Н. Способ измерения усилия в рабочей стержневой арматуре железобетонного сооружения и устройство для его осуществления (варианты). Патент RU 2191990 C1. Оpubл. 27.10.2002.
1. Akhmetkereeov M.Kh., Brajtsev V.V., Guljaev N.A., Zinov'ev R.K., Kuzin A.G., Nikolaev V.B., Petrashen' I.R., Salov V.N. Procedure of forces in working bar reinforcement of reinforced concrete structure measuring and gear for its implementation (variants). Patent RU 2191990 C1. Publ. date 27.10.2002. (In Russian).
2. Уткин В.С., Соловьев С.А. Способ измерения деформаций, напряжений и усилий в арматуре эксплуатируемых железобетонных конструкций. Патент RU 2721892 C1. Оpubл. 25.05.2020.
2. Utkin V.S., Solovov S.A. Method of deformations, stresses and forces in reinforcement of exploited reinforced concrete structures measuring. Patent RU 2721892 C1. Publ. date 25.05.2020. (In Russian).
3. Bakkehøi Steinar, Øien Kjell, Førland Eirik J. An Automatic Precipitation Gauge Based on Vibrating-

- Wire Strain Gauges. *Hydrology Research*. 1985, vol. 16, iss. 4, pp. 193–202. DOI: <https://doi.org/10.2166/nh.1985.0015>.
4. Cudmani Roberto, Rebstock Daniel, Schorr Joshua. Geotechnical Challenges for the Numerical Prediction of the Settlement Behaviour of Foundations in Rosenheim's Seeton. In: Recent Developments of Soil Mechanics and Geotechnics in Theory and Practice. 2020, vol. 91, pp. 323–346. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-28516-6\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-030-28516-6_17).
  5. Ing Khihok, Anantanasakul Pongpipat. Analysis of Full-scale Load Tests on Bored Piles Socketed in Weathered Rock: A Case Study of the Subsoils of Phnom Penh Area. Conference: The 27th National Convention on Civil Engineering. Chiang Rai, THAILAND, 2022. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/365048854\\_Analysis\\_of\\_Full-scale\\_Load\\_Tests\\_on\\_Bored\\_Piles\\_Socketed\\_in\\_Weathered\\_Rock\\_A\\_Case\\_Study\\_of\\_the\\_Subsoils\\_of\\_Phnom\\_Penh\\_Area](https://www.researchgate.net/publication/365048854_Analysis_of_Full-scale_Load_Tests_on_Bored_Piles_Socketed_in_Weathered_Rock_A_Case_Study_of_the_Subsoils_of_Phnom_Penh_Area).
  6. Khayat Kamal, Sadati Seyedhamed. Recycled Concrete Aggregate: Field Implementation at the Stan Musial Veterans Memorial Bridge. 2014. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/281232916\\_Recycled\\_Concrete\\_Aggregate\\_Field\\_Implementation\\_at\\_the\\_Stan\\_Musial\\_Veterans\\_Memorial\\_Bridge](https://www.researchgate.net/publication/281232916_Recycled_Concrete_Aggregate_Field_Implementation_at_the_Stan_Musial_Veterans_Memorial_Bridge).
  7. Ling Hui Zheng, Xin-Yin Zhu. The High Precision Vibration Signal Data Acquisition System Based on the STM32. *Sensors and Transducers*. 2014, vol. 172, iss. 6, pp. 98–104. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/288531967\\_The\\_High\\_Precision\\_Vibration\\_Signal\\_Data\\_Acquisition\\_System\\_Based\\_on\\_the\\_STM32](https://www.researchgate.net/publication/288531967_The_High_Precision_Vibration_Signal_Data_Acquisition_System_Based_on_the_STM32).
  8. Osman Ashraf, Malak Charles. Evaluating the stresses in a supertall structure: Field monitoring and numerical analysis. 2017. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/319840035\\_Evaluating\\_the\\_stresses\\_in\\_a\\_supertall\\_structure\\_Field\\_monitoring\\_and\\_numerical\\_analysis](https://www.researchgate.net/publication/319840035_Evaluating_the_stresses_in_a_supertall_structure_Field_monitoring_and_numerical_analysis).
  9. Álvaro Paul, Lawrence Kahn, Kimberly Kurtis. Corrosion-Free Precast Prestressed Concrete Piles MadewithStainlessSteelReinforcement:Construction, Test and Evaluation. 2015. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/292157936\\_Corrosion-Free\\_Precast\\_Prestressed\\_Concrete\\_Piles\\_Made\\_with\\_Stainless\\_Steel\\_Reinforcement\\_Construction\\_Test\\_and\\_Evaluation](https://www.researchgate.net/publication/292157936_Corrosion-Free_Precast_Prestressed_Concrete_Piles_Made_with_Stainless_Steel_Reinforcement_Construction_Test_and_Evaluation).
  10. Clough R.W., Penzien J. Dynamics of Structures. McGraw-Hill, 1993.
  11. Morse P.M., Ingard K.U. Theoretical Acoustics. New York: McGraw-Hill, 1968.
  12. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The finite element method: its basis and fundamentals. Amsterdam; Boston: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.
  13. ANSYS Theory Reference. User Guide for ANSYS Structural Analysis. ANSYS Inc., 2020.

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

**Игорь Вячеславович Баклыков**, канд. техн. наук, главный специалист отдела расчетных исследований гидротехнических сооружений, АО «Институт Гидропроект», Москва  
e-mail: [moscow\\_igor88@mail.ru](mailto:moscow_igor88@mail.ru)  
**Igor V. Baklykov**, Cand. Sci. (Engineering), Chief Specialist of the Department of Computational Studies of Hydraulic Structures, Hydroproject Institute JSC, Moscow  
e-mail: [moscow\\_igor88@mail.ru](mailto:moscow_igor88@mail.ru)



УДК 666.97.03

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-15-27](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-15-27)

**С.А. АМБАРЦУМЯН<sup>1</sup>, Е.Ю. ЕЛКИНА<sup>2</sup>, Е.Ю. ВОРОБЬЕВА<sup>2</sup>,  
Л.А. КУЛИЕВА<sup>2</sup>, И.А. ЧИЛИН<sup>3,✉</sup>, Н.М. СЕЛЮТИН<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ООО «Группа Компаний «МонАрх»», Ленинградский проспект, д. 31А, стр. 1, г. Москва, 125284, Российская Федерация

<sup>2</sup> ООО «Комбинат Инновационных Технологий-МонАрх», Внуково, кв-л 48А, д. 2, стр. 10, вн. тер. г. муниципальный округ, г. Москва, 108809, Российская Федерация

<sup>3</sup> Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

# ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЦЕПТУРНЫХ И ТЕМПЕРАТУРНО— ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МОДУЛЕЙ

## Аннотация

**Введение.** Производство крупногабаритных модулей сопряжено с технологическими сложностями, такими как риск образования трещин при термообработке, неоднородность структуры бетона и необходимость достижения высокой ранней прочности для распалубки и транспортировки.

**Цель.** Оптимизация рецептурных параметров технологии бетонирования крупногабаритных панелей с учетом обеспечения требуемых характеристик как тяжелого, так и легкого бетонов в период до 5 суток с момента их изготовления при заданном режиме тепловлажностной обработки.

**Материалы и методы.** Рецептурная оптимизация: подбор и модификация состава бетона с использованием современных химических добавок (суперпластификаторов, ускорителей твердения), микрокремнезема и золы-уноса для улучшения удобоукладываемости, прочностных показателей и плотности структуры. Бетонирование конструкций является ключевым переломом всей технологической линии, так как является наиболее продолжительной стадией, состоящей из последовательного выполнения определенных процессов. В процессе подбора материалов было испытано большое количество инертных и вяжущих материалов, а также различных суперпластификаторов. Весьма значительный перечень производителей и поставщиков позволил произвести отбор партий проб

с последующим получением результатов испытаний и установлением соответствующих поставщиков.

**Результаты.** Разработана оптимизированная рецептура высокопрочной и облегченной бетонной смеси, обеспечивающей прочность на сжатие не менее 70 % от проектной в период до 5 суток с момента изготовления, снижающая вес конструкции.

**Выводы.** Комплексная оптимизация рецептурных и температурно-временных параметров позволяет существенно интенсифицировать технологический цикл производства железобетонных элементов крупногабаритных модулей без ущерба для их качества и долговечности. Внедрение предложенных решений обеспечивает снижение энергозатрат, сокращение продолжительности производственного цикла и повышение надежности готовых конструкций.

**Ключевые слова:** крупногабаритный модуль, производство панелей, прочность, модуль упругости, состав бетона, температура, себестоимость

**Для цитирования:** Амбарцумян С.А., Елкина Е.Ю., Воробьева Е.Ю., Кулиева Л.А., Чилин И.А., Селютин Н.М. Оптимизация рецептурных и температурно-временных параметров технологии производства железобетонных элементов крупногабаритных модулей // *Бетон и железобетон*. 2025. № 6 (631). С. 15–27. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-15-27](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-15-27). EDN: UWQNSN.

**Вклад авторов**

Амбарцумян С.А., Чилин И.А., Селютин Н.М. – концепция и постановка цели исследования; разработка методологии и планирование эксперимента.

Елкина Е.Ю., Воробьева Е.Ю., Кулиева Л.А., Чилин И.А., Селютин Н.М. – проведение экспериментальной части работы: подготовка образцов, подбор и тестирование рецептур бетонных смесей; сбор и курирование данных в ходе лабораторных исследований.

Елкина Е.Ю., Воробьева Е.Ю., Кулиева Л.А. – визуализация данных (построение графиков, диаграмм); написание и редактирование разделов, связанных с методами и результатами экспериментов; проведение статистического анализа данных.

Все авторы принимали участие в обсуждении результатов, рецензировании и редактировании финальной версии рукописи, а также одобрили рукопись для публикации.

**Финансирование**

Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Поступила в редакцию 26.08.2025*

*Поступила после рецензирования 04.10.2025*

*Принята к публикации 09.10.2025*

**S.A. AMBARTSUMYAN<sup>1</sup>, E.Yu. ELKINA<sup>2</sup>, E.Yu. VOROBYOVA<sup>2</sup>,  
L.A. KULIEVA<sup>2</sup>, I.A. CHILIN<sup>3,✉</sup>, N.M. SELYUTIN<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> "Monarch Group Companies Ltd", Leningradsky prospekt, 31A, bld. 1, Moscow, 125284, Russian Federation

<sup>2</sup> Combine of Innovative Technologies-MonArch LLC, Vnukovo, block 48A, 2, bld. 10, municipal district intracity territory, Moscow, 108809, Russian Federation

<sup>3</sup> Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

# OPTIMIZATION OF FORMULARY AND TEMPERATURE— TIME PARAMETERS OF THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS OF LARGE—SIZED MODULES

**Abstract**

*Introduction.* The production of large-sized modules is fraught with technological difficulties, such as the risk of cracking during heat treatment, the heterogeneity of the concrete structure and the need to achieve high early strength for demoulding and transportation.

*Aim.* Optimization of the formulation parameters of the technology of concreting of the large-sized panels, taking into account the provision of the required characteristics of both heavy and light concrete for up to 5 days from the moment of their manufacture under a given heat and humidity treatment regime.

*Materials and methods.* Formulation optimization: selection and modification of the concrete composition using modern chemical additives (superplasticizers, hardening accelerators), microsilica and fly ash to improve workability, strength and density of the structure. Concreting of the structures is a key stage of the entire production line, as it is the longest stage, consisting of the sequential execution of certain processes. During the selection of materials, a large number of inert and binding materials, as well as various superplasticizers, were tested. A very significant list of manufacturers and suppliers made it possible to select batches of samples, followed by obtaining test results and identifying the appropriate suppliers.

**Results.** An optimized formulation of a high-strength and lightweight concrete mix has been developed, providing compressive strength of at least 70 % of the design strength for up to 5 days from the moment of manufacture, reducing the weight of the structure.

**Conclusions.** Comprehensive optimization of prescription and temperature-time parameters makes it possible to significantly intensify the technological cycle of production of reinforced concrete elements of large-sized modules without compromising their quality and durability. The implementation of the proposed solutions ensures a reduction in energy consumption, a reduction in the duration of the production cycle and an increase in the reliability of finished structures.

**Keywords:** large-size module, panel production, strength, modulus of elasticity, concrete composition, temperature, cost

**For citation:** Ambartsumyan S.A., Elkina E.Yu., Vorobyova E.Yu., Kulieva L.A., Chilin I.A., Selyutin N.M. Optimization of formulary and temperature-time parameters of the production technology of reinforced concrete elements of large-sized modules. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 6 (631), pp. 15–27. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-15-27](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-15-27). EDN: UWQNSN.

#### Authors contribution statement

Ambartsumyan S.A., Chilin I.A., Selyutin N.M. – the concept and setting of the research goal; development of methodology and planning of the experiment.

Elkina E.Yu., Vorobyova E.Yu., Kulieva L.A., Chilin I.A., Selyutin N.M. – the experimental part of the work conducting: preparation of samples, selection and testing of formulations of concrete mixtures; collection and curation of data during laboratory research.

Yolkina E.Yu., Vorobyova E.Yu., Kulieva L.A. – data visualization (diagrams plotting); sections related to experimental methods and results writing and editing; statistical data analysis conducting.

All the authors participated in the discussion of the results, reviewing and editing the final version of the manuscript, and also approved the manuscript for publication.

#### Funding

No funding support was obtained for the research.

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

*Received 26.08.2025*

*Revised 04.10.2025*

*Accepted 09.10.2025*



### Введение

Как известно, одним из путей ускорения строительства зданий и сооружений, снижения себестоимости и повышения качества является индустриализация и унификация конструктивных решений с соответствующей оптимизацией производственных процессов.

В области жилищного строительства наиболее выразительным и во многих случаях эффективным примером ускоренного возведения зданий, включая многоэтажные, является крупномодульное домостроение.

Особого внимания и признания заслуживает опыт компании «МонАрх», которая является как инициатором проектирования и возведения домов из железобетонных крупногабаритных модулей (КГМ) нового поколения, так и разработчиком нормативной базы – СП 501.1325800.2021 [1], определяющей требования к габаритам, конструкциям, материалам и производству работ. Унификация конструктивных решений, предусмотренная вышеуказанным нормативным документом, оставляет возможность варьирования объемно-планировочными характеристиками КГМ, что позволяет придавать зданиям разнообразную архитектурную выразительность и реализуется в разных проектах [2].

Вместе с тем особенностью КГМ является высокая степень заводской готовности, достигающая до уровня 95–98 % [1, 3], основанная на условии, что модули должны быть с внутренней чистовой отделкой, установленными столярными изделиями и инженерными коммуникациями, а прочностные и жесткостные характеристики конструкций к моменту доставки на объект строительства и монтажа должны быть на уровне расчетных значений. Это требует использования высококачественных бетонов и обеспечения низкой деформативности конструкций, которые определяют как эксплуатационную надежность объемных конструкций, так и технологичность при монтаже.

Производство КГМ осуществляется на комбинате «КИТ-МонАрх», оснащенном современными технологическими линиями с высоким уровнем автоматизации.

Иллюстрация основных процессов бетонирования панелей наружных и внутренних стен и плит перекрытий, а также сборки модулей и монтажа на стройплощадке приведена на рис. 1.

Алгоритм производства заключается в выполнении и координации около 19-ти технологических процессов и операций [4], среди которых бетонирование железобетонных элементов (приготовление бетонной смеси, транспортировка и укладка ее в форму, выдерживание и заглаживание поверхности, тепловлажностная обработка и распалубка панелей) является наиболее протяженным по времени.

Учитывая мощность комбината «КИТ-МонАрх» и актуальную плановую производительность по вы-

пуску готовых КГМ, совокупность перечисленных технологических процессов должна обеспечить достижение бетоном конструкций расчетных характеристик к моменту сборки элементов модулей в раннем возрасте, то есть не позднее, чем на пятые сутки. При этом, несмотря на возможные изменения температурно-временных факторов технологии, должна быть обеспечена высокая однородность свойств бетона, которая оценивается по коэффициенту вариации прочности.

Исходными данными для оптимизации технологии являлись следующие условия:

- тепловлажностная обработка (ТВО) изделий по режиму 1,5 + 7,5 + 1 (часа) при температуре изотермической выдержки 38–45 °С, который зависит от модуля поверхности (типоразмеров) изделий, требуемая распалубочная прочность бетона при сжатии ( $R_t$ ) должна быть не ниже 25 МПа;

- к моменту подачи на укрупнительную сборку, в возрасте до 5 сут после ТВО, начальный модуль упругости ( $E_p$ ) должен быть не менее 27 ГПа;

- температура окружающей среды в зоне производства работ, соответственно температура бетонной смеси, оборудования, поддонов, форм и оснастки, в зависимости климатического сезона изменяется в широком диапазоне – от 10 до 25 °С.

- оптимизация параметров технологии должна осуществляться на примере производства конструкций как из тяжелого, так и легкого бетонов.

Предварительный анализ показал, что вышеуказанные значения прочности и модуля упругости целесообразно обеспечить не за счет энергозатратной интенсификации режима ТВО или регулирования температуры бетонной смеси, оборудования и оснастки, а путем повышения прочностного потенциала бетонных смесей с гарантией достижения требуемых параметров в ранние сроки, независимо от перепадов температуры.

**Объектом** исследований являлись бетоны из производственных партий бетонных смесей, твердевшие в производственных температурно-временных условиях.

**Целью** работы являлась оптимизация рецептурных параметров технологии бетонирования крупногабаритных панелей с учетом обеспечения требуемых характеристик как тяжелого, так и легкого бетонов в период до 5 суток с момента их изготовления при заданном режиме ТВО.

Для этого решались следующие задачи:

1. Подбирались и воспроизводились в условиях массового производства составы самоуплотняющихся бетонных смесей, обеспечивающих достижение распалубочной и требуемых значений ранней прочности и начального модуля упругости бетона при выдерживании конструкций в разных температурно-влажностных условиях в летний и зимний периоды.

2. Оценивалась однородность свойств бетонов разного состава, в том числе приготовленных на разных заполнителях и с водной суспензией – продуктом рециклинга бетона, путем анализа значений коэффициента вариации прочности бетона в конструкциях, производимых в летний и зимний периоды.

3. Оценивалась экономическая эффективность путем анализа себестоимости бетонов разных составов в условиях массового производства конструкций.

### Характеристики материалов и методы испытаний

#### Материалы для производства бетонов

- Цемент:
  - портландцемент марки ЦЕМ I 52,5 (ГОСТ 31108-2020 [5], ГОСТ 30515-2013 [6], ООО «Хайдельберг-Цемент Рус»);
  - портландцемент марки ЦЕМ II А-Ш 52,5Н (ГОСТ 31108-2020 [5], ООО «Хайдельберг-Цемент Рус»).
- Песок с  $M_k = 2,0-2,5$  (ГОСТ 8736-2014 [7], АО «Богаевский карьер»).
- Крупный заполнитель:
  - щебень гранитный фракцией 5–10 мм (ГОСТ 8267-93 [8], месторождение – карьер «Ляскеля», Республика Карелия);
  - щебень из гравия из плотной породы фракцией

3–10 мм (ГОСТ 8269.0-97 [9], АО «Богаевский карьер»);  
 – гравий керамзитовый фракцией 5–10 мм, марки по прочности П-150, насыпной плотностью  $M_{500}$  кг/м<sup>3</sup> (ГОСТ 32497-2013 [10], ООО «Алексинский керамзитовый завод»).

- Модификатор бетона марки МБ2-50С (ГОСТ Р 56178-2014 [11], ТУ 5743-083-46854090-98 [12], ООО «Предприятие МБ»).

- Минеральный порошок МП-1 (ГОСТ Р 52129-2003 [13], ООО «Владимирское карьероуправление»).

- Суперпластификатор марки SikaViskoCrete-240 HE PLUS (ТУ 20.59.59-141-13613997-2025 [14], ГОСТ 24211-2008 [15], ООО «Зика»).

- Суперпластификатор марки Полипласт S (ТУ 20.59.59-098-58042865-2022 [16], ГОСТ 24211-2008 [15], ООО «Полипласт Новомосковск»).

- Цементно-водная суспензия 30%-ной концентрации, содержащая в качестве твердой фазы смесь вышеуказанных цемента и модификатора, получаемая путем контролируемого рециклинга – отмывки остатков бетонной смеси из бетоносмесителей и другого оборудования, соответствующая документации на технологические процессы производства бетонных смесей – «Технологической карте № 1 ИЛ/КИТ».

- Вода затворения (ГОСТ 23732-2011 [17]).

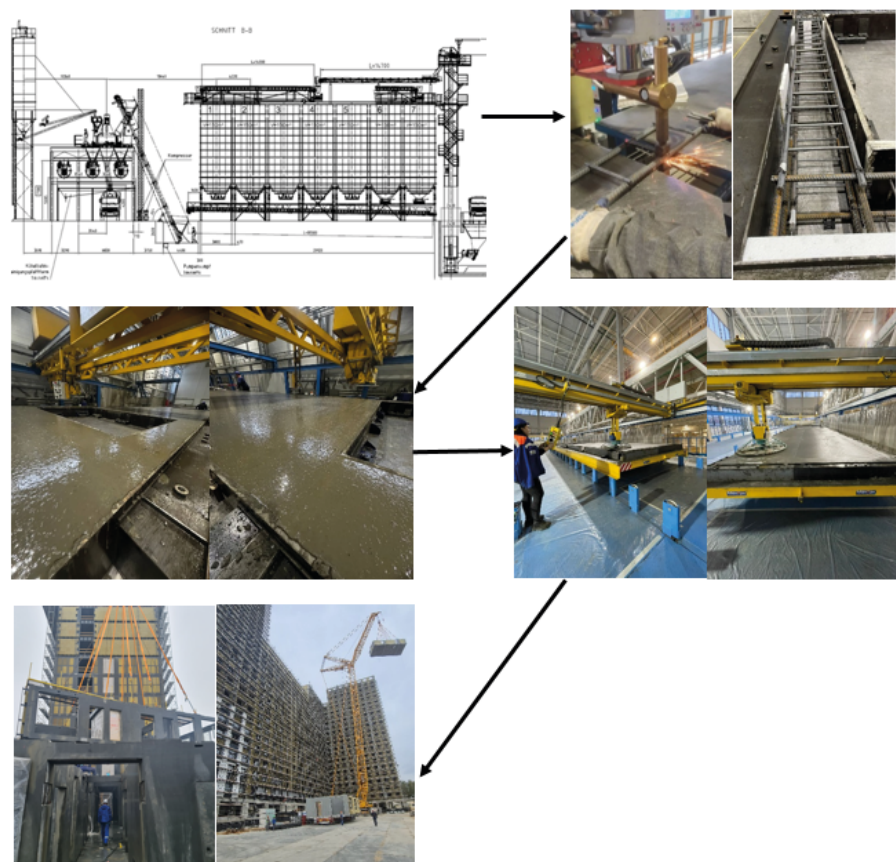


Рис. 1. Общая схема технологической линии производства  
 Fig. 1. General scheme of the technological production line

### *Составы бетонных смесей и приготовление*

С использованием вышеуказанных материалов по составам с дозировками основных компонентов (табл. 1) готовились производственные партии бетонных смесей, которые сгруппированы в таблице по виду крупного заполнителя. Рабочие составы смесей отличались дозировками цемента, модификатора МБ, которые оптимизированы с учетом коэффициентов вариации прочности на сжатие.

Приготовление бетонных смесей осуществлялось в смесителе принудительного действия емкостью 2,5 м<sup>3</sup>, погрешность дозирования вяжущего, воды, добавок составляет  $\pm 1$  % по массе, для заполнителей составляет  $\pm 2$  %, что находится в пределах допусков, предусмотренных ГОСТ 27006-2019 [18].

Формование конструкций осуществлялось в экспериментальном цехе в зимний и летний периоды при разной температуре. Общее количество экспериментальных конструкций и партий бетонных смесей, подвергнутых испытаниям, составило более 2 570 единиц, а общий объем бетонной смеси составил 30 000 м<sup>3</sup>.

### *Методы испытаний бетонов*

Из партий бетонных смесей были изготовлены образцы-кубы размером 100 × 100 × 100 мм для определения предела прочности при сжатии в соответствии с ГОСТ 10180-2012 [19] и призмы 100 × 100 × 400 мм для определения модуля упругости в соответствии с ГОСТ 24452-2023 [20].

Испытания по определению прочности проводили после ТВО, а также в возрасте 5 и 28 суток после ТВО. Испытания по определению модуля упругости проводили выборочно в возрасте 5 и 28 суток.

Определение прочности бетона непосредственно в конструкциях производилось, согласно ГОСТ 22690-2015 [21], комплексом неразрушающих методов:

- упругого отскока, с использованием склерометра Silver SCHMIDT OS 8200;
- ультразвуковым, с использованием тестера UK1401.

