

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

1

626

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

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Издается с 1955 г.

1 (626)

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Т.А. БЕЛАШ, И.В. СВИТЛИК

**Оценка поведения здания ствольно-подвесной системы
при выключении из работы
отдельных конструктивных элементов**

5

Н.А. ИВАНЕНКО, С.Ю. СЕМЕНОВ, Ф.И. СУХАРЕВ

**Работа трубобетонных элементов сейсмоизоляции
при диагональном сжатии в предельных состояниях**

19

И.А. ИВАНОВ

**Каналообразователи в преднапряженных
железобетонных изделиях**

28

РЕЦЕНЗИЯ

Г.П. ТОНКИХ

**На учебник для вузов «Железобетонные конструкции»
в двух частях (авторы – Э.Н. Кодыш, Н.Н. Трекин,
В.С. Федоров, И.А. Терехов)**

36

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

В.В. МИКРЮКОВ, А.А. ПАЦЕВ, А.Н. ЗАЙЦЕВ, А.В. БУЧКИН, Г.В. ЧЕХНИЙ,
А.С. МУРАЧЕВ, А.В. ДЕМИН, В.В. КНЯЗЕВ, О.А. САВОТИН

**Модифицированные бетонные смеси
для улучшения эксплуатационных характеристик
и срока службы стоек опор ВЛ 0,4–10 кВ**

38

В.А. ХАРИТОНОВ, И.М. ПЕТРОВ, С.В. СНИМЩИКОВ,
М.Ю. УСАНОВ, И.П. САВРАСОВ, Д.О. ДЕМИН

**Методика выборочного контроля качества
арматурного проката**

50

В.Л. ХЛОПУК

**Истираемость бетона из сухой самоуплотняющейся
напрягающей бетонной смеси**

66

Авторы

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

Редакция

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

Перепечатка

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

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

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

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

E-mail: bzhb.ru@yandex.ru

http: //bzhb.ru

Свободная цена

Founder of the journal:

«Reinforced concrete» Association
Address: 22, building 2, Ryazansky prospect,
 Moscow, 109428, Russian Federation

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

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 NIZhB Gosstroy of the
 USSR and VNIIZhelezobeton of the USSR
 Ministry of Construction Materials

BETON I ZHELEZOBETON

Published since 1955

1 (626)

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND STRUCTURES

T.A. BELASH, I.V. SVITLIK

**Behavior of the core–suspended building in case
 of local collapse of structural elements** **5**

N.A. IVANENKO, S.Yu. SEMENOV, F.I. SUKHAREV

**The operation of guncrete seismic isolation elements
 under diagonal compression in extreme conditions** **19**

I.A. IVANOV

Channelizers in prestressed reinforced concrete products **28**

REVIEW

G.P. TONKIKH

**Of the textbook for universities "Reinforced concrete structures"
 in two parts (authors – E.N. Kodysh, N.N. Trekin,
 V.S. Fedorov, I.A. Terekhov)** **36**

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

V.V. MIKRYUKOV, A.A. PATSEV, A.N. ZAITSEV, A.V. BUCHKIN, G.V. CHEKHNI, I,
 A.S. MURACHEV, A.V. DEMIN, V.V. KNYAZEV, O.A. SAVOTIN

**Modified concrete mixes to improve the performance
 and service life of 0.4–10 kV overhead line support posts** **38**

V.A. KHARITONOV, I.M. PETROV, S.V. SNIMSHCHIKOV,
 M.Yu. USANOV, I.P. SAVRASOV, D.O. DEMIN

**The methodology of selective quality control
 of rebar products** **50**

V.L. KHLOPUK

**Abradability of concrete from dry self–compacting
 self–stressing concrete mix** **66**

The authors

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

The Editorial Staff

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

Reprinting

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

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

Editorial address: 6, bld. 1, 2nd Institutskaya
 str., Moscow, 109428, Russian Federation
Tel.: +7(495) 602-00-70, add. 1022/1023
E-mail: bzhb.ru@yandex.ru
http://bzhb.ru

Free price

Редакционная коллегия

ЗВЕЗДОВ А.И., главный редактор, д-р техн. наук, профессор, заместитель генерального директора, АО «НИЦ «Строительство» по научной работе (Москва, Российская Федерация)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ТИХОНОВ И.Н., д-р техн. наук, профессор, заведующий центром № 21, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева 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, 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, Deputy Director General for Research, JSC Research Center of Construction (Moscow, Russian Federation)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

RAKHMANOV V.A., Cand. Sci. (Engineering), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Chairman of the Board of Directors, "Institute 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, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Counselor of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russian Federation)

TIKHONOV I.N., Dr. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Center No. 21, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, 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, 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.

Т.А. БЕЛАШ¹, И.В. СВИТЛИК^{2,✉}

¹ АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

² Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2-я Красноармейская ул., д. 4, г. Санкт-Петербург, 190005, Российская Федерация

ОЦЕНКА ПОВЕДЕНИЯ ЗДАНИЯ СТВОЛЬНО–ПОДВЕСНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ВЫКЛЮЧЕНИИ ИЗ РАБОТЫ ОТДЕЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация

Введение. Ствольно-подвесная конструктивная система впервые была применена при возведении высотных зданий в 1960-х годах. Разработанная с целью рационального использования городского пространства в условиях плотной застройки несущая система получила широкое распространение по всему миру. Ствольно-подвесные здания помимо архитектурных достоинств обладают рядом важных конструктивных особенностей, заключающихся в повышенной гибкости их несущих элементов. Это может быть использовано для снижения усилий, возникающих в конструкциях при различных динамических воздействиях. При этом возведение и эксплуатация зданий ствольно-подвесного типа сопряжены с техническими трудностями. Аварийный выход из строя ответственных несущих элементов, например подвесок или стен ядра жесткости, в зданиях такого типа способен привести к лавинообразному обрушению других конструкций. Обеспечению сопротивляемости ствольно-подвесных зданий прогрессирующему обрушению должно быть уделено особое внимание.

Цель. Провести анализ подверженности многоэтажного здания подвесного типа прогрессирующему обрушению.

Материалы и методы. Для анализа подверженности здания подвесного типа с предлагаемым конструктивным решением прогрессирующему обрушению в программном комплексе ЛИРА проведено численное моделирование здания со ствольно-подвесной несущей системой при выходе из работы наиболее ответственных несущих элементов.

Результаты. Получены данные о напряженно-деформированном состоянии несущих элементов при локальном разрушении конструкций.

Выводы. По результатам работы получены данные о поведении здания в расчетных ситуациях, соответствующих различным сценариям локального разрушения конструкций, свидетельствующие о том, что рассматриваемое ствольно-подвесное здание не подвержено прогрессирующему обрушению.

Ключевые слова: высотные здания, подвесные конструкции, прогрессирующее обрушение, ствольно-подвесная система, напряженно-деформированное состояние

Для цитирования: Белаш Т.А., Свитлик И.В. Оценка поведения здания ствольно-подвесной системы при выключении из работы отдельных конструктивных элементов // *Бетон и железобетон*. 2025. № 1 (626). С. 5–18. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1\(626\)-5-18](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1(626)-5-18). EDN: EUFWNR

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 23.01.2025

Поступила после рецензирования 14.02.2025

Принята к публикации 20.02.2025

T.A. BELASH¹, I.V. SVITLIK^{2,✉}

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

² Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2nd Krasnoarmeiskaya str., 4,
Saint Petersburg, 190005, Russian Federation

BEHAVIOR OF THE CORE—SUSPENDED BUILDING IN CASE OF LOCAL COLLAPSE OF STRUCTURAL ELEMENTS

Abstract

Introduction. The core-suspended system was first used in the construction of high-rise buildings in the 1960s. This system was developed with the aim of rational use of urban space in conditions of dense buildings. It has become widespread around the world. In addition to their architectural advantages, core-suspended buildings have a number of important design features such as the increased flexibility of their load-bearing elements. This can be used to reduce the forces that occur in structures under various dynamic influences. At the same time, the construction and exploitation of buildings of the core-suspended type have technical difficulties. An emergency failure of critical load-bearing elements, such as suspensions or walls of the core of rigidity, in buildings of this type can lead to an avalanche-like collapse of other structures. Special attention should be paid to ensuring the resistance of trunk-suspended buildings to progressive collapse.

Aim. To analyze the susceptibility of a multi-storey suspended building to progressive collapse.

Materials and methods. In the LIRA software package, numerical modeling of a building with a core-suspended load-bearing system was carried out when the accidental failure of most critical load-bearing elements was occurred. This allowed an analysis of the building's resistance to progressive collapse.

Results. Data on the stress-strain state of load-bearing elements during local structural failure have been obtained.

Conclusions. The core-suspended building is not susceptible to progressive collapse. This is confirmed by data on the behavior of the building in calculations corresponding to various local structural failures.

Keywords: high-rise buildings, suspended structures, progressive collapse, core-suspended system, stress-strain state

For citation: Belash T.A., Svitlik I.V. Behavior of the core-suspended building in case of local collapse of structural elements. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 1 (626), pp. 5–18. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1\(626\)-5-18](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1(626)-5-18). EDN: EUFWNR

Authors contribution statement

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

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 23.01.2025

Revised 14.02.2025

Accepted 20.02.2025

Введение

В зданиях ствольно-подвесного типа несущий ствол является единственной конструкцией, передающей вертикальную нагрузку от всех элементов здания на фундамент [1]. Нарушение целостности элементов ядра жесткости способно повлечь за собой цепное разрушение других несущих конструкций и в конечном итоге всего здания.

Локальное разрушение подвесок, воспринимающих нагрузку от блоков этажей и передающих ее консольному оголовку здания, способно привести к увеличению усилий в других подвесках. Выход из работы подвесок, не рассчитанных на увеличенные значения нагрузок, приведет к лавинообразному обрушению всех последовательно подвешенных перекрытий. Одной из наиболее вероятных причин выхода из работы подвесок является разрушение узлов примыкания вант к несущим конструкциям. Вопросы проектирования, моделирования и расчета узлов вантовых конструкций отражены во множестве работ [2–4]. Исследования, посвященные проблеме устойчивости конструкций мостов при разрушении тросов, свидетельствуют о том, что в несущих балках возникают значительные изгибающие моменты [5].

Во избежание возникновения прогрессирующего обрушения, вызванного локальным разрушением

несущих элементов здания, необходимо обеспечить требуемую несущую способность и деформативность конструкций здания, а также соединений между ними при выходе из работы некоторых из них.

Целью работы является анализ подверженности многоэтажного здания подвесного типа прогрессирующему обрушению.

Материалы и методы

На рис. 1 представлено конструктивное решение здания ствольно-подвесного типа, призванное обеспечить его сопротивляемость сейсмическим воздействиям путем динамического гашения колебаний [6], идея которого состоит в том, что к колеблющемуся объекту с помощью упругой связи присоединяют дополнительную массу [7]. Колеблющейся конструкцией, амплитуду колебаний которой необходимо снизить, в этой системе является несущий ствол, а дополнительной массой – подвешенные блоки этажей. Ключевое отличие рассматриваемой конструкции здания от известных решений [8–10] заключается в том, что подвешенные этажи объединены в геометрически неизменяемые блоки с независимой подвеской к несущему оголовку. Рассматриваемое конструктивное решение здания выбрано для дальнейшего анализа его сопротивляемости прогрессирующему обрушению.

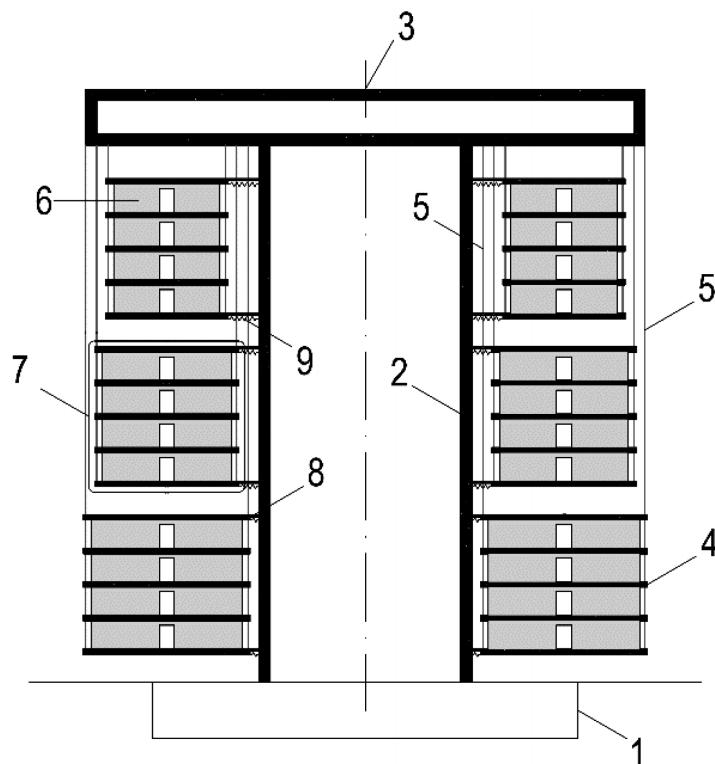


Рис. 1. Здание с подвешенными блоками этажей: 1 – фундамент; 2 – несущий ствол; 3 – консольный ростверк; 4 – плиты перекрытий; 5 – подвески; 6 – диафрагмы жесткости; 7 – геометрически неизменяемые блоки этажей; 8 – выключающиеся связи; 9 – упругие связи
Fig. 1. A building with suspended blocks of floors: 1 – foundation; 2 – rigid core; 3 – cantilever grillage; 4 – floor slabs; 5 – suspensions; 6 – stiffening diaphragms; 7 – floor blocks; 8 – switching connections; 9 – flexible connections

В качестве объекта моделирования выбрано 17-этажное здание. Ядро жесткости моделируемого здания имеет круглую форму, его диаметр равен 19 м (рис. 2). Толщина несущих стен принята равной 500 мм, перегородок – 200 мм. По высоте центральное ядро разделено жесткими дисками перекрытий, толщина которых принята равной 300 мм. Для уменьшения пролета плит перекрытий в схему включены колонны сечением 500 × 500 мм, связанные со стенами лифтовых шахт балками высотой 700 мм и шириной 500 мм. Наружный диаметр здания равен 38 м. Входящие во внешний объем здания плиты перекрытий имеют толщину 200 мм. Между ядром жесткости зданий ствольно-подвесного типа и плитами перекрытий предусмотрен зазор шириной 500 мм с целью обеспечения независимого взаимного перемещения несущих и подвешенных кон-

струкций. Материал несущих конструкций ствола и ростверка здания – бетон марки В45. Конструкции перегородок и подвешенных плит перекрытий выполнены из бетона класса В30. В качестве несущих подвесок применены стальные канаты.

Консольный ростверк, устраиваемый на вершине ствольно-подвесных зданий (рис. 3), имеет высоту 2,2 м. Его конструкция представлена 12 радиально расположенными балками-стенками шириной 1000 мм и примыкающими к ним плитами толщиной 500 мм. Плиты перекрытий прикреплены по внешнему и внутреннему контурам через 48 подвесок. Балки перекрытий, попарно соединяющие внутренние и внешние подвески, выполнены из стального двутавра. Плиты перекрытий объединены в блоки при помощи пространственной решетчатой системы, выполненной из элементов трубного проката (рис. 4).

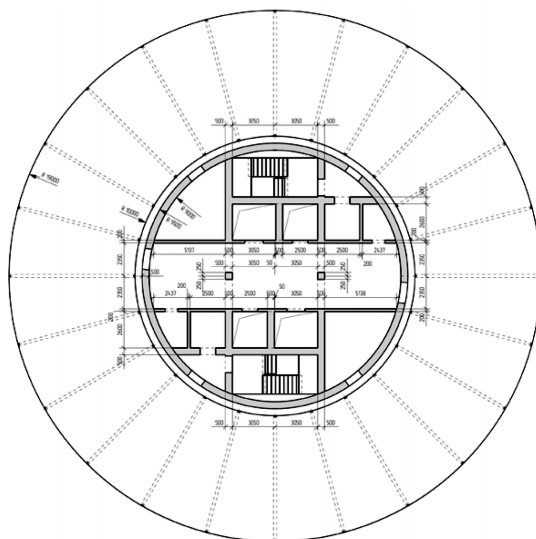


Рис. 2. План типового этажа здания со ствольно-подвесной несущей системой
Fig. 2. The plan of a typical floor of building with a core-suspended system

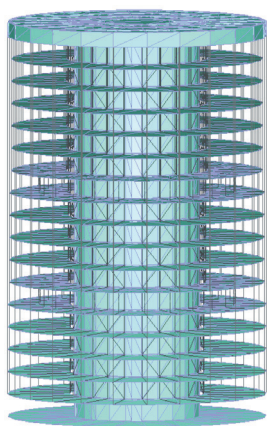


Рис. 3. Расчетная модель здания
Fig. 3. Calculation model of the building

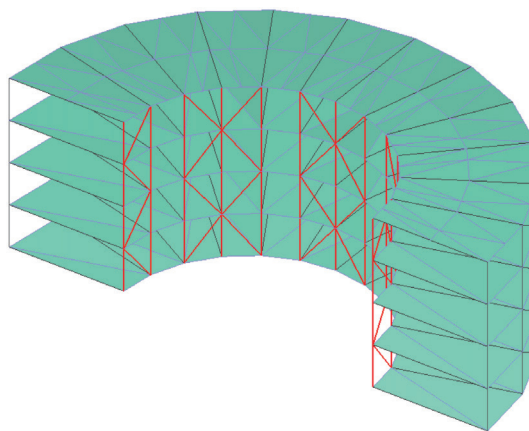


Рис. 4. Фрагмент расчетной модели с элементами пространственной жесткости
Fig. 4. A fragment of a calculation model with elements of spatial rigidity

Для анализа подверженности здания подвесного типа с предлагаемым конструктивным решением прогрессирующему обрушению проведено расчетно-теоретическое исследование. Достаточность предусмотренных конструктивных мероприятий, препятствующих прогрессирующему обрушению, оценивается на основании данных об усилиях и деформациях несущих конструкций при достижении особого предельного состояния некоторыми элементами здания.

Для расчета на защиту здания от прогрессирующего обрушения выбраны несущие элементы, выход из строя которых может повлечь за собой разрушение соседних конструкций. Приняты следующие сценарии локального разрушения несущих элементов:

– разрушение наружной стены в уровне первого этажа здания в пределах участка, ограниченного двумя проемами (рис. 5а);

– разрушение пересекающихся стен ядра жесткости до пересечения со стенами, расположенными в другом направлении (рис. 5б);

– разрушение несущего ригеля консольного ростверка и примыкающих к нему вертикальных элементов в пределах участка общей длиной 6 м (рис. 5в);

– разрушение трех несущих подвесок, расположенных по наружному периметру здания в уровне верхнего этажа (рис. 5г).

Рассматриваемые несущие элементы наиболее нагружены. Помимо этого, их выключение из работы приведет к увеличению нагрузки на другие ответственные несущие элементы.

Расчетные прочностные характеристики материалов при расчете здания на локальное обрушение конструкций приняты равными их нормативным значениям. При расчете учтена реальная диаграмма работы материалов конструкций (рис. 6). Свойства материалов приведены в табл. 1.

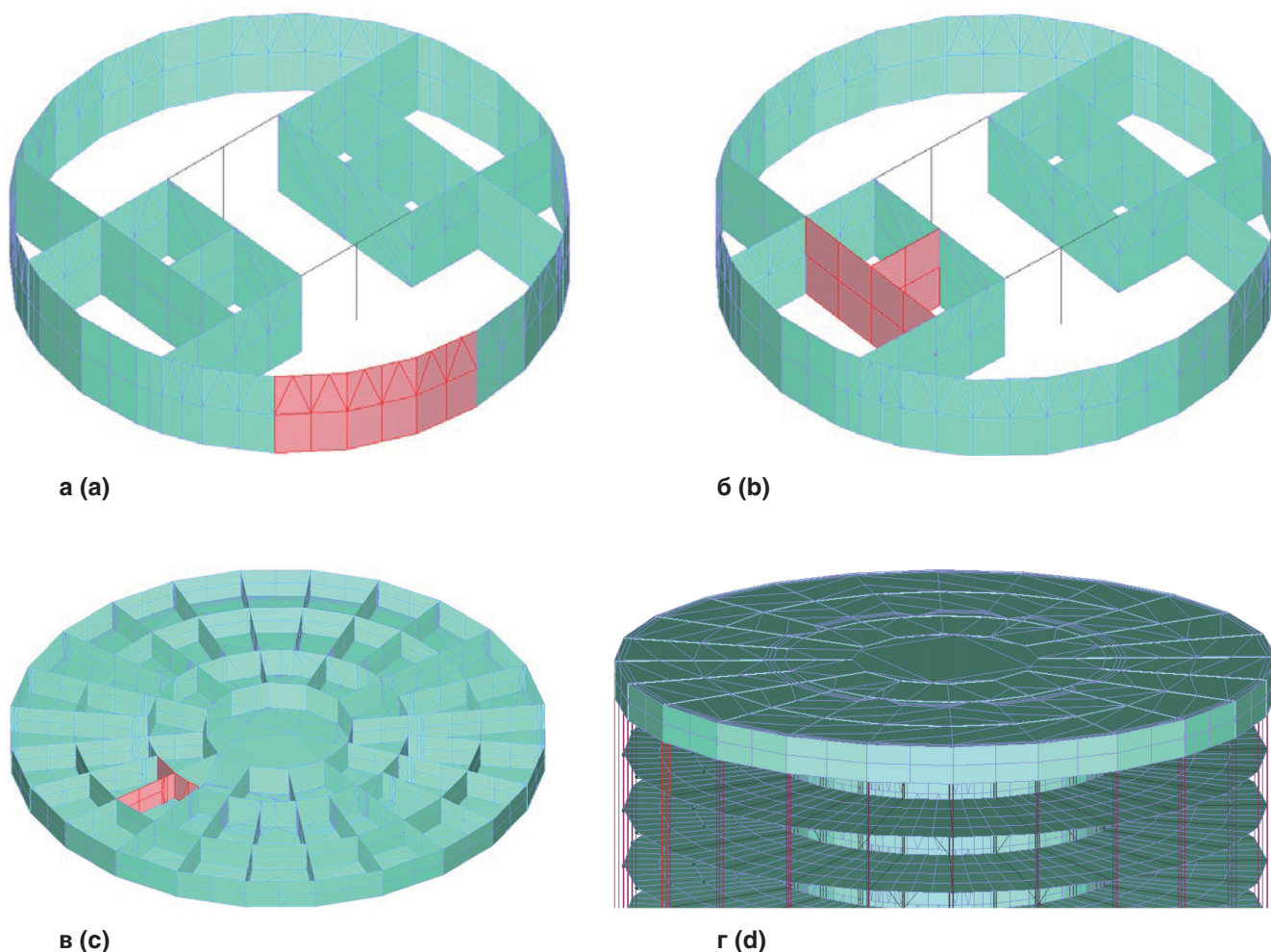


Рис. 5. Сценарии локального разрушения несущих элементов: а – наружной стены ядра жесткости; б – внутренних стен ядра жесткости; в – балок консольного ростверка; г – наружных подвесок
Fig. 5. Scenarios of local collapse of load-bearing elements: a – the outer wall of the core; b – the inner walls of the core; c – beams of the cantilever grillage; d – external suspensions

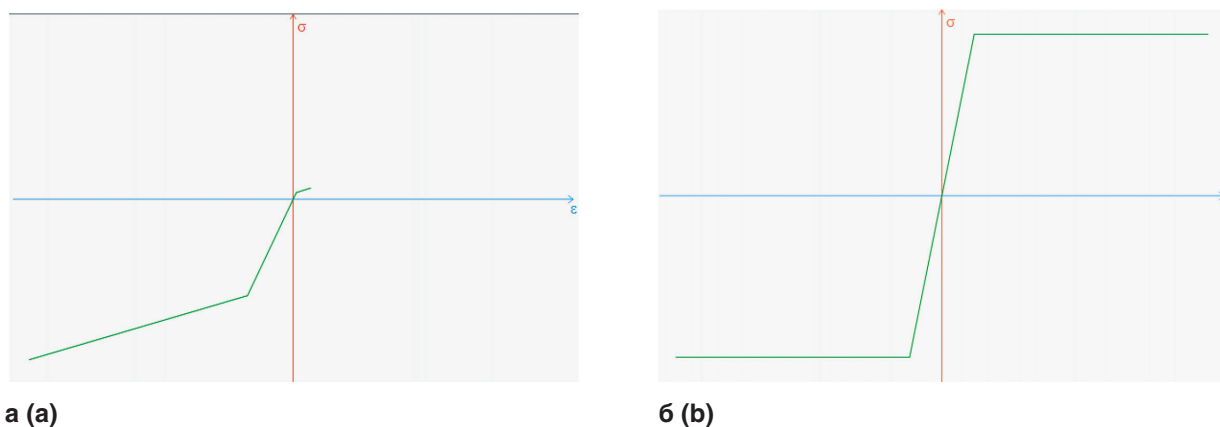


Рис. 6. Графики зависимости напряжений σ от относительных деформаций ε : а – для бетона; б – для армирующего материала
Fig. 6. Graphs of stress σ dependence on relative deformations ε : a – for concrete; b – for reinforcing material

Таблица 1
Table 1

Свойства бетонов, примененных в расчетной модели
Properties of concretes used in the calculation model

Свойства материала	Бетон класса прочности В45	Бетон класса прочности В30	Арматура А500
Модуль упругости, E , тс/м ²	$3,773 \times 10^6$	$3,314 \times 10^6$	$2,1 \times 10^7$
Коэффициент Пуассона, ν	0,2	0,2	–
Предел упругости при растяжении, σ_{0+} , тс/м ²	137,7	107,07	50 985
Предел прочности при растяжении, σ_+ , тс/м ²	229,4	178,45	50 985
Предел относительной деформации при растяжении, ε_+	0,0002	0,0002	0,02
Предел упругости при сжатии, σ_{0-} , тс/м ²	-1957,9	-1346,0	50 985
Предел прочности при сжатии, σ_- , тс/м ²	-3263,1	-2243,4	50 985
Предел относительной деформации при сжатии, ε_-	-0,003	-0,003	0,02

Принятая методика расчета здания при аварийной расчетной ситуации соответствует СП 385.1325800.2018 [11]. Условие, при котором обеспечивается защита здания от прогрессирующего обрушения, выглядит следующим образом:

$$F \leq S, \tag{1}$$

где F – усилия в конструктивных элементах и их соединениях;

S – несущая способность конструктивных элементов и их соединений.