### **Результаты испытаний и анализ**

#### *О влиянии дозировок и качества компонентов на свойства бетона*

В соответствии с поставленными задачами определяли прочность при сжатии ( $R$ ), плотность ( $\gamma$ ) и модуль упругости ( $E_b$ ) после ТВО, в промежуточном и проектном возрастах, в зависимости от состава бетонных смесей (дозировок основных компонентов и вида крупного заполнителя) и температуры в цехе, в зоне производства работ. Статистическая обработка результатов испытаний на прочность в летний (с апреля по октябрь) и зимний (с ноября по май) периоды позволила оценить однородность свойств бетонов, которая выражалась коэффициентом вариации прочности на сжатие в зависимости от темпера-

туры в момент бетонирования, дозировок органо-минерального модификатора, а также рециклинговой воды, применяемой совместно с водой затворения.

Результаты испытаний и анализ приводятся ниже.

Данные наблюдений в течение года за изменением температуры бетонных смесей на месте формирования свидетельствуют об изменении этого параметра в зависимости от климатического сезона (рис. 2). Предельная разность температуры в зимний и летний периоды достигает 15 °С.

В табл. 1 приведены данные о свойствах бетонов, приготовленных с использованием разных заполнителей и с разными дозировками основных ценообразующих компонентов: цемента, добавок, керамзитового гравия. Дозировки компонентов соответствовали номинальным составам бетонных смесей, которые назначены с учетом обеспечения заданных характеристик бетонов в ранние сроки: после ТВО прочность на сжатие не менее 25 МПа, через 5 сут после ТВО прочность не менее 55,9 МПа, модуль упругости не менее 27 ГПа. Бетонные смеси имели распыл конуса от 60 до 70 см, что соответствовало маркам РК1-РК2 для самоуплотняющихся смесей.

Состав бетонной смеси № 1.1, приготовленный на гранитном щебне, до начала экспериментальных работ являлся номинальным и использовался изначально при производстве изделий, поэтому принят в качестве контрольного.

Из полученных данных следует, что:

- при дозировке цемента 470–480 кг/м<sup>3</sup> и использовании рециклинговой цементно-водной суспензии дозировка модификатора МБ2-50С может быть снижена от 120 до 80 кг/м<sup>3</sup>, то есть на 30 %, без негативного влияния на требуемую прочность и модуль упругости;
- при использовании минерального порошка МП-1 в качестве микрозаполнителя, при условии обеспечения требуемой прочности, дозировка цемента может быть сокращена от 480 до 440 кг/м<sup>3</sup>, то есть на 8 %, а модификатора – от 120 до 90 кг/м<sup>3</sup>, то есть на 25 %;
- сокращение дозировок наиболее значимых ценообразующих компонентов в бетонной смеси – цемента и модификатора МБ2-50С – обеспечивает снижение себестоимости бетона на 4–25 %;
- замена гранитного щебня на менее прочный гравий из плотных пород практически не влияет на требуемые (нормируемые) характеристики (после ТВО и ТВО + 5 сут), но способствует снижению себестоимости бетонных смесей на 13 %.

Обеспечение требуемых характеристик бетона в раннем возрасте (после ТВО и ТВО + 5 сут) за счет рецептурных параметров по-существу сводится к повышению прочностного потенциала бетона. Об этом свидетельствуют приведенные в табл. 1 данные о прочностях в возрасте 28 сут, из которых следует, что пределы прочности при сжатии со временем повышаются, достигая величин 76–87 МПа, что



при значениях коэффициента требуемой прочности  $K_t = 1,14$  (согласно ГОСТ 31914-2012 [22]) соответствует классам В67–В73.

Значимый прирост прочностных характеристик и модуля упругости высокопрочных бетонов, к которым относятся исследованные бетоны, является характерной закономерностью, что отмечено как в известных публикациях [23, 24], так и в EN 1992-1-1 [25].

Наиболее эффективной с точки зрения себестоимости представляется смесь № 2.4, приготовленная на цементе ЦЕМ II/A-Ш 52,5Н без модификатора МБ2-50С с повышенным расходом цемента. Снижение себестоимости в сравнении со смесями на гранитном щебне доходит до 21 %, а на гравии, который используется в настоящее время при производстве панелей, – до 8 %. При этом, несмотря на пониженные прочностные свойства и модуль упругости, смесь

обеспечивает достижение требуемых характеристик бетона (пороговых значений, заданных температурно-временными факторами технологии).

Особого внимания заслуживают результаты испытаний легких бетонов на керамзитовом гравии (составы № 3.1 и 3.2.): при плотности 1950–1980 кг/м<sup>3</sup> обеспечиваются прочностные параметры как после ТВО, так и в более поздние сроки, аналогичные свойствам тяжелых бетонов, а модуль упругости – на уровне не ниже требуемого порогового значения.

Несмотря на повышенную в сравнении с тяжелыми бетонами составов № 2.1–2.4 себестоимость (которая при массовом производстве должна уменьшаться), эти смеси могут оказаться эффективными из-за пониженной до 20 % массы панелей КГМ, изготовленных из легких бетонов.

Таблица 1

Дозировки основных компонентов бетонных смесей, свойства бетонов и себестоимость относительная в %

Table 1

Dosages of the main components of concrete mixtures, concrete properties and relative cost in %

№ состава	Расход основных компонентов, кг/м³							Плотность	Свойства бетонов			Модуль упругости после ТВО + 5 сут	Себестоимость относительная, %
	Цемент	МБ2-50С	МП-1	СП Sika VC	СП Полипласт S	Вода	Рецилинг суспензия		Прочность на сжатие, МПа				
									После ТВО	После ТВО + 5 сут	После 28 сут норм. тв.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. На гранитном щебне													
1.1	480	120	–	6,3	–	180	–	2380	45,6	65,7	82,6	39,5	100
1.2	480	100	–	6,3	–	180	–	2370	43,8	64,8	79,8	38,8	96
2. На щебне из гравия из плотной породы													
2.1	480	100	–	6,3	–	180	–	2370	44,2	68,2	80,4	39,1	87
2.2	480	80	–	5,4	–	180	–	2365	41,3	64,2	76,4	39,7	84
2.3	470	80	–	5,2	–	126	54	2360	43,4	63,1	77,6	39,8	83
2.4	570*)	–	–	4,56	–	126	54	2345	32,5	54,4	74,9	37,9	75
3. На керамзитовом гравии													
3.1	500	100	–	–	8,5	170	–	1980	34,8	44,2	69,2	28,5	97**)
3.2	440	90	80	–	7,8	175	–	1950	35,3	45,6	65,3	27,8	96**)

Примечания: \*) цемент марки ЦЕМ II/A-Ш 52,5Н; \*\*) себестоимость кубометра бетонных смесей на керамзитовом гравии рассчитана без учета массового производства КГМ из легких бетонов, в отличие от расчета себестоимости тяжелых бетонов, применяемых в настоящее время в поточно-агрегатном производстве.

*О влиянии цементной суспензии – продукта рециклинга – на свойства бетонной смеси и бетона*

Благодаря использованию совместно с водой за-творения продукта рециклинга остатков бетонной смеси – цементно-водной суспензии 30%-ной кон-центрации, получаемой на производстве, при соот-ветствующем снижении расхода цемента (состав № 2.3, табл. 1) также возможно снижение себесто-имости. Как известно, снижение расхода цемента на единицу объема бетона (производство малоце-ментных бетонов) является одним из путей умень-шения выбросов  $\text{CO}_2$ . Подсчитано, что таким путем может быть получено снижение выбросов  $\text{CO}_2$  допол-нительно на 5 % [26].

Таким образом, использование в качестве вторич-ного сырья продукта рециклинга остатков бетонных смесей может быть рекомендовано для производства всей номенклатуры бетонов.

*Об однородности прочностных свойств бетонов в зимний и летний периоды*

Вышеизложенная информация о влиянии каче-ства материалов-компонентов бетонов и составов бе-тонных смесей на требуемые характеристики бетонов нуждалась в подтверждении путем анализа фактиче-ских данных, полученных в производственных усло-виях в течение длительного времени в летний и зим-ний климатические периоды.

Проанализирована информация о колебаниях температуры бетонной смеси при укладке в зим-

ний и летний периоды. Результаты, представленные на рис. 2 и 3, свидетельствуют о том, что диапазон колебания температуры может достигать 15 °С. В те-чение года изменяются и другие температурно-влаж-ностные параметры технологического процесса.

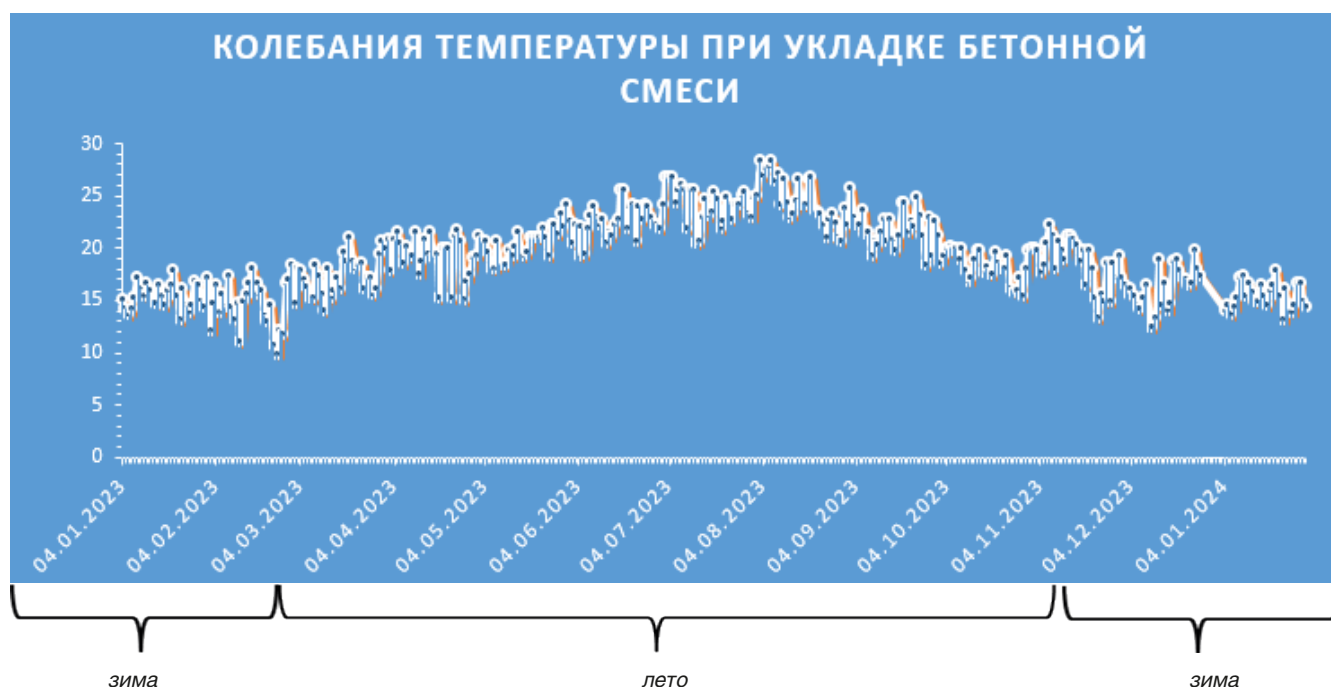
На рис. 3 приведены результаты наблюдений за некоторыми технологическими параметрами, за-висящими от климатического периода производства изделий в цехе, – температурой окружающей среды, поддонов (паллет) и относительной влажности.

Выявлено, что в зависимости от климатическо-го периода температура бетонных смесей, оснастки и оборудования (форм) изменяется.

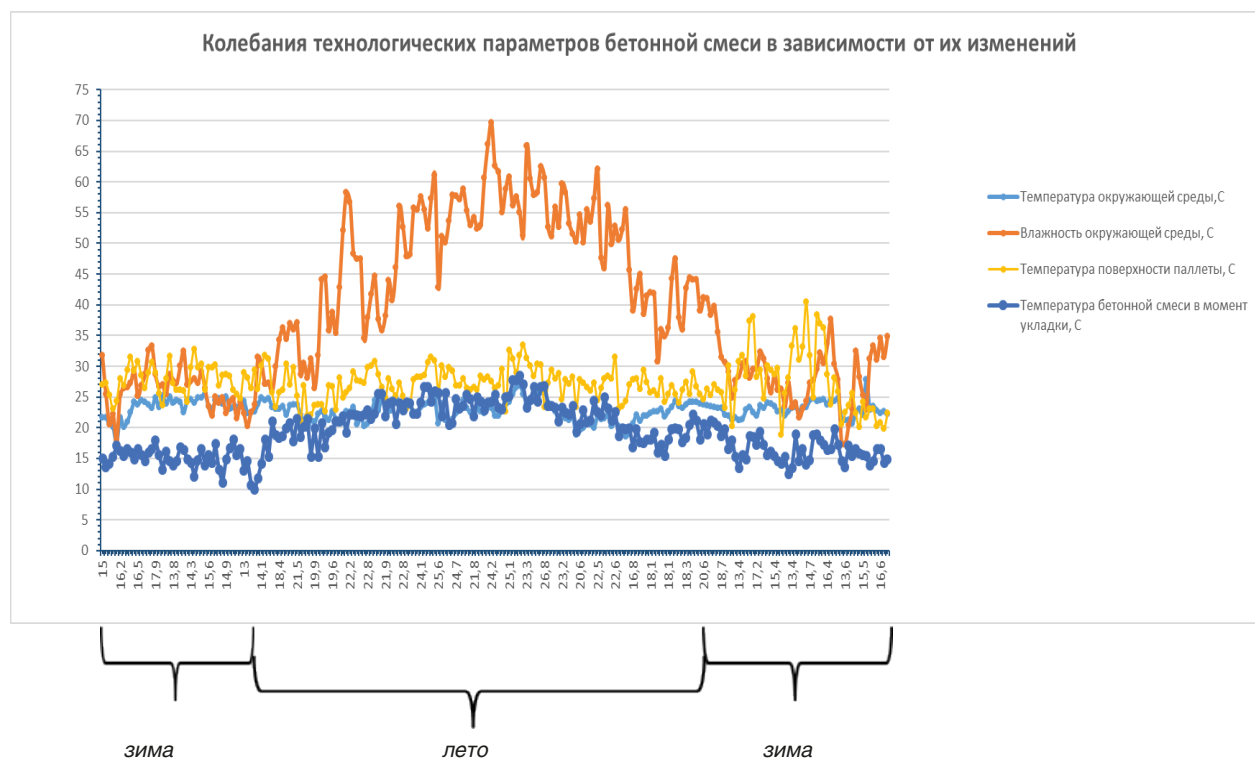
Предстояло оценить изменчивость прочностных свойств бетонов, приготовленных по составам, при-веденным в табл. 1.

На рис. 4 приведены среднемесячные статисти-ческие данные о пределах прочности бетонов при сжатии непосредственно в конструкциях комплексом неразрушающих методов за весь период наблюдений в возрасте 5 суток после ТВО (возраст соответствует отгрузке КГМ на монтаж), а также в возрасте 28 суток после ТВО (в проектном возрасте).

Из полученных данных следует, что все составы, приведенные в табл. 1, обеспечивают достижение требуемой прочности бетона как в момент транспор-тировки панелей на укрупненную сборку в проектном возрасте независимо от температурно-влажност-ных условий (рис. 4а), так и в проектном возрасте (рис. 4б).



**Рис. 2.** Колебания температуры при укладке бетонной смеси  
**Fig. 2.** Temperature fluctuations during the laying of the concrete mix



**Рис. 3.** Колебания параметров технологического процесса в течение года  
**Fig. 3.** Fluctuations in the parameters of the technological process during the year

Фактические значения ежемесячных коэффициентов вариации, рассчитанные на основании данных о прочности за период наблюдений (12 месяцев), оказались в диапазоне 3,4–10,6 %, при среднегодовом значении 6,15. Это свидетельствует о том, что все бетоны, приготовленные по номинальным составам № 1.1–2.4 (табл. 1), независимо от температурных условий производства обеспечивают достижение требуемой характеристики по прочности.

Статистические данные по коэффициенту вариации на анализируемый период времени [22] показаны на рис. 5.

### Выводы

На действующих технологических линиях предприятия ООО «Комбинат Инновационных Технологий-МонАрх» удалось за счет оптимизации только рецептурных параметров технологии уменьшить себестоимость бетонных смесей при обеспечении требуемого качества бетона. Достигнуто следующее:

1. Оптимизирован выбор крупного заполнителя: гранитный щебень фракцией 5–10 мм заменен на более дешевый гравий фракцией 3–10 мм, что позволило сократить себестоимость до 13 %.

С применением гравия фракцией 3–10 мм оптимизированы дозировки и соотношения других компонентов в составах бетонных смесей, в частности: расход органо-минерального модификатора МБ2-50С сокращен от 120 до 80 кг/м<sup>3</sup>, расход цемента сокращен от 480 до 470 кг/м<sup>3</sup>.

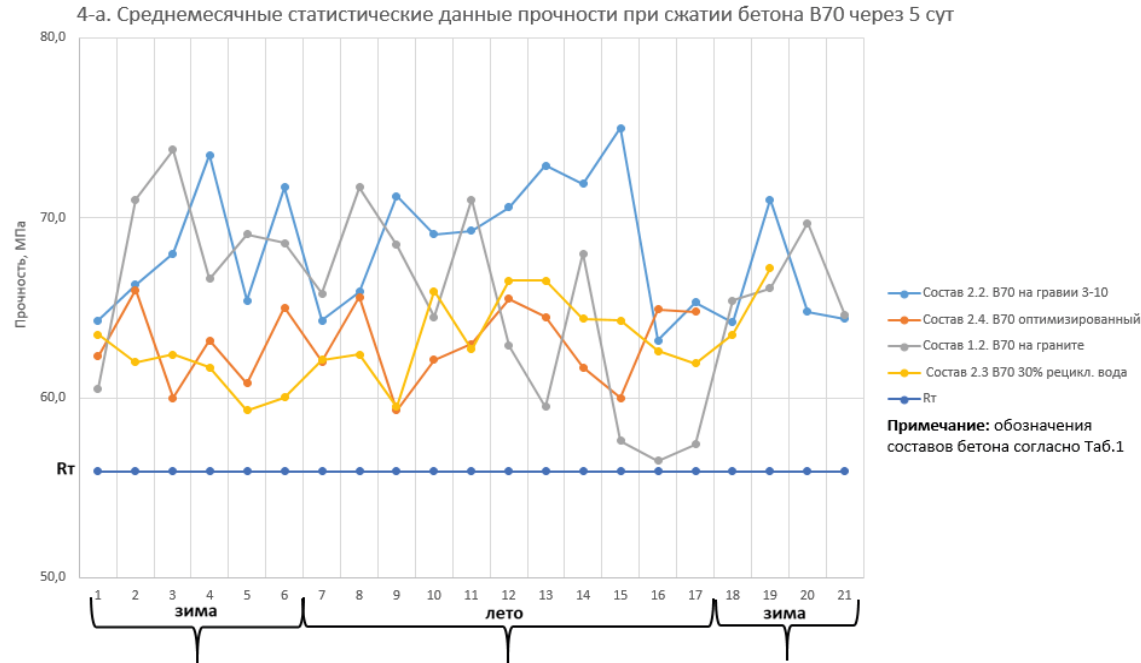
Обоснована возможность применения при производстве бетонной смеси, совместно с водой затворения, продукта рециклинга бетонной смеси – суспензии 30%-ной концентрации.

Указанные изменения позволяют в совокупности сократить себестоимость бетонных смесей, в сравнении с аналогом на гранитном щебне, до 17 %.

2. Обоснована возможность замены цемента марки ЦЕМ I 52,5 на ЦЕМ II/A-Ш 52,5Н с обеспечением прочности к моменту подачи изделий на укрупнительную сборку (после ТВО + 5 сут) на уровне требуемого значения, а класса бетона в возрасте 28 сут после ТВО на уровне В65 с перспективой повышения в дальнейшем. В этом случае снижение себестоимости, в сравнении с аналогичным бетоном на гравии с органо-минеральным модификатором, составит 8 %.

3. Обоснована возможность промышленного выпуска высокопрочного легкого бетона класса В60–В70 плотностью ниже 2000 кг/м<sup>3</sup> для производства облегченных до 20 % панелей КГМ. Экономический эффект от использования этих бетонов должен быть рассчитан с учетом фактической себестоимости смесей при массовом производстве и факторов, связанных со строительно-монтажными работами, такими как: сокращение затрат на устройство оснований и фундаментов, транспортировка и монтаж КГМ и др.

а (а)



б (б)

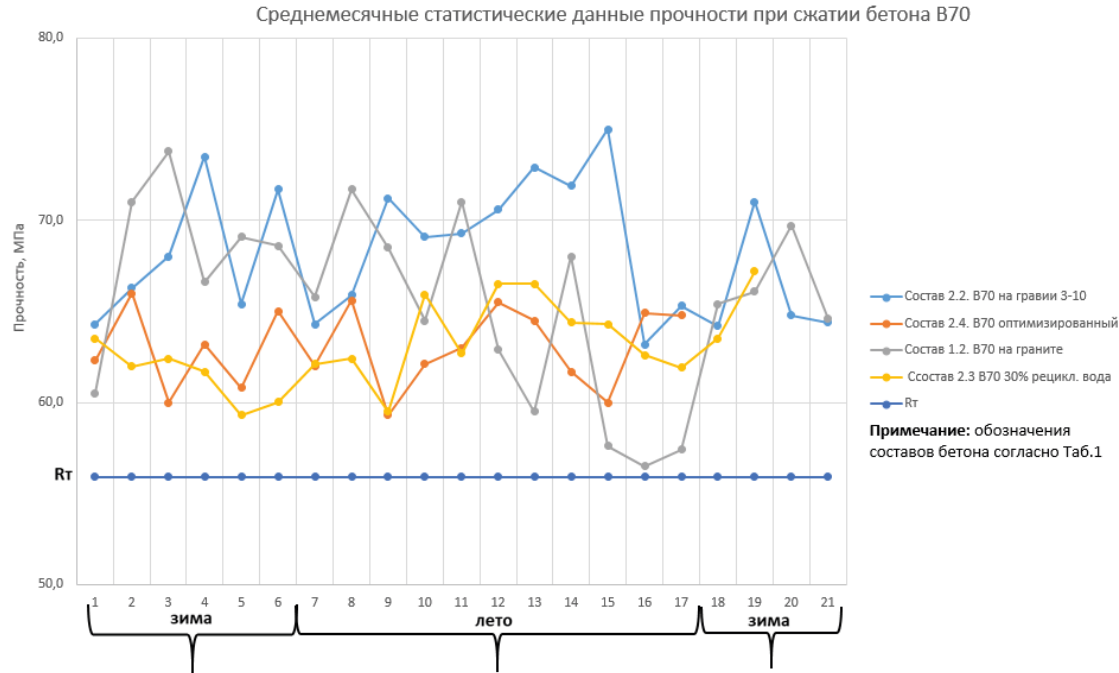


Рис. 4. Среднемесячные статистические данные о прочности бетонов через 5 (а) и 28 сут после ТВО (б)  
Fig. 4. Average monthly statistical data on concrete strength after 5 days (a) and 28 days after heat and humidity treatment (b)

		За анализируемый период/ На контролируемый период											
КЛАСС БЕТОНА / МЕСЯЦ	График динамики	01.04.	01.05.	01.06.	01.07.	01.08.	01.09.	01.10.	01.11.	01.12.	01.01.	01.02.	01.03.
В70	Vm, %	8,9	6,8	10,5	4,1	5,7	5,7	6,7	5,2	8,3	3,6	4,9	3,4
После ТВО 5 сут	Rt	54,4	52,9	57,8	52,4	52,4	52,4	52,9	52,4	53,4	52,4	52,4	52,4

Рис. 5. Рассчитанный коэффициент вариации на основные технологические параметры  
Fig. 5. Calculated coefficient of variation for the main technological parameters



## Список литературы

- СП 501.1325800.2021. Здания из крупногабаритных модулей. Правила проектирования и строительства. Основные положения. Москва, 2021.
- Проект 01-05-002-11КЖ.И.67.50.37-2. ООО «Параметрика».
- Пахомова Л.А., Мещеряков А.С. Аспекты организации проектирования для крупномодульного домостроения // *Системные технологии*. 2022. № 1 (42). С. 15–21. DOI: [https://doi.org/10.55287/22275398\\_2022\\_1\\_15](https://doi.org/10.55287/22275398_2022_1_15).
- Лapidus А.А., Амбарцумян С.А., Долгов О.С., Колпаков А.М., Мещеряков А.С., Горбачевский В.П. Исследование и влияние технологических параметров и особенностей мобильных конвейерных роботизированных технологических линий на конструкцию железобетонных стен и перекрытий мобильных крупногабаритных модулей // *Строительное производство*. 2022. № 3 (43). С. 2–10.
- ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2020.
- ГОСТ 30515-2013. Цементы. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2014.
- ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2015.
- ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2018.
- ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний. Москва: Стандартинформ, 2018.
- ГОСТ 32497-2013. Заполнители пористые теплоизоляционные для зданий и сооружений. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2014.
- ГОСТ Р 56178-2014. Модификаторы органо-минеральные типа МБ для бетонов, строительных растворов и сухих смесей. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2015.
- ТУ 5743-083-46854090-98. Модификатор бетона МБ-С (с Изменением № 1).
- ГОСТ Р 52129-2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органо-минеральных смесей. Технические условия. Москва: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004.
- ТУ 20.59.59-141-13613997-2025. Добавки суперпластифицирующие для бетонов и растворов серии «Sika® ViscoCrete®». Лобня, 2025.
- ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2010.
- ТУ 20.59.59-098-58042865-2022. Поликарбоксилатный суперпластификатор «Полипласт ПК». Технические условия. Москва, 2022.
- ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2012.
- ГОСТ 27006-2019. Бетоны. Правила подбора состава. Москва: Стандартинформ, 2019.
- ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Москва: Стандартинформ, 2018.
- ГОСТ 24452-2023. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона. Москва: Российский институт стандартизации, 2024.
- ГОСТ 22690-2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. Москва: Стандартинформ, 2019.
- ГОСТ 31914-2012. Бетоны высокопрочные тяжелые и мелкозернистые для монолитных конструкций. Правила контроля и оценки качества. Москва: Стандартинформ, 2014.
- Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Травуш В.И., Карпенко Н.И., Крылов С.Б. Оценка прочностных и деформационных характеристик высокопрочных бетонов в конструкциях и динамики их изменения во времени // *Строительные материалы*. 2023. № 11. С. 28–38. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-819-11-28-38>. EDN: EDLAQV.
- Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С. Новые модифицированные бетоны. Москва: ООО «Предприятие Мастер Бетон», 2010. 258 с.
- EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. 2004.
- Травуш В.И., Кузеванов Д.В., Каприелов С.С., Волков Ю.С. Бетон как экофактор стабилизации изменения климата // *Бетон и железобетон*. 2024. № 1 (620). С. 34–41. [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1\(620\)-34-41](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1(620)-34-41).

## References

- SP 501.1325800.2021. Building from large modules. Design and construction code. Basic statements. Moscow, 2021. (In Russian).
- Project 01-05-002-11KJ.I.67.50.37-2. Parametrica LLC. (In Russian).
- Pakhomova L.A., Meshcheryakov A.S. Aspects of design organization for large-scale housing construction. *System technologies*. 2022, no. 1 (42), pp. 15–21. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.55287/22275398\\_2022\\_1\\_15](https://doi.org/10.55287/22275398_2022_1_15).
- Lapidus A.A., Ambartsumyan S.A., Dolgov O.S., Kolpakov A.M., Meshcheryakov A.S., Gorbachevsky V.P. Investigation and influence of technological parameters and features of mobile robotic conveyor technological lines on the construction of reinforced concrete walls and floors of mobile bulky modules. *Construction production*. 2022, no. 3 (43), pp. 2–10. (In Russian).

5. State Standard 31108-2020. Common cements. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2020. (In Russian).
6. State Standard 30515-2013. Cements. General specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2014. (In Russian).
7. State Standard 8736-2014. Sand for construction works. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2015. (In Russian).
8. State Standard 8267-93. Crushed stone and gravel of solid rocks for construction works. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
9. State Standard 8269.0-97. Mountainous rock road-metal and gravel, industrial waste products for construction works. Methods of physical and mechanical tests. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
10. State Standard 32497-2013. Porous aggregate for thermal insulation buildings and facilities. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2014. (In Russian).
11. State Standard R 56178-2014. Modifiers of organic-mineral origin of MB type for concretes, mortars and dry mixes. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2015. (In Russian).
12. TC 5743-083-46854090-98. MB-S concrete modifier (with Change No. 1). (In Russian).
13. State Standard R 52129-2003. Mineral powders for asphaltic concrete and organomineral mixtures. Specifications. Moscow: Gosstroy of Russia, FSUE CPP, 2004. (In Russian).
14. TU 20.59.59-141-13613997-2025. Superplasticizing additives for concrete and mortars of the «Sika® ViscoCrete®» series. Lobnya, 2025. (In Russian).
15. State Standard 24211-2008. Admixtures for concretes and mortars. General specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2010. (In Russian).
16. TU 20.59.59-098-58042865-2022. Polycarboxylate superplasticizer «Polyplast PC». Technical specifications. Moscow, 2022. (In Russian).
17. State Standard 23732-2011. Water for concrete and mortars. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2012. (In Russian).
18. State Standard 27006-2019. Concretes. Rules for mix proposing. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
19. State Standard 10180-2012. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
20. State Standard 24452-2023. Concretes. Methods for determination of prismatic compressive strength, modulus of elasticity and Poisson's ratio. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2024. (In Russian).
21. State Standard 22690-2015. Concretes. Determination of strength by mechanical methods of nondestructive testing. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
22. 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).
23. Kaprielov S.S., Kaprielov S.S., Travush V.I., Karpenko N.I., Krylov S.B. Assessment of strength and deformation characteristics of high-strength concrete in structures and the dynamics of their changes over time. *Stroitel'nye Materialy = Construction Materials*. 2023, no. 11, pp. 28–38. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-819-11-28-38>. EDN: EDLAQV.
24. Kaprielov S.S., Kaprielov S.S., Kardumyan G.S. New modified concretes. Moscow: «Master Concrete Enterprise» LLC, 2010, 258 p. (In Russian).
25. EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. 2004.
26. Travush V.I., Kuzevanov D.V., Kaprielov S.S., Volkov Yu.S. Concrete as an eco-factor for climate change stabilization. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete*. 2024, no. 1 (620), pp. 34–41. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1\(620\)-34-41](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1(620)-34-41).

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

**Сергей Александрович Амбарцумян**, д-р техн. наук, профессор, генеральный директор, ООО «Группа Компаний «Монарх»», Москва  
e-mail: [sergey.ambartsumyan@mon-arch.ru](mailto:sergey.ambartsumyan@mon-arch.ru)  
**Sergey A. Ambartsumyan**, Dr. Sci. (Engineering), Professor, CEO, «Monarch Group Companies Ltd», Moscow  
e-mail: [sergey.ambartsumyan@mon-arch.ru](mailto:sergey.ambartsumyan@mon-arch.ru)

**Елена Юрьевна Елкина**, заместитель директора по контролю качества, ООО «Комбинат Инновационных Технологий-МонАрх», Москва  
e-mail: [e.elkina@mon-arch.ru](mailto:e.elkina@mon-arch.ru)  
**Elena Yu. Elkina**, Deputy Director for Quality Control, Combine of Innovative Technologies-MonArch LLC, Moscow  
e-mail: [e.elkina@mon-arch.ru](mailto:e.elkina@mon-arch.ru)

**Евгения Юрьевна Воробьева**, начальник испытательной лаборатории, ООО «Комбинат Инновационных Технологий-МонАрх», Москва  
e-mail: [ev.vorobeveva@mon-arch.ru](mailto:ev.vorobeveva@mon-arch.ru)  
**Evgeniya Yu. Vorobyova**, Head of the Testing Laboratory, Combine of Innovative Technologies-MonArch LLC, Moscow  
e-mail: [ev.vorobeveva@mon-arch.ru](mailto:ev.vorobeveva@mon-arch.ru)

**Лариса Анатольевна Кулиева**, заместитель начальника испытательной лаборатории, ООО «Комбинат Инновационных Технологий-МонАрх», Москва  
e-mail: [l.kulieva@mon-arch.ru](mailto:l.kulieva@mon-arch.ru)

**Larisa A. Kulieva**, Depute Head of the Testing Laboratory, Combine of Innovative Technologies-MonArch LLC, Moscow  
e-mail: l.kulieva@mon-arch.ru

**Игорь Анатольевич Чилин**<sup>✉</sup>, инженер, научный сотрудник лаборатории химических добавок и модифицированных бетонов, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: pgsnik87@mail.ru

**Igor A. Chilin**<sup>✉</sup>, Engineer, Researcher of the Laboratory of Chemical Additives and Modified Concretes, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: pgsnik87@mail.ru

**Никита Михайлович Селютин**, инженер лаборатории химических добавок и модифицированных бетонов, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: 89165046672@mail.ru

**Nikita M. Selyutin**, Engineer of the Laboratory of Chemical Additives and Modified Concretes, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: 89165046672@mail.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

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

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

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

2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);

2.1.2 – Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки);

2.1.5 – Строительные материалы и изделия (технические науки).

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

Тираж печатного издания – 500 экземпляров.

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

Подписной индекс ООО «Урал Пресс» – 36569.



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

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



УДК 691.32

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-28-32](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-28-32)**Я.В. АФАНАСЬЕВА**

Российская инженерная академия (РИА), Газетный пер., д. 9, стр. 4, г. Москва, 125009,  
Российская Федерация

Международная инженерная академия (МИА), Нижняя Красносельская ул., д. 35, стр. 9, г. Москва,  
105066, Российская Федерация

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСТРОБЕТОНА (HEMPCRETE) КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

## Аннотация

**Введение.** Статья посвящена описанию нового экологически чистого возобновляемого материала – костробетона, производство и использование которого в настоящее время только растет благодаря ряду исследований, проведенных в направлении изучения свойств этого материала. Бетон является одним из наиболее перспективных и часто используемых строительных материалов, и с каждым днем его использование увеличивается для удовлетворения потребностей быстрорастущей строительной отрасли. В последнее десятилетие рост строительной отрасли, связанный со стремительной индустриализацией, привел к увеличению спроса на бетон в качестве строительного материала и, как следствие, к производству бетона в больших масштабах, что закономерно привело к значительному выбросу парниковых газов в окружающую среду. С одной стороны, это неизбежно, но необходимо изучать альтернативы, чтобы уменьшить воздействие бетона на окружающую среду. Актуальность и новизна статьи обусловлена систематизацией большого количества данных о костробетоне с использованием современных источников как российских, так и зарубежных авторов.

**Цель.** Демонстрация основных свойств одного из экологически чистых альтернатив обычному бетону – костробетона, который является строительным материалом, получаемым из конопляных волокон, извести и воды.

**Методы.** В статье использованы теоретические методы.

**Результаты.** Исследование проводилось на теорети-

ческой базе, в результате чего автором были предложены основные данные, касающиеся свойств и некоторых преимущества костробетона.

**Выводы.** Совокупность данных, полученных в ходе исследования, дала представление о том, что рассматриваемый композитный материал обладает рядом полезных свойств, таких как низкая стоимость, доступность, тепло- и звукоизоляция, низкая плотность и устойчивость к выбросам углекислого газа, которые не оказывают негативного воздействия на производство.

**Ключевые слова:** костробетон, конопляные волокна, экологичность, тепловые свойства, долговечность, доступность, термостойкость, низкая плотность, энергоэффективность

**Для цитирования:** Афанасьева Я.В. Использование костробетона (hemcrete) как экологически чистого строительного материала // *Бетон и железобетон*. 2025. № 6 (631). С. 28–32. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-28-32](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-28-32). EDN: ALYTYH.

## 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 13.10.2025

Поступила после рецензирования 17.11.2025

Принята к публикации 20.11.2025



**Ya.V. AFANASIEVA**

Russian Academy of Engineering (RAE), Gazetny Lane, 9, bld. 4, Moscow, 125009, Russian Federation

International Academy of Engineering (IAE), Nizhnyaya Krasnoselskaya str., 35, bld. 9, Moscow, 105066, Russian Federation

# USE OF HEMPCRETE AS AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY BUILDING MATERIAL

## Abstract

**Introduction.** This article is dedicated to a new, environmentally friendly, renewable material – hemp concrete, the production and use of which is currently growing, thanks to a number of studies conducted in the direction of studying the properties of this material. Concrete is one of the most promising and frequently used building materials, and its use is increasing every day to meet the needs of the rapidly growing construction industry. In the last decade, the growth of the construction industry, driven by rapid industrialization, has led to an increase in demand for concrete as a building material and, as a result, to the production of concrete on a large scale, which has consistently resulted in significant greenhouse gas emissions. While this is inevitable, it is important to explore alternatives to reduce the environmental impact of concrete. The relevance and novelty of this article are due to the systematization of most of the data on hemp concrete using modern literature sources from both Russian and foreign authors.

**The aim** of this article is to demonstrate the main properties of one of the environmentally friendly alternatives to conventional concrete, which is a building material made from hemp fibers, lime, and water.

**Methods.** The research methods used in this article are theoretical.

**Results.** The study was conducted on a theoretical basis, and as a result, the author has provided basic information

about the properties and advantages of hemp concrete.

**Conclusions.** The research findings suggest that the composite material under consideration possesses several beneficial properties, including low cost, accessibility, thermal and sound insulation, low density, and resistance to carbon dioxide emissions, which have a positive impact on production.

**Keywords:** hemp concrete, hemp fibers, environmental friendliness, thermal properties, durability, availability, heat resistance, low density, energy efficiency

**For citation:** Afanasieva Ya.V. Use of hempcrete as an environmentally friendly building material. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 6 (631), pp. 28–32. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-28-32](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-28-32). EDN: ALYTYH.

## Author contribution statement

The author takes responsibility for all aspects of the paper.

## Funding

No funding support was obtained for the research.

## Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 13.10.2025

Revised 17.11.2025

Accepted 20.11.2025

### Введение

Бетон является одним из наиболее перспективных и часто используемых строительных материалов, и с каждым днем его использование увеличивается для удовлетворения потребностей быстрорастущей строительной отрасли. В последнее десятилетие рост строительной отрасли, связанный со стремительной урбанизацией и индустриализацией, привел к увеличению спроса на бетон в качестве строительного материала как в развитых, так и в развивающихся странах. На сегодняшний день в мире производится около 25 миллиардов тонн бетона в год. Объем рынка товарного бетона в 2024 году превысил 815,1 млрд долларов США и, по оценкам, будет расти со среднегодовым темпом роста более 8,6 % в период с 2025 по 2034 год [1].

На производство строительных материалов приходится 10 % ежегодного глобального выброса углекислого газа, в то время как на эксплуатацию зданий (отопление, охлаждение, электроснабжение и т. д.) приходится 27 % выбросов CO<sub>2</sub>. Основным ингредиентом для производства бетона является цемент. Для производства одной тонны цемента в окружающую среду выбрасывается примерно 0,98 тонны углекислого газа. Выброс этого газа является одной из основных причин глобального потепления. Вклад строительной отрасли в изменение климата обусловил в 2015 году принятие Парижского соглашения, в котором, в соответствии с Рамочной конвенцией Организации Объединенных Наций об изменении климата, были прописаны ограничения повышения глобальной температуры менее чем на 2 °C, стремясь при этом к целевому показателю в 1,5 °C. В соответствии с Парижским соглашением была разработана политика, направленная на достижение нулевого уровня выбросов парниковых газов к 2050 году.

Потребность в новых низкоуглеродистых или улавливающих углерод строительных материалах и методах их производства – это необходимый этап развития строительной отрасли в настоящее время. Проблема глобального потепления привлекает ученых к активному поиску подходящего альтернативного экологически чистого материала для строительной промышленности. Сейчас разработано несколько новых материалов, которые можно назвать экологически чистыми, или «зелеными», строительными материалами. В различных исследованиях, проведенных учеными, изучалось использование растительных волокон и иных материалов в бетоне, таких как дерево, конопля, подсолнечник, лен, сизаль и т. д.

Если говорить о таком растительном материале, как конопля, то она выращивается в тропических регионах мира и является одной из самых популярных культур. Биологическое название этого растения – *Cannabis Sativa*. Конопля – быстрорастущее расте-

ние высотой от 1,5 до 4 метров, имеющее высокие темпы роста (около 4 месяцев), что делает коноплю высокорентабельной культурой. Волокна, полученные из конопляного сырья, используются в качестве строительного материала наряду с известью и цементом [2].

Использование волокон конопли в строительной отрасли впервые было опробовано во Франции в 1990 году, хотя в прошлом конопля играла важную роль в производстве бумаги (как волокнистое растение), а 3500 лет назад, во времена правления последней династии Египта, ее перерабатывали в шнур и ткани.

Если говорить о строительной отрасли, волокна конопли стали использовать для производства бетона с меньшим весом путем изготовления смеси, состоящей из конопляного волокна (конопляной костры), извести и воды. Данный состав связывался вместе благодаря химической реакции, которая происходила при смешивании извести с водой, но до сих пор не существует стандартного состава смеси, у разных производителей состав смеси свой (рис. 1). Полученный материал имел ряд преимуществ, таких как низкая плотность – плотность костробетона колеблется в пределах 93,6 до 136,4 кг/м<sup>3</sup>, высокие звукоизоляционные свойства, возобновляемость и доступность, а также пассивный контроль влажности. Поры в костробетоне могут создавать дышащую структуру, которая поглощает влагу из окружающей среды и контролирует резкие перепады температуры и влажности. Термостойкие свойства костробетона позволяют каркасу здания нагреваться и оставаться теплым даже при изменении погодных условий.

Конопля – сельскохозяйственный продукт, поэтому она является углеродно-отрицательным материалом, который не выделяет углекислого газа в процессе производства. Конопля способна накапливать больше углерода на гектар, чем почти любое другое растение, включая деревья, благодаря своим быстрым темпам роста. При изготовлении костробетона, после того как биомасса перерабатывается, смешивается с известью и вводится в конструкцию, углерод удерживается на протяжении всего срока службы конструкции. Известь также обеспечивает баланс энергии, используемой при ее производстве, удаляя CO<sub>2</sub> из воздуха по мере застывания. Коноплю можно использовать в качестве наполнителя для строительства экологических и устойчивых конструкций. Конопля – это экологически чистый строительный материал с широким спектром применения, ожидается, что в будущем она станет ценной культурой (рис. 2).



**Рис. 1.** Hempcrete – костробетон (интернет-источник: <https://i.pinimg.com/originals/ad/8a/38/ad8a3888bc4b8903f67b464ea787563d.jpg>)  
**Fig. 1.** Hempcrete (online source: <https://i.pinimg.com/originals/ad/8a/38/ad8a3888bc4b8903f67b464ea787563d.jpg>)



**Рис. 2.** Строение из костробетона  
 (интернет-источник: <https://admin.business-platform.ru/storage/110624/conversions/gallery-smi4d8-large.jpg>)  
**Fig. 2.** Hempcrete structure (online source: <https://admin.business-platform.ru/storage/110624/conversions/gallery-smi4d8-large.jpg>)

Многие европейские страны изменили свои законы, чтобы разрешить производство и переработку конопли технического назначения. Сырье для костробетона станет более доступным по мере распространения выращивания конопли по всему миру и упрощения работы перерабатывающих предприятий. Например, в настоящее время во Франции (стране, которая первой применила коноплю в строительной отрасли в начале 1990-х годов) конопля производится объемом более 40 тонн в год, а лидером по производству конопли является Китай. Популярность этого материала за последние годы в мире многократно

возросла в результате многочисленных исследований в этой области [3, 4]. Однако в России применение конопляного бетона ограничено из-за законодательных запретов на выращивание конопли.

### Выводы

Потенциал костробетона, как экологически чистого материала, заключается в том, что он позволяет экономить углерод, помогает контролировать влажность в доме, обеспечивая больший комфорт при более низкой температуре и снижая расходы на электроэнергию.

Термостойкие свойства данного материала позволяют каркасу здания нагреваться и оставаться теплым даже при изменении погодных условий.

Костробетон обладает очевидными преимуществами в своей способности противостоять плесени, бактериям и сырости, которые являются распространенными проблемами для домовладельцев в старых зданиях и могут вызывать серьезные проблемы с дыханием.

Бетон и костробетон являются огнестойкими материалами и хорошо сохраняют тепло.

Костробетон не только помогает защитить окружающую среду от глобального потепления и изменения климата, но и обеспечивает комфорт в конструкциях.

Это – экологичный материал будущего, и он может помочь развиваться строительной отрасли более экологичным образом, что приведет к улучшению результатов строительства.

#### Список литературы / References

1. 2025: Аналитика рынка бетона в России показала пиковый 14 % рост. Режим доступа: <https://www.sostav.ru/blogs/32702/62603?ysclid=mgo5xzcdk8292002402>.
1. 2025: Concrete market analytics in Russia showed a peak 14 % growth. Available at: <https://www.sostav.ru/blogs/32702/62603?ysclid=mgo5xzcdk8292002402>.
2. Sudarshan D. Kore, Sudarsan J.S. Hemp concrete: A sustainable green material for conventional concrete. *Journal of Building Material Science*. 2021, vol. 3, iss. 2, pp. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.30564/jbms.v3i2.3189>.
3. Ali M. Memari, Nadia Mirzai, Mahsa Hashemi, Xinrui Lu, Corey Gracie-Griffin, Hojae Yi, Sarah Klinetob Lowe. In-situ measurement of residential buildings with hempcrete walls: a case study. *Frontiers in Sustainability*. 2024, vol. 5. DOI: <https://doi.org/10.3389/frsus.2024.1508940>.
4. Kari Steyn, Wibke de Villiers, Adewumi John Babafemi. A comprehensive review of hempcrete as a sustainable building material. *Innovative Infrastructure Solutions*. 2025, vol. 10, article number 97. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41062-025-01906-1>.

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

**Яна Владимировна Афанасьева**, инженер, член-корреспондент РИА и МИА, Москва  
e-mail: [info.tupolev@yandex.ru](mailto:info.tupolev@yandex.ru)

**Yana V. Afanasieva**, Engineer, Corresponding Member of the RAE and IAE, Moscow  
e-mail: [info.tupolev@yandex.ru](mailto:info.tupolev@yandex.ru)



УДК 629.369:69.002.5:693.556

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-33-42](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-33-42)**Г.В. КУСТАРЕВ<sup>1</sup>, Р.Г. ДАНИЛОВ<sup>1,2,✉</sup>, Н.М. АНДРЮХОВ<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup> Российская инженерная академия (РИА), Газетный пер., д. 9, стр. 4, г. Москва, 125009, Российская Федерация

<sup>2</sup> Государственный научный центр Российской Федерации Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ» (ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»), ул. Автомоторная, д. 2, г. Москва, 125438, Российская Федерация

<sup>3</sup> Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Ленинградский пр-т, д. 64, г. Москва, 125319, Российская Федерация

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АВТОБЕТОНОСМЕСИТЕЛЕЙ И ОБОБЩЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ МЕТОДОМ ПОДОБНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

## Аннотация

**Введение.** Повышение эффективности использования строительных машин, в частности автобетоносмесителей, является важной задачей строительного производства, влияющей на снижение стоимости строительства и повышение эффективности использования машин.

**Цель.** Показать возможности рассматриваемого метода физического масштабного моделирования для определения оптимальных параметров машин в заданных условиях эксплуатации.

**Материалы и методы.** Оптимальные параметры автобетоносмесителей определялись анализом математических моделей продолжительности рабочего цикла автобетоносмесителей, полученные оптимальные решения масштабировались на различные условия эксплуатации с использованием рассмотренной в статье теории подобия.

**Результаты.** В статье приведены графики, полученные по предложенным методам, демонстрирующие наличие оптимальных зон эффективного использования автобетоносмесителей в определенных условиях эксплуатации.

**Выводы.** Рассмотренные положения показывают, что для автобетоносмесителей между главными техническими параметрами ( $m$ ,  $N$ ,  $q$ ,  $T$ ,  $l$ ) имеют место соотношения, характеризующиеся масштабными коэффициентами.

**Ключевые слова:** автобетоносмесители, оптимальные параметры, мощность двигателя, вместимость по выходу готовой смеси, полная масса, дальность передвижения, средняя скорость движения, радиус действия, оптимальная дальность

**Для цитирования:** Кустарев Г.В., Данилов Р.Г., Андрюхов Н.М. Определение параметров автобетоносмесителей и обобщение оптимальных решений методом подобных преобразований // Бетон и железобетон. 2025. № 6 (631). С. 33–42. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-33-42](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-33-42). EDN: AYJDJI.

## Вклад авторов

Кустарев Г.В. – концепция, административное управление проектом, надзор и редактирование.

Данилов Р.Г. – ресурсы, написание статьи.

Андрюхов Н.В. – формальный анализ, подготовка данных, визуализация.

## Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 03.10.2025

Поступила после рецензирования 18.11.2025

Принята к публикации 20.11.2025

G.V. KUSTAREV<sup>1</sup>, R.G. DANILOV<sup>1,2,✉</sup>, N.M. ANDRYUKHOV<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Russian Academy of Engineering (RAE), Gazetny Lane, 9, bld. 4, Moscow, 125009, Russian Federation

<sup>2</sup> State Scientific Center of the Russian Federation Federal State Unitary Enterprise "Central Research Automobile and Auto-Motor Institute "NAMI" (SSC RF FSUE "NAMI"), Avtomotornaya str., 2, Moscow, 125438, Russian Federation

<sup>3</sup> Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI), Leningradsky Prospekt, 64, Moscow, 125319, Russian Federation

# DETERMINATION OF PARAMETERS OF CONCRETE MIXERS AND GENERALIZATION OF OPTIMAL SOLUTIONS BY THE METHOD OF SIMILAR TRANSFORMATIONS

## Abstract

*Introduction.* Increasing of the efficiency of using of the construction machinery, in particular, concrete mixers, is an important task of construction production, affecting the reduction of construction costs and increasing the efficiency of machine use.