Для обеспечения защиты здания от прогрессирующего обрушения также необходимо учитывать требования по допустимым деформациям:

$$f \leq f_{ult}, \tag{2}$$

где f – деформации элементов под воздействием внешней нагрузки;

f_{ult} – предельно допустимые деформации элементов.

Особое сочетание нагрузок, соответствующее сценарию локального обрушения несущих элементов, включает в себя постоянные и длительные временные нагрузки. Коэффициенты надежности по нагрузке γ_f при этом равны 1,0.

Коэффициент надежности по ответственности здания γ_n также принят равным 1,0.

Сделано допущение о том, что учет грунтового основания при локальном разрушении одной из несущих конструкций не приводит к изменению напряженно-деформированного состояния элементов здания. Расчет проводился по пространственной расчетной схеме без учета ее взаимодействия с грунтовым основанием.

Расчет ситуации, соответствующей локальному обрушению несущих элементов здания, проводился поэтапно. Для первичной расчетной схемы, соответствующей зданию с несущими элементами без повреждений, определено напряженно-деформированное состояние конструкций при основном сочетании нагрузок. Конструирование несущих элементов здания выполнено на основе данных об их напряженно-деформированном состоянии, полученных в ходе расчетов. Основное армирование монолитных железобетонных элементов выполнено из арматуры класса А500, поперечное – из арматуры класса А240.

Стержневые железобетонные и стальные элементы состоят из физически нелинейных конечных элементов пространственной рамы (КЭ 210), элементы в виде пластин – из физически нелинейных элементов тонкой оболочки (КЭ 242, КЭ 244). Всем подвескам был задан тип геометрически нелинейного конечного элемента «нить» (КЭ 304).

Усилия и деформации элементов вторичных расчетных схем, соответствующих различным случаям локального обрушения конструкций, получены в ходе расчета на особое сочетание нагрузок. Расчеты, соответствующие рассматриваемым сценариям локального разрушения несущих элементов, выполнены отдельно и независимо друг от друга в динамической постановке.

Задача расчета на прогрессирующее обрушение решалась во временной области в шаговой нелинейной постановке в ПК ЛИРА версии 10.12. Изменение расчетной схемы здания в результате локального обрушения учтено за счет совместного применения модулей Монтаж и Динамика+. Модуль Монтаж позволяет создавать демонтируемые стадии, в рамках которых из модели удаляются выбранные конструкции. Первая монтажная стадия соответствует возведению здания с пошаговым приложением нагрузки от собственного веса к элементам. В ходе второй стадии монтажа к элементам расчетных моделей прикладывается полезная нагрузка. Помещенные в отдельную монтажную

стадию, соответствующую локальному обрушению конструкций, элементы выключаются из работы при расчете в динамической постановке. График выхода из работы конечных элементов модели представлен на рис. 7.

В основе реализации динамического метода в ПК ЛИРА лежит дифференциальное уравнение движения системы, матричная форма которого для систем с конечным числом степеней свободы выглядит следующим образом [12]:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F^a, \tag{3}$$

- где u – вектор узловых перемещений;
- \dot{u} – вектор узловых скоростей;
- \ddot{u} – вектор узловых ускорений;
- M – матрица масс системы;
- C – матрица демпфирования;
- K – матрица жесткости;
- F^a – вектор нагрузок, которые действуют на систему.

Использование данного метода позволяет решать задачу в нелинейной постановке с учетом физической, геометрической и конструктивной нелинейностей. Элементы матрицы жесткости при этом зависят не только от свойств материала, но и от напряженно-деформированного состояния конструкции, то есть от вектора перемещений u_t . Решение дифференциального уравнения при этом сводится к решению нелинейных алгебраических уравнений на каждом шаге интегрирования во времени. В решаемой расчетной задаче шаг интегрирования во времени принят равным 0,005 с, общая продолжительность интегрирования – 10 с.

Для решения системы нелинейных алгебраических уравнений в ПК ЛИРА используются неявные схемы интегрирования. Уравнение движения при этом рассматривается на неизвестном временном слое $n + 1$ с дискретизированными пространственными производными:

$$u_{n+1} = K_1^{-1} F_{n+z}^a. \tag{4}$$

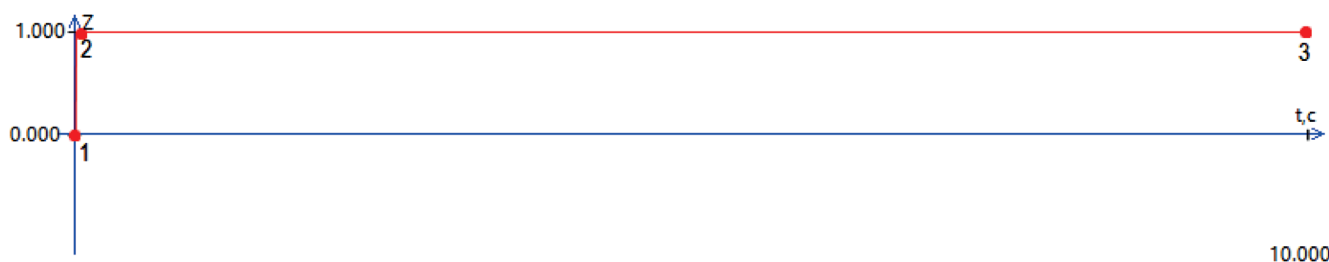


Рис. 7. График закона изменения для демонтируемых элементов: 1 – точка, соответствующая началу расчета в динамической постановке; 2 – точка, соответствующая полному выключению из работы демонтируемых элементов модели спустя 0,005 с после начала расчета; 3 – завершение расчета в динамической постановке по достижении 10 с
Fig. 7. Graph of the law of change for the dismantled elements: 1 – the point of the beginning of the calculation in the dynamic setting; 2 – the point of the complete shutdown of the dismantled elements of the model 0.005 seconds after the start of the calculation; 3 – completion of the calculation in the dynamic setting after reaching 10 seconds

При интегрировании применен метод Ньюмарка, согласно которому выражения для скоростей и перемещений узлов на слое $n + 1$ выглядят следующим образом:

$$\dot{u}_{n+1} = \dot{u}_n + [(1 - \delta)\ddot{u}_n + \delta\ddot{u}_{n+1}]\Delta t; \quad (5)$$

$$u_{n+1} = u_n + \dot{u}_n\Delta t + \left[\left(\frac{1}{2} - \alpha\right)\ddot{u}_n + \alpha\ddot{u}_{n+1}\right]\Delta t^2, \quad (6)$$

где α, δ – параметры интегрирования Ньюмарка;

u_n – вектор узловых перемещений в момент времени t_n ;

\dot{u}_n – вектор узловых скоростей в момент времени t_n ;

\ddot{u}_n – вектор узловых ускорений в момент времени t_n ;

u_{n+1} – вектор узловых перемещений в момент времени t_{n+1} ;

\dot{u}_{n+1} – вектор узловых скоростей в момент времени t_{n+1} ;

\ddot{u}_{n+1} – вектор узловых ускорений в момент времени t_{n+1} ;

$$\Delta t = t_{n+1} - t_n.$$

Для учета демпфирующих свойств материалов используются коэффициенты пропорциональности массы и жесткости по Рэлею:

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K], \quad (7)$$

где $[C], [M], [K]$ – матрицы демпфирования, массы и жесткости соответственно;

α – коэффициент пропорциональности массы по Рэлею, Гц;

β – коэффициент пропорциональности жесткости по Рэлею, с.

Упомянутые коэффициенты связаны между собой следующей зависимостью:

$$\alpha + \beta\omega_i^2 = 2\omega_i\xi_i, \quad (8)$$

где ω_i – частота собственных колебаний здания для i -й формы колебаний, Гц;

ξ_i – коэффициент демпфирования для i -й формы колебания, принятый равным 0,04 для железобетонных конструкций.

Коэффициент пропорциональности массы α вычисляется по формуле:

$$\alpha = \frac{2 \times \xi \times \omega_1 \times \omega_2}{\omega_1 + \omega_2}, \quad (9)$$

где ω_1 – первая частота собственных колебаний моделируемого здания, равная 1,22 Гц;

ω_2 – первая частота собственных колебаний моделируемого здания, равная 1,57 Гц.

$$\alpha = \frac{2 \times 0,04 \times 1,22 \times 1,57}{1,22 + 1,57} = 0,0549 \frac{1}{с}$$

Коэффициент пропорциональности жесткости β вычисляется по формуле:

$$\beta = \frac{2 \times \xi}{\omega_1 + \omega_2}, \quad (10)$$

$$\beta = \frac{2 \times 0,04}{1,22 + 1,57} = 0,0287 \text{ с.}$$

В ПК ЛИРА 10.12 имеется возможность идентифицировать разрушения для армированных нелинейных элементов. Предусмотрено несколько вариантов частичного или полного отказа в пластинах:

- образование трещин от растяжения;
- образование трещин от сжатия;
- разрушения в шаговых пластинчатых элементах при превышении напряжений;
- разрушения вследствие образования пластического шарнира по выбранному нормативному документу в пластинах (СП 63.13330.2018 [13]);
- разрушения в стрелневых и пластинчатых элементах по специальным проверкам на мембранную группу усилий (с учетом несущей способности конструкции при внезапном образовании трещины).

По полученным данным о напряженно-деформируемом состоянии несущих элементов вторичных схем проводилась критериальная проверка несущей способности и деформативности конструкций, а также их соединений.

Результаты

Максимальные значения растягивающих и сжимающих напряжений элементов в направлении их главных осей, возникающих в условиях нормальной эксплуатации, представлены в табл. 2.

Максимальное растягивающее усилие, возникшее в подвесках при условиях нормальной эксплуатации здания, составило 60,5 т.

Результаты моделирования ситуации, соответствующей локальному обрушению наружных стен ядра, представлены в табл. 3.

Максимальное усилие в несущих подвесках, возникшее при моделировании рассматриваемой ситуации, составило 60,6 т, что на 0,2 % больше усилия, полученного при расчете исходной схемы. Перераспределение усилий, вызванное локальным обрушением конструкций, вызвало увеличение сжимающих напряжений в колоннах ядра на 8,4 %. Увеличение деформаций конструкций в результате выхода из работы части наружных стен наиболее заметно в элементах, находящихся над зоной локального обрушения. Максимальный прогиб несущих конструкций в этой области достиг 1,1 мм (рис. 8). В направлении разрушенного участка ядра здание получило крен величиной 0,5 мм.

Таблица 2

Table 2

Максимальные нормальные напряжения элементов здания при нормальной эксплуатации
Maximum normal strain of building elements during normal exploitation

Элемент здания	Нормальные напряжения вдоль оси X элемента, тс/м ²		Нормальные напряжения вдоль оси Y элемента, тс/м ²	
	σ_{x+}	σ_{x-}	σ_{y+}	σ_{y-}
Несущие стены	417,3	-498,5	295,9	-1566,9
Перегородки	60,4	-168,5	137,0	-777,8
Плиты перекрытия (ствол)	5686,2	-5131,9	3581,4	-3973,9
Плиты перекрытия (подвешенные)	649,3	-967,6	599,9	-938,3
Балки ростверка	931,1	-489,9	213,2	-256,2
Поперечные связи ростверка	723,6	-396,1	216,9	-446,9
Плиты ростверка	911,9	-1484,7	1034,5	-1446,4
Колонны ядра	–	–	137,5	-733,5
Балки ядра	–	–	141,4	-303,0

Таблица 3

Table 3

Максимальные нормальные напряжения элементов здания при локальном обрушении наружных стен ядра
Maximum normal strain of building elements during local collapse of the outer wall of the core

Элемент здания	Нормальные напряжения вдоль оси X элемента				Нормальные напряжения вдоль оси Y элемента			
	σ_{x+} , тс/м ²	Изменение, %	σ_{x-} , тс/м ²	Изменение, %	σ_{y+} , тс/м ²	Изменение, %	σ_{y-} , тс/м ²	Изменение, %
Несущие стены	411,0	-1,5	-498,0	-0,1	291,5	-1,5	-1573,4	0,4
Перегородки	61,0	1,0	-168,5	0,0	136,8	-0,1	-803,2	3,3
Плиты перекрытия (ствол)	5608,9	-1,4	-5063,8	-1,3	3536,8	-1,2	-3930,2	-1,1
Плиты перекрытия (подвешенные)	635,4	-2,1	-974,3	0,7	588,2	-2,0	-946,9	0,9
Балки ростверка	931,6	0,1	-488,6	-0,3	212,5	-0,3	-255,3	-0,4
Поперечные связи ростверка	723,5	0,0	-399,5	0,9	212,6	-2,0	-449,7	0,6
Плиты ростверка	876,3	-3,9	-1496,2	0,8	1024,6	-1,0	-1464,6	1,3
Колонны ядра	–	–	–	–	140,0	1,8	-795,1	8,4
Балки ядра	–	–	–	–	137,6	-2,7	-304,0	0,3

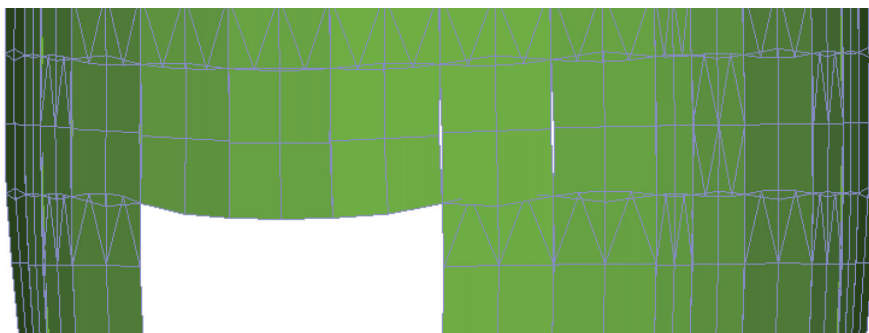


Рис. 8. Фрагмент наружных стен здания с отображением деформаций
Fig. 8. A fragment of the exterior walls of a building with representation of deformations

В табл. 4 представлены напряжения в несущих элементах расчетной модели при достижении особого предельного состояния стенами шахты.

Увеличение усилий в подвесках, вызванное выходом из работы стен шахты, составило 0,2 %. Максимальное усилие в подвесках составило 60,6 т. Нагрузка, действующая на стены шахты, в ходе локального обрушения воспринята другими элементами центрального ядра здания. Сжимающие напряжения в колоннах увеличились на 7,4 %, в стенах, ограждающих шахты в уровне первого этажа, – на 26,2 %. Это

привело к развитию трещин в местах их сопряжения с другими элементами ядра здания, но не привело к их разрушению. Прогиб плиты перекрытия над участком локального обрушения составил 0,3 мм. Максимальные деформации стен лифтового узла в направлении вертикальной оси составили 0,9 мм.

Наибольший эффект на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций моделируемого здания оказало локальное обрушение элементов оголовка. Результаты моделирования этой ситуации представлены в табл. 5.

Таблица 4
Table 4

Максимальные нормальные напряжения элементов здания при локальном обрушении стен шахты
Maximum normal strain of building elements during local collapse of the internal walls of the core

Элемент здания	Нормальные напряжения вдоль оси X элемента				Нормальные напряжения вдоль оси Y элемента			
	σ_{x+} , тс/м ²	Изменение, %	σ_{x-} , тс/м ²	Изменение, %	σ_{y+} , тс/м ²	Изменение, %	σ_{y-} , тс/м ²	Изменение, %
Несущие стены	414,2	-0,7	-498,4	0,0	294,5	-0,5	-1569,6	0,2
Перегородки	60,4	0,0	-179,4	6,5	137,1	0,1	-981,7	26,2
Плиты перекрытия (ствол)	5651,1	-0,6	-5101,2	-0,6	3561,0	-0,6	-3954,2	-0,5
Плиты перекрытия (подвешенные)	643,1	-1,0	-969,2	0,2	592,2	-1,3	-941,1	0,3
Балки ростверка	931,2	0,0	-489,7	0,0	212,1	-0,5	-256,5	0,1
Поперечные связи ростверка	723,7	0,0	-397,3	0,3	214,5	-1,1	-448,8	0,4
Плиты ростверка	907,2	-0,5	-1487,8	0,2	1030,0	-0,4	-1453,1	0,5
Колонны ядра	–	–	–	–	138,6	0,8	-788,0	7,4
Балки ядра	–	–	–	–	138,5	-2,1	-308,4	1,8

Таблица 5
Table 5

**Максимальные нормальные напряжения элементов здания
при локальном обрушении конструкций оголовка
Maximum normal strain of building elements during local collapse of the cantilever structures**

Элемент здания	Нормальные напряжения вдоль оси X элемента				Нормальные напряжения вдоль оси Y элемента			
	σ_x+ , тс/м ²	Изменение, %	σ_x- , тс/м ²	Изменение, %	σ_y+ , тс/м ²	Изменение, %	σ_y- , тс/м ²	Изменение, %
Несущие стены	494,1	18,4	-499,1	0,1	369,7	24,9	-1767,6	12,8
Перегородки	75,8	25,5	-173,1	2,7	134,1	-2,1	-944,9	21,5
Плиты перекрытия (ствол)	5178,1	-8,9	-4683,7	-8,7	3251,7	-9,2	-3638,9	-8,4
Плиты перекрытия (подвешенные)	645,3	-0,6	-1008,4	4,2	498,1	-17,0	-992,5	5,8
Балки ростверка	927,7	-0,4	-732,1	49,4	187,3	-12,1	-317,2	23,8
Поперечные связи ростверка	737,3	1,9	-554,6	40,0	290,3	33,8	-548,7	22,8
Плиты ростверка	859,9	-5,7	-1648,7	11,0	1019,3	-1,5	-1842,0	27,4
Колонны ядра	–	–	–	–	164,7	19,8	-1122,2	53,0
Балки ядра	–	–	–	–	138,1	-2,3	-516,5	70,5

Локальное обрушение балок консольного ростверка привело к изменению усилий, возникающих, прежде всего, в несущих элементах верхней части здания. Сжимающие напряжения, действующие вдоль горизонтальной оси, в незатронутых разрушением балках ростверка увеличились на 49,4 %. Увеличение напряжений сжатия на 40 % отмечено и в поперечных связях ростверка. Также в балочных элементах ростверка возросли нормальные напряжения, действующие вдоль вертикальной оси элементов. Это вызвано увеличением усилий среза, действующих на данные конструкции. Перераспределение усилий от подвергнутых обрушению балок также привело к увеличению сжимающих напряжений в нижней плите ростверка на 11 %. В элементах, передающих вертикальную нагрузку от веса конструкций основанию, произошло увеличение как сжимающих, так и растягивающих напряжений. Напряжения сжатия возросли на 53 % в колоннах и на 12,8 % в несущих стенах ствола у основания здания. Растягивающие напряжения увеличились на 19,8 и 24,9 % для находящихся в уровне верхних этажей колонн и стен соответственно. Наибольшее увеличение сжимающих напряжений, равное 70,5 %, выявлено в балках несущего ствола, установлен-

ных в уровне верхнего этажа под нижней плитой оголовка. Достижение особого предельного состояния элементами консольного ростверка привело к увеличению растягивающих усилий в подвесках на 1,3 %. Максимальное значение усилий составило 61,3 т. Локальное обрушение конструкций ростверка привело к возникновению крена здания величиной 25,3 мм в направлении разрушенных элементов. Прогиб участка ростверка в области локального обрушения составил 37,4 мм, увеличившись на 14,5 мм.

Результаты цифрового моделирования здания при локальном обрушении подвесок представлены в табл. 6.

Эффект от обрыва подвесок трех подвешенных блоков этажей на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций ствола здания является незначительным. Стоит отметить увеличение сжимающих напряжений в подвешенных плитах перекрытий на 27,1 %. Данное последствие локального обрушения наиболее заметно в зонах, расположенных под местом обрыва подвесок. Растягивающие усилия от вышедших из работы подвесок перераспределены между соседними рядами стальных канатов. Таким образом, усилия в них увеличились на 53,6 %, составив 92,9 т.

Таблица 6
Table 6

Максимальные нормальные напряжения элементов здания при локальном обрушении подвесок
Maximum normal strain of building elements during local collapse of the suspensions

Элемент здания	Нормальные напряжения вдоль оси X элемента				Нормальные напряжения вдоль оси Y элемента			
	σ_{x+} , тс/м ²	Изменение, %	σ_{x-} , тс/м ²	Изменение, %	σ_{y+} , тс/м ²	Изменение, %	σ_{y-} , тс/м ²	Изменение, %
Несущие стены	409,7	-1,8	-494,8	-0,7	283,0	-4,4	-1621,4	3,5
Перегородки	62,9	4,1	-159,2	-5,5	137,0	0,0	-778,0	0,0
Плиты перекрытия (ствол)	5318,8	-6,5	-4799,2	-6,5	3366,7	-6,0	-3743,3	-5,8
Плиты перекрытия (подвешенные)	529,1	-18,5	-1229,5	27,1	541,1	-9,8	-980,8	4,5
Балки ростверка	934,9	0,4	-485,2	-1,0	214,0	0,4	-259,1	1,1
Поперечные связи ростверка	723,1	-0,1	-406,5	2,6	214,6	-1,1	-445,8	-0,2
Плиты ростверка	796,3	-12,7	-1569,6	5,7	1035,7	0,1	-1520,2	5,1
Колонны ядра	–	–	–	–	150,0	9,1	-735,0	0,2
Балки ядра	–	–	–	–	136,9	-3,2	-303,0	0,0

Локальное обрушение подвесок привело к увеличению деформаций подвешенных плит перекрытий. Нормальной эксплуатации здания соответствует равномерное опускание подвешенных блоков этажей, вызванное растяжением вант. Ключевым следствием обрыва подвесок является двукратное увеличение

пролета плит перекрытий в зонах, расположенных под местом локального обрушения. По этой причине деформации отдельных участков подвешенных плит перекрытия принимают большие значения (табл. 7).

Деформированный вид плиты перекрытия верхнего подвешенного блока этажей приведен на рис. 9.