*The aim* is to show the possibilities of the considered method of physical large-scale modeling for determining the optimal parameters of machines under given operating conditions.

*Materials and methods.* The optimal parameters of concrete mixers were determined by analyzing mathematical models of the working cycle duration of concrete mixers, the optimal solutions obtained were scaled to various operating conditions using the similarity theory discussed in the article.

*Results.* The article presents graphs obtained using the proposed methods, demonstrating the presence of optimal zones of efficient use of concrete mixers under certain operating conditions.

*Conclusions.* The considered provisions show that for concrete mixers, there are ratios between the main technical parameters  $m$ ,  $N$ ,  $q$ ,  $T$ ,  $l$  characterized by scale coefficients.

**Keywords:** concrete mixer trucks, optimal parameters, engine power, finished mix output capacity, total weight, travel distance, average travel speed, radius of action, optimal travel distance

**For citation:** Kustarev G.V., Danilov R.G., Andryukhov N.M. Determination of parameters of concrete mixers and generalization of optimal solutions by the method of similar transformations. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 6 (631), pp. 33–42. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-33-42](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-33-42). EDN: AYJDJI.

## Authors contribution statement

Kustarev G.V. – concept, project administration, supervision and editing.

Danilov R.G. – resources, writing an article.

Andryukhov N.V. – formal analysis, data preparation, visualization.

## Funding

No funding support was obtained for the research.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 03.10.2025

Revised 18.11.2025

Accepted 20.11.2025

Обобщение оптимального решения иллюстрируется на основании рассмотрения проектируемой машины в виде подобного объекта группы подобных машин. Объединение анализа математических моделей продолжительности рабочего цикла и теории подобия позволяет решить две задачи: получить оптимальный результат методом минимизации математической модели продолжительности рабочего цикла и обобщить результат на другие подобные объекты техники и условия эксплуатации.

Анализ математических моделей продолжительности рабочего цикла подробно изложен в работах проф. В.И. Баловнева [1, 2].

Теория подобия является теоретической основой обобщения экспериментального результата или оптимального теоретического решения на подобные объекты техники – это синтез моделирования и эксперимента. Она является руководством по экспериментальному изучению объекта, обобщению и отражению полученного результата на другие объекты. Теория подобия и моделирования основывается на трех теоремах подобия и дополнительных положениях [3].

Первая теорема подобия формулирует свойства подобных систем, утверждая, что подобные явления имеют равные критерии подобия. Это важное и необходимое условие подобия. При этом важно принимать во внимание одно из основных дополнений к теоремам подобия – *дополнение о не единственности получаемого решения*. Это позволяет говорить о наличии приближенного подобия систем. Ряд графиков, приведенных в работе, подтверждает это положение.

Критерии подобия – безразмерные комплексы, которые рассматриваются как некоторая средняя мера отношения интенсивности физических эффектов, существенных для исследуемого процесса. *Если критерии подобия объектов (явлений) соответственно равны, то объекты (явления) подобны*.

Теория подобия исходит из тех же предпосылок, что и аналитический расчет: должны быть заданы начальные (граничные) условия, параметры и координаты исследуемого процесса. Теория подобия, таким образом, служит связующим звеном между теорией и экспериментом.

*Равенство критериев подобия технических объектов позволяет рассматривать объекты подобными*. Связи между параметрами подобных транспортно-технологических машин далее определяются на основании критериев подобия (здесь) при установившемся процессе взаимодействия движителя машины с дорожным покрытием. Это позволяет получить более простые зависимости. В условиях технологии работы транспортно-технологических машин при малых скоростях движения ошибка от несоблюдения критериев подобия, появляющаяся при установившемся режиме движения машины, не превышает допустимой.

Критерии подобия определяются из уравнения установившегося движения машины в качестве простейшего примера и уравнений механики:

$$T = W_{\text{см}} + W_{\text{м}}; N = T \times v_p; T = \varphi_c \times mg; W_{\text{м}} = f \times mg;$$

$$W_{\text{см}} = q \times g \times \gamma \times f_{\text{м}}; q \approx \beta.$$

Выше приняты следующие обозначения:

$T$  – тяговое усилие, развиваемое базовым автомобилем, Н;

$\varphi_c$  – коэффициент сцепления колес автомобиля с дорогой;

$W_{\text{см}}$  – сопротивление перемещению материала (в барабане), Н;

$W_{\text{м}}$  – сопротивление передвижению автобетоносмесителя, Н;

$v_p$  – скорость движения автобетоносмесителя, м/с;

$m$  – масса машины, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$f$  – коэффициент сопротивления передвижению;

$f_{\text{м}}$  – коэффициент внешнего трения материала (в барабане);

$q$  – вместимость барабана по выходу готовой смеси, м<sup>3</sup>;

$\gamma$  – объемный вес бетонной смеси, Н/м<sup>3</sup>;

$l$  – обобщенный линейный размер системы, м.

Делением параметров на один из них получают безразмерные комплексы – критерии подобия:

$$\Pi_1 = q \times g \times \gamma \times f_{\text{м}}/T; \Pi_2 = q \times \gamma/m; \Pi_5 = T \times v_p/N; \quad (1)$$

$$\Pi_3 = f \times mg/T; \Pi_4 = \varphi_c \times mg/T; \Pi_6 = \beta/q.$$

Критерии подобия представляют собой отношения физических эффектов, характеризующих систему «машина – материал»: сил сопротивления движению машины, перемещению объема материала и самой машины к тяговому усилию, развиваемому движителем и др. Критерии подобия для подобных машин являются равными. Из равенства критериев подобных машин получают *индикаторы подобия – математические связи между масштабными величинами, входящими в критерии подобия*.

Индикаторы подобия у подобных машин равны единице.

$$K_q \times K_{\gamma} K_g K_f/K_T = 1; K_m \times K_g \times K_f/K_T = 1; K_f \times K_T K_{\gamma}/K_N = 1; \quad (2)$$

$$K_{\varphi_{\text{сц}}} \times K_m K_g/K_T = 1; K_q \times K_{\gamma}/K_m = 1; K_f^3/K_q = 1.$$

Рассматриваемые машины работают в одинаковых условиях и с равными рабочими скоростями. В этом случае масштабы величин  $\gamma, f, f_{\text{м}}, g, \varphi_c, v_p$  будут равны единице:  $K_{\gamma} = 1; K_f = 1; K_m = 1; K_g = 1; K_{\varphi_{\text{сц}}} = 1; K_{\gamma} = 1$ .

Индикаторы подобия упрощаются и приобретают вид:

$$K_q/K_T = 1; K_m/K_T = 1; K_T/K_N = 1; K_m/K_T = 1; \quad (3)$$

$$K_q/K_m = 1; K_l^3/K_q = 1.$$

В системе индикаторов подобия полученные выражения определяются на основании равенства крите-

риев подобия оригинала и модели в виде отношения сил различной природы к тяговому усилию движителя и тяговой мощности.

Система отношений между основными параметрами подобных машин, как следует из зависимостей (1)–(3), может быть представлена в виде табл. 1. Расчет коэффициентов пропорциональности для параметров подобных машин осуществляется по формулам, приведенным в табл. 2.

Таблица 1

**Формулы для определения основных технических параметров автобетоносмесителей**

Table 1

**Formulas for the determination of the main technical parameters of concrete mixer trucks**

Рассчитываемый параметр	Определяющий параметр				
	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>m</i>	<i>q</i>	<i>l</i>
Мощность, <i>N</i>	–	$k_1 \times T$	$k_2 \times m$	$k_3 \times q$	$k_4 \times l^3$
Тяговое усилие, <i>T</i>	$k_5 \times N$	–	$k_6 \times m$	$k_7 \times q$	$k_8 \times l^3$
Масса, <i>m</i>	$k_9 \times N$	$k_{10} \times T$	–	$k_{11} \times q$	$k_{12} \times l^3$
Вместимость барабана, <i>q</i>	$k_{13} \times N$	$k_{14} \times T$	$k_{15} \times m$	–	$k_{16} \times l^3$
Линейный размер, <i>l</i>	$k_{17} \times N^{1/3}$	$k_{18} \times T^{1/3}$	$k_{19} \times m^{1/3}$	$k_{20} \times q^{1/3}$	–
Вместимость бака для воды, <i>q<sub>в</sub></i>	$k_{21} \times N$	$k_{22} \times T$	$k_{23} \times m$	$k_{24} \times q$	$k_{25} \times l^3$
Грузоподъемность, <i>m<sub>гр</sub></i>	$k_{26} \times N$	$k_{27} \times T$	$k_{28} \times m$	$k_{29} \times q$	$k_{30} \times l^3$
Рабочая скорость, <i>v<sub>p</sub></i>	$v_p = \text{const}$				

Таблица 2

**Коэффициенты пропорциональности для подобных автобетоносмесителей**

Table 2

**Proportionality coefficients for similar concrete mixer trucks**

Коэффициент	Расчетная зависимость	Коэффициент	Расчетная зависимость	Коэффициент	Расчетная зависимость
$k_1$	$\frac{N_0}{T_0}$	$k_{11}$	$\frac{m_0}{q_0}$	$k_{21}$	$\frac{q_{в0}}{N_0}$
$k_2$	$\frac{N_0}{m_0}$	$k_{12}$	$\frac{m_0}{l_0^3}$	$k_{22}$	$\frac{q_{в0}}{T_0}$
$k_3$	$\frac{N_0}{q_0}$	$k_{13}$	$\frac{q_0}{N_0}$	$k_{23}$	$\frac{q_{в0}}{m_0}$
$k_4$	$\frac{N_0}{l_0^3}$	$k_{14}$	$\frac{q_0}{T_0}$	$k_{24}$	$\frac{q_{в0}}{q_0}$
$k_5$	$\frac{T_0}{N_0}$	$k_{15}$	$\frac{q_0}{m_0}$	$k_{25}$	$\frac{q_{в0}}{l_0^3}$



Продолжение таблицы 1

$k_6$	$\frac{T_0}{m_0}$	$k_{16}$	$\frac{q_0}{l_0^3}$	$k_{26}$	$\frac{m_{\text{гп}0}}{N_0}$
$k_7$	$\frac{T_0}{q_0}$	$k_{17}$	$\frac{l_0}{N_0^{1/3}}$	$k_{27}$	$\frac{m_{\text{гп}0}}{T_0}$
$k_8$	$\frac{T_0}{l_0^3}$	$k_{18}$	$\frac{l_0}{T_0^{1/3}}$	$k_{28}$	$\frac{m_{\text{гп}0}}{m_0}$
$k_9$	$\frac{m_0}{N_0}$	$k_{19}$	$\frac{l_0}{m_0^{1/3}}$	$k_{29}$	$\frac{m_{\text{гп}0}}{q_0}$
$k_{10}$	$\frac{m_0}{T_0}$	$k_{20}$	$\frac{l_0}{q_0^{1/3}}$	$k_{30}$	$\frac{m_{\text{гп}0}}{l_0^3}$

Коэффициенты пропорциональности устанавливаются по параметрам существующей высокоэффективной машины, принимаемой за эталон (рис. 1), или параметрам, замеренным на соответствующей модели новой техники, которая показывает высокую эффективность, или устанавливаются аналитически, например методом минимизации продолжительности рабочего процесса машины.

Машины определенного технологического назначения являются подобными техническими объектами. Машины и рабочие процессы машин описываются одинаковыми уравнениями технической механики и имеют равные критерии подобия  $\Pi_i = \text{iden}$ .

Из равенства критериев подобия и анализа индикаторов подобия следует, что между основными техническими параметрами машин ( $m$ ,  $N$ ,  $q$ ,  $T$ ,  $l$  и др.) имеют место связи подобия. Такие зависимости получают на базе анализа соответствующих индикаторов подобия.

Анализ рабочего цикла автобетоносмесителя и определение оптимальных значений массы, мощности, производительности приведены в работе [4]. Для автобетоносмесителей имеют место подобные соотношения по основным техническим параметрам: массе ( $m$ ), вместимости барабана ( $q$ ), мощности ( $N$ ) и др.

Анализ критериев подобия автобетоносмесителей, выполняющих подобные технологические операции, показывает, что они являются подобными техническими системами. Они имеют равные критерии подобия и описываются одинаковыми уравнениями механики. Технические параметры таких систем связаны уравнениями подобных преобразований. Графики на рис. 2 и 3 подтверждают это положение. Следует подчеркнуть, что связи линейных размеров  $l$  с основными техническими параметрами ( $m$ ,  $N$ ,  $q$ ,  $T$  и др.) имеют место для линейных размеров, не ограниченных специальными требованиями (транспортные габариты и др.). Рассчитываются эти параметры на основании законов подобия.

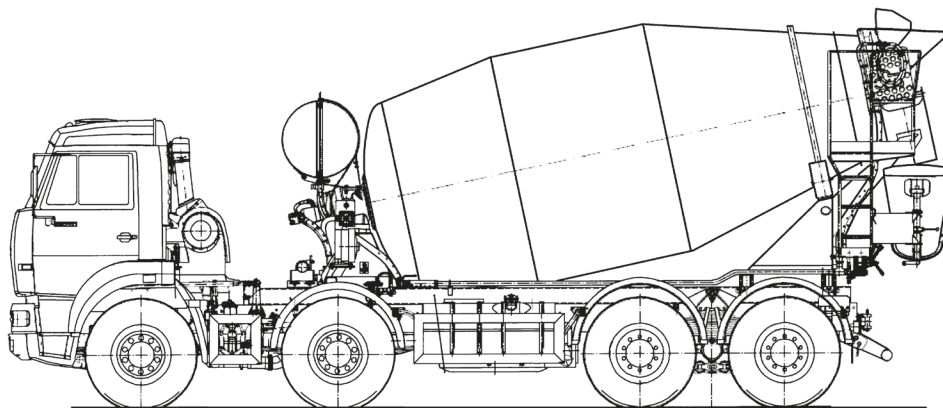
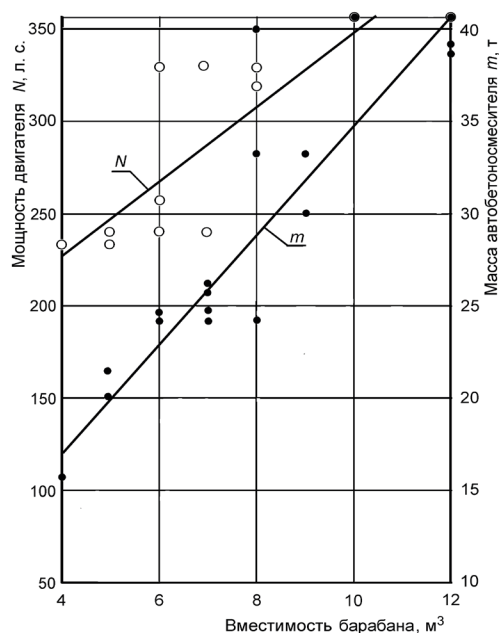


Рис. 1. Автобетоносмеситель, принятый за эталон  
Fig. 1. Concrete mixer truck accepted as a reference

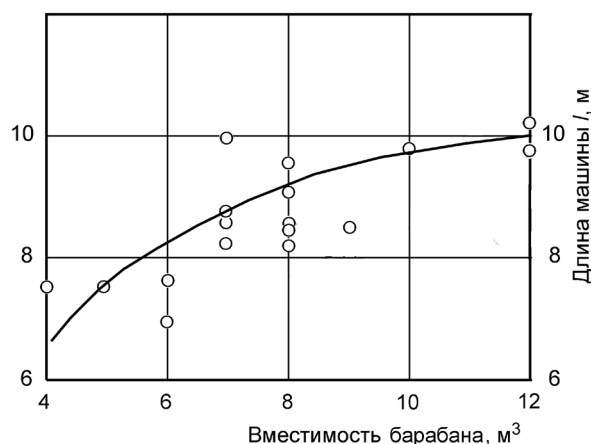
Коэффициенты подобных преобразований (табл. 2) определяются на основании параметров машины, выбранной за эталон. Зависимости для определения оптимальных параметров обобщаются методами подобных преобразований на машины, выполняющие подобные технологические процессы.

Графики на рис. 4–6 показывают, что машины с определенными техническими параметрами ( $m, N, q$ ) позволяют получить эффективный результат в опре-

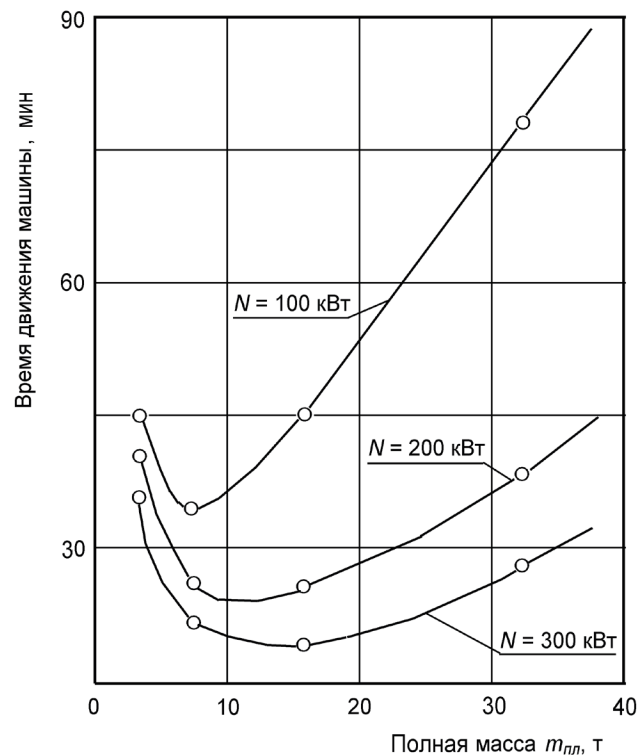
деленных условиях работы (рабочий ход  $l_p$ , холостой ход  $l_x$ ,  $v_p$ ,  $\varphi_c$ ,  $f$  и др.). В других условиях эффективность машин снижается. Следует подчеркнуть, что машины с более высокими энергетическими параметрами имеют более широкий диапазон рабочих условий, в которых машина дает высокий или близкий к наибольшему эффект. Машины имеют более широкий спектр условий оптимального применения.



**Рис. 2.** Изменение мощности двигателя и массы автобетоносмесителя от вместимости барабана по выходу готовой смеси  
**Fig. 2.** Change in engine power and truck mixer weight depending on the drum capacity and the output of the finished mixture

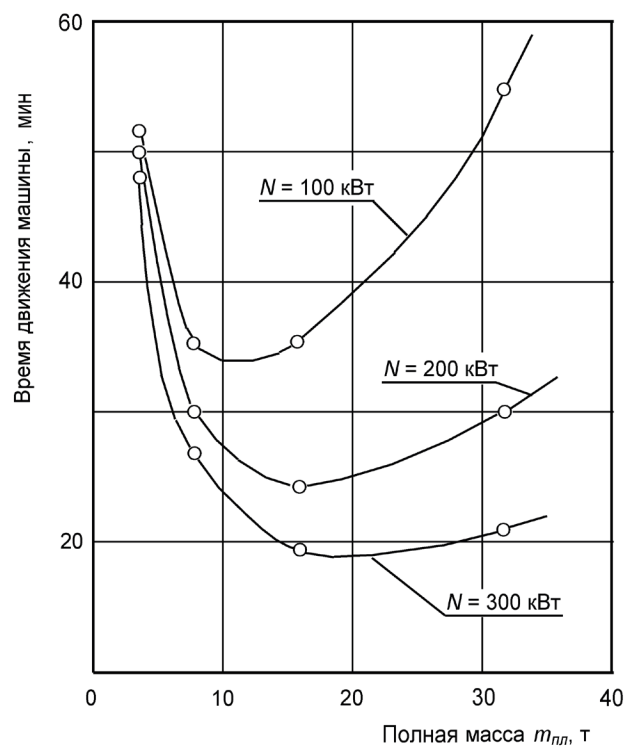


**Рис. 3.** Изменение длины автобетоносмесителя в зависимости от вместимости смесительного барабана  
**Fig. 3.** The change of the length of the concrete mixer truck depending on the capacity of the mixing drum



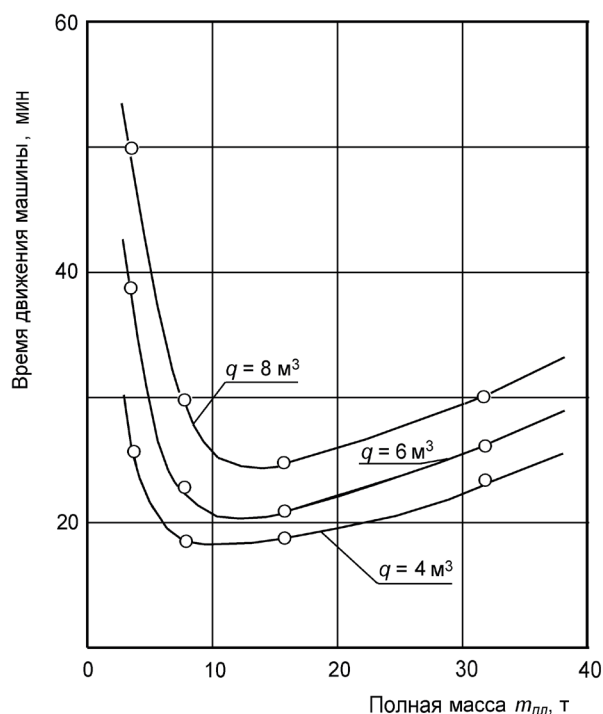
**Рис. 4.** Изменение времени движения от полной массы автобетоносмесителя при средней скорости движения 40 км/ч, объеме барабана 4 м³ и дальности передвижения 18 км

**Fig. 4.** The change of the travel time depending on the total mass of the concrete mixer truck at an average speed of 40 km/h, a drum volume of 4 m³ and a range of 18 km



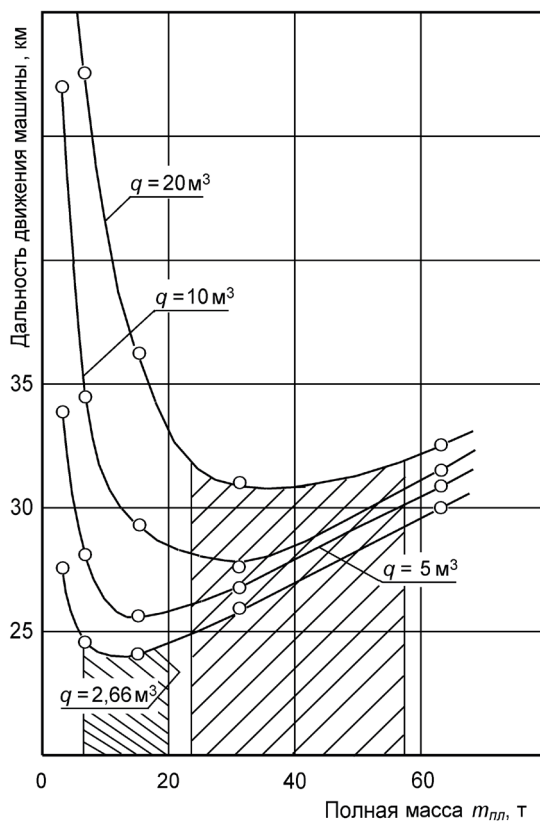
**Рис. 5.** Изменение времени движения от массы автобетоносмесителя при средней скорости движения 40 км/ч, объеме барабана 8 м³ и дальности передвижения 18 км

**Fig. 5.** The change of the travel time depending on the total mass of the concrete mixer truck at an average speed of 40 km/h, a drum volume of 8 m³ and a range of 18 km



**Рис. 6.** Изменение времени движения от массы и объема смесительного барабана автобетоносмесителя при средней скорости движения 40 км/ч, мощности 200 кВт и дальности передвижения 18 км

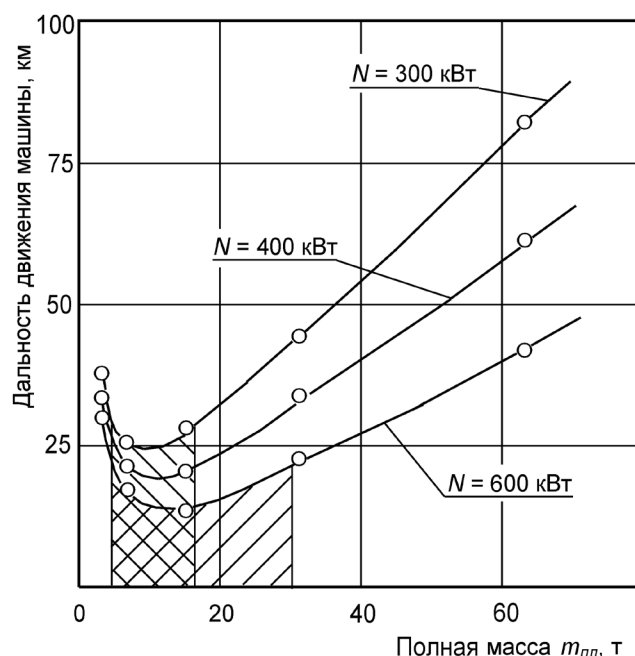
**Fig. 6.** Change in travel time depending on the mass and volume of the concrete mixer's mixing drum at an average speed of 40 km/h, a power of 200 kW, and a travel distance of 18 km



**Рис. 7.** Изменение дальности передвижения от полной массы и вместимости барабана машины при скорости движения 60 км/ч и мощности 230 кВт

**Fig. 7.** The change of the range of movement depending on the total weight and capacity of the machine drum at a speed of 60 km/h and a power of 230 kW





**Рис. 8.** Изменение дальности передвижения от полной массы и мощности двигателя машины при скорости движения 60 км/ч и объеме барабана 9 м<sup>3</sup>

**Fig. 8.** The change of the range of movement depending on the total weight and engine power of the car at a speed of 60 km/h and a drum volume of 9 m<sup>3</sup>

На графиках (рис. 7 и 8) показано, что для автобетоносмесителей оптимальная дальность (радиус действия) имеет оптимальную область для машин с определенными техническими параметрами.

Предложенные математические модели позволяют определить оптимальные технические параметры автобетоносмесителей или решить обратную задачу по определению места расположения цементобетонных заводов в определенном удалении от объектов строительства. Из графиков следует, что более энергонасыщенные и грузоподъемные машины имеют более широкую зону оптимального применения. Зона оптимальной дальности рабочего цикла на графиках (рис. 7 и 8) заштрихована. Машины могут работать и за пределами оптимальной зоны, но эффект будет существенно ниже (расход топлива выше, время движения больше).

Графики построены по зависимостям, полученным на основании анализа законов механики и теории подобия технических систем. Нет необходимости использования методов регрессионного анализа по двум причинам. Связи между параметрами установлены на основании законов механики, что дает возможность определить причинно-следственные связи между параметрами. Регрессионные зависимости отражают следствие процесса и не раскрывают причины и характер протекания самого явления. Регрессионные зависимости используются при анализе процессов, для которых аналитические закономерности не установлены (например, при установлении рыночных связей между параметрами и стоимостью

машин). Однако в этом случае регрессионные зависимости фиксируют следствие, не вскрывая причины протекания рыночного процесса и рыночных закономерностей.

Рассмотренные положения показывают, что для автобетоносмесителей между главными техническими параметрами ( $m$ ,  $N$ ,  $q$ ,  $T$ ,  $I$  и др.) имеют место отношения, характеризующиеся соответственными масштабными коэффициентами.

На этапе проектирования установленные технические параметры машины ( $m$ ,  $N/m$ ,  $N$ ,  $\Pi$ ) являются исходной базой для проведения предварительных расчетов (тягово-динамических, энергетических, прочностных, экологических, технико-экономических и других).

На этапе эксплуатации предложенный метод позволяет установить рациональное значение основных технических параметров автобетоносмесителя ( $m$ ,  $N/m$ ,  $\Pi$ ), по которым осуществляется выбор машины в зависимости от конкретных условий эксплуатации.

#### Список литературы

1. Баловнев В.И. Оптимизация и выбор инновационных систем и процессов транспортно-технологических машин: учеб. пособие. Москва: Техполиграфцентр, 2014. 390 с.
2. Дорожно-строительные машины и комплексы: учебник для вузов по спец. «Строительные и дорожные машины и оборудование» / В.И. Баловнев, С.Н. Глаголев, Г.В. Кустарев, Р.Г. Данилов,

Н.Д. Селиверстов, Н.М. Андрюхов, М.Д. Герасимов; под общ. ред. В.И. Баловнева, С.Н. Глаголева. 3-е изд., перераб. и доп. Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. 523 с.

3. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. 2-е изд. Москва: Машиностроение, 1994. 432 с.
4. Кустарев Г.В. Автобетоносмесители. Устройство, основы расчета: учеб. пособие / Г.В. Кустарев, Р.Г. Данилов, Н.М. Андрюхов; под общ. ред. проф. Г.В. Кустарева. Москва: МАДИ, 2025. 126 с.

#### References

1. Balovnev V.I. Optimization and selection of innovative systems and processes of transport and technological machines: textbook. manual. Moscow: Tekhpologitsentr, 2014, 390 p. (In Russian).
2. Road-construction machines and complexes: Textbook for universities in the specialty "Construction and road machines and equipment" / V.I. Balovnev, S.N. Glagolev, G.V. Kustarev, R.G. Danilov, N.D. Seliverstov, N.M. Andryukhov, M.D. Gerasimov; under the general editorship of V.I. Balovnev, S.N. Glagolev. 3rd ed., revised. and additional. Belgorod: Publishing house of BSTU, 2020, 523 p. (In Russian).
3. Balovnev V.I. Modeling of processes of interaction with the environment of working bodies of road-construction machines. 2nd ed. Moscow: Mashinostroenie, 1994, 432 p. (In Russian).
4. Kustarev G.V. Concrete mixers. Device, calculation principles: textbook / G.V. Kustarev, R.G. Danilov, N.M. Andryukhov; under the general editorship of prof. G.V. Kustarev. Moscow: MADI, 2025, 126 p. (In Russian).

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

**Геннадий Владимирович Кустарев**, канд. техн. наук, вице-президент, РИА, Москва

**Gennady V. Kustarev**, Cand. Sci. (Engineering), Vice President, RAE, Moscow

**Роман Геннадиевич Данилов**✉, канд. техн. наук, начальник отдела Центра «СТС», Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ»; член-корреспондент, РИА, Москва

e-mail: rgdanilov@yandex.ru

**Roman G. Danilov**✉, Cand. Sci. (Engineering), Head of Department of the "STS" Center, Central Research Automobile and Auto-Motor Institute "NAMI"; Corresponding Member, RAE, Moscow

e-mail: rgdanilov@yandex.ru

**Никита Михайлович Андрюхов**, канд. техн. наук, доцент, заведующий лабораторией физического моделирования кафедры ПРАДМ, МАДИ; член-корреспондент, РИА, Москва

**Nikita M. Andryukhov**, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Laboratory of Physical Modeling of the Department of PRADM, Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI); Corresponding Member, RAE, Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

УДК 624–2/–9

[https://doi.org/10.37538/0005–9889–2025–6\(631\)–43–55](https://doi.org/10.37538/0005–9889–2025–6(631)–43–55)**Т.А. ИВАНОВА, А.Д. ЖУКОВ<sup>✉</sup>**

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»,  
улица им. Калинина, д. 13, г. Краснодар, 350044, Российская Федерация

# ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ НЕСУЩЕГО СЛОЯ ТОРКРЕТБЕТОНА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

## Аннотация

**Введение.** В статье рассматривается зарубежный опыт применения торкретбетона в строительной отрасли. Произведен анализ по подбору состава, технологии нанесения торкретбетонной смеси. Описана разработка и производство форм для изготовления образцов. Выполнено изготовление образцов с выбранной технологией «мокрого» торкретирования. Экспериментальные исследования проводились в два этапа: на первом этапе произведено изготовление индивидуальной опалубки с применением аддитивных технологий; на втором – испытание экспериментальных образцов и анализ результатов произведены согласно действующим нормам. Анализ результатов представлен в табличной и графической формах. Выявлена эффективная толщина несущего слоя из торкретбетона для возведения инженерных сооружений.

**Цель.** Разработать съемную опалубку для проведения экспериментальных исследований толщины несущего слоя торкретбетона и изучить его влияние на прочностные характеристики несущих конструкций.

**Материалы и методы.** Экспериментальное исследование проведено в лабораторных условиях с применением аттестованного оборудования согласно существующим нормативным документам.

**Результаты.** Была разработана конструкция разборной опалубки для создания лабораторных образцов с различной толщиной несущего слоя торкретбетона, подобрана рецептура торкретбетонной смеси. По результатам выполнено сравнение прочности образцов торкретбетона с различной толщиной. Установлена толщина несущего слоя для инженерных сооружений, также даны рекомендации применения толщины слоя торкретбетона для футеровок, инженерных сооружений, гражданских зданий.

**Выводы.** Предложена конструкция разборной опалубки для экспериментальных образцов. При проведении испытаний учитывался опыт применения торкрет-

бетона в строительстве. Анализ экспериментальных данных показал схожесть работы торкретбетона с обычным бетоном, что подтверждено результатами испытаний 18-ти образцов торкретбетона с различной толщиной и соответствует действующим нормам. С учетом проведенных рецептурных исследований необходимо провести дополнительные испытания для фиброторкретбетонов.

**Ключевые слова:** торкретбетон, испытание разрушающим контролем, контрольные образцы, технология мокрого торкретирования, осевая прочность торкретбетона, съемная опалубка, аддитивные технологии, 3D-моделирование, опытные образцы

**Для цитирования:** Иванова Т.А., Жуков А.Д. Влияние толщины несущего слоя торкретбетона на прочностные характеристики несущих конструкций // *Бетон и железобетон*. 2025. № 6 (631). С. 43–55. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-43-55](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-43-55). EDN: FQKW RG.

## Вклад авторов

Иванова Т.А. – разработка рецептуры, подбор составов, написание и редактирование статьи.

Жуков А.Д. – разработка и изготовление съемной опалубки, изготовление бетонной смеси, изготовление образцов, проведение лабораторного контроля, написание статьи.

## Финансирование

Исследование выполнено за счет собственных средств авторов.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 06.10.2025

Поступила после рецензирования 10.11.2025

Принята к публикации 13.11.2025

T.A. IVANOVA, A.D. ZHUKOV✉

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", Kalinin str., 13, Krasnodar, 350044, Russian Federation

# THE EFFECT OF THE THICKNESS OF THE LOAD—BEARING LAYER OF SHOTCRETE ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF LOAD—BEARING STRUCTURES

## Abstract

**Introduction.** This article examines international experience with shotcrete application in the construction industry. An analysis of the composition and application technology of the shotcrete mixture is provided. The development and production of molds for sample preparation is described. Samples were manufactured using the selected technology of wet shotcrete. The experimental studies were conducted in two stages: in the first stage, custom formwork was manufactured using additive technologies. In the second stage, testing of the experimental samples and analysis of the results were conducted in accordance with current regulations. The analysis of the results is presented in tabular and graphical formats. The effective thickness of the shotcrete load-bearing layer for the construction of engineering structures is determined.

**Aim.** To develop removable formwork for experimental studies of the thickness of the shotcrete load-bearing layer and study its effect on the strength properties of load-bearing structures.

**Materials and methods.** The experimental study was conducted in laboratory conditions using certified equipment in accordance with existing regulatory documents.

**Results.** A collapsible formwork design was developed for the laboratory samples with varying thicknesses of the shotcrete bearing layer creation, and a shotcrete mix formulation was selected. Based on the results, the strength of shotcrete samples with different thicknesses was compared. The bearing layer thickness for engineering structures was determined, and recommendations for the appropriate shotcrete layer thickness for linings, engineering structures, and civil buildings were provided.

**Conclusions.** A collapsible formwork design for experimental samples was proposed. The experience of the shotcrete application in construction was taken into account during testing. Analysis of the experimental data showed that shotcrete performs similarly to conventional concrete, as confirmed by test results on 18 shotcrete samples with varying thicknesses and complies with current standards. Taking into account the formulation studies conducted, additional testing is necessary for fiber-reinforced shotcrete.

**Keywords:** shotcrete, destructive testing, control samples, wet shotcrete technology, axial strength of shotcrete, removable formwork, additive technologies, 3D modeling, prototypes

**For citation:** Ivanova T.A., Zhukov A.D. The effect of the thickness of the load-bearing layer of shotcrete on the strength characteristics of load-bearing structures. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 6 (631), pp. 43–55. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-43-55](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-43-55). EDN: FQKWRG.

## Authors contribution statement

Ivanova T.A. – formulation development, composition selection, article writing and editing.

Zhukov A.D. – formwork development and fabrication, concrete mixing, samples preparation, laboratory testing, article writing.

## Funding

The study was funded by the authors.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 06.10.2025

Revised 10.11.2025

Accepted 13.11.2025



### Введение

Зарубежный опыт торкретирования начинается с изобретения Карлом Эйкли технологии «сухого» торкретирования. Первоначально она использовалась для нанесения штукатурки на фасады здания для их восстановления, но после того как применили добавление цементирующих материалов на различные подложки, границы торкретирования расширились и нашли применение при строительстве зданий и сооружений.

В 1912 году компания Cement Gun Company (Алентаун, штат Пенсильвания) приобрела права на патент Эйкли на торкрет и торговую марку «gunite». Первый объект был сооружением – облицовка емкости для водоснабжения Нью-Йорка. После успешно выполненной работы процесс торкретирования раскрылся во всех направлениях строительства: облицовка канализационных, водопроводных и железнодорожных туннелей; наземные опоры в шахтах; строительство и ремонт зданий; защита стальных конструкций от коррозии и повреждений при пожаре; ремонт мостов, плотин и каналов; стабилизация скальных склонов и строительство вододерживающих сооружений (плотин).

К началу 1920-х годов использование технологии сухого торкрета получило широкое распространение по всей Северной Америке, а затем стало популярной технологией в Германии уже в 1921 году.

В Великобритании технология была реализована в 1924 году, а к концу десятилетия – в других странах Европы, а также в Индии и Южной Африке. Использование технологии продолжало расширяться во всем мире в течение 1930-х и 1940-х годов, при этом установка, изобретенная Карлом Эйкли с камерой двойного давления, была преобладающим методом подачи материала.

В начале 1930-х годов американская железнодорожная инженерная ассоциация приняла термин «торкретбетон» для описания процесса приготовления сухой смеси, а в 1951 году Американский институт бетона (ACI), чтобы стандартизировать терминологию, также принял термин «торкретбетон». Первоначально термин «торкретбетон» применялся только к процессу приготовления сухих смесей, но после Второй мировой войны, с развитием процесса приготовления мокрых смесей, ACI приняла термин «*мокрый*» способ торкретирования. В Европе вместо торкретбетона обычно используется термин «напыляемый бетон».

Первые установки для торкретирования появились в России во времена СССР – в 1920-х годах. Первое применение технологии торкретирования было осуществлено на Волховстрое в 1924–1925 годах. При использовании данного способа укладки бетона были покрыты поверхности сооружений общей площадью 75 тыс. м<sup>2</sup>. На основании этого опыта в 1930-х годах П.Н. Глушке и С.Н. Дружинин подробно описали

прочностные характеристики торкретбетона и его применение. В 1978 году российские ученые провели комплексное испытание торкретбетона, которое показало, что бетон, уложенный таким методом, имеет повышенные показатели прочности по сравнению с традиционной укладкой монолитного бетона в опалубку с вибрированием [1, 2].

Поверхность конструкции, которую изготовили с помощью технологии торкретирования, отличается высокой прочностью (на 28 сутки показатель составляет 40–60 МПа), плотностью (2400 кг/м<sup>3</sup>), водонепроницаемостью (< W4) и морозостойкостью (< F300). Уплотненный бетон, нанесенный под высоким давлением, имеет отличную адгезию с породами: с мрамором – 30 кгс/см<sup>2</sup>, гранитом – 10–18 кгс/см<sup>2</sup>, известняком – 25 кгс/см<sup>2</sup> [1].

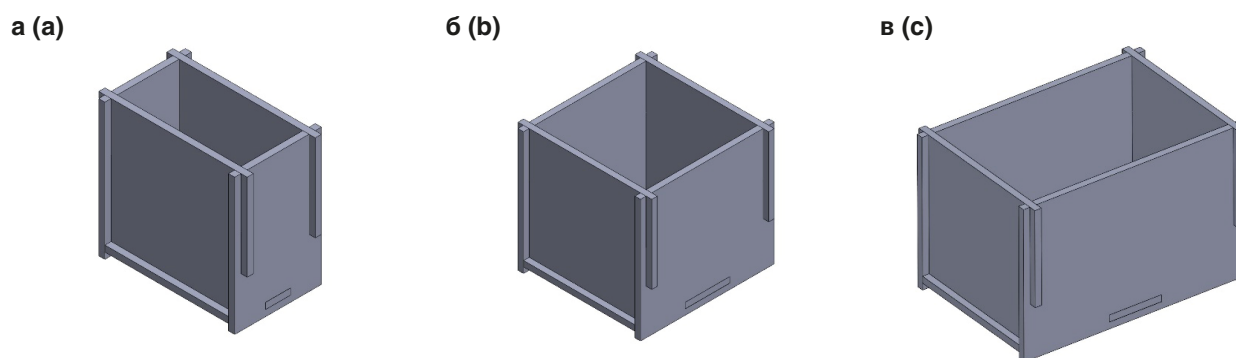
**Первый этап эксперимента – разработка съемной опалубки.** Для создания образцов различной толщины по технологии мокрого торкретирования была изготовлена индивидуальная съемная опалубка с применением CAD и аддитивных технологий. Эталонные размеры образцов, с учетом специфики технологии торкретирования, были выбраны следующие:

1. 50 × 100 × 100 мм (рис. 1а);
2. 100 × 100 × 100 мм (рис. 1б);
3. 150 × 100 × 100 мм (рис. 1в).

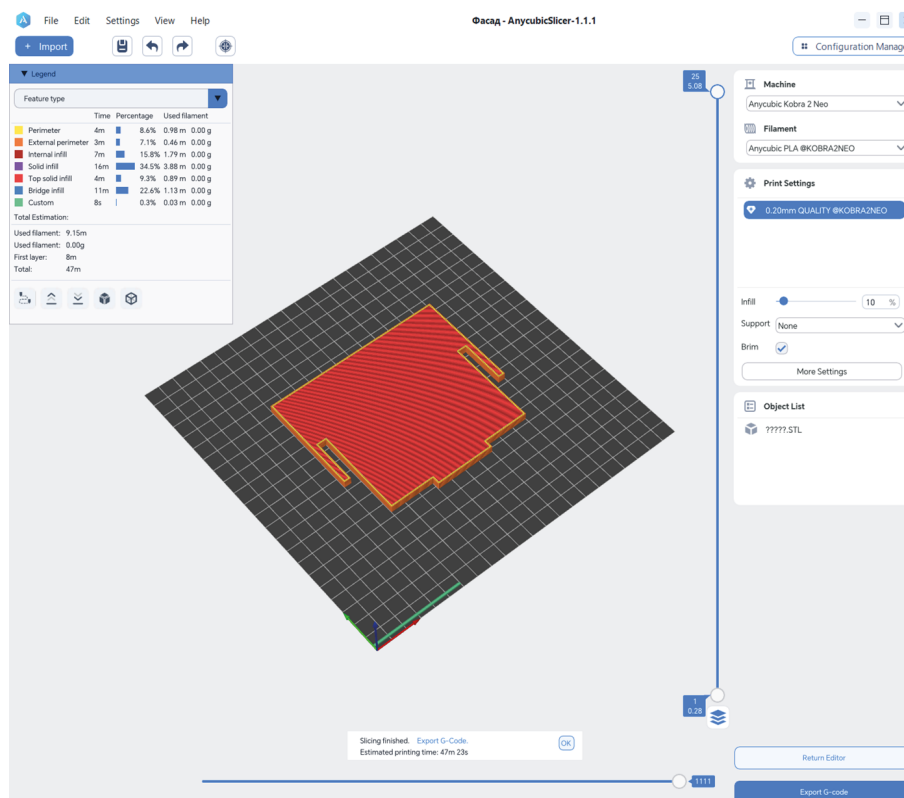
Выбор толщины слоя торкретбетона обусловлен анализом, проведенным авторами в ранних исследованиях [3].

Разработка съемной опалубки осуществлялась с помощью программы САПР для трехмерного моделирования SolidWorks. После проектирования опалубки следующим этапом было написание программы (рис. 2) для ее производства методом аддитивных технологий – на 3D-принтере методом FDM (Fused Deposition Modeling с английского языка переводится как моделирование методом наплавления). Послойным нанесением PLA-пластика. PLA (Polylactic Acid) – биоразлагаемый полиэфир. Сырьем для него служит кукуруза, тростник или соя. Написание программы осуществлялось с помощью ПО, которое поставляется вместе с самим 3D-принтером – Anycubic Slicer 1.1.1.

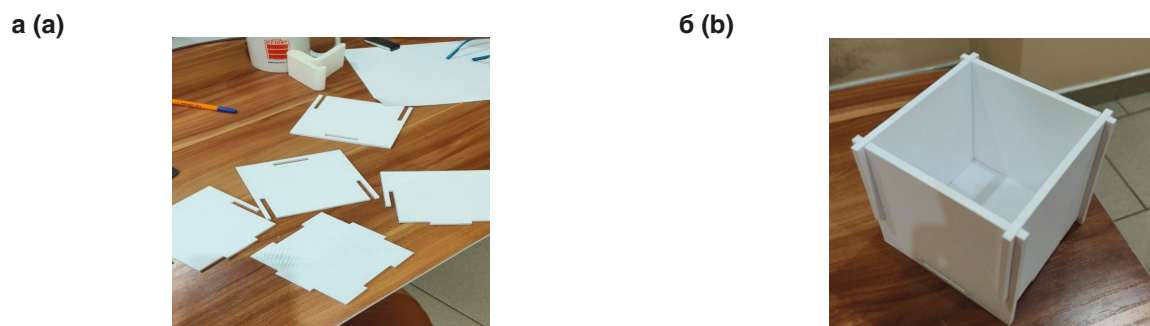
Благодаря индивидуальной разработке опалубка получается полностью разборной, прочной и многоразовой (рис. 3а,б), что позволяет провести несколько различных экспериментов по испытаниям образцов.



**Рис. 1.** а – форма для образцов размером  $50 \times 100 \times 100$  мм; б – форма для образцов размером  $100 \times 100 \times 100$  мм; в – форма для образцов размером  $150 \times 100 \times 100$  мм;  
**Fig. 1.** a – sample mold with dimensions  $50 \times 100 \times 100$  mm; б – sample mold with dimensions  $100 \times 100 \times 100$  mm; в – sample mold with dimensions  $150 \times 100 \times 100$  mm



**Рис. 2.** Этап написания программы для отправки на 3D-принтер  
**Fig. 2.** Stage of writing a program for sending to a 3D-printer



**Рис. 3.** а – элементы опалубки; б – опалубка в сборе  
**Fig. 3.** a – formwork elements; б – assembled formwork

## Подготовка к эксперименту. Характеристики исходных материалов

Таблица 1

## Показатели прочности волокон на удлинение и разрыв

Table 1

## Fiber elongation and tear strength indicators

Наименование фибры	Размер сечения, мм	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Относительное удлинение, %	Разрывная нагрузка, кг	Прочность при растяжении, МПа
Полипропиленовая фибриллиновая путанка (отходы) ПППВ	Ø 2 мм	910	9	680	2165

Таблица 2

## Характеристики исходных материалов

Table 2

## Characteristics of the raw materials

Вяжущее – ЦЕМЕНТ II/A-И 42.5Н ExtraCEM (М-500) «Холсим», г. Вольск		
Параметр	ед. изм.	Значение
Минералогический состав	%	CaO <sub>св</sub> – 1,9; C4AF – 0,1; C3S – 73; C3A – 10,4; C2S – 13,3
Химический состав	%	SiO <sub>2</sub> – 20,7; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 5,3; Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,4; CaO – 66,0; MgO – 1,0; TiO <sub>2</sub> – 0,1; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,0; SO <sub>3</sub> – 3,5; NaO <sub>экв</sub> – 0,2; Na <sub>2</sub> O – 0,1; K <sub>2</sub> O – 0,1; Cl – 0,00
Технологические характеристики		
• Начало схватывания	мин	105
• Конец схватывания	мин	142
• Нормальная густота	%	32,2
• Предел прочности при сжатии на 28 суток	МПа	60,7
• Предел прочности при изгибе на 28 суток	МПа	7,3
• Удельная поверхность по Блейну	см <sup>2</sup> /г	4890
• Остаток на сите 0,032	%	32
• Плотность	кг/м <sup>3</sup>	3110
• Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	1250
Заполнитель – песок речной		
• Плотность	кг/м <sup>3</sup>	2650
• Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	1230
• Модуль крупности	М <sub>к</sub>	1,4 (мелкий)
• Влажность	%	2
Заполнитель – регенерат (шлак-песок)		
Химический состав соответствует требованиям безопасности по ГОСТ 5578-2019 [4]	%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 3; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,13; ZrO <sub>2</sub> – 0,10; CaO <sub>2</sub> – 0,07; Na <sub>2</sub> O – 0,18; K <sub>2</sub> O – 0,004; MnO – 0,01; SiO <sub>2</sub> – 99,2

Продолжение таблицы 1

Технологические характеристики		
• Плотность	кг/м <sup>3</sup>	2654
• Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	1800
• Модуль крупности	M <sub>к</sub>	0,63 (очень мелкий)
• Пустотность	%	53

**Фибра.** В этом качестве предложено использовать отходы синтетических волокон (полипропиленовую фибрилиновую путанку).

Свойства (табл. 1) определялись по ГОСТ 14613-83 [5] и СТО 15122014-2014 [6].