Таблица 7
Table 7

Деформации подвешенных плит перекрытий
Deformations of suspended floor slabs

Объем здания	Максимальные вертикальные перемещения плит перекрытий, мм		Изменение вертикальных деформаций, %
	нормальная эксплуатация	локальное обрушение подвесок	
Первый блок этажей	40,3	84,1	108,7
Второй блок этажей	53,8	136,8	154,3
Третий блок этажей	78,7	186,6	137,1

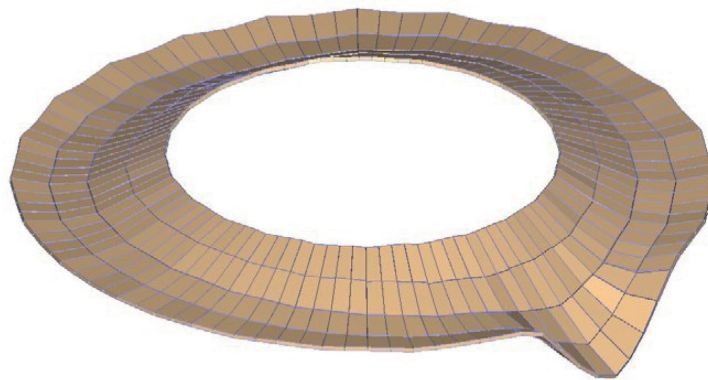


Рис. 9. Плита перекрытия с отображением деформаций
Fig. 9. The floor slab with representation of deformations

Выводы

1. Среди рассматриваемых сценариев локального разрушения конструкций выход из строя элементов консольного оголовка привел к наибольшему всплеску напряжений в несущих конструкциях здания.

2. Выключение из работы подвесок оказывает наибольшее влияние на напряжения и деформации, возникающие в подвешенных плитах перекрытий. Количество подвесок должно быть достаточным для перераспределения нагрузки от вышедших из строя элементов.

3. Ни одна из рассматриваемых расчетных ситуаций не привела к развитию разрушений конструкций ствольно-подвесного здания. Предлагаемое конструктивное решение здания ствольно-подвесного исполнения не подвержено прогрессирующему обрушению.

4. Для защиты ствольно-подвесных зданий от прогрессирующего обрушения необходимо предусматривать конструктивные мероприятия, обеспечивающие альтернативные способы передачи силовых потоков при возможном локальном обрушении несущих конструкций.

Список литературы

- Маклакова Т.Г. Высотные здания. Градостроительные и архитектурно-конструктивные проблемы проектирования. 2-е изд. Москва: АСВ, 2008. 160 с.
- Бузало Н.А., Пономарев Р.Р. Узлы заанкеривания вант в вантовых покрытиях спортивных сооружений // *Актуальные проблемы науки и техники: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции*. Ростов-на-Дону, 2023. С. 554–556.
- Бузало Н.А., Пономарев Р.Р., Смирнов В.А. Моделирование узлов вантовых покрытий спортивных сооружений // *Жилищное строительство*. 2023. № 6. С. 9–12. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-6-9-12>
- Бузало Н.А., Платонова И.Д. Расчет висячей системы по конечно-элементной модели // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. 2003. № 3. С. 51–53.
- Ahmed A.R., Yermoshin N.A. Optimum design of cable-stayed bridges considering cable loss scenarios. *Asian journal of civil engineering*. 2024, no. 3, pp. 2801–2809.
- Белаш Т.А., Свитлик И.В. К вопросу о повышении сейсмостойкости зданий подвесного типа в районах высокой сейсмической активности // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2023. № 2. С. 54–66. DOI: <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-1-54-66>
- Уздин А.М., Сандович Т.А., Аль-Насер Мохомад Самих Амин. Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений. Санкт-Петербург: ВНИИГ, 1993. 175 с.
- Байнатов Ж.Б., Подольский Д.М. Подвесное здание повышенной этажности. Патент № 1357529 СССР, МПК E04H 9/02 (2006.01), E04B 1/34 (2006.01): № 3996924. Оpubл. 07.12.1987.
- Пеньковский Г.Ф., Севастьянов В.В., Ершов А.В. Сейсмостойкое здание с подвешенными этажами. Патент № 175448 Российская Федерация, МПК E04H 9/02 (2006.01). № 2017125171. Оpubл. 05.12.2017.
- Чануквадзе Г.Ш., Марджанишвили М.А., Микабадзе Ю.Г. Многоэтажное сейсмостойкое здание с подвешенными этажами. Патент № 791871 СССР, МПК E04H 9/02 (2006.01), E04B 1/34 (2006.01). № 2758567. Оpubл. 30.12.1980.
- СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения. Москва: Стандартинформ, 2018.
- Программный комплекс ЛИРА 10.12. Руководство пользователя // ПК ЛИРА 10.12. URL: https://lira-soft.com/upload/iblock/7b9/an6bai2i3shhypwx4gdz9f0lly5daoqv_Rukovodstvo_pol_zovatelya_LIRA_10.12.pdf (дата обращения: 23.01.2025).

13. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Москва, 2018.

References

1. Maklakova T.G. High-rise buildings. Urban planning and architectural design problems. 2nd ed. Moscow: ASV Publ., 2008, 160 p. (In Russian).
2. Buzalo N.A., Ponomarev R.R. Shroud anchoring units in the shroud coverings of sports facilities. *Actual problems of science and technology: Proceedings of the All-Russian (National) Scientific and Practical Conference*. Rostov-on-Don, 2023, pp. 554–556. (In Russian).
3. Buzalo N.A., Ponomarev R.R., Smirnov V.A. Modeling of units of cable-stayed coverings of sports facilities. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo = Housing Construction*. 2023, no. 6, pp. 9–12. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-6-9-12>
4. Buzalo N.A., Platonova I.D. Calculation of a hanging system based on a finite element model. *News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Technical sciences*. 2003, no. 3, pp. 51–53. (In Russian).
5. Ahmed A.R., Yermoshin N.A. Optimum design of cable-stayed bridges considering cable loss scenarios. *Asian journal of civil engineering*. 2024, no. 3, pp. 2801–2809.
6. Belash T.A., Svitlik I.V. On the issue of improving the seismic resistance of suspended buildings in areas of high seismic activity. *Seismostoitkoe Stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety*. 2023, no. 2, pp. 54–66. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-1-54-66>
7. Uzdin A.M., Sandovich T.A., Al-Nasser Mohomad Samih Amin. Fundamentals of the theory of earthquake resistance and earthquake engineering. Saint Petersburg: VNIIG, 1993, 175 p. (In Russian).
8. Baynatov Zh.B., Podolsky D.M. Suspended high-rise building. Patent No. 1357529 USSR, IPC E04H 9/02 (2006.01), E04B 1/34 (2006.01). No. 3996924. Publ. date 07.12.1987. (In Russian).
9. Penkovsky G.F., Sevastyanov V.V., Yershov A.V. Earthquake-resistant building with suspended floors. Patent No. 175448 Russian Federation, IPC E04H 9/02 (2006.01). No. 2017125171. Publ. date 05.12.2017. (In Russian).

10. Chanukvadze G.Sh., Marjanishvili M.A., Mikabadze Yu.G. Multi-storey earthquake-resistant building with suspended floors. USSR Patent No. 791871, IPC E04H 9/02 (2006.01), E04B 1/34 (2006.01). No. 2758567. Publ. date 30.12.1980. (In Russian).
11. SP 385.1325800.2018. Protection of buildings and structures against progressive collapse. Design code. Basic statements. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
12. Software package LIRA 10.12. User's Guide. PC LIRA 10.12 URL: https://lira-soft.com/upload/iblock/7b9/an6bai2i3shhyppwx4gdz9f0lly5daoqv/Rukovodstvo_pol_zovatelya_LIRA_10.12.pdf (accessed: 23 January 2025). (In Russian).
13. СП 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003. Moscow, 2018. (In Russian).

Информация об авторах

Information about the authors

Татьяна Александровна Белаш, д-р техн. наук, профессор кафедры строительных сооружений, конструкций и материалов, АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: belashta@mail.ru

Tatyana A. Belash, Dr. Sci. (Engineering), Professor of the Department of Building Structures, Structures and Materials, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: belashta@mail.ru

Илья Владимирович Свитлик✉, аспирант кафедры металлических и деревянных конструкций, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург

e-mail: svitlik.i@yandex.ru

тел.: +7 (952) 667-41-88

Iliya V. Svitlik✉, Postgraduate Student, Department of Metal and Timber Constructions, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg

e-mail: svitlik.i@yandex.ru

tel.: +7 (952) 667-41-88

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Н.А. ИВАНЕНКО✉, С.Ю. СЕМЕНОВ, Ф.И. СУХАРЕВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сочинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «СГУ»),
Пластунская ул., д. 94, г. Сочи, 354003, Российская Федерация

РАБОТА ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ ПРИ ДИАГОНАЛЬНОМ СЖАТИИ В ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЯХ

Аннотация

Введение. Трубобетонные конструкции в основном применяют в качестве колонн. В колоннах зданий трубобетонные конструкции работают на центральное или внецентренное сжатие с небольшими эксцентриситетами. Трубобетонные конструкции имеют целый ряд неоспоримых преимуществ перед стальными и железобетонными конструкциями. Трубобетонная сейсмоизолирующая опора в здании работает на центральное сжатие. При сейсмическом воздействии сейсмоизолирующая опора отклоняется от вертикального положения, продольная ось сейсмоизолирующей опоры не совпадает с вертикальной линией действия силы от постоянных и временных нагрузок. При этом возникает сложное напряженное состояние, так называемое «косое» или «диагональное» сжатие. При диагональном сжатии пластические деформации развиваются при меньших нагрузках, чем при центральном сжатии. Изготовление арматурного каркаса и сборка трубобетонных конструкций вызвали значительные затруднения. Поэтому было принято решение в центральной части образца арматуру не устанавливать, при этом технология изготовления значительно упрощается. В связи с этим возникла необходимость экспериментального исследования работы трубобетонной конструкции при диагональном сжатии на статические и малоцикловые нагрузки.
Цель. Проведение экспериментальных исследований трубобетонных конструкций при диагональном сжатии на статические и малоцикловые нагрузки без арматурного каркаса в средней части элемента.
Материалы и методы. Экспериментальные исследования проведены путем испытания опытных образцов трубобетонных конструкций, без армирования в центральной части на центральное, диагональное сжатие и при малоцикловой нагрузке.

Результаты. Получены экспериментальные данные о работе трубобетонных элементов при центральном, диагональном сжатии и при малоцикловой нагрузке без арматурного каркаса в средней части элемента.

Выводы. Несущая способность трубобетонных конструкций при диагональном сжатии в упругой стадии меньше, чем при центральном сжатии. Упругая работа трубобетонных конструкций при малоцикловой нагрузке практически не отличается от работы элемента при монотонном нагружении.

Ключевые слова: трубобетонная конструкция, диагональное сжатие, сейсмоизолирующая опора, экспериментальные исследования, предельные состояния, несущая способность, нагрузка

Для цитирования: Иваненко Н.А., Семенов С.Ю., Сухарев Ф.И. Работа трубобетонных элементов сейсмоизоляции при диагональном сжатии в предельных состояниях // *Бетон и железобетон*. 2025. № 1 (626). С. 19–27. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1\(626\)-19-27](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1(626)-19-27). EDN: NZYBFQ

Вклад авторов

Иваненко Н.А. – подготовка программы испытаний, анализ результатов исследований.

Семенов С.Ю., Сухарев Ф.И. – подготовка и проведение экспериментальных исследований.

Финансирование

Исследование выполнено за счет собственных средств ФГБОУ ВО «СГУ».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 20.12.2024

Поступила после рецензирования 16.01.2025

Принята к публикации 23.01.2025

THE OPERATION OF GUNCRETE SEISMIC ISOLATION ELEMENTS UNDER DIAGONAL COMPRESSION IN EXTREME CONDITIONS

Abstract

Introduction. Guncrete structures are mainly used as columns. In the columns of buildings, guncrete structures operate on central or off-center compression with small eccentricities. Guncrete structures have a number of indisputable advantages over steel and reinforced concrete structures. The guncrete seismic isolating support in the building is operated by central compression. Under seismic impact the support deviates from its vertical position, and the longitudinal axis of the support does not coincide with the vertical line of force from permanent and temporary loads. In this case, there is a complex stressed state, the so-called "oblique" or "diagonal" compression. With diagonal compression, plastic deformations develop under lower loads than with central compression. The manufacture of the reinforcement frame and the assembly of guncrete structures caused considerable difficulties. Therefore, it was decided not to install reinforcement in the central part of the sample, that greatly simplifies the manufacturing technology. In this regard, there was a need for an experimental study of the operation of a guncrete structure under diagonal compression to static and low-cycle loads.

Aim. Conducting of the experimental studies of guncrete structures with diagonal compression for static and low-cycle loads without a reinforcing frame in the middle part of the element.

Materials and methods. Experimental studies were carried out by testing prototypes of guncrete structures, without reinforcement in the central part for central, diagonal compression and under low-cycle load.

Results. Experimental data on the operation of guncrete elements under central, diagonal compression and

low-cycle load without a reinforcing frame in the middle part of the element have been obtained.

Conclusions. The load-bearing capacity of guncrete structures during diagonal compression in the elastic stage is less than during central compression. The elastic operation of guncrete structures under low-cycle load practically does not differ from the operation of the element under monotonous loading.

Keywords: guncrete structure, diagonal compression, seismic isolating support, experimental studies, limiting conditions, bearing capacity, load

For citation: Ivanenko N.A., Semenov S.Yu., Sukharev F.I. The operation of guncrete seismic isolation elements under diagonal compression in extreme conditions. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 1(626), pp. 19–27. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1\(626\)-19-27](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1(626)-19-27). EDN: NZYBFQ

Authors contribution statement

Ivanenko N.A. – preparation of the test program, analysis of research results.

Semenov S.Yu., Sukharev F.I. – preparation and conduct of experimental studies.

Funding

The study was carried out at the expense of own funds of the FSBEI HE "SSU".

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 20.12.2024

Revised 16.01.2025

Accepted 23.01.2025

Введение

С целью снижения динамической реакции здания на сейсмическое воздействие применяют различные системы сейсмоизоляции. Одной из них является кинематическая система сейсмоизоляции (патент № 2477353 [1]).

Трубобетонная сейсмоизолирующая опора (СО) в здании работает преимущественно на центральное сжатие. При сейсмическом воздействии СО отклоняется от вертикального положения, и продольная ось СО не совпадает с вертикальной линией действия силы от постоянных и временных нагрузок. При этом возникает сложное нажатое состояние, так называемое «косое» или «диагональное» сжатие.

Трубобетонным конструкциям (ТБК) посвящены многочисленные исследования как отечественных, так и зарубежных ученых [2–9]. ТБК в основном применяют в качестве колонн. В колоннах зданий ТБК работают на центральное сжатие или внецентренное сжатие с небольшими эксцентриситетами. Из-за малой гибкости ТБК разрушение от потери устойчивости формы практически не происходит. Кроме того, ТБК имеют целый ряд неоспоримых преимуществ перед стальными и железобетонными конструкциями [4].

Очень важный вклад в положительный образ трубобетонных элементов вносит квази-пластический характер разрушения в случае превышения допустимых нагрузок на конструкции, тогда как разрушение железобетонных колонн, в особенности из высокопрочного бетона, имеет зачастую молниеносный взрывообразный характер. Таким образом, перегруженный трубобетонный элемент перед разрушением оставляет возможность эвакуации, повышая уровень безопасности зданий и сооружений. Однако основным преимуществом, как известно, является прирост в несущей способности до 35 % и более вследствие упрочнения бетонного ядра, обжатого оболочкой.

Проведенные авторами ранее экспериментальные исследования [10] показали, что несущая способность (работа ТБК в упругой стадии) зависит от напряженно-деформированного состояния. При диагональном сжатии пластические деформации развиваются при меньших нагрузках, чем при центральном сжатии. Если в образцах при центральном сжатии упругая работа заканчивается при теоретической несущей способности по СП, то при диагональном сжатии при нагрузке 70 % – от теоретической. При этом в опытах было замечено, что после достижения предела упругости ТБК сохраняют несущую способность и максимальные нагрузки значительно превосходят предел упругой работы.

В этой работе [10] были использованы образцы с арматурным каркасом, состоящим из продольных и поперечных стержней, продольные стержни при этом жестко соединялись с торцевыми пластинами и были непрерывными по длине элемента. Было также замечено, что вклад в работу ТБК продольных арматурных стержней незначительный. При этом из-

готовление арматурного каркаса и сборка ТБК вызвали значительные затруднения. Нужно довольно точно изготовить арматурный каркас, соединив продольные стержни с торцевыми пластинами, а затем вставить его внутрь трубы-оболочки и соединить торцевые пластины каркаса со стенкой трубы. Поэтому было принято решение разделить внутренний арматурный каркас на два и в центральной части образца арматуру не устанавливать, при этом технология изготовления металлической части трубобетонной сейсмоизолирующей опоры значительно упрощается.

Целью исследования является экспериментальная проверка несущей способности ТБК без арматурного каркаса в середине длины на центральное и диагональное сжатие. А также определение не только пределов упругой работы, но и предельной несущей способности, а также живучести конструкции при малоцикловых нагрузках.

Материалы и методы

В рамках внутренних научных исследований, проводившихся в ФГБОУ ВО «Сочинский государственный университет» (СГУ) в 2022–2024 годах, сотрудниками кафедры строительства и сервиса СГУ была выполнена работа по исследованию работы ТБК на диагональное сжатие.

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены и испытаны две серии опытных образцов. В 2022 году были изготовлены и испытаны 6 образцов первой серии с продольным армированием по всей длине образца [10]. В 2024 году были изготовлены 6 образцов второй серии с продольным армированием только у торцов образца, а испытаны только 3. В каждой серии образцы были испытаны на центральное и диагональное сжатие.

Все испытанные образцы моделей СО имели совершенно одинаковые размеры. Внешний диаметр трубы 219 мм с толщиной стенки 4 мм. Длина опоры 900 мм.

В первой серии внутри располагался арматурный каркас, состоящий из 20 продольных стержней $\varnothing 10A500C$. Поперечная арматура $\varnothing 4A240$ с шагом 45 мм. Продольная арматура каркаса приварена к торцевым пластинам. Торцевая пластина толщиной 10 мм, рабочая и страховая пластины толщиной 3 мм.

Во второй серии внутри сплошной арматурный каркас отсутствовал (рис. 1 и 2). Торцевая пластина толщиной 10 мм, рабочая пластина толщиной 3 мм, страховая пластина толщиной 10 мм. К торцевой пластине были приварены короткие стержни длиной 300 мм из арматуры $\varnothing 12A500C$. В средней части опоры продольная арматура отсутствовала. Укладку бетона осуществляли через открытый верхний конец трубы с тщательным уплотнением, с отбором контрольных кубов размером ребра 100 мм для определения фактической прочности бетона. Средняя кубиковая прочность бетона в возрасте 28 суток составила 82,1 МПа.



Рис. 1. Общий вид образцов первой серии моделей СО в процессе изготовления

Fig. 1. General view of the samples of the first series of SIS models in the manufacturing process



Рис. 2. Общий вид образцов второй серии моделей СО в процессе изготовления

Fig. 2. General view of samples of the second series of SIS models in the manufacturing process

Испытание образцов проводили в горизонтальном прессе с помощью гидравлических домкратов и электрической насосной станции (рис. 3). Нагрузку измеряли с помощью манометра. Для измерения деформаций использовали индикаторы часового типа ИЧ-10 по ГОСТ 577-68 [11] с ценой деления

0,01 мм. Индикаторы использовали для измерения продольных и поперечных деформаций. Индикаторы и удлинители крепили к стенке стальной оболочки на сварке. Использовали удлинители с базой 300 и 100 мм. Нагрузку измеряли по манометру насосной станции.

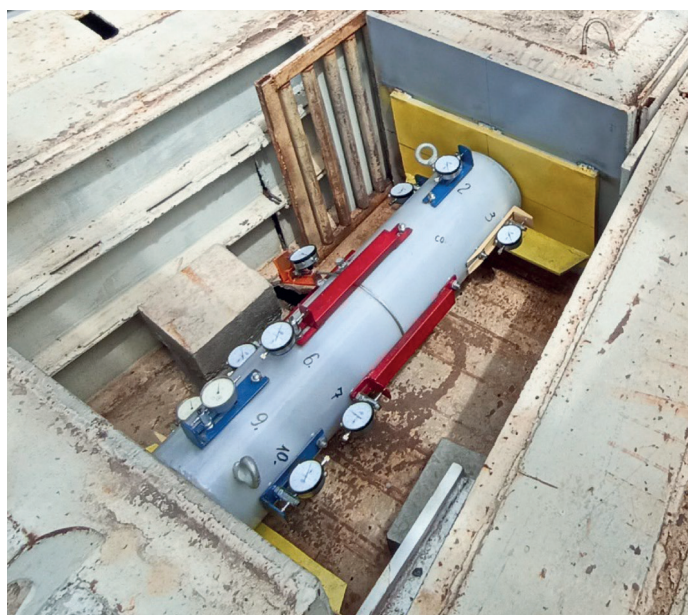


Рис. 3. Образец СО2 перед испытанием на диагональное сжатие

Fig. 3. SIS2 sample before diagonal compression test

После установки СО в стенд и размещения приборов производилось пробное нагружение до уровня 0,1 от предполагаемой максимальной нагрузки. На этом этапе проверяли работу всех приборов. Затем нагрузку уменьшали до нуля и после выдержки устанавливали стрелки приборов в нулевое положение. Нагрузку прикладывали ступенями по 0,1–0,05 от предполагаемой максимальной. На каждой ступени снимали показания по всем приборам в начале и конце пятиминутной выдержки. После достижения максимальной нагрузки насосная станция продолжала работать, а следовательно, и домкраты пытались приложить большую нагрузку. При этом перемещения увеличивались, а давление по манометру не увеличивалось, нагрузка уменьшалась при

попытке увеличить давление. Даже при явных деформациях образцов несущая способность не была исчерпана. Трубобетонная опора не разрушалась, т. е. не разделялась на части.

СО1 испытывали на центральное сжатие, а СО2 – на диагональное при смещении одного конца образца относительно другого на 100 мм.

Испытание опоры СО3 проводили на малоцикловое нагружение. На каждой ступени после выдержки образец разгружали, снимали остаточные деформации, а затем нагружали вновь на ступень выше предыдущей. И так продолжали до тех пор, пока при попытке увеличения нагрузки давление в системе не уменьшалось. Внешний вид образцов после испытания представлен на рис. 4.



Рис. 4. Образцы СО1, СО2, СО3 (слева направо) после испытаний
 Fig. 4. SIS1, SIS2, and SIS3 samples (from left to right) after testing

Результаты

По измеренным деформациям построены графики зависимости деформаций от приложенных статических нагрузок. Графики представлены на рис. 5–7. На графиках показаны относительные деформации сжатия ствола в средней части (индикаторы И5, И6, И7), а также поперечные деформации (И4). Расчетная и нормативная несущие способности определены по СП 266.1325800.2016 [12] с учетом фактической прочности бетона $R = 82,1$ МПа, переменная прочность бетона по СП 63.13330.2018 [13] $R_{bn} = 58,5$ МПа, $R_b = 41,6$ МПа.

При нагрузке, соответствующей расчетной несущей способности, у всех образцов выявлена упругая

работа, т. е. относительные деформации прямо пропорциональны приложенной нагрузке. Ожидалось, что при малоцикловой нагрузке в СО3 пластические деформации будут развиваться при нагрузках меньше теоретической расчетной несущей способности, однако этого не произошло. Результаты испытания образца СО3 со сбросом нагрузки на каждой ступени показывают значительную живучесть конструкции. При диагональном сжатии упругая работа также наблюдалась до теоретической расчетной нагрузки. При центральном сжатии (СО1) упругие деформации наблюдались при нагрузках больше расчетных.

Наличие продольной арматуры должно было сказаться на работе ТБК, однако за счет более прочного

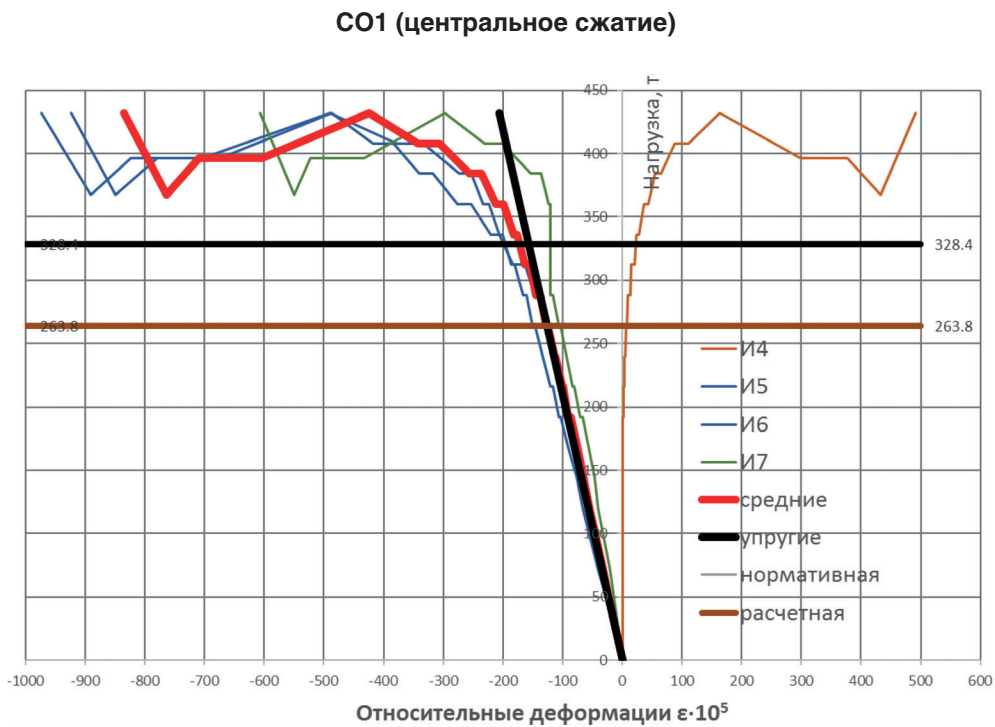


Рис. 5. Графики относительных деформаций ствола CO1
Fig. 5. Graphs of relative deformations of the SIS1 shaft

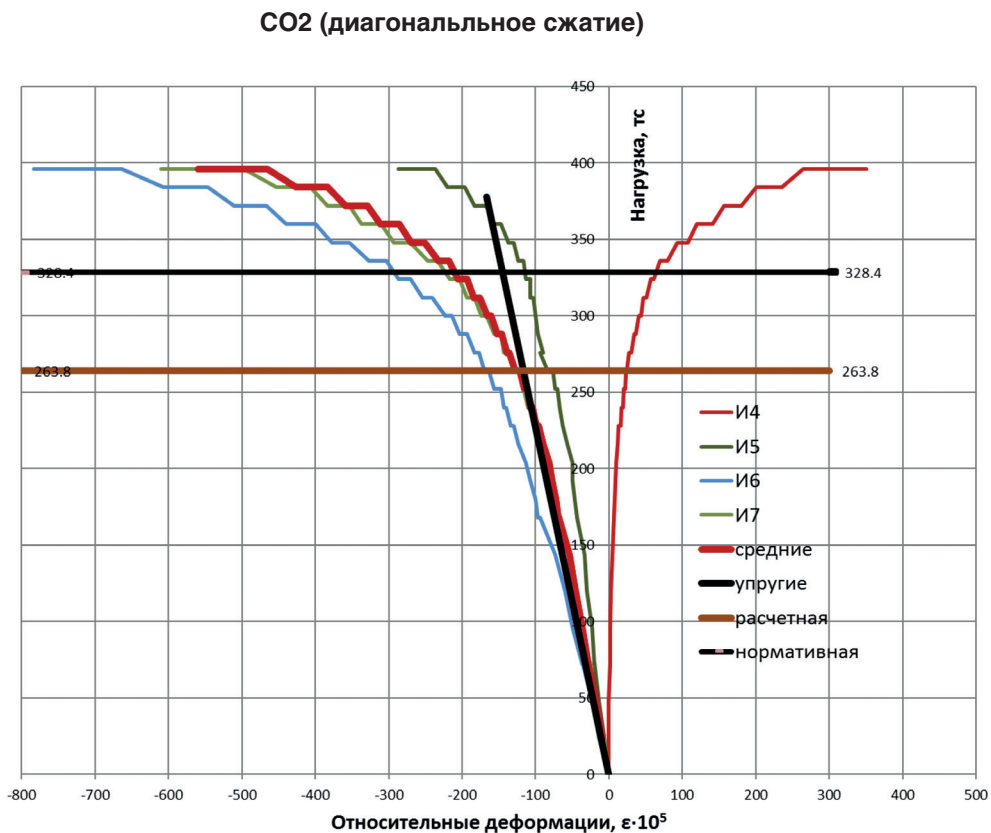


Рис. 6. Графики относительных деформаций ствола CO2
Fig. 6. Graphs of relative deformations of the SIS2 shaft

СО3 (диагональное сжатие со сбросом нагрузки)

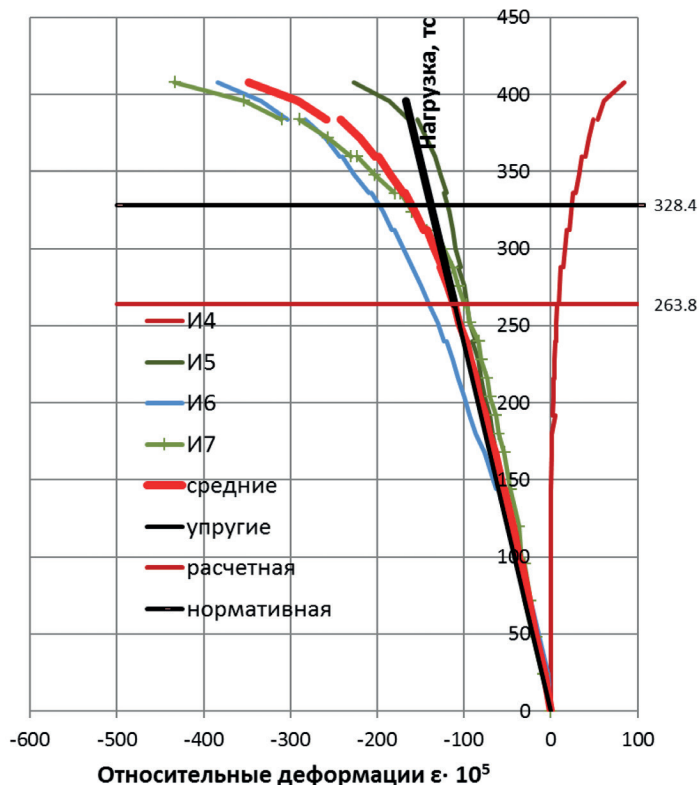


Рис. 7. Графики относительных деформаций ствола СО3
 Fig. 7. Graphs of relative deformations of the SIS3 shaft

бетона расчетная несущая способность во второй серии образцов без продольной арматуры оказалась больше, чем у образцов с продольной арматурой (230–234 тс в первой серии и 263,8 тс во второй). Следует

заметить, что бетонное ядро существенно влияет на несущую способность из-за значительной площади поперечного сечения ТБК. Таким образом, доказано, что ТБК можно изготавливать без продольной арматуры.

Таблица 1
 Table 1

Сравнение результатов испытаний образцов
 Comparison of sample tests results

№ обр.	Тип испытания	N_y , кН	N_{max} , кН	N_y/N_n	N_y/N_p	N_{max}/N_n
СО1	Центральное сжатие	3060	4250	0,949	1,170	1,319
СО2	Косое сжатие	2472	3885	0,767	0,923	1,206
СО3	Косое сжатие, сброс нагрузки	2354	4002	0,731	0,900	1,242

Примечание:

N_y – опытная несущая способность в упругой стадии;

N_{max} – максимальная опытная нагрузка;

N_n – несущая способность при нормативных значениях характеристик материалов при центральном сжатии по СП 266.1325800.2016 [12], 3222 кН;

N_p – то же, при расчетных значениях характеристик материалов, 2614 кН;

Коэффициент несущей способности при косом сжатии к центральному сжатию – 0,789 [(СО2+СО3)/2/СО1].

Выводы

Несущая способность ТБК при диагональном сжатии в упругой стадии меньше, чем при центральном сжатии, коэффициент снижения 0,789. Для элемента сейсмоизоляции очень важно, чтобы элемент при расчетных нагрузках работал в упругой стадии. При проектировании необходимо, чтобы нагрузка не превышала 0,7 от расчетной несущей способности при центральном сжатии.

Упругая работа ТБК при малоцикловой нагрузке практически не отличается от работы элемента при монотонном нагружении. Коэффициент снижения равен 0,952. Максимальная нагрузка, которую выдержал элемент при испытании на малоцикловую нагрузку, оказалась даже выше, чем при монотонной. Это свидетельствует о значительной живучести ТБК при различных воздействиях.

Наличие продольного армирования ствола ТБК незначительно влияет на несущую способность как в упругой, так и в предельной стадиях.

Для уточнения расчетных значений необходимо проведение более обширных исследований с целью уточнения методик расчета ТБК по СП 266.1325800.2016 [12].

Список литературы

1. Курзанов А.М., Семенов С.Ю. Трубобетонная сейсмоизолирующая опора. RU 2 477 353 С1. Оpubл. 10.03.2013.
2. Кикин А.И., Санжаровский Р.С., Труль В.А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. Москва: Стройиздат, 1974. 144 с.
3. Стороженко Л.И., Плахотный П.И., Черный А.Я. Расчет трубобетонных конструкций. Киев: Будивельник, 1991. 120 с.
4. Кришан А.Л., Сагадатов А.И. Оценка напряженно-деформированного состояния сжатых трубобетонных элементов // *Предотвращение аварии зданий и сооружений*: межвуз. сб. научн. тр. Москва, 2009. Вып. 8. С. 509–515.
5. Кришан А.Л., Заикин А.И., Мельничук А.С. Расчет прочности трубобетонных колонн // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2010. № 1. С. 20–25.
6. Кришан А.Л., Сабиров Р.Р., Чернышова Э.П. К определению расчетного сопротивления сжатию продольной арматуры трубобетонных колонн // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2015. Т. 15. № 3. С. 15–19.
7. Акаев А.И., Магомедов М.Г., Пайзулаев М.М. Перспективы возведения сейсмостойких зданий из трубобетонных конструкций // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2017. Т. 44. № 1. С. 138–149. DOI: <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2017-44-1-138-149>
8. Бакевич А.М., Ваучский М.Н. Особенности расчета центрально сжатых трубобетонных колонн, в которых нагрузку воспринимает только бетонное ядро // *Военный инженер*. 2017. № 3 (5). С. 20–25.
9. Шарафутдинова А.М., Шеховцов А.С. Исследование несущей способности трубобетонных колонн разной гибкости // *Российско-китайский научный журнал «Содружество»*. 2018. № 24. С. 37–40.
10. Иваненко Н.А., Семенов С.Ю., Сиротюк А.К., Сухарев Ф.И. Несущая способность трубобетонных элементов сейсмоизоляции при диагональном сжатии. В кн: *Совершенствование методов проектирования инженерной инфраструктуры прибрежных регионов*. Сочи: РИЦ ФГБОУ ВО «СГУ», 2023. С. 93–111.
11. ГОСТ 577-68. Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2002.
12. СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования. Москва, 2016.
13. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Москва, 2018.
14. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. Москва: Стандартинформ, 2019.

References

1. Kurzanov A.M., Semenov S.J. Guncrete aseismic pad. RU 2 477 353 C1. Publ. date 10.03.2013. (In Russian).
2. Kikin A.I., Sanzharovsky R.S., Trul V.A. Structures made of steel pipes filled with concrete. Moscow: Stroyizdat Publ., 1974, 144 p. (In Russian).
3. Storozhenko L.I., Plakhotny P.I., Cherny A.Ya. Calculation of pipe-concrete structures. Kiev: Budivelynyk, 1991, 120 p. (In Russian).
4. Krishan A.L., Sagadatov A.I. Assessment of the stress-strain state of compressed tubular concrete elements. *Prevention of accidents in buildings and structures*: interuniversity collection of scientific proceedings. Moscow: 2009, issue 8, pp. 509–515. (In Russian).
5. Krishan A.L., Zaikin A.I., Melnichuk A.S. The calculation of the strength of pipe-concrete columns. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2010, no. 1, pp. 20–25. (In Russian).
6. Krishan A.L., Sabirov R.R., Chernyshova E.P. On definition of the design resistance to compression of longitudinal reinforcement of tube confined concrete columns. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2015, vol. 15, no. 3, pp. 15–19. (In Russian).
7. Akaev A.I., Magomedov M.G., Payzulaev M.M. Prospects of establishing earthquake resistant buildings from tube concrete constructions. *Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*. 2017, vol. 44, no. 1, pp. 138–149. (In Rus-

- sian). DOI: <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2017-44-1-138-149>
8. Bakevich A.M., Vauchskii M.N. Features of the calculation of centrally compressed tube-reinforced concrete columns, where only concrete core carries the load. *Military engineer*. 2017, no. 3 (5), pp. 20–25. (In Russian).
 9. Sharafutdinova A.M., Shekhovtsov A.S. Investigation of the load-bearing capacity of tubular concrete columns of different flexibility. *Russian-Chinese scientific journal "Commonwealth"*. 2018, no. 24, pp. 37–40. (In Russian).
 10. Ivanenko N.A., Semenov S.Yu., Sirotyuk A.K., Sukharev F.I. Bearing capacity of tube-concrete seismic isolation elements under diagonal compression. In: Improving the methods of designing the engineering infrastructure of coastal regions. Sochi: EPC FSBEI HE "SSU", 2023, pp. 93–111. (In Russian).
 11. State Standard 577-68. Clock-type dial indicators graduated in unit divisions of 0,01 mm. Specifications. Moscow: Publishing house of standards, 2002. (In Russian).
 12. SP 266.1325800.2016. Composite steel and concrete structures. Design rules. Moscow, 2016. (In Russian).
 13. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003. Moscow, 2018. (In Russian).
 14. State Standard 18105-2018. Concretes. Rules for control and assessment of strength. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Николай Алексеевич Иваненко[✉], канд. техн. наук, доцент кафедры строительства и сервиса, ФГБОУ ВО «СГУ», Сочи

e-mail: inform-sochi11@yandex.ru

Nikolay A. Ivanenko[✉], Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Construction and Service, FSBEI HE "SSU", Sochi

e-mail: inform-sochi11@yandex.ru

Станислав Юрьевич Семенов, доцент кафедры строительства и сервиса, ФГБОУ ВО «СГУ», Сочи

e-mail: smu5sochi@mail.ru

Stanislav Yu. Semenov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Construction and Service, FSBEI HE "SSU", Sochi

Федор Игоревич Сухарев, аспирант кафедры строительства и сервиса, ФГБОУ ВО «СГУ», Сочи

e-mail: fyodor.sukharev@gmail.com

Fyodor I. Sukharev, Graduate Student of the Department of Construction and Service, FSBEI HE "SSU", Sochi

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

И.А. ИВАНОВ

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
Ключевская улица, д. 40В, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, 670013, Российская Федерация

КАНАЛООБРАЗОВАТЕЛИ В ПРЕДНАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЯХ

Аннотация

Введение. В статье рассмотрены виды каналообразователей, их применение и преимущества, а также пути совершенствования и технологии применения. Показаны различия каналообразователей в совместной работе с бетоном, преимущества каналообразователей, извлекаемых из бетона, по сравнению с неизвлекаемыми, каналообразователей многоцветового и одновцветового применения, а также их конструкции, изготовленные из горючих материалов и из металлов с памятью формы, винтовые каналообразователи.

Цель. Изучение, на наш взгляд, наиболее перспективных каналообразователей.

Материалы и методы. Проведен патентный поиск последних предложений по данной тематике, проведены начальные исследования и сравнительные анализы применения предлагаемых каналообразователей.

Результаты. Полученные результаты позволили рекомендовать новые технологии применения каналообразователей.

Выводы. Работы по применению новых технологий использования каналообразователей следует про-

должить в более оснащенных лабораториях и рекомендовать их (технологии) к применению.

Ключевые слова: каналообразователи, горючие пластмассы, металлы с памятью формы, винтовые каналообразователи, арматура, новые технологии

Для цитирования: Иванов И.А. Каналообразователи в преднапряженных железобетонных изделиях // *Бетон и железобетон*. 2025. № 1 (626). С. 28–35. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1\(626\)-28-35](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1(626)-28-35). EDN: OKUAAO

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 24.12.2024

Поступила после рецензирования 19.01.2025

Принята к публикации 23.01.2025

I.A. IVANOV

East Siberia State University of Technology and Management, Klyuchevskaya str., 40V,
Republic of Buryatia, Ulan-Ude, 670013, Russian Federation

CHANNELIZERS IN PRESTRESSED REINFORCED CONCRETE PRODUCTS

Abstract

Introduction. The article discusses the types of channeling agents, their application and advantages, as well as ways to improve and technology of application. The differences between channeling agents working together with concrete, the advantages of channeling agents extracted from concrete compared to non-recoverable ones, reusable and single-use channeling agents, as well as their structures made of combustible materials and made of shape-memory metals and screw channeling agents are shown.

Aim. The study of the most promising, in our opinion, channelizers.

Materials and methods. A patent search was conducted for the latest proposals on this topic, initial studies and comparative analyses of the application of the proposed channelizers were conducted.

Results. The results obtained made it possible to recommend new technologies for the use of channeling agents.

Conclusions. Work on the application of new technologies for the use of channel formers should be continued in more equipped laboratories and that technologies should be recommended for use.

Keywords: channel formers, flammable plastics, shape memory metals, screw channel formers, rebars, new technologies

For citation: Ivanov I.A. Channelizers in prestressed reinforced concrete products. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 1 (626), pp. 28–35. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1\(626\)-28-35](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1(626)-28-35). EDN: OKUAAO

Author contribution statement

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

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 24.12.2024

Revised 19.01.2025

Accepted 23.01.2025

Впервые каналообразователи появились во время изготовления первых железобетонных изделий с напряженной арматурой при натяжении «на бетон». На месте расположения арматуры укладывали металлическую трубку, заливали бетон, через 2–3 часа ее продергивали или вращали, пока бетон не набирал 50–60 % своей прочности. Далее трубку выдергивали и на это место вставляли арматуру. На одном конце арматуры ставили заглушку, а на другом конце, где у арматуры была нарезана резьба, производили натяжение арматуры, накручивая гайку.

Недостатки такой технологии – если железобетонное изделие было более 10 метров, то трубка провисала (середина) и достать ее не всегда представлялось возможным. Такую технологию ограничили 10 метрами железобетонного изделия. К недостаткам можно отнести и трудности с определением силы натяжения, инъектирование полости между арматурой и бетоном (ручной труд), плохая связь арматуры с бетоном, так как инъектированный бетон тоже дает усадку и не дает гарантии продергивания арматуры. Следует отметить и тот факт, что натяжение арматуры «на бетон» дороже, чем натяжение «на упоры», а качество ниже.

Вопрос связи арматуры с бетоном является одним из важных факторов качества железобетонных изделий. Пробовали закручивать плоскую ленту в виде спирали, арматуру помещали в кислоту до образования каверн (углублений), делали утолщения на арматуре в виде колец, серповидные утолщения в виде резьбы, многозаходной резьбы и т. д. В одном из таких предложений (полезная модель № 84039) формула изобретения звучит так: «Каналообразователь преднапряженной строительной конструкции, включающий пучок арматуры, содер-

жащий высокопрочные проволоки, расположенные вокруг сердечника, отличающийся тем, что сердечник выполнен в виде жгута из углепластиковых волокон, обладающих прочностью 30000 кг/см², при этом пряди арматуры или отдельные проволоки плотно уложены на жгут» [1].

Когда бетон схватился, сердечник (рис. 1, обозначение 3) извлекают (выдергивают) из окружающих его проволок, их натягивают, а каналообразователь инъектируют. Здесь есть связь арматуры с бетоном, хоть и некачественная. Повысить ее качество можно, если инъектирование производить безугадочным или расширяющимся бетоном.

Наиболее применяемая конструкция каналообразователя – это гофрированная трубка, чаще всего изготовленная из металла (рис. 2).

Преимущества. При инъектировании, когда бетон схватывается и уменьшается в объеме (2–3 мм на метр), он образует зазор между инъектированным бетоном и гофрированным каналообразователем, но ввиду того, что гофра имеет зубчатый профиль, он не выходит из них, тем самым создавая связь арматуры с бетоном (арматура не продергивается).

Недостатком такой технологии является то, что гофра в 90 % случаев изготавливается из металла, а ведь основным преимуществом преднапряженного железобетона является пониженный расход металла, а здесь гофра составляет (примерно) 20 % от объема металла в арматуре. И если этот металл объединить с металлом арматуры, то прочность ее увеличится и не надо будет натягивать арматуру. Такой каналообразователь имеет и другой недостаток – коррозия внутри железобетонного изделия, так как он изготовлен из слаболегированного металла. Пробуют применять каналообразователи из пластмасс, но результат хуже.

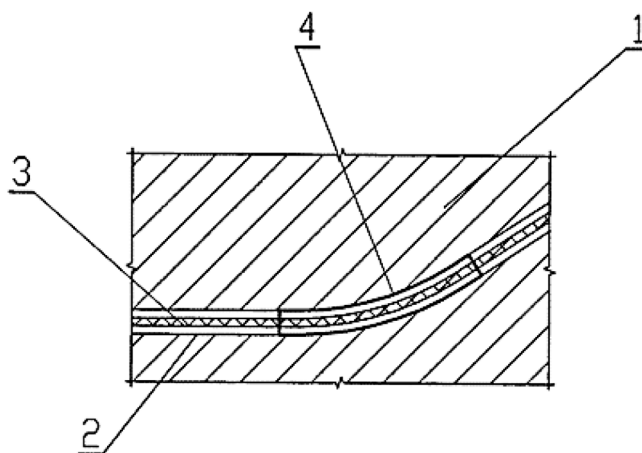


Рис. 1. Бетон (1), каналообразователь из пучка высокопрочной арматуры (2), расположенного вокруг сердечника (3), который выполнен в виде жгута из углепластиковых волокон, обладающих прочностью более 30 000 кг/см².

При этом пряди арматуры или отдельные проволоки плотно уложены на жгут (3)

Fig. 1. Concrete (1), channeling agent from a bundle of high-strength reinforcement (2) located around the core (3), which is made in the form of a bundle of carbon fibers with a strength of more than 30 000 kg/cm². In this case, the strands of reinforcement or individual wires are tightly stacked on the bundle (3)



Рис. 2. Гофрированные каналобразователи
Fig. 2. Corrugated channelizers

Основное направление для связи арматуры с бетоном – это удаление каналобразователя из бетона после набора 75 % прочности изделия. Тогда решится проблема связи арматуры с бетоном наряду с применением для инъекции расширяющегося или безусадочного бетона, инъектирования под давлением, увлажнения поверхности изделия мокрым брезентом, полива по мере высыхания, с применением специальных пластификаторов, приготовления инъектированного раствора способом, снижающим попадание воздуха в раствор.

Задача извлечения каналобразователя из бетона стоит по сей день, но тенденция уже наметилась – все

больше заявок на патенты в исследовательских работах по такой технологии, статей в журналах и докладов на конференциях.

Вот несколько предложений по этой тематике – патент № 2814864 [2].

По каналобразователю при помощи насосной станции подается раствор, растворяющий материал, из которого состоит каналобразователь (рис. 3). Например, полиакрилат растворяется в дихлорэтане, полиамид – в серной кислоте и феноле, полиуретан – в холодной уксусной кислоте.

Каналобразователь закрывается с левой стороны (согласно чертежу) пробкой, а с правой сто-

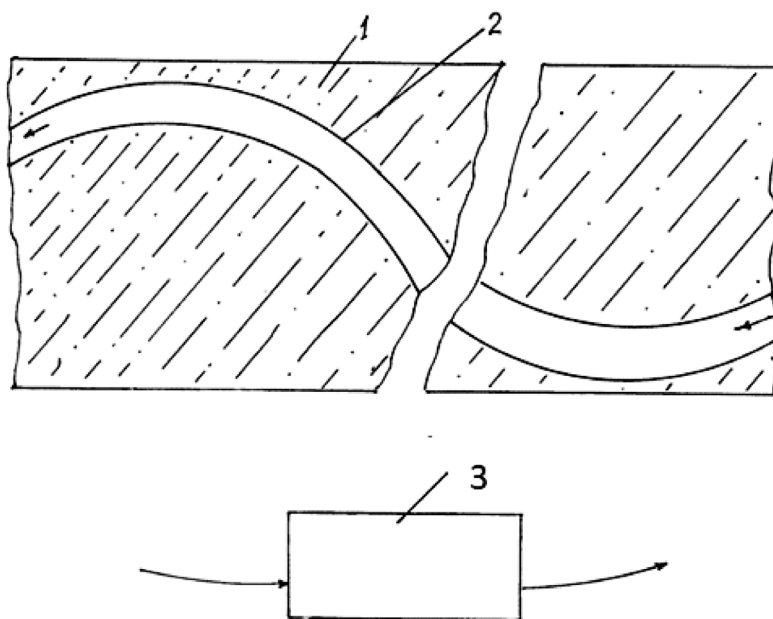


Рис. 3. Удаление каналобразователя путем прокачки по нему растворяющей жидкости:
1 – бетон; 2 – каналобразователь; 3 – насосная станция
Fig. 3. Removal of channeling agent by pumping a solvent liquid through it:
1 – concrete; 2 – channeling agent; 3 – pumping station

роны – пробкой, в которую вмонтирован клапан с возможностью впуска и выпуска воздуха из каналообразователя (рис. 4).