**Второй этап эксперимента – определение прочностных характеристик торкретбетонных образцов с различной толщиной слоя.** В экспериментальных исследованиях второго этапа был определен состав торкретбетона (табл. 2) и определены прочностные характеристики изготовленных образцов. Для повышения прочностных свойств применялся регенерат (шлак-песок), а для повышения трещиностойкости применялось модифицированное полипропиленовое волокно [7].

Было изготовлено следующее количество образцов:

- 50 × 100 × 100 мм – 6 шт.;
- 100 × 100 × 100 мм – 6 шт.;
- 150 × 100 × 100 мм – 6 шт.

Количество цемента, фибры и регенерата осталось неизменным для всех смесей. В/Т варьировалось в зависимости от типа заполнителя в пределах 0,25–0,32.

Смесь изготавливалась в соответствии с требованиями СН 277-80 [8]. Приготовление образцов из неавтоклавного фибробетона, армированного модифицированными волокнами, осуществлялось по технологии мокрого торкретирования послойно с помощью компрессора фирмы PowerTechnic 440/100 с использованием пневмоковша. Твердение происходило в естественных условиях (ГОСТ 12730.0-2020 [9]).

После укладки бетона в формы по технологии мокрого торкретирования и затвердевания образцов

они были извлечены из формы и оставлены в аттестованной лаборатории для набора прочности в течение 28 суток с контролем влажности и температуры с помощью приборов (рис. 4а,б).

Для комплексной проверки прочности испытания проводились в лабораторных условиях на прессе ПСУ-125 в соответствии с ГОСТ 8829-2018 [10].

Так как технология торкретирования позволяет наносить смесь на вертикальные и горизонтальные поверхности, установка образцов под пресс проводилась перпендикулярно направлению укладки бетона, то есть увеличивалась толщина стенки (рис. 5а), и по направлению укладки бетона, то есть увеличивалась площадь, подвергающаяся нагрузке (рис. 5б) [11].

После проведения испытаний были составлены сводные табл. 3 и 4.

Обработка результатов при горизонтальной укладке торкретбетона в опалубку приведена в диаграмме (рис. 6).

Экспериментальные исследования, приведенные в табл. 3, и диаграмма зависимости прочности торкретбетона от его толщины (рис. 6) при нанесении на вертикальные поверхности показали, что самая эффективная толщина при горизонтальной укладке торкретбетона составляет 100 мм.

Обработка результатов при вертикальной укладке торкретбетона в опалубку приведена в диаграмме № 2 (рис. 7).

Экспериментальные исследования, приведенные в табл. 3, и диаграмма зависимости прочности торкретбетона от его толщины (рис. 7) при нанесении на вертикальные поверхности показали, что самая эффективная толщина при вертикальной укладке торкретбетона составляет 50 и 100 мм.

а (a)



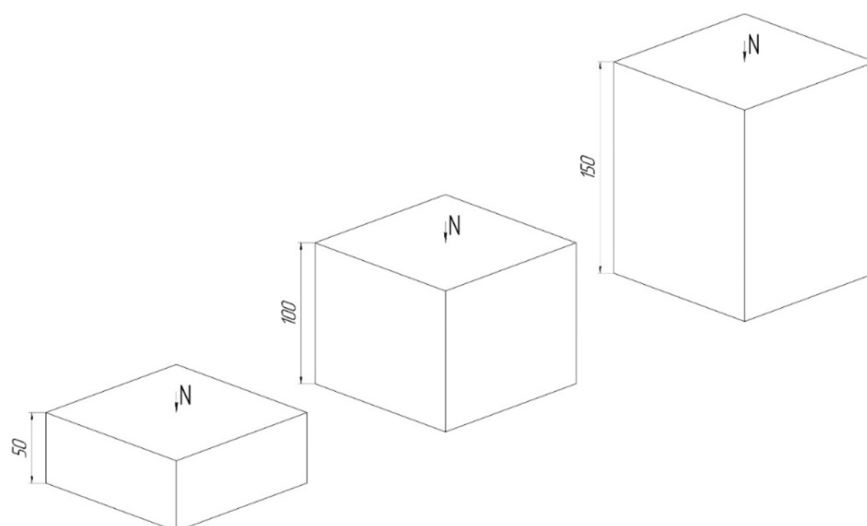
б (b)



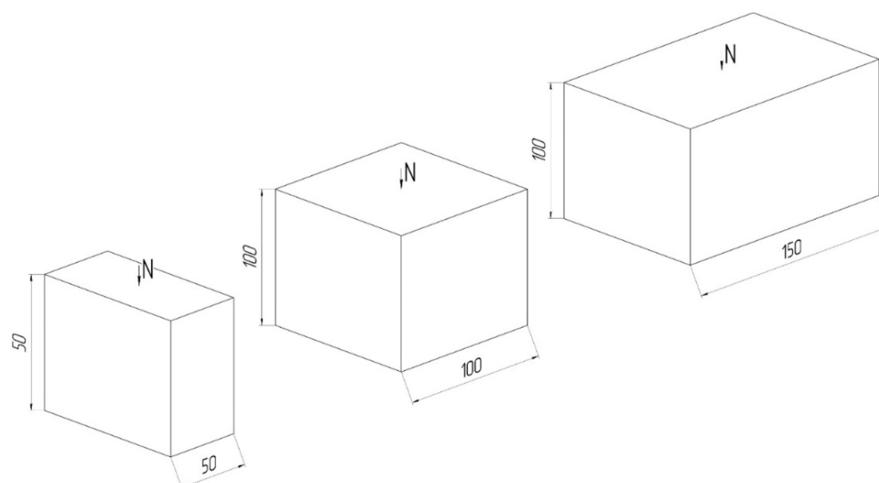
Рис. 4. а – образцы, извлеченные из опалубки; б – контроль температуры образцов  
Fig. 4. a – samples removed from the formwork; b – temperature control of samples



a (a)



б (b)

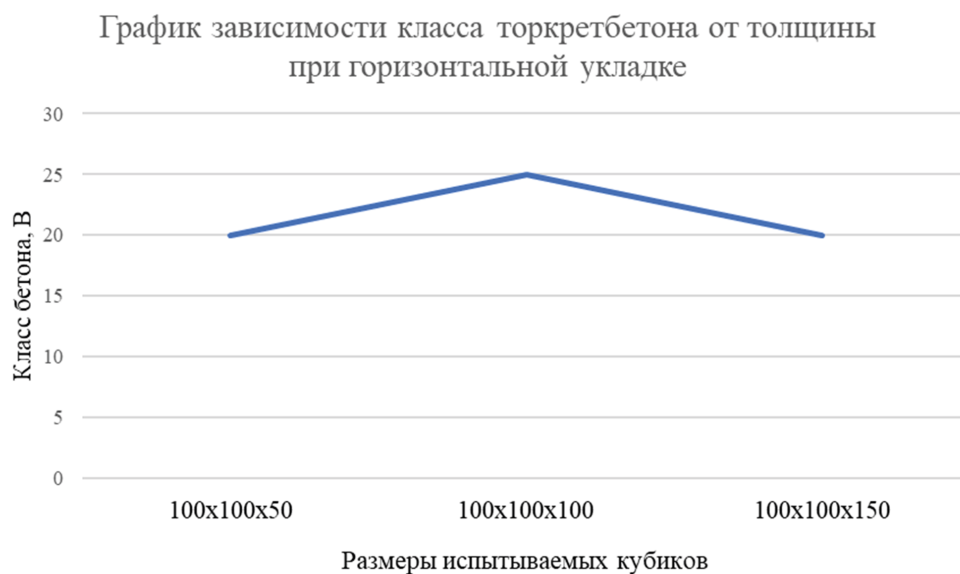


**Рис. 5.** а – размещение образцов и приложение нагрузки горизонтально направлению укладки торкретбетона;

б – размещение образцов и приложение нагрузки вертикально направлению укладки торкретбетона

**Fig. 5.** a – placement of samples and application of load in the first experiment horizontal to the direction of laying shotcrete concrete;

b – placement of samples and application of load in the second experiment vertical to the direction of concrete placement



**Рис. 6.** График зависимости класса торкретбетона от толщины при горизонтальной укладке

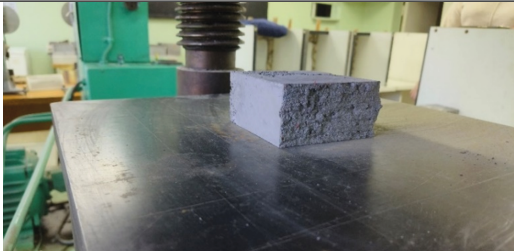
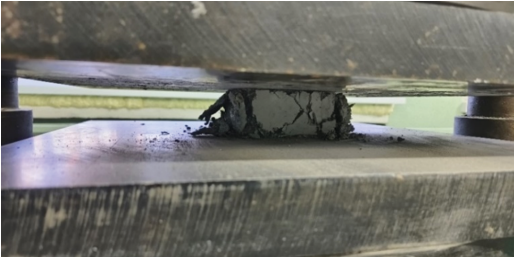

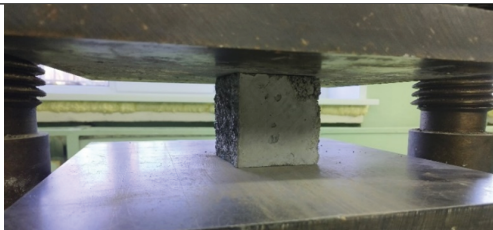


**Fig. 6.** Graph of the dependence of shotcrete class on thickness with horizontal laying

Таблица 3

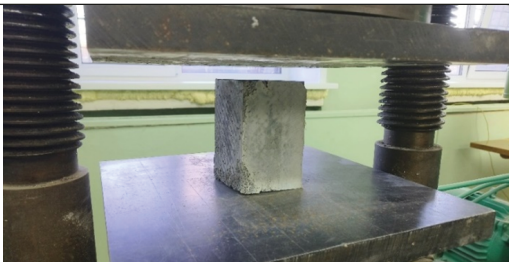
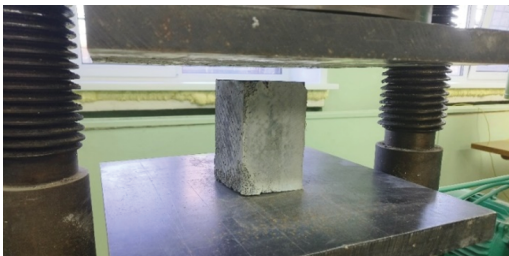

Результаты испытаний образцов при горизонтальной укладке торкретбетона

Table 3

Test results of samples with horizontal laying of shotcrete

№ п/п	Серия размеров		Фото
I	100 × 100 × 50		
	№ образца	Значение разрушающей нагрузки, N, кН	
	1	20	
	2	20	
	3	20	
	Среднее значение		
	$N_{cp} = \frac{(20+20+20)}{3} = 20 + 2$		
	Определение расчетного сопротивления		
	$R_b = \alpha \frac{N_{cp}}{A} = 0,9 \frac{2000}{100} = 180 \text{ д. е.}$		
	Класс бетона по СП 63.13330.2018 [12]		
B20			
II	100 × 100 × 100		
	№ образца	Значение разрушающей нагрузки, N, кН	
	1	21,8	
	2	21,6	
	3	21,8	
	Среднее значение		
	$N_{cp} = \frac{(21,8+21,6+21,8)}{3} = 21,721$		
	Определение расчетного сопротивления		
	$R_b = \alpha \frac{N_{cp}}{A} = 0,9 \frac{2170}{100} = 19,53 \text{ МПа}$		
	Класс бетона по СП 63.13330.2018 [12]		
B25			

Продолжение таблицы 3


№ п/п	Серия размеров		Фото
III	100 × 100 × 150		
	№ образца	Значение разрушающей нагрузки, N, кН	
	1	20	
	2	20	
	3	20	
	Среднее значение		
	$N_{cp} = (20+20+20)/3 = 20$		
	Определение расчетного сопротивления		
	$R_b = \alpha \frac{N_{cp}}{A} = 0,9 \frac{2000}{100} = 180 \text{ Д. е.}$		
	Класс бетона по СП 63.13330.2018 [12]		
B20			

Результаты испытаний образцов при вертикальной укладке торкретбетона

Таблица 4





Table 4

Test results of samples with vertical laying of shotcrete

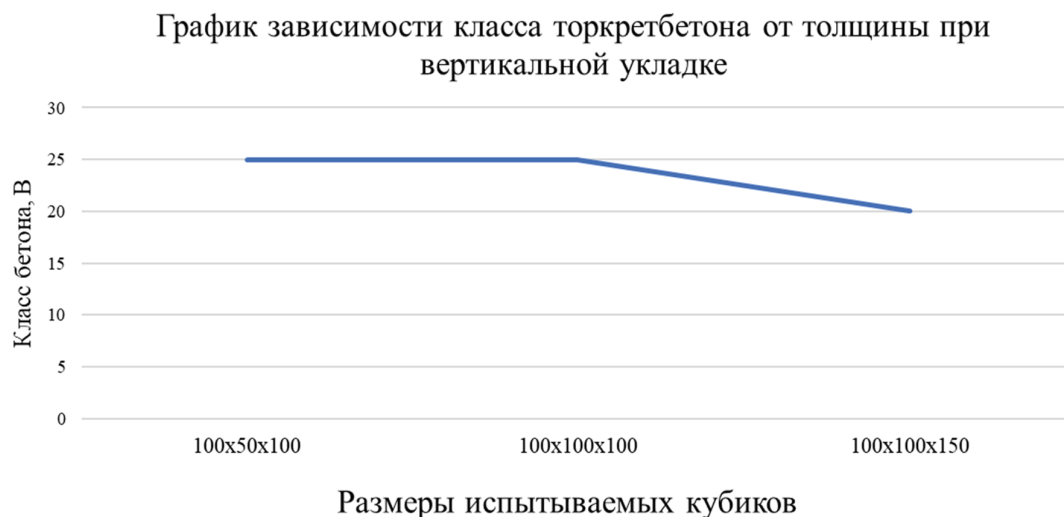
№ п/п	Серия размеров		Фото
I	100 × 50 × 100		
	№ образца	Значение разрушающей нагрузки, N, кН	
	1	12,1	
	2	12	
	3	12,1	
	Среднее значение		
	$N_{cp} = \frac{(12,1+12+12,1)}{3} = 12,0722$		



Продолжение таблицы 4

№ п/п	Серия размеров		Фото
I	Определение расчетного сопротивления		
	$R_b = \alpha \frac{N_{cp}}{A} = 0,9 \frac{1207}{50} = 21,7217$		
	Класс бетона по СП 63.13330.2018 [12]		
	B25		
III	100 × 50 × 100		
	№ образца	Значение разрушающей нагрузки, N, кН	
	1	30	
	2	30	
	3	30	
	Среднее значение		
	$N_{cp} = \frac{(30+30+30)}{3} = 30 + 3$		
	Определение расчетного сопротивления		
	$R_b = \alpha \frac{N_{cp}}{A} = 0,9 \frac{1260}{50} = 22,7220$		
	Класс бетона по СП 63.13330.2018 [12]		
	B20		





**Рис. 7.** График зависимости класса торкретбетона от толщины при вертикальной укладке  
**Fig. 7.** Graph of the dependence of shotcrete class on thickness with vertical laying



**Рис. 8.** Разрушение образца после испытаний, форма – песочные часы (выделено красным)

**Fig. 8.** Destruction of a sample after testing, hourglass shape (highlighted in red)

Разрушение образцов при сжатии имело форму усеченных призм, сложенных малыми основаниями, что служит подтверждением достоверности работы торкретбетона (рис. 8) и расхождения трещин от середины образцов – ядра (рис. 9).

Исходя из полученных данных можно сделать вывод о том, что рост прочности, класса бетона и несущей способности идет до определенных размеров. Самой эффективной толщиной несущего слоя в данном эксперименте является 100 мм.

### Результаты

Была разработана конструкция разборной опалубки методом аддитивных технологий для создания лабораторных образцов с различной толщиной несущего слоя торкретбетона, подобрана рецептура торкретбетонной смеси. По результатам выполнено сравнение прочности образцов торкретбетона с различной толщиной. Установлена толщина несущего слоя для зданий и сооружений, которая составляет 100 мм при нанесении на горизонтальные конструкции, 50 и 100 мм – при нанесении на вертикальные конструкции.



**Рис. 9.** Разрушение образца после испытаний, расхождение трещин от середины

**Fig. 9.** Destruction of the sample after testing, cracks diverging from the middle

### Выводы

Предложена конструкция индивидуальной разборной опалубки для экспериментальных образцов. При проведении испытаний учитывался опыт применения торкретбетона в строительстве. Анализ экспериментальных данных показал схожесть работы торкретбетона с обычным бетоном, что подтверждено результатами испытаний 18-ти образцов торкретбетона с различной толщиной и соответствует действующим нормам. С учетом проведенных рецептурных исследований необходимо провести дополнительные испытания для фиброторкретбетонов.

### Список литературы

1. Андреева Н.В. Система фиброторкретбетонных объемных блоков нового поколения для мало- и среднеэтажных зданий. Технология изготовления и конструктивные решения [диссертация]. Ростов-на-Дону, 2024. 178 с.
2. История торкретбетона в горной промышленности // *Евротех* [сайт]. URL: <https://stroifak.ru/> (дата обращения: 25.09.2025).

3. Голова Т.А., Магеррамова И.А., Андреева Н.В. Технология производства неавтоклавных пенобетонов, дисперсно армированных модифицированными волокнами // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2020. № 1 (78). С. 126–135. EDN: TMDUOX.
4. ГОСТ 5578-2019. Щебень и песок из шлаков черной и цветной металлургии для бетонов. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019.
5. ГОСТ 14613-83. Фибра. Технические условия. Москва: Издательство стандартов, 1989.
6. СТО 15122014-2014. Бетон, армированный конструкционной синтетической полипропиленовой фиброй DURUS S400, DURUS S500. Технические условия. Санкт-Петербург: ООО «НТБ», 2014.
7. Голова Т.А., Маляян Л.Р. Кластеризация технологии торкретирования с позиции единого системного комплексного подхода // *Строительство и архитектура*. 2022. Т. 10. № 2. С. 41–45. DOI: <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2022-10-2-41-45>. EDN: YGFYOE.
8. СН 277-80. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона / Госстрой России. Москва: ГУП ЦПП, 2001. 47 с.
9. ГОСТ 12730.0-2020. Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости. Москва: Стандартинформ, 2020.
10. ГОСТ 8829-2018. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости. Москва: Стандартинформ, 2019.
11. Маляян Л.Р., Голова Т.А. Легкий бетон на основе пенополиамидбетонной композиции // *Строительство и архитектура*. 2019. Т. 7. № 1. С. 70–75. DOI: [https://doi.org/10.29039/article\\_5ca75fa9df9457.56609824](https://doi.org/10.29039/article_5ca75fa9df9457.56609824). EDN: UYPYII.
12. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная версия СНиП 52-01-2003. Москва: Стандартинформ, 2019.
13. Иванова Т.А. Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений. Чебоксары: Издательский дом «Среда», 2024. 88 с.
4. State Standard 5578-2019. Slag crushed stone and slag sand of ferrous and non-ferrous metallurgy for concretes. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
5. State Standard 14613-83. Vulcanized fibre. Specifications. Moscow: Publishing House of Standards, 1989. (In Russian).
6. STO 15122014-2014. Concrete reinforced with structural synthetic polypropylene fibre DURUS S400, DURUS S500. Specifications. Saint Petersburg: NTB LLC, 2014. (In Russian).
7. Golova T., Mailyan L. Clustering of shotcrete technology from the position of a single system integrated approach. *Construction and Architecture*. 2022, vol. 10, no. 2, pp. 41–45. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2022-10-2-41-45>. EDN: YGFYOE.
8. SN 277-80. Instructions for the manufacture of cellular concrete products / Gosstroy of Russia. Moscow: SUE CDP, 2001, 47 p. (In Russian).
9. State Standard 12730.0-2020. Concretes. General requirements for methods of determination of density, moisture content, water absorption, porosity and water tightness. Moscow: Standartinform Publ., 2020. (In Russian).
10. State Standard 8829-2018. Prefabricated construction concrete and reinforced concrete products. Load testing methods. Rules for assessment of strength, rigidity and crack resistance. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
11. Mailyan L., Golova T. Light concrete based on foam polyamidbe-tonic composition. *Construction and Architecture*. 2019, vol. 7, no. 1, pp. 70–75. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.29039/article\\_5ca75fa9df9457.56609824](https://doi.org/10.29039/article_5ca75fa9df9457.56609824). EDN: UYPYII.
12. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
13. Ivanova T.A. Shotcret technologies for construction and reconstruction of buildings and structures. Cheboksary: Publishing House “Sreda”, 2024, 88 p. (In Russian).

# References

1. Andreeva N.V. A new-generation system of fiber-reinforced shotcrete blocks for low- and mid-rise buildings. Manufacturing technology and design solutions [dissertation]. Rostov-on-Don, 2024, 178 p. (In Russian).
2. History of shotcrete in the mining. *Eurotech* [website]. URL: <https://stroifak.ru/> (accessed: 09.25.2025).
3. Golova T.A., Magerramova I.A., Andreeva N.V.

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

**Татьяна Александровна Иванова**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры архитектуры, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар  
e-mail: emelyanova-tanya@mail.ru

**Tatyana A. Ivanova**, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Architecture, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", Krasnodar  
e-mail: emelyanova-tanya@mail.ru

**Алексей Дмитриевич Жуков**✉, аспирант, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар  
e-mail: alekseyzhukov9926@yandex.ru

**Alexey D. Zhukov**✉, Graduate Student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", Krasnodar  
e-mail: alexeyzhukov9926@yandex.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

УДК 69.03

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-56-62](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-56-62)**М.Ш. МАХОТЛОВА<sup>1,2,3,✉</sup>, В.М. КАЗИЕВ<sup>1,2,3</sup>, М.Н. КОКОЕВ<sup>1,3,4</sup>**

<sup>1</sup> Российская инженерная академия (РИА), Мясницкая ул., д. 35, г. Москва, 103450, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова», ул. Ленина, д. 1в, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, 360030, Российская Федерация

<sup>3</sup> Кабардино-Балкарское отделение РИА, пр-кт Кулиева, д. 10, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, 360001, Российская Федерация

<sup>4</sup> ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова», ул. Чернышевского, д. 173, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, 360004, Российская Федерация

## ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

### Аннотация

**Введение.** В современном мире вопросы устойчивого развития и рационального использования природных ресурсов становятся все более актуальными. Одним из главных направлений в этой области является использование вторичных ресурсов в различных отраслях экономики, в том числе в строительстве. Строительная индустрия, будучи одним из наиболее ресурсоемких секторов, оказывает существенное влияние на экологическую обстановку. Необходимость снижения негативного воздействия на окружающую среду обуславливает поиск и внедрение инновационных подходов к производству и использованию строительных материалов. В этой связи вторичные ресурсы, представляющие собой отходы производства и потребления, становятся ценным источником сырья для строительной отрасли. В статье рассматриваются теоретические и практические аспекты использования вторичных ресурсов в строительстве, анализируются преимущества и недостатки применения вторичных материалов, а также рассматриваются перспективные направления исследований и разработок в этой области. Особое внимание уделяется вопросам экономической эффективности и экологической безопасности использования вторичных ресурсов в строительстве.

**Цель.** Анализ возможностей использования вторичных ресурсов в строительстве, разработка рекомендаций по расширению их применения с учетом экономических, социальных и экологических аспектов устойчивого развития.

**Материалы и методы.** Данное исследование, направленное на изучение возможностей и перспектив использования вторичного сырья в современном строи-

тельстве, основывается на комплексной методологии, включающей в себя анализ существующих теоретических разработок, нормативной документации, эмпирических данных, а также на результатах экспериментальных и практических исследований в области использования вторичного сырья в строительстве. Полученные результаты были обобщены и систематизированы, что позволило сформулировать выводы и рекомендации по расширению использования вторичного сырья в строительной отрасли.

**Результаты.** Представлены данные о текущем состоянии использования вторичных ресурсов в строительстве, выявлены основные проблемы и предложены пути их преодоления.

**Выводы.** Внедрение принципов устойчивого строительства, в частности на использование вторичных ресурсов, позволит создавать экономически эффективные, социально значимые и экологически безопасные объекты. *Для успешной реализации потенциала вторичного сырья в строительстве необходимо комплексное решение, включающее разработку нормативно-правовой базы, стимулирование инноваций, повышение осведомленности и изменение потребительских предпочтений. Только при условии совместных усилий государства, бизнеса и общества возможно создание устойчивой и экологически безопасной строительной отрасли.*

**Ключевые слова:** вторичное сырье, строительный мусор, вторичные ресурсы в строительстве, эффективность использования, переработанные материалы, безопасность и пригодность, строительные технологии, технологические инновации, государственная поддержка



**Для цитирования:** Махотлова М.Ш., Казиев В.М., Кокоев М.Н. Вторичное сырье в современном строительстве // *Бетон и железобетон*. 2025. № 6 (631). С. 56–62. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-56-62](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-56-62). EDN: KCDYPU.