Когда бетон еще в жидком состоянии, то через клапан наполняем каналообразователь на некоторую величину, чтобы его диаметр увеличился. Эта величина, при которой материал каналообразователя из увеличенного диаметра мог свободно принять исходные размеры и оторваться от стенок бетона. Если этой силы не хватает, то выкачиваем воздух, после чего и каналообразователь схлопывается и легко извлекается из бетона.

Вот еще одно из предложений, которое, по нашему мнению, заслуживает, чтобы его внимательно рассмотрели, – заявка № 2023121849 [3].

Первый вариант. Каналообразователь изготовлен из полиэтилена высокого давления низкой плотности, который горит без копоти, для устойчивого горения в пластмассу можно, например, добавить полипропилен и магний, тогда будет устойчивое и быстротекущее горение. Поджигаем горючую ленту

и с другой стороны подаем воздух для поддержания горения и охлаждения стенок в бетоне, тем самым регулируя скорость горения (рис. 5).

Второй вариант. Следует отметить, что каналообразователь изготовлен из полиэтилентереофлата, особенностью которого является начало деформации при температуре более 75 °С, при которой он уменьшается в диаметре и становится неправильной формы (свободной).

Способом освобождения каналообразователя, изготовленного из полиэтилентереофлата, является поджог узкой полосы, состоящей из горючих материалов. Полоса во время горения прожигает каналообразователь, и сила сжатия его (каналообразователя) бетоном исчезает, а сам каналообразователь от температуры горения деформируется, отстает от стенок бетона и легко извлекается из него.

Еще одно предложение по данной теме – каналообразователь, изготовленный из металла с памятью формы (заявка № 2024104782 [4]).

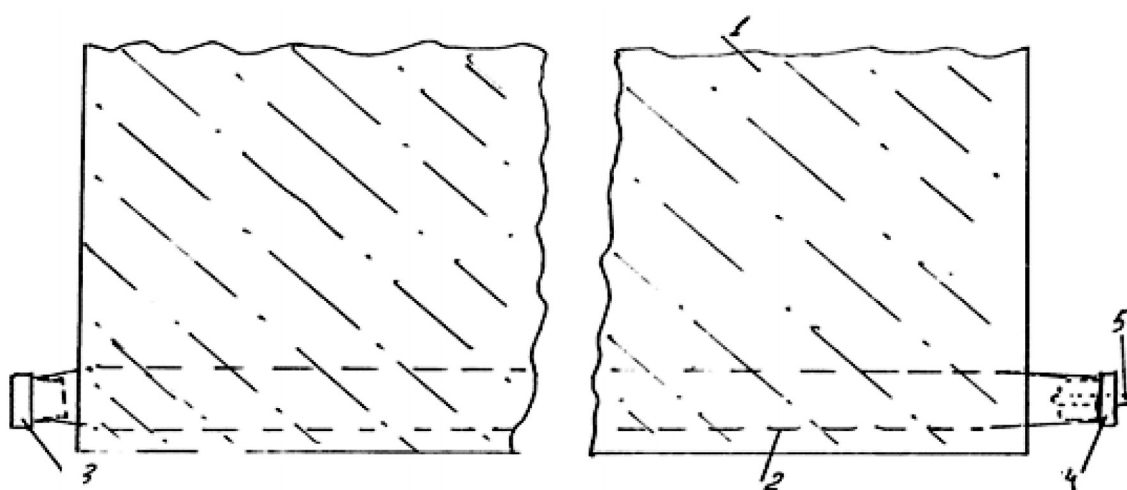


Рис. 4. 1 – бетон; 2 – каналообразователь; 3 – пробка; 4 – пробка, сквозь которую проходит ниппель; 5 – клапан с возможностью впуска и выпуска воздуха из каналообразователя

Fig. 4. 1 – concrete; 2 – channeling agent; 3 – plug; 4 – plug through which the nipple passes; 5 – valve with the possibility of inlet and outlet of air from the channeling agent

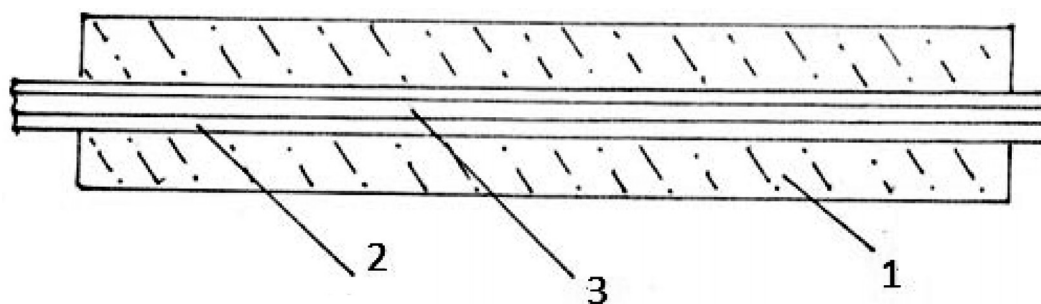


Рис. 5. 1 – бетон; 2 – каналообразователь; 3 – лента, состоящая из горючих материалов

Fig. 5. 1 – concrete; 2 – channeling agent; 3 – tape consisting of combustible materials

Предложенное изобретение работает следующим образом (рис. 6). Из металла с памятью формы изготавливается трубка (каналообразователь) по диаметру меньшему, чем будущее отверстие в бетоне, затем трубку (каналообразователь) нагревают, резко охлаждают и деформируют (развальцовывают) до проектного диаметра отверстия в бетоне, укладывают в форму (на чертеже не показано), заливают бетон, по достижении прочности бетона 75 % от проектного трубку (каналообразователь) нагревают (ток), каналообразователь (трубка) уменьшается в диаметре, между трубкой и бетоном образуется зазор, после чего каналообразователь (трубка) легко извлекается из бетона.

Преимущества данного предложения состоят в том, что каналообразователь из металла с памятью формы может использоваться многократно, легко извлекается из бетона, стенки отверстия в бетоне гладкие, что позволяет легко продевать канат или моноарматуру, технология проста в производстве и не требует высокообразованного персонала.

Рассмотрим еще одно предложение по данной теме – каналообразователь, изготовленный из стержня с резьбой, который устанавливают в предусмотренное проектом место, после достижения 75 % проектной прочности стержень путем выворачивания удаляют, в образовавшееся пространство (канал) вставляют арматуру, которую натягивают, после ее фиксации образовавшееся пространство между арматурой и бетоном заполняют водоцементным раствором.

Предлагаемая конструкция каналообразователя работает следующим образом (рис. 7): стержень с резьбой укладывают в предусмотренное проектом место и заливают бетоном. Чтобы стержень с резьбой не схватывался с бетоном, следует его проворачивать 3–4 раза в первые сутки на пол оборота. После схватывания бетона (72 часа) стержень с резьбой извлекают из бетона путем выворачивания. В бетоне образуется сквозной канал со следами стержня с резьбой (рис. 8). В образовавшееся пространство (канал) вставляют арматуру (рис. 9), ее натягивают, фиксируют, пространство между бетоном и арматурой заполняют водоцементной смесью.

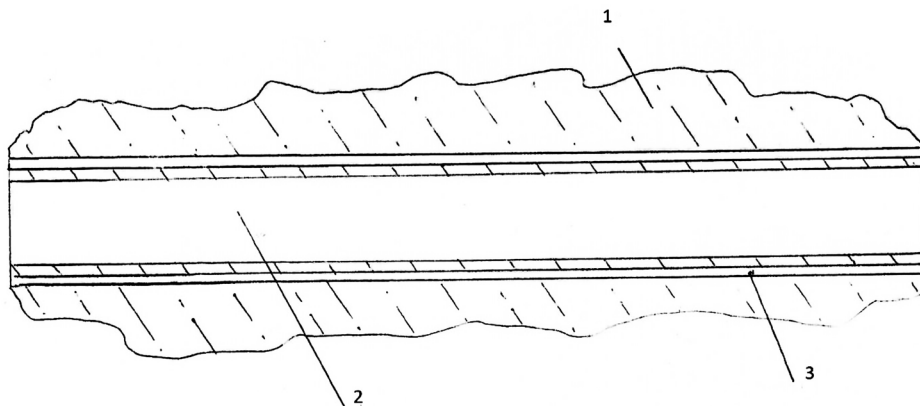


Рис. 6. Каналообразователь из металла с памятью формы: 1 – бетон; 2 – каналообразователь из металла с памятью формы; 3 – зазор между каналообразователем и бетоном после сжатия каналообразователя
Fig. 6. Channeling agent made of metal with shape memory: 1 – concrete; 2 – channeling agent made of metal with shape memory; 3 – gap between channeling agent and concrete after compression of channeling agent

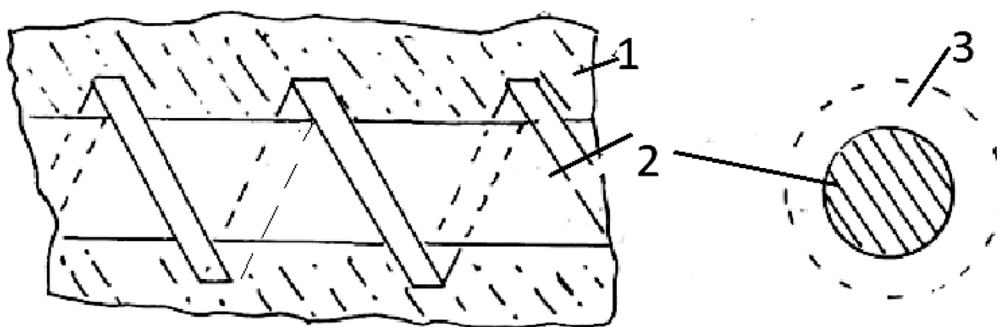


Рис. 7. 1 – Бетон; 2 – стержень с резьбой (3)
Fig. 7. 1 – Concrete; 2 – threaded rod (3)

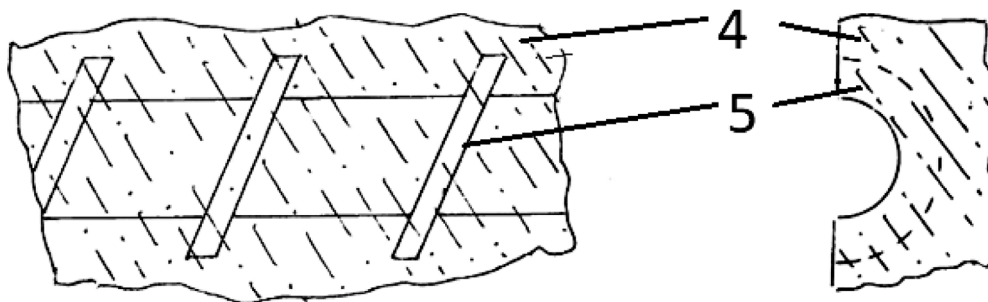


Рис. 8. Разрез: 4 – бетон; 5 – следы после удаления стержня с резьбой
Fig. 8. Section: 4 – concrete; 5 – traces after removal of the threaded rod

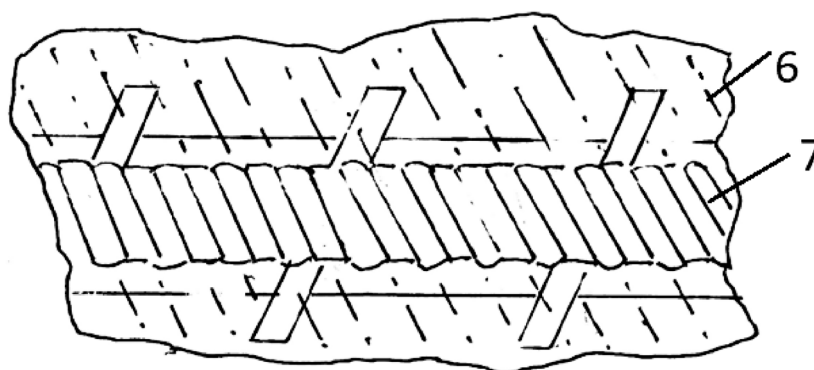


Рис. 9. 6 – бетон; 7 – арматура
Fig. 9. 6 – concrete; 7 – reinforcement

Список литературы

1. Решетников И.В., Решетников В.Г. Каналообразователь преднапряженной строительной конструкции. RU 84039 U1. Оpubл. 27.06.2009.
2. Иванов И.А. Способ удаления каналообразователя из бетона (варианты). RU 2814864 C2. Оpubл. 05.03.2024.
3. Иванов И.А. Способ удаления каналообразователя из бетона. Заявка 2023121849. Оpubл. 23.04.2024.
4. Иванов И.А. Каналообразователь преднапряженной строительной конструкции. Заявка 2024104782. Оpubл. 26.02.2024.
5. Леонгардт Ф. Напряженно армированный железобетон и его практическое применение. Москва: Стройиздат, 1957. 588 с.
6. Леонович С.Н., Передков И.И. Технология устройства облегченных пустотообразователями железобетонных плит перекрытия с предварительным напряжением арматуры в построечных условиях // *Наука и техника*. 2015. № 6. С. 54–65.
7. Хардаев П., Лундэбазар Б., Ищенко А., Балхоева В., Иванов И. Плюсы и минусы каналообразователя в ЖБ-изделии // *Строительство, новые*

- технологии – новое оборудование*. 2021. № 9. С. 36–41.
8. Кохно В.О. Предварительное напряжение арматуры. Методы создания предварительного напряжения в железобетонных конструкциях // *Молодой ученый*. 2022. № 3 (398). С. 18–21.
9. Леонович С.Н., Передков И.И., Сидорова А.И. Технология предварительного напряжения ЖБ конструкций в построечных условиях. Минск: БНТУ, 2018. 279 с.
10. Иванов И.А. Каналообразователь. Заявка 2024117136. Оpubл. 02.06.2024.
11. Кравчук Е.В., Иодчик А.А., Кравчук В.А. Элементы оценки ресурса стальных балок, предварительно напряженных вытяжкой стенки // *Вестник ВСГУТУ*. 2024. № 3 (94). С. 41–53. DOI: https://doi.org/10.53980/24131997_2024_3_41

References

1. Reshetnikov I.V., Reshetnikov V.G. Channel-forming element of prestressed building structure. RU 84039 U1. Publ. date 27.06.2009. (In Russian).
2. Ivanov I.A. Method for removal of former channel from concrete (embodiments). RU 2814864 C2. Publ. date 05.03.2024. (In Russian).

3. Ivanov I.A. Method for removal of channel-forming element from concrete. Application 2023121849. Publ. date 23.04.2024. (In Russian).
4. Ivanov I.A. Channel-forming element of prestressed building structure. Application 2024104782. Publ. date 26.02.2024. (In Russian).
5. Leonhardt F. Prestressed reinforced concrete and its practical application. Moscow: Stroyizdat Publ., 1957, 588 p. (In Russian).
6. Leonovich S.N., Peredkov I.I. Technology for installation of reinforced concrete floor slabs lightened by core drivers with preliminary reinforcement stress. *Science & Technique*. 2015, no. 6, pp. 54–65. (In Russian).
7. Hardaev P., Lundebazar B., Ishchenko A., Balkhoeva V., Ivanov I. Pros and cons of a channel former in a reinforced concrete product. *Construction, new technologies – new equipment*. 2021, no. 9. pp. 36–41. (In Russian).
8. Kokhno V.O. Prestressing of reinforcement. Methods of creating prestress in reinforced concrete structures. *Young Scientist*. 2022, no. 3 (398), pp. 18–21. (In Russian).
9. Leonovich S.N., Peredkov I.I., Sidorova A.I. Prestressing technology of reinforced concrete structures under construction conditions. Minsk: BNTU, 2018, 279 p. (In Russian).
10. Ivanov I.A. Channel-former. Application 2024117136. Publ. date 02.06.2024.
11. Kravchuk E.V., Iodchik A.A., Kravchuk V.A. Elements of resource assessment of steel beams prestressed web. *ESSUTM Bulletin*. 2024, no. 3 (94), pp. 41–53. (In Russian). DOI: https://doi.org/10.53980/24131997_2024_3_41

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

Игорь Алексеевич Иванов, д-р техн. наук, доцент, преподаватель кафедры промышленного и гражданского строительства, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ

e-mail: ivanova-2006@mail.ru

Igor A. Ivanov, Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, Lecturer at the Department of Industrial and Civil Engineering, East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude

e-mail: ivanova-2006@mail.ru

Г.П. ТОНКИХ

РЕЦЕНЗИЯ

**на учебник для вузов «Железобетонные конструкции» в двух частях
(авторы — Э.Н. Кодыш, Н.Н. Трекин, В.С. Федоров, И.А. Терехов)**

G.P. TONKIKH

REVIEW

**of the textbook for universities "Reinforced concrete structures" in two
parts (authors — E.N. Kodysh, N.N. Trekin, V.S. Fedorov, I.A. Terekhov)**

Издательство АСВ выпустило учебник для вузов «Железобетонные конструкции», состоящий из двух частей. Первая часть учебника «Расчет конструкций» содержит 388 страниц текста; вторая часть «Проектирование зданий и сооружений» – 380 страниц. Книга подготовлена коллективом авторов из организаций АО «ЦНИИПромзданий», НИУ МГСУ и РУТ (МИИТ).

В первой части приведены основы теории расчета железобетонных элементов, в том числе общие положения по расчету железобетонных конструкций, расчету по предельным состояниям первой и второй групп, а также по группе особых предельных состояний, проектирование предварительно напряженных конструкций и основы расчета на динамические воздействия. Приведенные методы расчета сопровождаются конкретными примерами. Даны вопросы для самопроверки.

Во второй части учебника авторы подробно описывают общие положения расчета и конструирования железобетонных конструкций зданий различного назначения – жилых, общественных и промышленных, инженерных сооружений и тонкостенных пространственных конструкций. Приводятся практические примеры проектирования отдельных элементов и узлов их сопряжений.

При подготовке издания, на основе накопленного опыта и проведенных научно-исследовательских работ, большое внимание уделено вопросам защиты от прогрессирующего обрушения. Расчет на защиту от прогрессирующего обрушения выполняют по осо-

бому предельному состоянию как для состояния конструкций после превышения граничных критериев расчетной несущей способности по первому и второму предельным состояниям, допуская развитие больших пластических деформаций и частичное разрушение сечений, в котором они не обеспечивают выполнение функциональных требований, а дальнейшее увеличение нагрузки приводит к их разрушению.

Также была разработана глава, посвященная технологии информационного моделирования (ТИМ), поскольку развитие строительной отрасли требует внедрения инновационных подходов на всех этапах жизненного цикла здания, начиная от разработки технического задания и заканчивая демонтажем. В настоящее время информационная модель может содержать данные о строительных процессах, бизнес-процессах, архитектурном проектировании, расчете конструкций, эксплуатации объектов и другое.

В учебнике учтены последние достижения науки в области материалов (бетона и железобетона), работы железобетонных строительных конструкций в различных условиях эксплуатации зданий. Учебник предназначен для студентов-бакалавров и студентов-специалистов, обучающихся по направлению «Строительство». Рассматриваемое издание также имеет гриф учебника для вузов по дисциплине «Железобетонные конструкции», выданный Российской академией архитектуры и строительных наук (РААСН).

**Информация о рецензенте /
Information about the reviewer**

Геннадий Павлович Тонких, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник 4 НИЦ, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), Москва

Gennady P. Tonkikh, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Chief Researcher of the 4th Scientific Research Center, FSBI VNIIGOChS (FC), Moscow

В АО «ЦНИИПромзданий» разработаны книги:



Э.Н. Кодыш, Н.Н. Трекин, Н.Г. Келасьев, И.А. Терехов

Введение в проектирование технически сложных зданий и сооружений

Рецензенты: *В.И. Колчунов, В.И. Травуш*

Рекомендовано РААСН в качестве учебника для студентов образовательных организаций высшего образования, обучающихся по направлениям подготовки (специальностям) 08.04.01 «Строительство» (уровень магистратуры) и 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» (уровень специалитета).

В учебнике рассмотрены вопросы проектирования технически сложных зданий и сооружений преимущественно из железобетона и содержатся главы: высотные здания, большепролетные здания и сооружения, крупнопанельные здания, подземные сооружения, некоторые примеры современных конструктивных решений.

Слово «Введение...» в названии учебника подчеркивает задачу, поставленную авторами в соответствии с учебной программой, – помочь выбрать для углубленного изучения одно из приведенных направлений проектирования.



Э.Н. Кодыш, Н.Н. Трекин, В.С. Федоров, И.А. Терехов

Железобетонные конструкции (2-е издание, дополненное и переработанное)

Рецензенты: *В.И. Колчунов, В.И. Травуш*

Рекомендовано РААСН в качестве учебника для студентов образовательных организаций высшего образования, обучающихся по направлениям подготовки (специальностям) 08.03.01 «Строительство» (уровень бакалавриата) и 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» (уровень специалитета).

Учебник состоит из двух частей и базируется на требованиях СП 63.13330.

1 часть. Расчет конструкций

В первой части приведены с пояснениями физико-механические характеристики бетона, арматуры и железобетона, общие положения по расчету железобетонных конструкций, расчет по предельным состояниям первой и второй групп, а также по группе особых предельных состояний, проектирование предварительно напряженных конструкций и основы расчета на динамические воздействия. Методы расчета проиллюстрированы примерами.

2 часть. Проектирование зданий и сооружений

Вторая часть содержит исходные данные и общие положения по проектированию железобетонных конструкций зданий, основы проектирования сборных одноэтажных промышленных и универсальных многоэтажных зданий из сборного и монолитного железобетона, инженерных сооружений и тонкостенных пространственных покрытий, расчет защиты от прогрессирующего обрушения, а также учет при проектировании доэксплуатационной стадии работы конструкций и основные положения технологии информационного моделирования (ТИМ).



Приобрести книги можно в ООО «Издательство АСВ».

**В.В. МИКРЮКОВ¹, А.А. ПАЦЕВ¹, А.Н. ЗАЙЦЕВ²,
А.В. БУЧКИН³, Г.В. ЧЕХНИЙ³, А.С. МУРАЧЕВ^{4,✉},
А.В. ДЕМИН⁴, В.В. КНЯЗЕВ⁵, О.А. САВОТИН⁵**

¹ ПАО «Россети Центр», ул. Малая Ордынка, д. 15, г. Москва, 119017, Российская Федерация

² ПАО «Россети Центр и Приволжье» – «Тулэнерго», ул. Тимирязева, д. 99,
г. Тула, 300600, Российская Федерация

³ 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

⁴ АО «Россети Научно-инжиниринговый центр», Ленинский проспект, д. 153, пом. 10-Н, офис 1039,
г. Санкт-Петербург, 196247, Российская Федерация

⁵ АО «Россети Научно-технический центр», Каширское шоссе, д. 22,
г. Москва, 115201, Российская Федерация

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ БЕТОННЫЕ СМЕСИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И СРОКА СЛУЖБЫ СТОЕК ОПОР ВЛ 0,4–10 КВ

Аннотация

Введение. Анализируются существующие нормативные требования к железобетонным вибрированным стойкам опор для воздушных линий электропередачи 0,4–10 кВ. Отмечается недостаточность и необеспеченность требуемой морозостойкости и водонепроницаемости бетона, а также недостаточная трещиностойкость железобетонных стоек, подверженных воздействию изменяющихся сезонных условий эксплуатации и агрессивного воздействия окружающей среды.

Цель. Получение оптимальных составов и формирование требований к бетонным смесям для изготовления стоек типа СВ. При этом практическая реализация указанной цели станет основой разработки предложений по актуализации действующих нормативных документов в целях создания единых по ГК «Россети» требований и повышения контроля за поставляемой заводами железобетонных изделий продукции.

Материалы и методы. Приводятся результаты исследований, направленных на анализ возможности применения новых материалов при изготовлении железобетонных изделий, повышающих их эксплуатационные и прочностные качества и в то же время позволяющих улучшить качество бетонных смесей с применением отечественных добавок без существенного увеличения стоимости стоек опор типа СВ 95 и СВ 110.

Результаты. По результатам приведенных исследований получен состав бетонной смеси, с помощью которого возможно повысить эксплуатационные и прочностные качества стоек типа СВ и, как следствие, повысить срок их службы до уровня 50 лет и более. Полученные результаты исследований будут учтены при разработке технических условий на производство стоек типа СВ.

Выводы. На основании полученных показателей оптимального состава бетонной смеси специалистами АО «Россети Научно-технический центр» была разработана конструкторская документация на стойки опор СВ 95-3,5, СВ 110-5 и СВ 110-7 для целей изготовления и проведения механических испытаний опытных образцов стоек.

Ключевые слова: железобетонные вибрированные стойки, бетонная смесь, испытание, прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, полифункциональная добавка

Для цитирования: Микрюков В.В., Пацев А.А., Зайцев А.Н., Бучкин А.В., Чехний Г.В., Мурачев А.С., Демин А.В., Князев В.В., Савотин О.А. Модифицированные бетонные смеси для улучшения эксплуатационных характеристик и срока службы стоек опор ВЛ 0,4–10 кВ // *Бетон и железобетон*. 2025. № 1 (626).

C. 38–49. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1\(626\)-38-49](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1(626)-38-49). EDN: TRPVGQ

Вклад авторов

Микрюков В.В. – постановка задачи и общее руководство.

Пацев А.А., Зайцев А.Н., Демин А.В., Савотин О.А. – анализ существующей нормативной базы, выявление существующих недостатков и противоречий, которые могут быть решены с использованием результатов НИОКР; оценка возможности использования принятых решений для использования в готовых изделиях (стойках СВ) в последующем (в том числе с учетом армирования и создания КД).

Бучкин А.В., Чехний Г.В., Мурачев А.С., Князев В.В. – анализ и выбор компонентной базы и добавок для получения оптимального результата; проведение лабораторных исследований.

Финансирование

Исследование проводилось в рамках реализации программы НИОКР ПАО «Россети Центр и Приволжье».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 11.01.2025

Поступила после рецензирования 07.02.2025

Принята к публикации 13.02.2025

**V.V. MIKRYUKOV¹, A.A. PATSEV¹, A.N. ZAITSEV²,
A.V. BUCHKIN³, G.V. CHEKHNIY³, A.S. MURACHEV^{4,✉},
A.V. DEMIN⁴, V.V. KNYAZEY⁵, O.A. SAVOTIN⁵**

¹ PJSC Rosseti Center, Malaya Ordynka str., 15, Moscow, 119017, Russian Federation

² PJSC Rosseti Center and the Volga Region – Tulenergo, str. Timiryazeva, 99, Tula, 300600, Russian Federation

³ 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

⁴ JSC Rosseti Scientific and Engineering Center, Leninsky Prospekt, house 153, room 10-N, office 1039, Saint Petersburg, 196247, Russian Federation

⁵ JSC Rosseti Scientific and Technical Center, Kashirskoye shosse, 22, Moscow, 115201, Russian Federation

MODIFIED CONCRETE MIXES TO IMPROVE THE PERFORMANCE AND SERVICE LIFE OF 0.4–10 KV OVERHEAD LINE SUPPORT POSTS

Abstract

Introduction. The existing regulatory requirements for vibrated reinforced concrete support posts for overhead power lines (overhead lines) of 0.4–10 kV are analyzed. It is noted that the required frost resistance and waterproofness of concrete are insufficient and inadequate, as well as the crack resistance of reinforced concrete pillars exposed to changing seasonal operating conditions and aggressive environmental influences.

Aim. Obtaining of the optimal compositions and forming of the requirements for concrete mixtures for the manufacture of racks of the SV type. At the same time, the practical implementation of this goal will become the basis for the development of proposals for updating of existing reg-

ulatory documents in order to create uniform requirements for Rosseti Group of Companies and increase control over the products supplied by precast concrete plants.

Materials and methods. The results of research aimed at the analysis of the possibility of using of the new materials in the manufacture of reinforced concrete products that enhance their performance and strength qualities, and at the same time improve the quality of concrete mixtures using domestic additives without significant increase of the cost of support posts such as SV 95 and SV 110.

Results. According to the results of the above studies, the composition of the concrete mixture has been obtained, with the help of which it is possible to increase the operational and strength qualities of racks of the SV type,

and, as a result, to increase their service life to the level of 50 years or more. The obtained research results will be taken into account when developing Technical Specifications for the production of racks of the SV type.

Conclusions. Based on the obtained indicators of the optimal composition of the concrete mix, the specialists of Rosseti Scientific and Technical Center JSC developed design documentation for the pillars of SV 95-3,5, SV 110-5 and SV 110-7 for the purposes of manufacturing and conducting mechanical tests of prototypes of the pillars.

Keywords: reinforced concrete vibrated racks, concrete mix, testing, strength, frost resistance, water resistance, multifunctional additive

For citation: Mikryukov V.V., Patsev A.A., Zaitsev A.N., Buchkin A.V., Chekhni G.V., Murachev A.S., Demin A.V., Knyazev V.V., Savotin O.A. Modified concrete mixes to improve the performance and service life of 0.4–10 kV overhead line support posts. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 1 (626), pp. 38–49. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1\(626\)-38-49](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1(626)-38-49). EDN: TRPVGQ

Authors contribution statement

Mikryukov V.V. – task statement and general guidance.
Patsev A.A., Zaitsev A.N., Demin A.V., Savotin O.A. –

analysis of the existing regulatory framework, identification of existing shortcomings and contradictions that can be resolved using the results of R&D; assessment of the possibility of using the solutions adopted for use in complete products (SV racks) in the future (including taking into account reinforcement and design documentation creation).

Buchkin A.V., Chekhni G.V., Murachev A.S., Knyazev V.V. – analysis and selection of the component base and additives for optimal results; conducting of the laboratory tests.

Funding

The study was conducted as part of the implementation of the R&D program of PJSC Rosseti Center and the Volga Region.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 11.01.2025

Revised 07.02.2025

Accepted 13.02.2025

Введение

В настоящее время на балансе ПАО «Россети Центр» и ПАО «Россети Центр и Приволжье» находится более 550 тыс. км воздушных линий электропередачи (ВЛ) напряжением 0,4–10 кВ, из которых около 50 % запроектированы и построены по нормативным документам 70-х годов прошлого столетия и эксплуатируются более 35 лет. При этом срок службы железобетонных вибрированных стоек опор ВЛ 0,4–10 кВ (порядка 9,2 млн шт. типа СВ 95, СВ 110), исходя из практики эксплуатации, не превышает 40 лет, а их конструкции и в настоящее время продолжают изготавливаться преимущественно по типовым техническим условиям [1], разработанным ВГПИиНИИ «Сельэнергопроект» (АО «РОСЭП») в 1994 году, то есть с использованием старых технологий приготовления бетонных смесей и армирования (с незначительными уточнениями в случае выпуска модифицированных стоек СВп, СВм и др.).

Результаты обследований железобетонных вибрированных стоек опор типа СВ, проведенных в различные годы в ПАО «Россети Центр» и ПАО «Россети Центр и Приволжье», позволяют отметить, что в первую очередь разрушениям подвергается часть железобетонных конструкций, находящаяся на границе с грунтом и выше на высоту до 1,0 м от поверхности земли, вследствие интенсивного процесса замораживания-оттаивания, водонасыщения, атмосферного воздействия, а также воздействия агрессивных сред. Количество циклов замораживания-оттаивания (ЦЗО) в центральных регионах РФ (в зоне ответственности ПАО «Россети Центр» и ПАО «Россети Центр и Приволжье») в среднем за год, согласно [2], составляет 65.

Принимая во внимание сложившуюся практику, а также требования [3, п. 2.5.3.16], предусматривающего срок службы железобетонных опор ВЛ 0,4–10 кВ в течение не менее 50 лет, в ПАО «Россети Центр», управляющей организации ПАО «Россети Центр и Приволжье», была инициирована реализация НИОКР «Разработка унифицированной серии железобетонных опор ВЛ 0,4 кВ и 6–20 кВ повышенной долговечности с использованием наномодифицированного бетона».

В настоящей статье приводятся основные результаты НИОКР, относящиеся к анализу возможности применения новых материалов при изготовлении железобетонных изделий, повышающих их эксплуатационные и прочностные качества и позволяющих улучшить качество бетонных смесей на основе полностью отечественных и выпускаемых в достаточных промышленных масштабах добавок без существенного влияния на стоимость стоек опор типа СВ 95 и СВ 110 с возможностью производства на заводах железобетонных изделий (ЖБИ) любого региона РФ.

Существующие требования нормативной документации к стойкам типа СВ и их недостатки

В качестве базового документа для производства и выпуска стоек типа СВ для нужд ГК «Россети» (преимущественно СВ 95-3 (СВ 95-3с) и СВ 110-5) выступают ТУ 5863-007-96502166-2016 [4], представляющие актуализированный на базе ТУ 5863-007-00113557-94 [1] документ. Кроме того, заводы ЖБИ осуществляют выпуск продукции по индивидуальным ТУ, основанным на [1, 4].

Выпускаемые по [1, 4] стойки СВ изготавливаются из тяжелого бетона и предназначены для применения при расчетной температуре наружного воздуха до минус 55 °С, в условиях газовой коррозии с неагрессивной степенью воздействия и в грунтах/грунтовых водах слабо-, средне- и сильноагрессивных. Основные нормируемые по [1, 4] показатели приведены в табл. 1.

Отдельно необходимо обратить внимание на невозможность однозначной интерпретации для промышленного производства по [1] марки бетона по морозостойкости в силу отсутствия упоминания в нормативном документе метода, по которому должно выполняться определение морозостойкости бетона и количество ЦЗО.

В 2018 году в ПАО «Россети», в целях осуществления аттестации железобетонных стоек, был введен стандарт организации СТО 34.01-2.2-035-2018 [5], распространяющийся на железобетонные вибрированные стойки опор ВЛ 0,4–35 кВ. Согласно [5], допускается снижение класса бетона по прочности на сжатие до показателя В25 (при наличии обоснования). Толщина защитного слоя бетона в [5] не регламентируется.

Анализ данных табл. 1 показал, что действующие в настоящее время в ГК «Россети» нормативные документы содержат различия по отдельным регламентируемым показателям. Кроме того, согласно [5], отсутствуют требования по режиму тепловлажностной обработки (ТВО) железобетонных стоек, что является важным технологическим условием для обеспечения ряда показателей бетона (морозостойкость, прочность на сжатие). Требования по заполнителям регламентируются только п. 4.7 ГОСТ 26633-2015 [6] без учета нормируемых показателей по ГОСТ 8736-2014 [7] и ГОСТ 8267-93 [8]. Необходимость выполнения специальных испытаний при применении шлакопортландцемента в условиях воздействия отрицательных температур (согласно таблице Д.1 СП 28.13330.2017 [9]) также не нашла отражения в [5].

Отдельно следует обратить внимание на показатель «морозостойкость бетона», который в случае изготовления вибрированных стоек назначается в зависимости от климатических условий района, условий увлажнения наиболее повреждаемой части бетонных конструкций (постоянный или длительный контакт с грунтовыми и поверхностными

Таблица 1

Table 1

Сравнительные показатели требований [1, 4, 5] на стойки железобетонные вибрированные
Comparative indicators of requirements [1, 4, 5] for vibrated reinforced concrete racks

Нормируемые показатели/параметры	ТУ 1994 [1] (АО «РОСЭП»)	ТУ 2016 [4] (АО «НТЦ ФСК ЕЭС»)	СТО 2018 [5] (ПАО «Россети»)
Тяжелый бетон со средней плотностью, кг/м ³	2200–2500		2000–2500
Класс бетона по прочности на сжатие	В30		Не ниже В25
Состав бетона:			
Цемент	Портландцемент, сульфатостойкий цемент по ГОСТ 22266-94 [10]	Портландцемент, сульфатостойкий цемент по ГОСТ 22266-2013 [11], ГОСТ 10178-85 [12], ГОСТ 31108-2003 [13]	Портландцемент по ГОСТ 10178-85 [12], ГОСТ 31108-2003 [13] и шлакопортландцемент; сульфатостойкий портландцемент по ГОСТ 22266-2013 [11]
Песок	–	–	п. 4 ГОСТ 8736-2014 [7]
Заполнители	ГОСТ 26633-91 [14]	ГОСТ 26633-2015 [6]	п. 4.7 ГОСТ 26633-2015 [6]
Максимальная крупность заполнителя, мм	20	20	20
Марка бетона по морозостойкости (не менее): – на засоленных грунтах (не менее); – для районов с расчетной зимней температурой наружного воздуха ниже минус 40 °С	F200	F ₁ 200	F ₁ 200
	Не регламентировано	F ₂ 300	F ₂ 300
	Не регламентировано	F ₁ 400	F ₁ 400
Марка бетона по водонепроницаемости (не менее)	W6	W8	W8
Толщина защитного слоя, мм	20	25	Не указано

водами, периодическое увлажнение, отсутствие контакта с водой) и минерализации грунтовых вод. В случае стоек типа СВ наиболее повреждаемая часть – зона выхода стойки из грунта – в период действия знакопеременных температур находится в водонасыщенных грунтах. Как следствие, бетон стоек в зоне капиллярного подъема насыщен водой, марка бетона по морозостойкости F₁ назначается по таблице Ж.1 СП 28.13330.2017 [9]. В случае, если в процессе попеременного замораживания и оттаивания бетон находится в насыщенном состоянии морской водой или минерализованными водами (содержание растворенных солей в количестве более 5 г/л), в том числе надмерзлотными или растворами противогололедных реагентов, требования к бетону по морозостойкости должны быть повышены до марок F₂.

Как следствие, указанное в [4, 5] требование к морозостойкости бетона на уровне «не ниже

F₁200» является заниженным. Принимая во внимание универсальность стойки СВ для различных районов эксплуатации на территории РФ, марка бетона по морозостойкости должна быть «не менее F₂200», как для бетонов дорожных и аэродромных покрытий, и определяется испытаниями бетона в солевом растворе по ускоренному третьему методу согласно ГОСТ 10060-2012 с Изм. № 1 [15]. Марка F₂200 для бетонов дорожных и аэродромных покрытий соответствует марке F₁600 для обычных бетонов, что выше, чем нормируемые [4, 5] значения (F₁200–F₁400). При этом ни одним из указанных выше нормативных документов не определены требования по режиму ТВО железобетонных стоек, что является важным технологическим условием для обеспечения показателей бетона (морозостойкость, прочность на сжатие). Отсутствует требование по обязательной выдержке после ТВО конструкций стоек при температуре не ниже 5 °С в течение 3-х суток.

Сложившаяся практика и наличие указанных выше разночтений в действующих нормативных документах, а также неполнота их содержания на практике оказывают существенное влияние на качество производимой заводами ЖБИ продукции и, как следствие, на срок их службы. Принимая во внимание значимость железобетонных составляющих ВЛ для обеспечения бесперебойности электроснабжения конечных потребителей, а также наличие современных материалов, повышающих эксплуатационные и прочностные качества бетона, была определена возможность получения оптимальных составов и требований к бетонным смесям для изготовления стоек типа СВ. При этом практическая реализация указанной выше возможности станет основой для разработки предложений по актуализации действующих нормативных документов (включая [5]) в целях создания единых по ГК «Россети» требований и повышения контроля за поставляемой заводами ЖБИ продукции.

Подходы к подбору оптимального состава бетонных смесей для стоек типа СВ

В основу выбора добавок для увеличения долговечности железобетонных вибрированных стоек опор до 50 и более лет были положены разработки НИИЖБ им. А.А. Гвоздева в области технологии изготовления морозостойких бетонов, оценки степени агрессивного воздействия сред и защиты железобетонных конструкций от коррозионных повреждений по СП 28.13330.2017 [9, 15–17].

На основании [12], а также анализа качества выпускаемых для нужд ПАО «Россети Центр» и ПАО «Россети Центр и Приволжье» модифицированных стоек типа СВ и используемой отдельными заводами производителями сырьевой базы (материалов) для получения бетонных смесей в качестве перспективных были определены следующие виды добавок:

- воздухововлекающие добавки, направленные на повышение морозостойкости бетона при сохранении высоких показателей прочности бетона на сжатие и водонепроницаемости;

- полифункциональные модификаторы и пластификаторы нового поколения, позволяющие снижать расход цемента при сохранении высоких показателей прочности бетона на сжатие, водонепроницаемости, морозостойкости, сопротивления коррозионным воздействиям (подходят для изготовления изделий с повышенными требованиями по долговечности, в том числе при использовании заполнителей, содержащих реакционноспособный кремнезем).

С учетом необходимости выпуска добавки в промышленных объемах, наличия сервисной сети и представительств более чем в 75 % субъектах РФ, 100%-ной локализации производства и использования исключительно отечественной компонентной базы были определены следующие перспективные добавки:

- полифункциональная добавка на основе комплекса модифицированных поликарбоксилатных эфиров (амфифильный поликарбоксилат) с добавлением ингибитора щелочной коррозии;

- органо-минеральный модификатор, сочетающий в своем составе хорошо растворимые ингредиенты органического происхождения – химические добавки, идентифицируемые по ГОСТ 24211-2008 [18] как пластификаторы и компоненты неорганического происхождения в виде пуццолановых активных микронаполнителей.

По итогам выполнения пробных замесов бетонных смесей удалось определить оптимальные дозировки в бетонных смесях, позволяющие увеличить воздухововлечение в бетонную смесь на 2–6 %, тем самым получить бетоны с высокой морозостойкостью, в том числе в растворах солей.

С целью снижения трещинообразования в бетоне выполнены пробные замесы с введением рубленного базальтового волокна.

По итогу выполнения пробных замесов были отобраны три перспективных состава бетона (табл. 2), отвечающих следующим критериям:

- подвижность бетонной смеси (осадка конуса) в диапазоне 9–12 см из условия обеспечения технологической удобоукладываемости в форму;

- объем вовлеченного воздуха в диапазоне 4–6 %;

- прочность бетона не менее 39,2 МПа (класс бетона по прочности на сжатие не менее В30).

Для указанных в табл. 2 трех перспективных составов бетонных смесей были изготовлены опытные образцы (кубы, цилиндры, галтели) в целях проведения их испытаний на морозостойкость, водонепроницаемость, прочность на сжатие и осевое растяжение (табл. 3). Для изготовления опытных образцов использовалось сырье (цемент, песок и щебень), полученное от завода-производителя ЖБИ.

Результаты испытания образцов бетонных смесей

В целях обеспечения повышенной морозостойкости бетона при проведении испытаний опытных образцов бетонных смесей был применен «мягкий» режим ТВО, представленный на рис. 1.

Бетонные образцы после ТВО твердели в течение 28 суток в нормальных условиях при температуре $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 95 %, после чего были испытаны на прочность при сжатии и осевом растяжении, водонепроницаемость и морозостойкость.

Испытание опытных образцов (кубов $100 \times 100 \times 100$ мм) на сжатие проводилось в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012 [19]. По результатам испытаний определено, что прочность бетона на сжатие после ТВО и 28 суток нормального твердения составов опытных образцов изменяется в пределах от 49,5 до 59,8 МПа в зависимости от состава, что со-

Таблица 2
Table 2

Составы бетонных смесей, отобранные для дальнейших испытаний
Concrete mix compositions selected for further testing

№ состава (маркировка)	Вид добавки	Осадка конуса, см	Плотность бетонной смеси, кг/м ³	Объем вовлеченного воздуха, %	В/Ц*	$R_{сж}^{**}$ после ТВО, МПа
№ 9 (9/20/4)	Амфифильный поликарбоксилат	9	2360	4,9	0,30	52,6
№ 11 (5/18/1)	Органо-минеральный модификатор + суперпластификатор + воздухововлекающая	9	2340	3,9	0,41	49,4
№ 12 (10/21/3)	Амфифильный поликарбоксилат + фибра	10	2360	5,0	0,34	47,0

Примечание:

*В/Ц – водоцементное отношение;

** $R_{сж}$ – прочность на сжатие.

Таблица 3
Table 3

Опытные образцы по трем выбранным составам бетонных смесей
Samples for three selected concrete mix compositions

Наименование и размеры образцов, мм	Количество образцов, шт. (на каждый состав)	Вид испытаний
Кубы 100 × 100 × 100	3	Прочность при сжатии, $R_{сж}$ (после ТВО*)
Кубы 100 × 100 × 100	3	Прочность при сжатии, $R_{сж}$ (ТВО + 28 сут.)
Кубы 100 × 100 × 100	18	Морозостойкость (F_2)
Цилиндры $h150 \times 150d$	6	Водонепроницаемость (W)
Галтели 490 × 70	3	Прочность при осевом растяжении, R_t

ответствует классам по прочности на сжатие $B_{ф}39,6$ – $B_{ф}47,8$ (табл. 4).

Прочность бетона опытных образцов на осевое растяжение, R_t , при масштабном коэффициенте $\beta = 0,85$ по ГОСТ 10180-2012 [19], находится в пределах 2,2–3,5 МПа (табл. 4). Таким образом, разработанные бетоны составов № 11, 12 и 9 удовлетворяют требованиям по классу прочности при сжатии не менее В30.

Водонепроницаемость бетонов опытных образцов определена прямым методом в соответствии с требованиями ГОСТ 12730.5-2018 [20]. По результатам испытаний бетоны состава № 11 характеризуются маркой по водонепроницаемости W16, составов № 12 и 9 – W18, что значительно превышает действующие требования [4, 5] по водонепроницаемости бетона на уровне W8.

Морозостойкость бетонов была определена по ускоренному третьему методу по ГОСТ 10060-2012 [15] в климатической камере тепла и холода. Образцы оттаивали в ванне для оттаивания бетонных образцов согласно требованиям указанного стандарта (рис. 2).

На рис. 3 приведена циклограмма фактического режима замораживания и оттаивания перспективных образцов по контролю изменения температуры раствора 5%-ного хлорида натрия, согласно которой экспериментальный режим ЦЗО проведен строго в соответствии с требованиями ГОСТ 10060-2012 [15] как в части продолжительности, так и в части соблюдения температурного режима. Заштрихованная область на графике указывает допустимые границы ЦЗО по температуре датчика в растворе в соответствии с ГОСТ 10060-2012 [15].