#### **Вклад авторов**

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

#### **Финансирование**

Исследование не имело спонсорской поддержки.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 15.10.2025

Поступила после рецензирования 12.11.2025

Принята к публикации 20.11.2025

**M.Sh. MAKHOTLOVA<sup>1,2,3,✉</sup>, V.M. KAZIEV<sup>1,2,3</sup>, M.N. KOKOEV<sup>1,3,4</sup>**

<sup>1</sup>Russian Academy of Engineering (RAE), Myasnitskaya str., 35, Moscow, 103450, Russian Federation

<sup>2</sup>Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Lenina str., 1v, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, 360030, Russian Federation

<sup>3</sup>Kabardino-Balkarian Branch of the Russian Academy of Engineering, Kuliev Ave., 10, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, 360001, Russian Federation

<sup>4</sup>Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Chernyshevsky str., 173, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, 360004, Russian Federation

## **RECYCLED MATERIALS IN MODERN CONSTRUCTION**

#### **Abstract**

**Introduction.** In the modern world, the issues of sustainable development and rational use of natural resources are becoming increasingly relevant. One of the main directions in this area is the use of recycled materials in various sectors of the economy, including construction. The construction industry, being one of the most resource-intensive sectors, has a significant impact on the environmental situation. The need to reduce the negative impact on the environment leads to the search and implementation of innovative approaches to the production and use of building materials. In this regard, recycled materials, which are waste products of production and consumption, are becoming a valuable source of raw materials for the construction industry. This article discusses the theoretical and practical aspects of the use of secondary resources in construction. The advantages and disadvantages of using recycled materials are analyzed, as well as promising areas of research and development in this area. Special attention is paid to the issues of economic efficiency and environmental safety of the use of the recycled materials in construction.

**Aim.** Analyzing the possibilities of using of the recycled materials in construction and developing of the recommendations for expanding of their using, taking into account the economic, social and environmental aspects of sustainable development.

**Materials and methods.** This study, aimed at exploring the possibilities and prospects of recycled materials us-

ing in modern construction, is based on a comprehensive methodology that includes an analysis of existing theoretical developments, regulatory documentation, empirical data, as well as the results of experimental and practical research in the field of the use of recycled materials in construction. The results were summarized and systematized, which made it possible to formulate conclusions and recommendations for expanding the use of recycled materials in the construction industry.

**Results.** Data on the current state of the use of recycled materials in construction are presented, the main problems are identified and ways to overcome them are proposed.

**Conclusions.** The introduction of the principles of sustainable construction, in particular the use of recycled materials, will make it possible to create economically efficient, socially significant and environmentally safe facilities. *To successfully realize the potential of recycled materials in construction, a comprehensive solution is needed, including the development of a regulatory framework, stimulating innovation, raising awareness and changing consumer preferences. Only with the joint efforts of the state, business and society it is possible to create a sustainable and environmentally friendly construction industry.*

**Keywords:** recycled raw materials, construction debris, recycled materials in construction, efficiency of use, recycled materials, safety and suitability, construction technologies, technological innovations, government support

**For citation:** Makhotlova M.Sh., Kaziev V.M., Koko-ev M.N. Recycled materials in modern construction. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 6 (631), pp. 56–62. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-56-62](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-56-62). EDN: KCDYPU.

#### Authors contribution statement

All the authors have made an equal contribution to the preparation of the publication.

#### Funding

No funding support was obtained for the research.

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

*Received 15.10.2025*

*Revised 12.11.2025*

*Accepted 20.11.2025*

Современные условия развития строительной отрасли диктуют эффективное использование ресурсов и минимизацию отходов. При этом ежегодно в России накапливается около 70 миллионов тонн строительного мусора. И лишь четверть этого объема (около 17,5 миллионов тонн) отправляют на переработку.

Использование переработанных и вторично применяемых материалов становится нормой в современном строительстве.

Включение вторичных ресурсов в строительные проекты предполагает тщательный анализ их характеристик и соответствие нормативным требованиям. Важно проводить испытания и сертификацию вторичного сырья, чтобы гарантировать его безопасность и пригодность для применения в строительстве. Развитие нормативной базы и стандартизация в этой области являются ключевыми факторами для широкого внедрения вторичных ресурсов в строительную практику [1].

Вовлечение вторичного сырья является ключевым звеном в экономике замкнутого цикла. Распоряжение № 2330-р [2] принято в реализацию Федерального закона от 14 июля 2022 года № 268-ФЗ [3], так называемого закона о вторичных ресурсах, и вступило в силу с 1 января 2025 года. В распоряжении определена конкретная доля вторичного сырья в составе итоговой продукции, то есть процент массы вторичного сырья от общей массы готовой продукции. Новое требование направлено на повышение уровня вовлечения вторичного сырья в производство.

Однако эффективная реализация нового требования сталкивается с рядом существенных препятствий и вызовов.

Во-первых, существует проблема недостаточной развитости инфраструктуры сбора и переработки вторичного сырья. Не во всех регионах страны налажена система раздельного сбора отходов, а мощности перерабатывающих предприятий зачастую ограничены и не позволяют в полной мере утилизировать весь объем образующегося вторичного сырья.

Во-вторых, качество вторичного сырья не всегда соответствует требованиям, предъявляемым к пер-

вичному сырью. Загрязненность, неоднородность состава и несоответствие определенным стандартам могут ограничивать возможности его использования в производстве. Это требует дополнительных затрат на очистку, сортировку и подготовку вторичного сырья, что повышает его себестоимость.

В-третьих, существует психологический барьер у производителей. Многие опасаются использовать вторичное сырье из-за стереотипов о его низком качестве и возможных негативных последствиях для репутации продукции. Необходима активная работа по информированию и убеждению производителей в безопасности и экономической эффективности использования вторичного сырья.

В-четвертых, остаются вопросы экономической целесообразности. В ряде случаев использование вторичного сырья может быть дороже использования первичного сырья, особенно с учетом затрат на логистику, переработку и подготовку. Необходимы экономические стимулы и механизмы поддержки, которые бы сделали его использование более привлекательным для производителей.

Наконец, для успешной реализации закона о вторичных ресурсах необходимо обеспечить четкий контроль и мониторинг за его исполнением. Важно разработать систему отчетности и проверки соответствия требованиям о доле вторичного сырья, а также предусмотреть меры ответственности за нарушение этих требований.

#### Государственная поддержка в стимулировании использования вторичных ресурсов в строительстве

Кроме упомянутых проблем, необходимо также отметить, что государственная поддержка играет важную роль в стимулировании использования вторичных ресурсов в строительстве.

Государственная поддержка может способствовать продвижению преимуществ использования вторичных ресурсов в строительстве через следующие механизмы:

1. Субсидии и гранты. Предоставление субсидий и грантов предприятиям и организациям, кото-

рые внедряют технологии использования вторичных ресурсов в строительстве, может снизить затраты на их внедрение и стимулировать инновации.

2. Налоговые льготы. Введение налоговых льгот для компаний, использующих вторичные ресурсы, может сделать такой подход более привлекательным с экономической точки зрения.

3. Государственные заказы. Размещение государственных заказов на строительство с использованием вторичных ресурсов может создать спрос на такие материалы и стимулировать их производство.

4. Законодательные инициативы. Принятие законов и нормативных актов, регулирующих использование вторичных ресурсов в строительстве, может установить стандарты и требования, способствующие их применению.

5. Научно-исследовательские программы. Финансирование научно-исследовательских проектов по разработке новых технологий и материалов на основе вторичных ресурсов может ускорить их внедрение в строительство.

6. Создание инфраструктуры. Государственная поддержка в создании инфраструктуры для сбора, сортировки и переработки вторичных ресурсов может облегчить их доступ для строительных компаний.

7. Стимулирование кластерного развития. Поддержка создания кластеров предприятий, занимающихся переработкой вторичных ресурсов и производством строительных материалов на их основе, может способствовать развитию экосистемы инноваций в этой сфере.

Таким образом, комплексная государственная поддержка, охватывающая финансовые, законодательные, исследовательские, инфраструктурные и организационные меры, является важным фактором для успешного стимулирования использования вторичных ресурсов в строительстве. Она создает благоприятные условия для предприятий, снижает риски, формирует устойчивый спрос и способствует развитию инноваций, что в конечном итоге приводит к более устойчивому и ресурсоэффективному строительному сектору.

#### **Просвещение и информирование общества о преимуществах использования вторичных ресурсов в строительстве**

Необходимо также уделять внимание просвещению и информированию общества о преимуществах использования вторичных ресурсов в строительстве [4].

Просвещению и информированию общества о преимуществах использования вторичных ресурсов в строительстве могут способствовать:

1. Образовательные программы и курсы. Введение специальных курсов в школах, универси-

тетах и профессиональных учебных заведениях, направленных на изучение преимуществ и технологий переработки отходов и использование вторичных ресурсов в строительстве.

2. Публичные лекции и семинары. Организация публичных лекций, семинаров и вебинаров с участием экспертов, где будут обсуждаться вопросы устойчивого строительства, преимущества использования вторичных ресурсов и инновационные решения.

3. Информационные кампании. Проведение информационных кампаний через СМИ, социальные сети и другие каналы коммуникации, направленных на повышение осведомленности населения о важности использования вторичных ресурсов и их преимуществах для окружающей среды и экономики.

4. Социальные проекты и акции. Организация социальных проектов и акций, направленных на популяризацию переработки отходов и использования вторичных ресурсов, таких как субботники, акции по сбору вторсырья и другие мероприятия.

5. Создание информационных материалов. Разработка и распространение информационных материалов, таких как буклеты, плакаты, видеоролики и онлайн-ресурсы, которые будут рассказывать о преимуществах использования вторичных ресурсов в строительстве и способах их применения.

6. Партнерство с НКО (некоммерческими организациями) и общественными организациями. Взаимодействие с неправительственными организациями и общественными движениями, занимающимися вопросами экологии и устойчивого развития, для совместной работы над проектами по просвещению и информированию населения.

7. Использование цифровых технологий. Создание онлайн-платформ и приложений, где люди смогут получать информацию о переработке отходов, использовании вторичных ресурсов и способах участия в экологических инициативах.

8. Интеграция в школьные и университетские программы. Включение вопросов устойчивого строительства и использования вторичных ресурсов в учебные программы, что поможет формировать экологическое сознание у молодежи с раннего возраста.

9. Партнерство с бизнесом. Взаимодействие с компаниями и предприятиями, которые уже внедряют практики устойчивого строительства и переработки отходов, для проведения совместных образовательных мероприятий и информационных кампаний.

Таким образом, просвещение и информирование общества играют ключевую роль в формировании экологической культуры и поддержке устойчивого развития, что в конечном итоге способствует более широкому внедрению вторичных ресурсов в строительство и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

### **Международное сотрудничество в области использования вторичных ресурсов в строительстве**

Необходимо также активно развивать международное сотрудничество в области использования вторичных ресурсов в строительстве.

Международное сотрудничество может принимать различные формы, включая:

1. Обмен знаниями и технологиями. Участие в международных конференциях, семинарах и выставках, а также создание совместных исследовательских проектов и лабораторий с зарубежными партнерами для разработки и внедрения передовых технологий переработки отходов и строительных материалов на основе вторичного сырья.

2. Совместные проекты и программы. Реализация международных проектов и программ, направленных на развитие экологически устойчивого строительства, таких как проекты по обмену опытом в области использования переработанного бетона, стекла, пластика и других материалов.

3. Привлечение инвестиций и финансирования. Участие в международных инициативах и фондах, направленных на поддержку экологически устойчивого строительства, а также привлечение иностранных инвестиций для финансирования проектов по внедрению вторичных ресурсов в строительные процессы.

4. Гармонизация стандартов и норм. Разработка и внедрение международных стандартов и норм, регулирующих использование вторичных ресурсов в строительстве, что позволит обеспечить согласованность и совместимость технологий и материалов на глобальном уровне.

5. Обучение и повышение квалификации. Организация международных программ обучения и повышения квалификации для специалистов в области переработки отходов и использования вторичных ресурсов, что будет способствовать распространению знаний и опыта на национальном уровне.

Таким образом, международное сотрудничество в области использования вторичных ресурсов в строительстве является также важным элементом стратегии устойчивого развития, позволяющим ускорить внедрение инновационных решений, повысить эффективность использования вторичного сырья и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

### **Экономическая эффективность, экологическая безопасность и технологические инновации использования вторичных ресурсов в строительстве**

Как мы видим, исходя из всего сказанного выше, применение вторичных ресурсов в строительстве решает несколько задач: экологическую, экономическую и техническую.

1. Экологическая задача связана с сокращением объемов отходов, направляемых на полигоны, и уменьшением негативного воздействия строительной отрасли на окружающую среду. Использование вторичных ресурсов позволяет сократить потребление первичного сырья, что в свою очередь снижает выбросы парниковых газов, энергозатраты и загрязнение воды и почвы.

Таким образом, для успешной реализации государственной политики по переходу к более экологически ответственным и ресурсосберегающим методам строительства важно не только устанавливать обязательные требования, но и предоставлять предприятиям, перерабатывающим отходы и производящим строительные материалы из вторичного сырья, налоговые льготы и субсидии. Это создаст благоприятные условия для развития данной отрасли и привлечения инвестиций.

2. Экономическая выгода проявляется в снижении затрат на закупку строительных материалов. Вторичное сырье, как правило, дешевле первичного, что позволяет сократить себестоимость строительства. Кроме того, переработка отходов и их повторное использование стимулирует развитие новых отраслей экономики, создает рабочие места и способствует инновациям в сфере строительства.

Таким образом, интеграция вторичного сырья в строительную практику является ключевым элементом устойчивого экономического развития, способствующим оптимизации затрат и стимулированию инновационного потенциала. Данный подход способствует повышению эффективности использования ресурсов, снижению экологической нагрузки и улучшению качества строительной продукции.

3. В техническом аспекте вторичные ресурсы демонстрируют характеристики, сопоставимые, а в ряде случаев и превосходящие традиционные строительные материалы. Например, переработанный бетон демонстрирует повышенную прочность и долговечность, что подтверждается результатами многочисленных исследований в области материаловедения. Добавление вторичных полимеров в бетонные составы значительно улучшает их морозостойкость и водонепроницаемость благодаря модификации микроструктуры материала на молекулярном уровне, что способствует повышению эксплуатационных характеристик конструкций.

Эти технологические инновации позволяют создавать более надежные и устойчивые сооружения, минимизируя экологическую нагрузку и способствуя рациональному использованию природных ресурсов.

Применение вторичных материалов не только снижает углеродный след строительных проектов, но и способствует формированию замкнутого цикла производства, что является ключевым аспектом устойчивого развития строительной индустрии [5].

Таким образом, интеграция вторичных ресурсов в строительные технологии представляет собой пер-



спективное направление, обеспечивающее долгосрочную устойчивость и экологическую безопасность.

### Заключение

В заключении хочется сказать, что использование переработанных и вторично применяемых материалов в строительстве становится все более важным фактором устойчивого развития. Это позволяет не только снизить негативное воздействие на окружающую среду, но также повысить экономическую эффективность строительства и улучшить качество зданий. Дальнейшее развитие технологий переработки и стимулирование спроса на переработанные материалы будут способствовать дальнейшему распространению этого тренда и созданию более устойчивой строительной отрасли.

В конечном итоге широкое внедрение переработанных материалов в строительстве станет важным шагом на пути к созданию более устойчивой и экологически ответственной строительной отрасли, способной удовлетворить потребности настоящего, не нанося ущерба будущим поколениям.

### Список литературы

1. Фольц А. Современные тенденции использования вторичного сырья в строительстве. Экологическое значение, экономическая эффективность. В сборнике: Молодая наука – 2021: Архитектура. Строительство. Дизайн. Филология. Сборник статей VIII Всероссийской студенческой научно-практической конференции. Отв. редактор С.А. Забелина. Москва, 2021. С. 125–130. EDN: IQMDMS.
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.08.2024 № 2330-р. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202409020031?ysclid=mh0c4gig7n968309245>.
3. Федеральный закон от 14.07.2022 № 268-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» и отдельные законодательные акты Российской Федерации». Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207140034?ysclid=mh0c97kiin3908860>.
4. Якутис К.Д., Щедров Р.М., Варшавская У.Е., Гевак А.А., Киндеев А.И. Экономически и экологический анализ использования вторичного сырья при строительстве зданий и сооружений // *Финансовая экономика*. 2023. № 5. С. 215–216. EDN: IWRDW.
5. Бабаева Г.Б., Викал Д.И., Дьяченко А.Ю. Современные технологии строительства зданий из вторичного сырья. В сборнике: Инновационные научные исследования в современном мире: теория, методология, практика. Сборник научных статей по материалам XII Международной научно-практической конференции. Уфа, 2023. С. 198–202. EDN: EFJQAN.

### References

1. Folts A. Modern trends in the use of recycled materials in construction. Environmental significance and economic efficiency. In the collection: Young Science – 2021: Architecture. Construction. Design. Philology. Collection of articles from the VIII All-Russian Student Scientific and Practical Conference. Edited by S.A. Zabelina. Moscow, 2021, pp. 125–130. (In Russian). EDN: IQMDMS.
2. Order of the Government of the Russian Federation No. 2330-r dated 28.08.2024. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202409020031?ysclid=mh0c4gig7n968309245>. (In Russian).
3. Federal Law No. 268-FZ of July 14, 2022, “On Amendments to the Federal Law on Production and Consumption Waste and Certain Legislative Acts of the Russian Federation”. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207140034?ysclid=mh0c97kiin3908860>. (In Russian).
4. Yakutis K.D., Shchedrov R.M., Varshavskaya U.E., Gevak A.A., Kindeev A.I. Economic and environmental analysis of the use of recycled materials in the construction of buildings and structures. *Financial Economics*. 2023, no. 5, pp. 215–216. (In Russian). EDN: IWRDW.
5. Babayeva G.B., Vikol D.I., Dyachenko A.Yu. Modern Technologies of Building from Recycled Materials. In the collection: Innovative Scientific Research in the Modern World: Theory, Methodology, and Practice. Collection of Scientific Articles based on the materials of the XII International Scientific and Practical Conference. Ufa, 2023, pp. 198–202. (In Russian). EDN: EFJQAN.

### Информация об авторах / Information about the authors

**Маратина Шагировна Махотлова**<sup>✉</sup>, канд. биол. наук, академический советник, РИА, Москва; доцент кафедры землеустройства и экспертизы недвижимости, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова», Нальчик  
e-mail: m.mahotlova@yandex.ru

**Maratina Sh. Makhotlova**<sup>✉</sup>, Cand. Sci. (Biology), Academic Advisor, Russian Academy of Engineering, Moscow; Associate Professor of the Department of Land Management and Real Estate Expertise, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Nalchik  
e-mail: m.mahotlova@yandex.ru

**Валерий Михайлович Казиев**, канд. экон. наук, ученый секретарь, Кабардино-Балкарское отделение РИА, Чегем; член-корреспондент, РИА, Москва; доцент кафедры землеустройства и экспертизы недвижимости, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова», Нальчик

**Valery M. Kaziev**, Cand. Sci. (Economy), Academic Secretary, Kabardino-Balkarian Branch of the Russian Academy of Engineering, Chegem; Corresponding member, Russian Academy of Engineering, Moscow; Associate Professor of the Department of Land Management and Real Estate Expertise, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Nalchik

**Мухамед Нургалиевич Кокоев**, д-р техн. наук, профессор, генеральный директор, АО «Каббалкагропромстрой», Нальчик; заслуженный строитель РФ, академик, РИА, Москва; профессор кафедры строительного производства института архитектуры, строительства и дизайна, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова», Нальчик

**Mukhamed N. Kokoev**, Dr. Sci. (Engineering), Professor, General Director, Kabbalkagropromstroy JSC, Nalchik; Honored Builder of the Russian Federation, Full member, Russian Academy of Engineering, Moscow; Professor of the Department of Construction Production at the Institute of Architecture, Construction and Design, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

УДК 691.3

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-63-70](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-63-70)**Л.В. МОРГУН<sup>1,✉</sup>, В.Н. МОРГУН<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Донской государственный технический университет, пл. Гагарина, д. 1, г. Ростов-на-Дону, 344003, Российская Федерация

<sup>2</sup> Южный федеральный университет, ул. Большая Садовая, д. 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006, Российская Федерация

# РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕНОБЕТОНА

## Аннотация

**Введение.** Кратко отмечена потребность строительного комплекса в ресурсосбережении. Показано, что потребность зданий в тепловой энергии зависит от стабильности свойств ограждающих конструкций зданий в условиях эксплуатации.

**Цель.** Выполнить научный анализ способности современных видов ячеистых бетонов сорбировать влагу. Перечислены важнейшие признаки автоклавных газобетонов марки D500 и ниже, обеспечивающие их повышенную склонность к накоплению влаги в условиях эксплуатации и формирующие негативные последствия для пользователей жилья.

**Материалы и методы.** Изложены особенности одностадийной технологии пенобетонов, управляющие мерой замкнутости их газовых пор.

**Результаты.** Приведены результаты экспериментальных исследований, отражающие влияние длины полипропиленовой фибры на скорость фазового перехода пенобетонных смесей из вязкого состояния в упругое и способность затвердевших пенобетонов сорбировать парообразную влагу.

**Выводы.** Установлено, что только одностадийная технология позволяет в смесителях турбулентного действия изготавливать дисперсно-армированные пенобетонные смеси, бетон из которых обладает проницаемостью, соизмеримой с кирпичной кладкой.

**Ключевые слова:** газобетон, слоистые стены, капиллярная пористость, газовая пористость, пенобетонная смесь, турбулентный смеситель, пластическая прочность, сорбционная влажность

**Для цитирования:** Моргун Л.В., Моргун В.Н. Ресурсосберегающая технология пенобетона // *Бетон и железобетон*. 2025. № 6 (631). С. 63–70. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-63-70](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-63-70). EDN: NBVHMC.

## Вклад авторов

Моргун Л.В. – постановка задачи, участие в анализе результатов, редактирование текста статьи.

Моргун В.Н. – планирование эксперимента, выполнение исследований, участие в анализе результатов, написание первого варианта статьи.

## Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 16.10.2025

Поступила после рецензирования 09.11.2025

Принята к публикации 13.11.2025

**L.V. MORGUN<sup>1,✉</sup>, V.N. MORGUN<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Don State Technical University, Gagarina Square, 1, Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation<sup>2</sup> Southern Federal University, Bolshaya Sadovaya str., 105/42, Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation

# RESOURCE—SAVING AERATED CONCRETE TECHNOLOGY

**Abstract**

*Introduction.* The need of the construction complex for resource conservation is briefly noted. It is shown that the demand of buildings for thermal energy depends on the stability of the properties of the enclosing structures of buildings under operating conditions. A scientific analysis of the ability of modern types of cellular concrete to absorb moisture has been performed.

*Aim.* A scientific analysis of the ability of modern types of cellular concrete to absorb moisture has been performed. The most important reasons for autoclaved aerated concrete of D500 and below grades are listed, which ensure their increased tendency to moisture accumulation under operating conditions and form negative consequences for housing users.

*Materials and methods.* The features of single-stage aerated concrete technology that control the degree of closure of their gas pores are described.

*Results.* The results of experimental studies reflecting the effect of the length of polypropylene fiber on the rate of phase transition of aerated concrete mixtures from a viscous state to an elastic one and the ability of hardened aerated concrete to absorb vaporous moisture are presented.

*Conclusions.* It has been established that only a single-stage technology allows for the production of dispersed-reinforced aerated concrete mixtures in turbulent mixers, which have a permeability comparable to that of brickwork.

**Keywords:** aerated concrete, layered walls, capillary porosity, gas porosity, aerated concrete mixture, turbulent mixer, plastic strength, sorption moisture

**For citation:** Morgun L.V., Morgun V.N. Resource-saving aerated concrete technology. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 6 (631), pp. 63–70. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-63-70](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-63-70). EDN: NBMHMC.

**Authors contribution statement**

Morgun L.V. – setting the task, participating in the analysis of the results, and editing the article text.

Morgun V.N. – planning the experiment, conducting the research, participating in the analysis of the results, and writing the first version of the article.

**Funding**

No funding support was obtained for the research.

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

*Received 16.10.2025*

*Revised 09.11.2025*

*Accepted 13.11.2025*



### Введение

Острая потребность в энергоэффективных зданиях возникла в 70-х годах XX века и в настоящее время является реальностью [1]. Накопленный опыт строительства позволяет утверждать, что энергоэффективность – это не конкретная величина, устанавливаемая на этапе проектирования, а величина, способная динамично изменяться в зависимости от свойств применяемых материалов и их сочетаний в слоистых конструкциях зданий.

Для возведения и эксплуатации любого строительного объекта используют различные виды **энергетических** ресурсов: природные, информационные, материальные и т. д. Анализ их распределения, выполненный в [1], показал, что в зависимости от проектного класса энергоэффективности объекта их потребность в тепловой энергии различается очень существенно (рис. 1).

Из данных [1] следует, что здания, построенные до 2000 года, требуют для обеспечения современных стандартных санитарно-гигиенических условий проживания энергетических ресурсов в 6 раз больше, чем энергосберегающий дом, и в 20 раз больше, чем пассивный. Эти расчеты требуют пристального рассмотрения приемов, используемых в современном строительстве, с помощью которых их относят к конкретной категории по показателям эффективности.

Анализ приемов, обеспечивавших требуемый практикой уровень комфортности жилья, показывает, что до 2000 года стены зданий в РФ выполнялись преимущественно из кирпича или керамзитобетона. В крупных городах возводили многоэтажные панельные здания [2, 3] из автоклавного газосиликата

классов D600–D700, свойства которого при нормах, действовавших до 1994 года, позволяли уменьшить материалоемкость объектов в 2 раза, но не обеспечивали снижения теплопотерь в окружающую среду [4].

Переход на нормативы, законодательно действующие с 2000 года, исключил возможность производства крупноразмерных изделий из автоклавного газосиликата, поэтому предприятия, стремившиеся сохранить свою сферу деятельности, стали производить мелкоштучные изделия [5]. Возник повышенный интерес к канадским, немецким и другим «новым» технологиям [6–8]. Эти технологии предлагали стены зданий делать многослойными и применять в них материалы либо недолговечные, либо экологически агрессивные и пожароопасные.

В результате освоения широко разрекламированного зарубежного опыта возникла системная проблема образования плесени внутри жилых помещений [9, 10]. В настоящее время к ней добавляется проблема появления блох в многоэтажных зданиях, которые успешно размножаются внутри помещений с повышенной влажностью среды. Согласно п. 5.2.1 [11] «Блохи, живущие в жилище человека, откладывают яйца в пыль, мусор, находящийся в щелях пола...» или других слоистых конструкциях помещений. Отсюда следует, что конструирование многослойных стен требует грамотного учета не только процессов переноса влаги в сочетаемых материалах, но и наличия в стеновых конструкциях щелевидных пространств (рис. 2), создающих комфортные условия для размножения в них кровососущих насекомых.

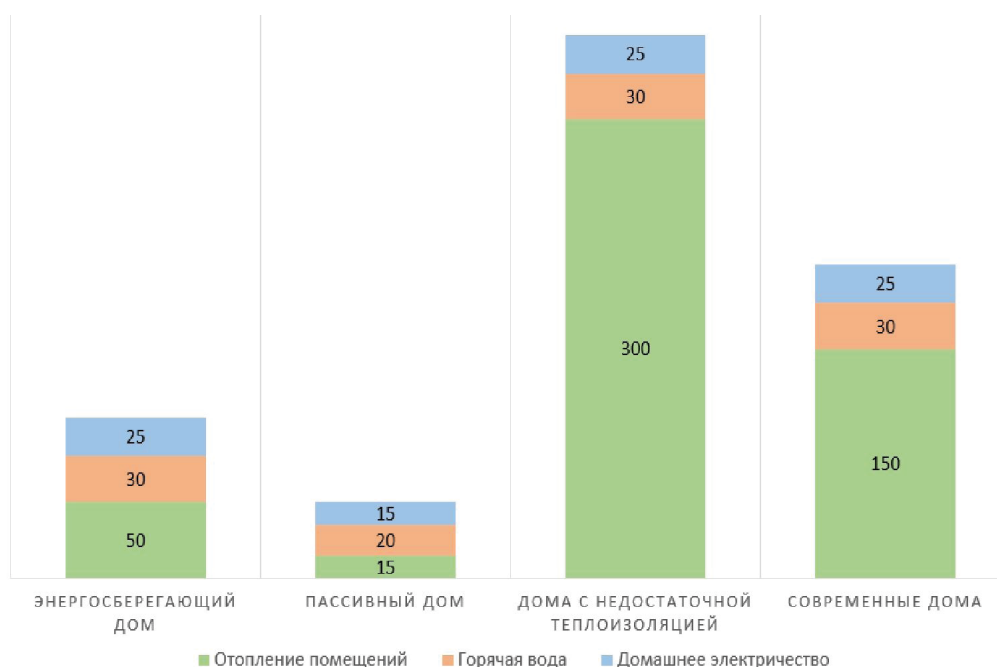
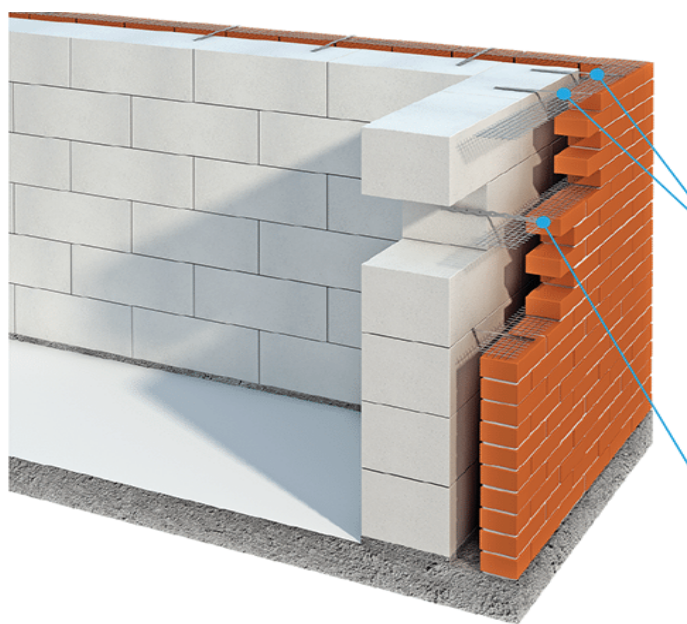


Рис. 1. Потребность в тепловой энергии (кВт×ч/м²) жилых зданий в год в зависимости от класса энергоэффективности [1]  
 Fig. 1. The demand for thermal energy (kWh/m²) of residential buildings per year, depending on the energy efficiency class [1]



**Рис. 2.** Схема расположения теплоизоляционного и фасадного слоев при устройстве слоистых стен  
**Fig. 2.** The layout of the thermal insulation and facade layers in the construction of layered walls

### Цель

Эффективность применения в строительстве автоклавного газобетона признана во всем мире и в настоящее время не имеет себе равных. Однако атмосферостойкость газобетонов марок D500 и ниже не позволит возводить из них однослойные стены (рис. 2). Поэтому важно обратить внимание на различия в эксплуатационных свойствах ячеистых бетонов, обусловленных параметрами их пористости в зависимости от технологии изготовления [12]. Переход автоклавного газобетона от марок D600–D700, из которых построено панельное жилье XX века, к D400 остро обозначил негативное влияние структуры газовой пористости не только на прочностные свойства стенового материала, но и на его способность ускоренно сорбировать влагу [13].

Анализ причин существенного повышения склонности автоклавных газобетонов к сорбции влаги показал, что к важнейшим следует отнести закономерности массопереноса сырьевых компонентов на этапах их гомогенизации и фазового перехода смесей из вязкого состояния в упругое, то есть технологию.

«От взаимного расположения пор, их формы, целостности и количества зависит общая эффективность газобетона» [14]. В этой работе установлено, что шлифы автоклавного газобетона марки D600 даже в направлении, перпендикулярном вспучиванию, демонстрируют неравномерность условно замкнутой макропористости до 3 раз. Кроме того, на внутренней поверхности таких пор обнаружены несросшиеся частицы заполнителя с гидратными новообразованиями вяжущего, наблюдаются «слабозакристаллизованные участки».

Образование слабозакристаллизованных фрагментов твердой фазы на поверхности межпоровых перегородок предопределяет повышение способности такого материала к сорбции парообразной влаги и способствует ухудшению механических свойств газобетонов в условиях эксплуатации [13–15]. Анализ структуры пор газобетона D500 на ртутном поромере [16] показал, что в нем большое «количество крупных пор размером более 1,5–3,5 мм» и они ассиметрично располагаются относительно направления сил гравитации. Следовательно, в газобетонных смесях на этапе фазового перехода из вязкого состояния в упругое дисперсная газовая фаза, формирующаяся в условиях земного тяготения, закономерно образует цепочки из «групп сферических пор» [16], связанных капиллярами.

В ходе ранее выполненных исследований [12, 17] установлено, что газовая пористость фибропенобетонов по сравнению с равноплотными газобетонами может обладать существенно большей замкнутостью и, как следствие, меньшей способностью к накоплению сорбционной влаги в условиях эксплуатации. Важнейшей причиной обретения перечисленных свойств стали особенности распределения компонентов сырья при его гомогенизации в турбулентном смесителе.

### Материалы и методы

Суть особенностей заключается в том, что при скорости движения рабочего органа турбулентного смесителя 500–750 об/мин сначала обводняются и равномерно распределяются в его объеме твердые зернистые частицы сырья (цемент, заполнитель). Затем, после введения пенообразователя, начинается

процесс насыщения приготовляемой смеси дисперсной газовой фазой, которая на этом этапе является только замкнутой. Последней вводится фибра.

После завершения перемешивания и укладки смеси в опалубку в результате проявления поверхностных сил сырья и химического взаимодействия цемента с водой начинается процесс формирования кластеров из дисперсных частиц твердой фазы [18]. Скорость и качество этого процесса регулируются формой и геометрическими параметрами заполнителей.

В том случае, когда в составе сырья кроме заполнителей зернистой формы имеется некоторое количество волокнистой формы, равномерно распределенной в объеме пенобетонной смеси, наблюдается существенное сокращение периода фазового перехода из вязкого состояния в упругое. Эта особенность для высокообводненной дисперсной системы, какой является пенобетонная смесь, особенно важна, потому что параллельно с процессом кластерообразования в ней протекают химические реакции взаимодействия клинкерных минералов цемента с водой.

При наличии фибры в рецептуре пенобетонных смесей ускоренный процесс формирования трубчатых кластеров обусловлен:

– наличием в дисперсионной среде протяженных поверхностей раздела фаз (фибры);

– способностью фибры проявлять электретыные свойства [19].

Перечисленные особенности рецептуры смесей позволяют сохранять постоянство концентрации поверхностно активных веществ (ПАВ) в межчастичной жидкости и таким образом исключать возможность проявления коалесценции на этапе преобладания вязких связей между компонентами твердой фазы. Отсутствие коалесценции в обозначенный период формирования структуры твердой фазы должно исключать возможность образования сообщающейся пористости в затвердевшем пенобетоне или существенно снижать возможность ее проявления.

### Результаты

Экспериментальные исследования, направленные на анализ влияния длины и электретыных свойств полипропиленовой фибры на способность пенобетонов сорбировать парообразную влагу, осуществлялись по ГОСТ 12852.6-2020 [20] на трех образцах-близнецах произвольной формы, отобранных из середины блоков соответствующей плотности и помещенных в емкости. Масса каждого сухого образца, подвергаемого испытаниям на сорбционную влажность, превышала 10 г. Исследования показали, что длина фибры важна для обретения требуемых практикой эксплуатационных свойств затвердевших пенобетонов (табл. 1).

Таблица 1

**Влияние скорости роста пластической прочности в пенобетонных смесях на способность затвердевших пенобетонов сорбировать парообразную влагу**

Table 1

**The effect of the growth rate of plastic strength in aerated concrete mixtures on the ability of hardened aerated concrete to absorb vapor moisture**

Марка	Пластическая прочность (па) через (минут) укладки в опалубку				Сорбционная влажность (об.%) при относительной влажности воздуха		Коэффициент насыщения пор влагой при сорбции водяных паров
	0	15	90	180	60 %	97 %	
ПБ <sub>D500</sub>	46	45	86	207	4,827	8,262	0,105
ПБ <sub>D700</sub>	49	62	114	301	5,853	9,144	0,128
*ФПБ <sub>D500</sub>	46	47	94	245	4,623	7,933	0,101
*ФПБ <sub>D700</sub>	49	58	101	368	5,346	8,785	0,126
ФПБ <sub>D500</sub>	46	76	198	487	3,169	5,233	0,066
ФПБ <sub>D700</sub>	50	94	292	648	4,112	7,008	0,101

Примечания: маркировка ПБD500 и ПБD700 относится к смесям и бетонам, содержащим заполнитель только в виде песка фракцией мельче 0,315 мм; маркировка \*ФПБD500 и \*ФПБD700 относится к смесям и бетонам, содержащим по массе 99 % песка фракцией мельче 0,315 мм и 1 % фибры длиной 6 мм; маркировка ФПБD500 и ФПБD700 относится к смесям и бетонам, содержащим по массе 99 % песка фракцией мельче 0,315 мм и 1 % фибры длиной 18 мм.

Из данных, представленных в табл. 1, следует, что фибра, введенная в рецептуру взамен 1 % песка, способствует ускоренному росту пластической прочности в пенобетонных смесях. Однако интенсивность роста пластической прочности корреляционно зависит от длины фибры. При одинаковой мере насыщения дисперсной арматурой через 3 часа нахождения в опалубке пластическая прочность пенобетонной смеси марки D500, в составе которой была шестимиллиметровая фибра, превышала прочность классической на 18 %, а при длине 18 мм – на 135 %. В пенобетонных смесях марки D700 изменения были соответствующими. Фибра длиной 6 мм обеспечила ускорение на 22 %, а при длине 18 мм эффект ускоренного роста составил 115 %.

Из изложенного следует, что практическое влияние скорости формирования трубчатых кластеров в межпоровых перегородках пенобетонов отражается на их способности сорбировать парообразную влагу (табл. 1). Эксперимент показал, что дисперсное армирование пенобетонов полипропиленовыми волокнами длиной 6 мм позволяет снижать коэффициент насыщения парообразной влагой на 1,5–3,8 %, а удлинение фибры до 18 мм обеспечивает эффект, составляющий 21–37 %, то есть на порядок больше.

### Выводы

Результаты экспериментальных исследований подтверждают научное обоснование и позволяют утверждать, что одностадийная технология пенобетонных смесей является безусловно ресурсосберегающей по следующим основаниям:

– дисперсно-армированные пенобетонные смеси любых плотностей можно изготавливать только в смесях турбулентного действия;

– дисперсное армирование пенобетонных смесей позволяет комплексно совершенствовать эксплуатационные свойства пенобетонов и таким образом способствовать ресурсосбережению в строительстве.

### Список литературы

1. Михеев Г.В., Варич Э.С. Разработка проекта малоэтажного жилого дома с использованием ресурсосберегающих технологий // *Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ»*. 2020. № 1. С. 1–11. EDN: OYRSUR.
2. Шелегеда Б.Г., Кравцов А.Ю. Ресурсосбережение в строительстве: от проекта до эксплуатации жилых зданий // *Науково-технічний збірник*. 2010. № 96. С. 410–418.
3. Пинскер В.А., Вылегжанин В.П. Ячеистый бетон, как испытанный временем материал для капитального строительства // *Строительные материалы*. 2004. № 3. С. 44–45. EDN: IBEEMH.
4. Хихлуха Л.В. Реализация национального проекта «Доступное и комфортное жилье гражданам

- России» требует всесторонней научной и экономической проработки // *Строительные материалы*. 2006. № 4. С. 4–8. EDN: HTCIPD.
5. Гринфельд Г.И. Инженерные решения обеспечения энергоэффективности зданий. Отделка кладки из автоклавного газобетона: учеб. пособие. Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 130 с.
6. Орлов Д.В. Надежные, экологичные и доступные дома по новой технологии // *Газета «Строительный вестник Дона»*. 2010. № 4 (33). С. 2.
7. Леонченко А.В. Армокаркасная сборно-монолитная технология // *Строительная орбита*. 2006. № 12. С. 22–26.
8. Строительные конструкции системы «ПЛАСТАУ-3». Каталог, ЗАО «Узловский завод строительных конструкций ЦентрГаз». 34 с.
9. Экспертное совещание ВОЗ: Рекомендации по вопросам политики осуществления мер вмешательства и действий для борьбы с сыростью и плесенью, Бонн, Германия, 9–10 февраля 2009 г. Копенгаген, Европейское региональное бюро ВОЗ, 2009 г. Режим доступа: [http://www.euro.who.int/Housing/support/20090107\\_1](http://www.euro.who.int/Housing/support/20090107_1).
10. Богомолова Е.В., Комарова В.Л. Чем пахнет плесень? // *Светопрозрачные конструкции*. 2009. № 1–2. С. 8–11.
11. Р 3.5.2.2487-09. Руководство по медицинской дезинсекции. Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 143 с.
12. Моргун Л.В. Энергоэффективность ячеистых бетонов в условиях эксплуатации // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2025. № 7. С. 49–58. DOI: <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2025-799-7-49-58>. EDN: IRYHBQ.
13. Крутилин А.Б., Рыхленок Ю.А., Лешкевич В.В. Теплофизические характеристики автоклавных ячеистых бетонов низких плотностей и их влияние на долговечность наружных стен зданий // *Инженерно-строительный журнал*. 2015. № 2. С. 46–55. DOI: <https://doi.org/10.5862/MCE.54.5>. EDN: TMJQPD.
14. Баранов А.А., Шанин А.О. Управление структурообразованием газобетона с помощью модифицированного кремнеземистого компонента // *Вестник Инженерной школы ДВФУ*. 2024. № 2 (59). С. 77–90. DOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2024-2/77-90>. EDN: BGVFEI.
15. Ватин Н.И., Горшков А.С., Корниенко С.В., Пестряков И.И. Потребительские свойства стеновых изделий из автоклавного газобетона // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2016. № 1 (40). С. 78–101. EDN: VLNKUJ.
16. Адилходжаев А.А., Шаумаров С.С., Щипачева Е.В. Структурно-имитационное моделирование макроструктуры ячеистого бетона. Ташкент, 2023. 161 с.



17. Моргун В.Н., Моргун Л.В. О важности учета индивидуальных свойств стеновых материалов при строительстве зданий // *Инженерный вестник Дона*. 2024. № 11 (119). С. 445–460. EDN: KUPPBQ.
18. Моргун Л.В., Гебру Б.К., Нагорский В.В. Влияние заполнителей на технологические свойства пенобетонных смесей // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2023. № 12 (780). С. 18–24. DOI: <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-780-12-18-24>. EDN: ICVVYI.
19. Моргун Л.В., Нагорский В.В., Моргун В.Н. Влияние энергетического потенциала фибры на структуру и свойства пенобетонов, изготавливаемых по одностадийной технологии // *Строительные материалы*. 2025. № 5. С. 68–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2025-835-5-68-72>. EDN: MDWLUE.
20. ГОСТ 12852.6-2020. Бетон ячеистый. Метод определения сорбционной влажности. Москва: Российский институт стандартизации, 2021.
9. WHO Expert Meeting: Policy recommendations for the implementation of interventions and actions to control dampness and mold, Bonn, Germany, February 9-10, 2009 Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2009. Available at: [http://www.euro.who.int/Housing/support/20090107\\_1](http://www.euro.who.int/Housing/support/20090107_1). (In Russian).
10. Bogomolova E.V., Komarova V.L. What does mold smell like? *Translucent structures*. 2009, no. 1–2, pp. 8–11. (In Russian).
11. P 3.5.2.2487-09. Guidelines for medical disinfection. Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009, 143 p. (In Russian).
12. Morgun L.V. Energy efficiency of cellular concretes under operating conditions. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2025, no. 7, pp. 49–58. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2025-799-7-49-58>. EDN: IRYHBQ.
13. Krutinin A.B., Rykhliouk Y.A., Liashkevich V.V. Thermophysical characteristics of low density autoclaved aerated concrete and their influence on durability of exterior walls of buildings. *Magazine of Civil Engineering*. 2015, no. 2, pp. 46–55. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.5862/MCE.54.5>. EDN: TMJQPD.
14. Baranov A.A., Shanin A.O. Control of the structure formation of aerated concrete using a modified silica component. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2024, no. 2 (59), pp. 77–90. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2024-2/77-90>. EDN: BGVFEI.
15. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Kornienko S.V., Pestryakov I.I. The consumer properties of wall products from AAC. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2016, no. 1 (40), pp. 78–101. (In Russian). EDN: VLNKUJ.
16. Adilkhodzhaev A.A., Shaumarov S.S., Shchipacheva E.V. Structural and simulation modeling of the macrostructure of aerated concrete. Tashkent, 2023, 161 p. (In Russian).
17. Morgun V.N., Morgun L.V. The importance of taking into account the individual properties of wall materials in the construction of buildings. *Engineering journal of Don*. 2024, no. 11 (119), pp. 445–460. (In Russian). EDN: KUPPBQ.
18. Morgun L.V., Gebru B.K., Nagorskii V.V. The effect of fine aggregate properties on the technological characteristics of foam concrete mixtures. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2023, no. 12 (780), pp. 18–24. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-780-12-18-24>. EDN: ICVVYI.
19. Morgun L.V., Nagorskiy V.V., Morgun V.N. The influence of the energy potential of fiber on the structure and properties of foam concrete manufactured using single-stage technology. *Stroitel'nye Materialy = Construction Materials*. 2025, no. 5, pp. 68–72. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2025-835-5-68-72>. EDN: MDWLUE.

### References

1. Mikheev G.V., Varich E.S. Development of a low-rise residential building project using resource-saving technologies. *Scientific Works of the Kuban State Technological University*. 2020, no. 1, pp. 1–11. (In Russian). EDN: OYRSUR.
2. Shelegeda B.G., Kravtsov A.Yu. Resource saving in construction: from design to operation of residential buildings. *Scientific and technical collection*. 2010, no. 96, pp. 410–418. (In Russian).
3. Pinsker V.A., Vylegzhanin V.P. Aerated concrete as a time-tested material for capital construction. *Stroitel'nye Materialy = Construction Materials*. 2004, no. 3, pp. 44–45. (In Russian). EDN: IBEMMH.
4. Khikhluha L.V. The implementation of the National Project “Affordable and comfortable housing for Russian citizens” requires comprehensive scientific and economic study. *Stroitel'nye Materialy = Construction Materials*. 2006, no. 4, pp. 4–8. (In Russian). EDN: HTCIPD.
5. Grinfeld G.I. Engineering Solutions for Ensuring Energy Efficiency in Buildings. Finishing of Masonry Made of Autoclaved Aerated Concrete: textbook. Saint Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University, 2011, 130 p. (In Russian).
6. Orlov D.V. Reliable, eco-friendly and affordable houses using new technology. *Newspaper “Construction Bulletin of the Don”*. 2010, no. 4 (33), p. 2. (In Russian).
7. Leontenko A.V. Reinforced frame prefabricated monolithic technology. *Construction orbit*. 2006, no. 12, pp. 22–26. (In Russian).
8. Building structures of the PLASTBAU-3 system. Catalog, CJSC Uzlovsky Plant of Building Structures Tsentrgaz, 34 p. (In Russian).

20. State Standard 12852.6-2020. Cellular concrete. Method of hygroscopic moisture determination. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2021. (In Russian).

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

**Любовь Васильевна Моргун**✉, д-р техн. наук, профессор кафедры строительных материалов, Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

e-mail: konst-lvm@yandex.ru

**Lyubov V. Morgun**✉, Dr. Sci. (Engineering), Professor of the Department of Building Materials, Don State Technical University, Rostov-on-Don

e-mail: konst-lvm@yandex.ru

**Владимир Николаевич Моргун**, канд. техн. наук, доцент кафедры инженерно-строительных дисциплин, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

e-mail: vnmorgun@sfnu.ru

**Vladimir N. Morgun**, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Civil Engineering, Southern Federal University, Rostov-on-Don

e-mail: vnmorgun@sfnu.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



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

Мы – команда единомышленников,  
способных реализовать самые сложные  
инженерные проекты.

## УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР

АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



**ниц строительство**  
научно-исследовательский центр



ЦНИИСК  
ИИ В.А. КУЧЕРЕНКО



НИИЖБ  
ИИ А.А. ГРОЗДЕВА



НИИОСП  
ИИ Н.М. ГЕРСБАНДОВА



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



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



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



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



ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ

ИЗЫСКАНИЯ

СТРОИТЕЛЬСТВО

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



повысить квалификацию  
специалистов и экспертов

пройти обучение в аспирантуре

подготовить диссертацию в докторантуре

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

Учебный центр  
АО «НИЦ «Строительство»  
приглашает вас:





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

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



### Преподавательский состав Учебного центра

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

## 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»





**ниц** строительство  
научно-исследовательский центр



ЦНИИСК  
ИМ. В.А. КУЧЕРЕНКО



НИИЖБ  
ИМ. А.А. ГВОЗДЕВА



НИИОСП  
ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

# ЦОК

центр  
оценки  
квалификации

**НЕЗАВИСИМАЯ  
ОЦЕНКА КВАЛИФИКАЦИИ**

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



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

Научно-технический журнал  
Бетон и железобетон  
Вып. 6 (631) 2025

Редактор выпуска Починина Н.Е.  
Компьютерная верстка Игнатьева Е.Н.  
Дата выхода в свет 28.02.2025 Формат 60x88 1/8