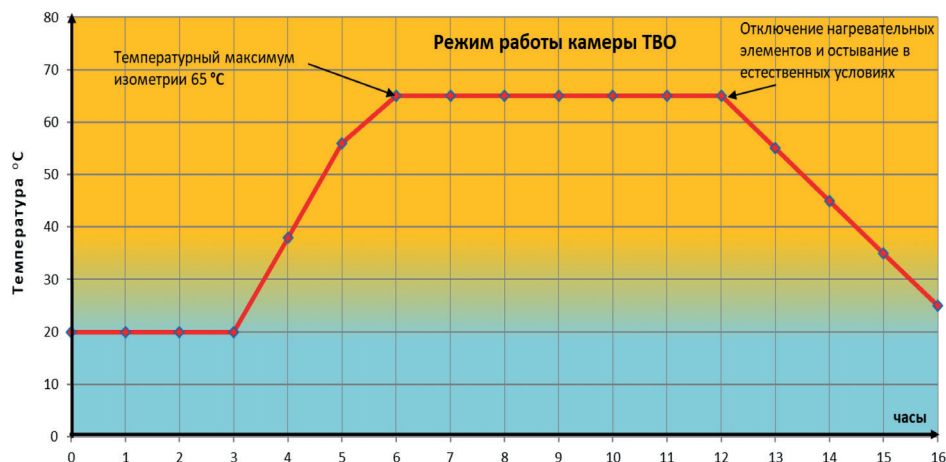


Рис. 1. Циклограмма принятой ТВО перспективных составов бетонных смесей (скорость подъема температуры в диапазоне от 20 до 65 °С не превышала 15 °С/ч, выдержка образцов в закрытой камере после завершения стадии изотермии – не менее 2 ч)
Fig. 1. Cyclogram of the accepted heat and humidity treatment of promising concrete mixtures (the rate of temperature rise in the range from 20 to 65 °C did not exceed 15 °C/h, samples were kept in a closed chamber after completion of the isothermal stage for at least 2 hours)

Таблица 4
Table 4

Результаты проведения испытаний опытных образцов
Test results of the samples

№ состава (маркировка)	Плотность бетона, кг/м ³ (ТВО + 28 суток)	Объем вовлеченного воздуха, %	Фактический класс бетона, В _ф	Прочность на сжатие (ТВО + 28 суток), R _{сж} , МПа	Марка бетона по водонепроницаемости	Марка бетона по морозостойкости	Прочность на осевое растяжение, R _р , МПа
№ 9 (9/20/4)	2422,7	4,9	В _ф 45	56,4	W18	F ₂ 200	3,4
№ 11 (5/18/1)	2261,9	3,9	В _ф 42	49,5	W16	F ₂ 150	2,2
№ 12 (10/21/3)	2412,3	5,0	В _ф 47	59,8	W18	F ₂ 150	3,5

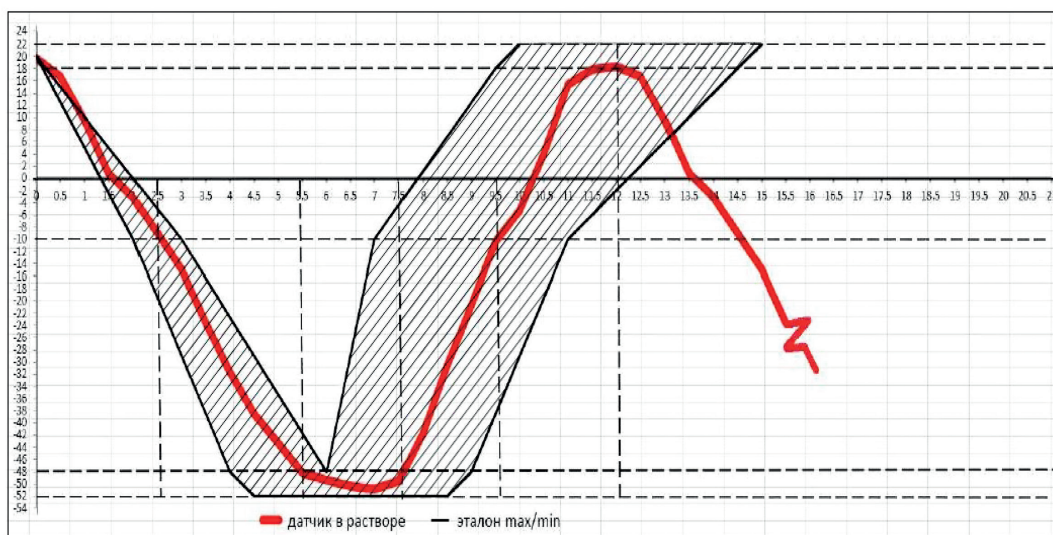


а (a)



б (b)

Рис. 2. а – Определение морозостойкости бетона в климатической камере тепла/холода Discovery DY 1600C; б – оттаивание образцов в ванне с раствором 5%-ного хлорида натрия
Fig. 2. а – Determination of the frost resistance of concrete in the Discovery DY 1600C heat/cold climate chamber; б – thawing of samples in a bath with a 5 % sodium chloride solution



Режим по Изменению № 1 ГОСТ 10060-2012 [15]

Продолжительность, ч	(2–3)	(2–3)	(2–3)	(1–2)	(2,5–3,5)
Температурный режим, °С	От +20 до -10	От -10 до -50	Выдержка при -50	От -50 до -10	От -10 до +20

Экспериментальный режим

Продолжительность, ч	(2,5)	(3,0)	(2,0)	(2,0)	(2,5)
Температурный режим, °С	От +20 до -10	От -10 до -50	Выдержка при -50	От -50 до -10	От -10 до +20

Рис. 3. Температурный режим ЦЗО. Оттаивание в условиях полного погружения емкостей с образцами в ванну для оттаивания с раствором 5%-ного хлорида натрия

Fig. 3. The temperature regime of the cyclic freezing and thawing. Thawing under conditions of complete immersion of the containers with samples to a thawing tub with a 5 % sodium chloride solution

Согласно результатам испытаний (табл. 5) можно заключить, что наилучшие показатели по морозостойкости достигаются на перспективном составе № 9 – F₂200. Для перспективных составов № 11 и 12 удалось достичь результата по морозо-

стойкости на уровне не выше F₂150. Образцы после испытаний внешних дефектов не имели.

Обобщая изложенное выше, можно заключить, что экспериментальные составы № 9 и 12 показали близкие результаты по всем контролируемым пара-

Таблица 5
Table 5

Результаты испытаний перспективных образцов бетонных смесей на морозостойкость
Frost resistance test results for promising samples of concrete mixtures

№ состава (маркировка)	Проектируемая марка бетона по морозостойкости	Выполнение критерия по п. 5.2.4.3 ГОСТ 10060-2012 [15]	Фактическая марка бетона по морозостойкости
№ 9 (9/20/4)	F ₂ 150	Соотношение сохраняется (50,0 ≥ 45,8)	F ₂ 200
	F ₂ 200	Соотношение сохраняется (46,6 ≥ 45,8)	
№ 11 (5/18/1)	F ₂ 150	Соотношение сохраняется (34,5 ≥ 32,1)	F ₂ 150
	F ₂ 200	Соотношение не сохраняется (30,3 ≤ 32,1)	
№ 12 (10/21/3)	F ₂ 150	Соотношение сохраняется (47,3 ≥ 46,4)	F ₂ 150
	F ₂ 200	Соотношение не сохраняется (43,0 ≤ 46,4)	

метрам. Недостатком экспериментального состава бетона № 11 является самый низкий показатель фактического класса бетона $B_{ф}$, прочности на осевое растяжение R_t и марки по водонепроницаемости среди трех исследуемых составов.

Экспериментальный состав № 9 позволил достичь наилучших показателей на морозостойкость (F_{200}), в то время как указанный показатель для составов № 11 и 12 не превысил уровня F_{2150} .

Как следствие, в качестве перспективного состава бетонных смесей для изготовления опытных образцов стоек СВ был определен состав № 9.

Выводы

Проведенные исследования по определению перспективных составов бетонных смесей позволили определить перспективный состав, позволяющий повысить эксплуатационные и прочностные качества железобетонных вибрированных стоек типа СВ и, как следствие, срок их службы до 50 лет и более.

Повышение эксплуатационных и прочностных качеств стоек типа СВ достигается за счет внесения в состав бетона полифункциональной добавки на основе комплекса модифицированных поликарбоксилатных эфиров (амфифильный поликарбоксилат) с добавлением ингибитора щелочной коррозии. При этом добавка является полностью отечественной разработкой и может поставляться в промышленных масштабах на заводы ЖБИ России.

На основании полученных показателей оптимального состава бетонной смеси специалистами АО «Россети Научно-технический центр» была разработана конструкторская документация на стойки опор СВ 95-3,5, СВ 110-5 и СВ 110-7 для целей изготовления и проведения механических испытаний опытных образцов стоек, по итогам проведения которых планируется инициировать процесс гармонизации и корректировки действующих нормативно-технических документов.

Список литературы

1. ТУ 5863-007-00113557-94. Стойки железобетонные вибрированные для опор ВЛ 0,4...10 кВ. Технические условия. Москва: АО «РОСЭП», 1994.
2. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. Москва, 2020.
3. Положение «О единой технической политике в электросетевом комплексе». Утверждено Советом директоров ПАО «Россети» (протокол от 20.10.2022 № 592).
4. ТУ 5863-007-96502166-2016. Стойки железобетонные вибрированные для опор напряжением 0,4...10 кВ. Технические условия. Москва: АО «НТЦ ФСК ЕЭС», 2016.
5. СТО 34.01-2.2-035-2018. Железобетонные стойки для опор ВЛ 0,4-35 кВ. Общие технические условия. ПАО «Россети», 2018.

6. ГОСТ 26633-2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. Москва: Российский институт стандартизации, 2015.
7. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019.
8. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. Москва: Российский институт стандартизации, 1993.
9. СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85. Москва: ФГБУ «РСТ», 2022.
10. ГОСТ 22266-94. Цементы сульфатостойкие. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2006.
11. ГОСТ 22266-2013. Цементы сульфатостойкие. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2014.
12. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
13. ГОСТ 31108-2003. Цементы общестроительные. Технические условия. Москва: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС), 2004.
14. ГОСТ 26633-91. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
15. ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости. Москва: Российский институт стандартизации, 2012.
16. Научно-технический отчет «Рекомендации по увеличению долговечности опор ВЛ 0,4-35 кВ на железобетонных вибрированных стойках». Москва: ГУП НИИЖБ, 2000. 52 с.
17. Розенталь Н.К., Чехний Г.В. Анализ методов определения морозостойкости бетона // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2023. № 3 (38). С. 128–142. DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3\(38\)-128-142](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3(38)-128-142)
18. ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2010.
19. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Москва: Стандартинформ, 2013.
20. ГОСТ 12730.5-2018. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости. Москва: Стандартинформ, 2019.
21. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. Москва: Стройиздат, 1990. 320 с.

References

1. TU 5863-007-00113557-94. Vibrated reinforced concrete racks for overhead line supports of 0.4...10 kV. Technical specifications. Moscow: ROSEP JSC, 1994. (In Russian).

2. SP 131.13330.2020. Building climatology. Updated version of SNiP 23-01-99*. Moscow, 2020. (In Russian).
3. The Regulation "On the unified technical policy at the electric grid complex". Approved by the Board of Directors of PJSC ROSSETI (Protocol No. 592 dated 10/20/2022). (In Russian).
4. TU 5863-007-96502166-2016. Vibrated reinforced concrete racks for supports with a voltage of 0.4...10 kV. Technical specifications. Moscow: JSC "STC FGC UES", 2016. (In Russian).
5. STO 34.01-2.2-035-2018. Reinforced concrete racks for overhead line supports of 0.4-35 kV. General technical conditions. PJSC ROSSETI, 2018. (In Russian).
6. State Standard 26633-2015. Heavy-weight and sand concretes. Specifications. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2015. (In Russian).
7. State Standard 8736-2014. Sand for construction works. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
8. State Standard 8267-93. Crushed stone and gravel of solid rocks for construction works. Specifications. Moscow: Russian Institute of Standardization, 1993. (In Russian).
9. SP 28.13330.2017. Protection against corrosion of construction. Updated version of SNiP 2.03.11-85. Moscow: "FSBI RST", 2022. (In Russian).
10. State Standard 22266-94. Sulphate-resistant cements. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2006. (In Russian).
11. State Standard 22266-2013. Sulphate-resistant cements. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2014. (In Russian).
12. State Standard 10178-85. Portland cement and portland blastfurnace slag cement. Specifications. (In Russian).
13. State Standard 31108-2003. General structural Portland clinker cements. Specifications. Moscow: Interstate Scientific and Technical Commission for Standardization, Technical Regulation and Certification in Construction (ISTCC), 2004. (In Russian).
14. State Standard 26633-91. Heavy-weight and sand concretes. Specifications. (In Russian).
15. State Standard 10060-2012. Concretes. Methods for determination of frost-resistance. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2012. (In Russian).
16. Scientific and technical report "Recommendations for increasing the durability of 0.4-35 kV overhead line supports on vibrated reinforced concrete racks". Moscow: SUE NIIZHB, 2000, 52 p. (In Russian).
17. Rozental N.K., Chekhonii G.V. Analysis of test methods for frost resistance of concrete. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2023, no. 3 (38), pp. 128–142. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3\(38\)-128-142](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3(38)-128-142)
18. State Standard 24211-2008. Admixtures for concretes and mortars. General specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2010. (In Russian).
19. State Standard 10180-2012. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens. Moscow: Standartinform Publ., 2013. (In Russian).
20. State Standard 12730.5-2018. Concretes. Methods for determination of water tightness. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
21. Alekseev S.N., Ivanov F.M., Modry S., Shissl P. Durability of reinforced concrete in aggressive environments. Moscow: Stroyizat Publ., 1990, 320 p. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Валерий Викторович Микрюков, руководитель дирекции по инновационной деятельности и импортозамещению, ПАО «Россети Центр», Москва
Valery V. Mikryukov, Head of the Directorate for Innovation and Import Substitution, PJSC Rosseti Center, Moscow

Александр Александрович Пацев, главный специалист дирекции по инновационной деятельности и импортозамещению, ПАО «Россети Центр», Москва
Aleksandr A. Patsev, Chief Specialist of the Directorate for Innovation and Import Substitution, PJSC Rosseti Center, Moscow

Андрей Николаевич Зайцев, начальник управления технологического развития и цифровизации филиала «Тулэнерго», ПАО «Россети Центр и Приволжье», Тула
Andrey N. Zaitsev, Head of the Department of Technological Development and Digitalization of the Tulenergo branch, PJSC Rosseti Center and the Volga Region, Tula

Андрей Викторович Бучкин, канд. техн. наук, заместитель директора по производственной работе, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
Andrey V. Buchkin, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Director for Production Work, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Галина Васильевна Чехний, канд. техн. наук, заведующий сектором лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Galina V. Chekhonii, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Sector 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

Александр Сергеевич Мурачев[✉], начальник управления инновационного развития и энергоэффективности, АО «Россети Научно-инжиниринговый центр», Москва

e-mail: Murachev_AS@ntc-power.ru

Alexander S. Murachev[✉], Head of the Department of Innovative Development and Energy Efficiency, JSC Rosseti Scientific and Engineering Center, Moscow

e-mail: Murachev_AS@ntc-power.ru

Алексей Васильевич Демин, главный эксперт управления инновационного развития и энергоэффективности, АО «Россети Научно-инжиниринговый центр», Москва

Alexey V. Demin, Chief Expert of the Department of Innovative Development and Energy Efficiency, JSC Rosseti Scientific and Engineering Center, Moscow

Владимир Викторович Князев, главный научный сотрудник управления организации научно-технического совета, АО «Россети Научно-технический центр», Москва

Vladimir V. Knyazev, Chief Researcher of the Scientific and Technical Council Organization Department, JSC Rosseti Scientific and Technical Center, Moscow

Олег Александрович Савотин, начальник департамента инновационной деятельности филиала СибНИЭ, АО «Россети Научно-технический центр», Новосибирск

Oleg A. Savotin, Head of the Department of Innovation Activities of the SibNIE branch, JSC Rosseti Scientific and Technical Center, Novosibirsk

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

**В.А. ХАРИТОНОВ¹, И.М. ПЕТРОВ¹, С.В. СНИМЩИКОВ²,
М.Ю. УСАНОВ¹, И.П. САВРАСОВ^{2,✉}, Д.О. ДЕМИН³**

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»), пр. Ленина, д. 38, г. Магнитогорск, 455000, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (ФГБОУ ВО «МГТУ ГА»), Кронштадтский бульвар, д. 20, г. Москва, 125993, Российская Федерация

³ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова, ул. Таллинская, д. 34, г. Москва, 123458, Российская Федерация

МЕТОДИКА ВЫБОРОЧНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА АРМАТУРНОГО ПРОКАТА

Аннотация

Введение. Качество арматурного проката – ключевой фактор надежности железобетонных конструкций в условиях роста этажности и сложности строительных объектов. Современные российские стандарты (ГОСТ 34028-2016, ГОСТ Р 52544-2006) требуют строгого статистического контроля механических свойств проката, включая временное сопротивление, предел текучести и относительное удлинение. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения точности методов выборочного контроля для минимизации рисков недостоверной оценки качества.

Цель. Разработка методики выборочного контроля качества арматурного проката на основе статистического анализа, включая проверку нормальности распределения данных, устранение выбросов и оценку соответствия требованиям стандартов.

Материалы и методы. Исследование базируется на анализе данных испытаний арматурного проката класса А600 (ГОСТ 34028-2016). Применены критерии Шапиро – Уилка, Пирсона (χ^2) и Колмогорова – Смирнова для проверки нормальности распределения. Выбросы идентифицировались методом Шарлье ($\alpha = 0,05$). Используются программные средства для расчета статистических показателей (среднее, СКО, асимметрия, эксцесс) и визуализации (гистограммы, Q–Q графики).

Результаты. Установлено, что наличие выбросов искажает распределение ключевых параметров. Для отношения временного сопротивления к пределу текучести исключение выбросов позволило восстановить

нормальность распределения ($p > 0,05$ по двум критериям), тогда как для относительного удлинения δ_{max} их влияние оказалось незначительным. Автоматизированный анализ подтвердил, что применение доверительных интервалов (95 %) и методов ГОСТ 34028-2016 повышает достоверность оценки качества.

Выводы. Исключение выбросов – критический этап для обеспечения нормальности распределения данных. Комбинированное использование критериев согласия повышает надежность статистических выводов. Автоматизация методики на основе специализированного программного обеспечения сокращает время контроля и минимизирует человеческий фактор. Регулярный выборочный контроль необходим для соответствия продукции требованиям стандартов и снижения рисков в строительстве.

Ключевые слова: арматурный прокат, железобетонные конструкции, выборочный контроль, качество, статистический анализ, нормальное распределение, критерий, выбросы значений, доверительные интервалы, автоматизация контроля

Для цитирования: Харитонов В.А., Петров И.М., Снимщиков С.В., Усанов М.Ю., Саврасов И.П., Демин Д.О. Методика выборочного контроля качества арматурного проката // *Бетон и железобетон*. 2025. № 1 (626). С. 50–65. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1\(626\)-50-65](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1(626)-50-65). EDN: WPKKAT

Вклад авторов

Харитонов В.А. – разработка концепции исследования и постановка задач; анализ нормативной базы (ГОСТ, стандарты) и формулирование требований к методи-

ке контроля; руководство процессом написания статьи и координация работы коллектива авторов.

Петров И.М. – проведение статистического анализа данных, включая проверку нормальности распределения; разработка алгоритма обработки данных и исключения выбросов; подготовка разделов, посвященных методам и результатам исследования.

Снимщиков С.В. – разработка программного обеспечения для автоматизации выборочного контроля; проведение расчетов и визуализация данных (гистограммы, Q–Q графики); участие в написании разделов, связанных с практической реализацией методики.

Усанов М.Ю. – сбор и подготовка данных испытаний арматурного проката; проведение экспериментальной проверки методики на реальных данных; анализ влияния выбросов на результаты статистической оценки.

Саврасов И.П. – анализ современных подходов к контролю качества в строительной отрасли; подготовка

обзора литературы и нормативных документов; участие в написании введения и выводов статьи.

Демин Д.О. – проверка корректности применения статистических критериев (Шапиро – Уилка, Пирсона, Колмогорова – Смирнова); подготовка рекомендаций по повышению надежности выборочного контроля; редактирование текста статьи и приведение его в соответствие с требованиями научных стандартов.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 12.12.2024

Поступила после рецензирования 13.01.2025

Принята к публикации 16.01.2025

**V.A. KHARITONOV¹, I.M. PETROV¹, S.V. SNIMSHCHIKOV²,
M.Yu. USANOV¹, I.P. SAVRASOV^{2,✉}, D.O. DEMIN³**

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov" (MSTU named after G.I. Nosov), Lenin ave., 38, Magnitogorsk, 455000, Russian Federation

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow State Technical University of Civil Aviation" (MSTU CA), Kronshtadtsky Boulevard, 20, Moscow, 125993, Russian Federation

³ National Research University "Higher School of Economics", Tikhonov Moscow Institute of Electronics and Mathematics, Tallinskaya str., 34, Moscow, 123458, Russian Federation

THE METHODOLOGY OF SELECTIVE QUALITY CONTROL OF REBAR PRODUCTS

Abstract

Introduction. The quality of rolled reinforcement is a key factor in the reliability of reinforced concrete structures in conditions of increasing number of floors and complexity of construction projects. Modern Russian standards (State Standard 34028-2016, State Standard R 52544-2006) require strict statistical control of the mechanical properties of rolled products, including temporary resistance, yield strength and relative elongation. The relevance of the study is due to the need to improve the accuracy of sampling methods in order to minimize the risks of an unreliable quality assessment.

Aim. Development of a methodology for selective quality control of rebar products based on statistical analysis, including verification of the normality of data distribution, elimination of outliers and assessment of compliance with the requirements of standards.

Materials and methods. The study is based on the analysis of test data for rebar rolled products of class A600 (State Standard 34028-2016). The Shapiro–Wilk, Pearson (χ^2), and Kolmogorov–Smirnov criteria were applied to verify the normality of the distribution. Outliers were identified by the Charlier method ($\alpha = 0.05$). Software tools were used to calculate statistical indicators (mean, RMSD, skewness, excess) and visualization (histograms, Q–Q graphs).

Results. It was found that the presence of outliers distorts the distribution of key parameters. For the ratio of temporary resistance to yield strength, the exclusion of emissions allowed the normality of the distribution to be restored ($p > 0.05$ according to two criteria), whereas for the relative elongation δ_{\max} , their effect turned out to be insignificant. Automated analysis has confirmed that the use of confidence intervals (95 %) and State Standard 34028-

2016 methods increases the reliability of quality assessment.

Conclusions. Eliminating of outliers is a critical step to ensure the normality of data distribution. The combined use of agreement criteria increases the reliability of statistical conclusions. Automation of the methodology based on specialized software reduces the monitoring time and minimizes the human factor. Regular sampling is necessary to ensure that products meet the requirements of the standards and reduce risks in construction.

Keywords: rolled rebar, reinforced concrete structures, selective control, quality, statistical analysis, normal distribution, criterion, outliers of values, confidence intervals, automation of control

For citation: Kharitonov V.A., Petrov I.M., Snimshchikov S.V., Usanov M.Yu., Savrasov I.P., Demin D.O. The methodology of selective quality control of rebar products. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 1 (626), pp. 50–65. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1\(626\)-50-65](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1(626)-50-65). EDN: WPKKAT

Authors contribution statement

Kharitonov V.A. – development of the research concept and formulation of tasks; analysis of the regulatory framework (State Standards, standards) and formulation of requirements for the control methodology; management of the article writing process and coordination of the work of the team of authors.

Petrov I.M. – conducting of the statistical data analysis, including checking of the normality of the distribution; develop-

ing an algorithm for data processing and outliers eliminating; preparing of the sections on research methods and results.

Snimshchikov S.V. – software development for automation of sampling control; calculations and visualization of data (histograms, Q–Q graphs); participation in writing of the sections related to the practical implementation of the methodology.

Usanov M.Yu. – collection and preparation of test data for rebar products; experimental verification of the methodology on real data; analysis of the impact of outliers on the results of statistical assessment.

Savrasov I.P. – analysis of modern approaches to quality control in the construction industry; preparation of a review of literature and regulatory documents; participation in writing the introduction and conclusions of the article.

Demin D.O. – verification of the correctness of the application of statistical criteria (Shapiro–Wilk, Pearson, Kolmogorov–Smirnov); preparation of recommendations to improve the reliability of sampling control; editing the text of the article and bringing it in line with the requirements of scientific standards.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 12.12.2024

Revised 13.01.2025

Accepted 16.01.2025

Железобетон занимает ключевое место среди современных строительных материалов, широко востребованных в капитальном строительстве. Интенсификация его использования напрямую связана с увеличением объемов производства эффективных видов арматурных сталей, отвечающих заданным требованиям качества. Бетон и железобетон представляют собой прогрессивные материалы, которые непрерывно совершенствуются и адаптируются к современным потребностям строительной отрасли [1]. За последние три десятилетия экономика России претерпела значительные изменения, что повлияло и на строительную отрасль, вызвав внедрение ряда существенных технических нововведений. В частности, изменились пропорции объемов промышленного и жилищно-гражданского строительства, увеличилась доля сложных и нетиповых объектов. Рост этажности жилых зданий и усложнение конструктивных решений в строительстве привели к усилению требований к надежности железобетонных конструкций, подчеркивая необходимость их совершенствования и адаптации к современным условиям [2].

В соответствии с актуальными российскими строительными нормами [3–5] проектирование железобетонных конструкций, зданий и сооружений должно основываться на установленных нормируемых показателях качества арматурного проката. Эти показатели должны гарантировать надежность конструкций при воздействии заданных видов нагрузок в различных условиях эксплуатации [2].

В настоящее время наибольшую востребованность имеет арматурный прокат класса прочности 500 Н/мм² [6–10]. Кроме того, важное практическое значение имеют следующие из свойств арматурного проката: категория пластичности (соответствующая требованиям Eurocode 2 [11], включая категории с повышенной пластичностью для снижения риска лавинообразного разрушения железобетонных конструкций), возможность поставки проката в бухтах рядной смотки массой 2–5 тонн, форма периодического профиля, свариваемость, коррозионная стойкость и прочие.

Согласно Закону РФ «О защите прав потребителей», контроль качества продукции в первую очередь осуществляется поставщиком (контроль поставщика). Этот вид контроля служит средством подтверждения перед потребителем и третьими сторонами достоверности предоставленной поставщиком информации о соответствии продукции установленным требованиям. Контроль, проводимый потребителем (контроль потребителя), используется для выявления возможного несоответствия продукции заявленным характеристикам и для доказательства недостоверности информации поставщика. Для потребителей это играет ключевую роль при выборе надежных поставщиков арматуры, а также способствует снижению рисков при эксплуатации железобетонных конструкций.

Чаще всего применяется выборочный (статистический) контроль качества продукции, когда испытывается лишь ее часть, называемая выборкой. Выборочный приемочный контроль качества продукции представляет собой разновидность выборочного контроля. Его суть заключается в том, что на основе испытаний отдельных единиц продукции, входящих в случайную репрезентативную выборку, с применением методов математической статистики формируется обоснованное заключение о качестве всей партии продукции. Это позволяет оценить ее соответствие установленным требованиям, а также пригодность для поставки и последующего использования по назначению.

Для обеспечения надежности механических свойств арматурного проката и долгосрочного контроля качества продукции необходимо внедрение статистических норм. Они позволяют с заданной вероятностью экстраполировать результаты выборочных контрольных испытаний на всю партию или объем продукции, произведенной за определенный период. Такой подход обеспечивает обоснованность выводов о качестве продукции и ее соответствии установленным требованиям [12]. Гарантированный статистическими расчетами уровень механических свойств продукции повышает соответствие арматурного проката техническим требованиям. Это обеспечивает конкурентное преимущество производителя за счет надежности достижения номинальных значений нормируемых характеристик. Описанный подход укрепляет позиции производителя на рынке и повышает доверие потребителей [13].

На сегодняшний день в России действуют три основных стандарта на арматурный прокат: ГОСТ 34028-2016 [14], ГОСТ Р 52544-2006 [15] (в части требований только к холоднодеформированной арматуре) и ГОСТ 5781-82 [16]. ГОСТ 5781-82 [16] в части статистической оценки качества арматурного проката регламентирует требования по среднеквадратическому отклонению в генеральной совокупности испытаний, среднеквадратическому отклонению в партии-плавке, а также их отношению к среднему значению в генеральной совокупности испытаний и минимальному среднему значению в партии-плавке [16, табл. 9]. Стандарт включает требования гарантии среднего значения временного сопротивления, а также физического и условного пределов текучести в генеральной совокупности. Он также устанавливает минимальные средние значения этих показателей для каждой партии-плавки, обеспечивая контроль и подтверждение качества на всех этапах производства [16, Приложение 1]. Условия определения указанных показателей определяются границами доверительных интервалов.

Аналогичные требования к среднеквадратическому отклонению и средним значениям регламентируются в [15, табл. 6 и Приложение В].

Согласно ГОСТ 34028-2016 [14], статистическую оценку уровня качества проката при долговременном контроле проводят для подтверждения соответствия требованиям стандарта таких показателей, как относительная площадь смятия f_R , временное сопротивление σ_B , предел текучести $\sigma_T(\sigma_{0,2})$, отношение временного сопротивления к пределу текучести $\sigma_B/\sigma_T(\sigma_{0,2})$ и относительное удлинение δ_5 (δ_p или δ_{max}).

Для определения статистических показателей используют репрезентативную выборку результатов контрольных испытаний, охватывающую не менее 6 месяцев или последние 200 испытанных образцов при неизменном технологическом процессе. Выборка должна включать данные не менее чем по 5 партиям (плавкам). Оценка достоверной частоты отказов при заданной вероятности осуществляется путем определения границ доверительных интервалов. Оценка уровня качества при долгосрочном контроле основывается на предположении о нормальном распределении большого числа единичных результатов, так как большинство технологических процессов подчиняется закону нормального распределения (закон Гаусса, или Лапласа – Гаусса). Этот закон характеризуется средней величиной, которая определяет центр распределения, и среднеквадратическим отклонением, которое используется как мера изменчивости (вариативности) результатов [13].

Подход, изложенный в [14], позволяет производителю оценить прогнозируемый диапазон отказов (от 10 до 5 %) на основе фактического уровня изменчивости механических свойств арматурного проката, определяемого среднеквадратическим отклонением и ожидаемым средним значением. Это позволяет производителю прогнозировать вероятность обеспечения заданного уровня качества продукции и принимать меры для его повышения [2].

Представленный анализ свидетельствует, что основные действующие в России нормативные документы на арматурный прокат содержат требования по среднеквадратическому отклонению, т. е. регламентируют степень разброса результатов испытаний относительно среднего значения и предлагают использование доверительных интервалов для оценки среднего значения при статистической оценке уровня качества.

Доверительный интервал – это интервал, который включает в себя неизвестный параметр с заданной вероятностью [17]. Вычисление границы доверительного интервала случайной величины выполняется по формуле:

$$(\bar{X} - t_{a,f} \sigma; \bar{X} + t_{a,f} \sigma), \quad (1)$$

где \bar{X} – среднее арифметическое;

σ – среднеквадратическое отклонение выборки;

$t_{a,f}$ – табличное значение критерия Стьюдента для выбранной доверительной вероятности.

Среднеквадратическое отклонение – это статистическая характеристика, отражающая степень разброса значений случайной величины относительно ее среднего значения и среднюю степень разброса значений величины относительно математического ожидания [17].

При использовании числовых характеристик весьма важным является следующее обстоятельство: изучая случайную величину, мы не можем охватить генеральную совокупность, поэтому имеем в своем распоряжении лишь ограниченную выборку из нее. Таким образом, по выборке будут получены не истинные значения той или иной характеристики, а их приближенные оценки [18].

Границы доверительного интервала случайной величины определяются площадью графика кривой Гаусса, заключенной между границами доверительного интервала. Например, в границах 95 % доверительного интервала заключено 95 % площади графика нормального распределения, как следствие, случайная величина имеет вероятность 0,95 попасть в границы доверительного интервала в результате испытаний. Таким образом, для получения достоверных результатов при оценке доверительных интервалов необходимо, чтобы величина, для которой рассчитывается доверительный интервал, была распределена по нормальному закону. В противном случае результаты оценки доверительного интервала нельзя признать достоверными. Таким образом, для правильного использования большинства классических методов математической статистики (применяемых в обработке измерений, стандартизации и контроле качества) необходимо, чтобы наблюдаемые данные соответствовали нормальному распределению [19]. Если гипотеза о нормальности данных не отклоняется, то анализ значительно упрощается, так как становится возможным использование традиционных статистических методов, корректность которых обусловлена выполнением данного условия. Это способствует более надежной интерпретации результатов и повышению эффективности решений в областях стандартизации и контроля качества [20]. По этой причине проверка на соответствие нормальному распределению является обязательной процедурой при проведении измерений, испытаний и контроля для корректности применения статистических методов и обеспечения надежности получаемых результатов при анализе качества продукции [19].

Для проверки характера распределения в статистике существуют следующие методы:

– графические методы: гистограмма частотного распределения, график «квантиль – квантиль» и др.;

– слабые критерии: оценка среднего абсолютного отклонения (CAO-критерий), размах варьирования (R/S-критерий), критерий асимметрии и эксцесса (метод моментов) и др.;

– сильные критерии: критерий Пирсона, критерий Колмогорова – Смирнова, критерий Шапиро – Уилка и др.

Использование критериев Пирсона, Колмогорова – Смирнова, Шапиро – Уилка и других позволяет не только оценить, являются ли расхождения между эмпирическим и теоретическим распределениями значимыми или случайными, но и определить достоверность полученного результата с помощью доверительной вероятности. Эти методы помогают проверить гипотезу о нормальности распределения данных и гарантировать, что применяемые статистические методы соответствуют требованиям анализа.

На момент написания статьи на территории России действует стандарт ГОСТ Р ИСО 5479-2002 [21], введенный в 2002 году и полностью соответствующий международному стандарту ISO 5479:1997 [22]. Этот стандарт определяет методы и критерии, используемые для оценки отклонений распределения вероятностей от нормального при условии независимых наблюдений. В числе таких методов могут быть как графические, так и числовые тесты, включая критерии, основанные на сравнении эмпирического и теоретического распределений, что позволяет определить, насколько данные соответствуют нормальному распределению:

– графический метод: построение нормального вероятностного графика и методы его интерпретации;

– направленные критерии (ориентированные на анализ характеристик асимметрии или эксцесса в распределении вероятностей наблюдаемых данных). Эти критерии позволяют оценить, насколько распределение данных отклоняется от нормального по форме. Асимметрия характеризует степень несимметричности распределения, а эксцесс – его «плоскостность» или «остроту» по сравнению с нормальным распределением;

– многосторонние критерии (критерии Шапиро – Уилка и Эппса – Палли);

– совместный критерий (используется для оценки отклонений от нормального распределения, когда анализ проводится на основе нескольких независимых выборок). Подход эффективен в случаях, когда каждая отдельная выборка слишком мала для обнаружения существенных отклонений от нормальности.

Критерий Эппса – Палли основан на сравнении эмпирической и теоретической характеристических функций и применяется при $8 < n < 200$ согласно стандарту. Этот метод учитывает данные нескольких выборок и оценивает их отклонения от нормальности, что особенно важно при ограниченных объемах данных.

Критерий Шапиро – Уилка основан на анализе линейной комбинации разностей между порядковыми статистиками. Стандарт рекомендует его применение в случаях, когда отсутствует априорная информация

о характере возможных отклонений от нормальности, что делает этот метод универсальным и надежным для проверки гипотезы о нормальном распределении данных [19]. Этот критерий широко представлен в различных статистических программных пакетах. Несмотря на то что ГОСТ Р ИСО 5479-2002 [21] рекомендует использование критерия Шапиро – Уилка для выборок с объемом $8 < n < 50$, современные статистические программы позволяют применять его и для выборок большего объема. Этот критерий является одним из наиболее мощных методов проверки согласия с нормальным распределением [23]. В математической статистике мощность критерия определяется как вероятность корректного отклонения нулевой гипотезы в случае, если справедлива конкурирующая гипотеза. Повышение мощности статистического критерия уменьшает вероятность ошибки второго рода, то есть ситуации, когда неверная нулевая гипотеза принимается несмотря на истинность альтернативной гипотезы.

Высокая мощность критерия указывает на его способность правильно обнаруживать истинные различия или эффекты в данных, что важно для точности и надежности статистических выводов.

В исследовании [19] установлено, что большинство критериев, описанных в стандарте, демонстрируют высокую чувствительность к аномальным наблюдениям. Это обусловлено использованием оценок вторых, третьих и четвертых центральных моментов, которые не обладают робастностью. Таким образом, отклонение от гипотезы о нормальности распределения значений может быть вызвано наличием аномальных данных в выборке. Следовательно, ограничение проверки нормальности только критериями, предложенными в стандарте, не всегда гарантирует корректные выводы о соответствии выборки нормальному распределению. В таких случаях целесообразно применять дополнительные критерии для выявления выбросов в исследуемой выборке, что помогает повысить надежность результатов и уменьшить влияние аномальных данных на статистический анализ.

Для повышения достоверности результатов при проверке гипотезы о характере распределения возможно одновременное использование нескольких статистических критериев. Например, помимо использования критерия Шапиро – Уилка возможно проводить проверку гипотезы с использованием критериев Пирсона и Колмогорова – Смирнова. Все три критерия базируются на разных подходах к проверке гипотез относительно характера распределения. Гипотеза о нормальности распределения не отвергается в случае, если положительный результат проверки получен хотя бы по двум критериям.

Критерий согласия Пирсона (χ^2 , хи-квадрат) используется для решения широкого спектра задач, включая анализ номинальных данных, то есть дан-

ных, выражаемых качественными характеристиками объектов, а не количественными показателями. В качестве статистического показателя критерий Пирсона рассматривает сумму отношений квадратов отклонений между наблюдаемыми эмпирическими и теоретическими частотами к теоретическим частотам для каждого интервала. Применение этого критерия регламентировано нормативным документом Р 50.1.033-2001 [24].

Критерий Колмогорова – Смирнова предназначен для оценки степени расхождения между теоретическим и эмпирическим распределениями. Он измеряет максимальную абсолютную разность между их функциями распределения. Применение этого критерия регламентируется стандартом Р 50.1.037-2002 [25].

Рекомендации по стандартизации [24, 25] регламентируют также другие критерии: статистику типа χ^2 Никулина, критерий Крамера – Мизеса – Смирнова, критерий Андерсона – Дарлинга.

Для реализации данного подхода предложен следующий алгоритм:

1. Формирование массива данных результатов испытаний для оценки уровня качества проката при долговременном контроле.

2. Проверка сформированного массива на наличие аномальных значений (выбросов). Для этого могут быть использованы следующие методы: правило трех сигм, критерии Райта, Романовского, Шарлье, Рошера, Граббса, тест Роснера, коробчатая диаграмма или другие методы, выбранные в зависимости от объема сформированного массива.

3. После исключения выбросов проводится проверка гипотезы о характере распределения. Для проверки используются три критерия, характер распределения признается нормальным, если гипотеза о нормальности распределения не отвергается хотя бы по двум критериям.

4. Построение графиков (гистограмма частотного распределения и график «квантиль – квантиль») для визуализации распределения оцениваемого параметра.

5. Расчет статистических показателей массива данных, характеризующих центр, разброс и форму распределения: среднее арифметическое, минимум, максимум, размах, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации, коэффициенты асимметрии и эксцесса.

6. Если гипотеза о нормальном распределении данных не отвергается, то оценка уровня качества проката при долговременном контроле выполняется в соответствии с требованиями [14, п. 8.14.4]. Однако, если гипотеза о нормальности распределения отклоняется, результаты такой оценки уровня качества проката при долговременном контроле теряют достоверность. Это связано с тем, что использование статистических методов, предполагающих нормальность распределения, в случае ее отсутствия может привести к неверным выводам и недостоверным оценкам качества продукции.

Методика является универсальной и по ней можно проводить оценку качества прежде всего других видов арматуры: проволоки арматурной высокопрочной и канатов арматурных. Ее можно использовать для других видов металлургической и не только продукции.

Для практической реализации предлагаемого подхода разработан программный продукт.

Демонстрация предложенного подхода была проведена на примере обработки массива результатов испытаний арматурного проката А600, изготовленного в соответствии с ГОСТ 34028-2016 [14]. На первом этапе была проведена проверка по критерию Шарлье на наличие выбросов в данных выборках с уровнем значимости $\alpha = 0,05$. Все обнаруженные выбросы были исключены из дальнейшего анализа. В табл. 1 представлены исходные объемы массивов, а также количество найденных и исключенных из дальнейшей обработки выбросов.

Для определения центра распределения, разброса значений и смещения распределения была проведена статистическая обработка полученных выборок, результаты которой представлены в табл. 2.

Таблица 1
Table 1

Исходные объемы массивов и количество найденных и исключенных выбросов
The initial volumes of arrays and the number of detected and excluded outliers

Показатель качества	Объем исходной выборки	Количество исключенных значений
Предел текучести	93	0
Временное сопротивление	93	1
Отношение σ_b/σ_t	93	2
Относительное удлинение, δ_{max}	93	2
Относительное удлинение, δ_5	85	0

Таблица 2
Table 2

Результаты статистической обработки
Statistical processing results

	Предел текучести, σ_t , МПа	Временное сопротивление, σ_b , МПа	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, δ_{max}	Относительное удлинение, δ_5
Минимум	630	739	1,139	6,1	19,4
Максимум	680	780	1,178	12,2	27,9
Размах	50	41	0,039	6,1	8,5
Среднее значение	656,32	758,68	1,16	8,95	23,85
Дисперсия	123,03	115,08	0,0001	1,41	3,71
Стандартное отклонение	11,09	10,73	0,01	1,19	1,93
Коэффициент вариации	1,69 %	1,41 %	0,69 %	13,30 %	8,08 %
Коэффициент асимметрии	0,12	0,04	0,29	0,25	-0,15
Коэффициент эксцесса	-0,80	-1,06	0,08	-0,10	-0,63

Для большинства анализируемых распределений характерна положительная асимметрия, отрицательный эксцесс и высокая однородность, определяемая коэффициентом вариации.

Гистограммы частотных распределений и графики «квантиль – квантиль» для результатов испытаний представлены на рис. 1 и 2 соответственно. Для

определения количества интервалов группировки при построении гистограмм было использовано правило Стерджесса.

Результаты проверки гипотезы о нормальности распределения по критериям Шапиро – Уилка, Пирсона и Колмогорова – Смирнова представлены в табл. 3–5.

Таблица 3
Table 3

Результаты оценки нормальности распределения по критерию Шапиро – Уилка
The results of the assessment of the normality of the distribution according to the Shapiro–Wilk criterion

	Предел текучести	Временное сопротивление	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, δ_{max}	Относительное удлинение, δ_5
W	0,975	0,961	0,987	0,992	0,988
p-value	0,067	0,008	0,504	0,833	0,591
alpha	0,05				
Результат оценки	Соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному

Таблица 4
Table 4

Результаты оценки нормальности распределения по критерию Пирсона
The results of the evaluation of the normality of the distribution according to the Pearson criterion

	Предел текучести	Временное сопротивление	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, δ_{max}	Относительное удлинение, δ_5
χ^2	8,950	15,684	3,980	3,051	3,757
$\chi^2_{кр}$	9,488				
alpha	0,05				
Результат оценки	Соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному

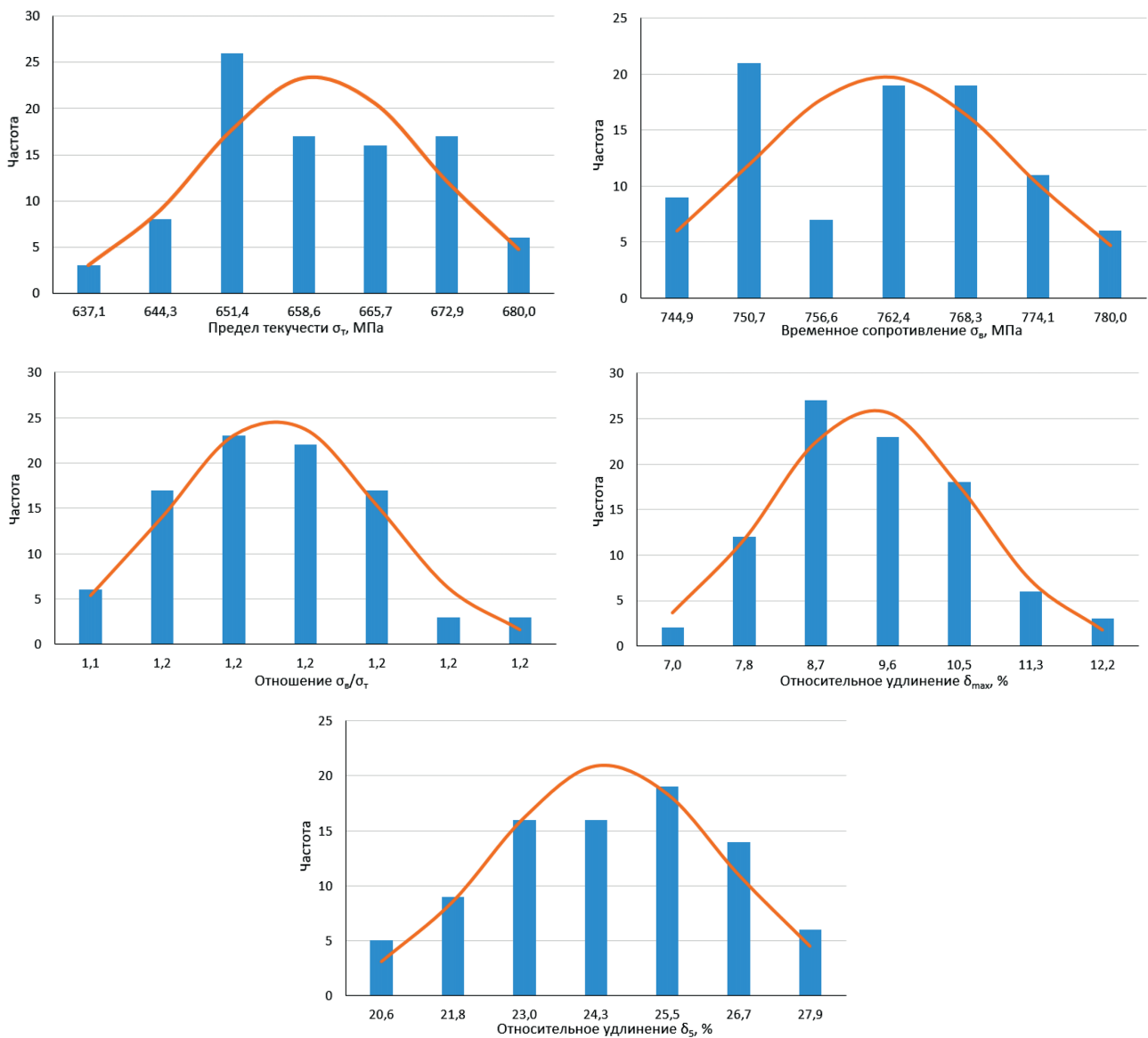


Рис. 1. Гистограммы частотных распределений результатов испытаний арматурного проката
 Fig. 1. Histograms of frequency distributions of test results for rolled rebar products

Таблица 5
 Table 5

Результаты оценки нормальности распределения по критерию Колмогорова – Смирнова
 The results of the evaluation of the normality of the distribution according to the Kolmogorov–Smirnov criterion

	Предел текучести	Временное сопротивление	Отношение σ_y/σ_t	Относительное удлинение, δ_{max}	Относительное удлинение, δ_s
λ	0,523	0,873	0,268	0,241	0,210
$\lambda_{кр}$	1,347				
alpha	0,05				
Результат оценки	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному

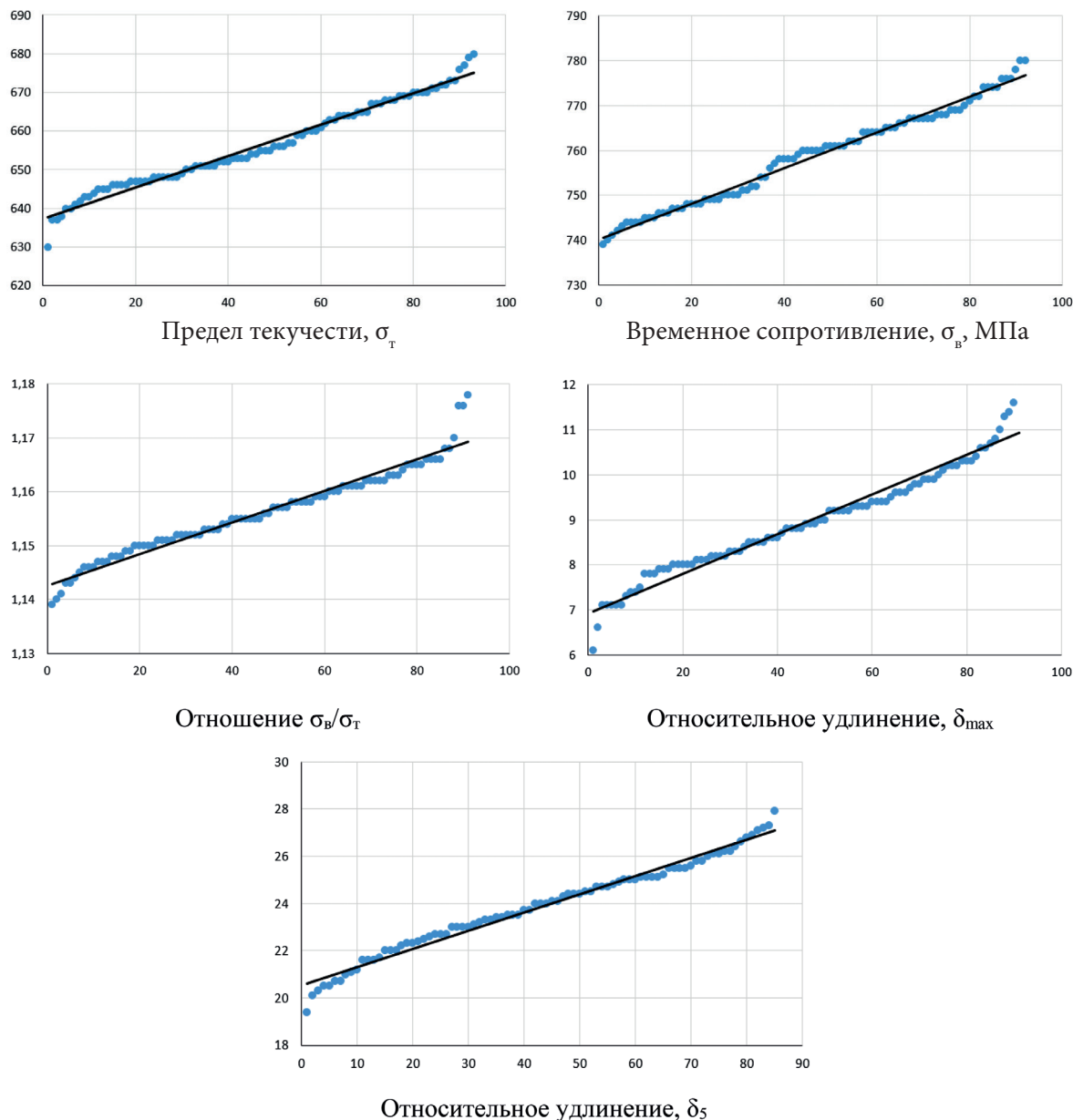


Рис. 2. Графики «квантиль – квантиль» для результатов испытаний арматурного проката
 Fig. 2. Quantile-quantile graphs for the test results of rolled rebar products

Гипотеза о нормальном характере распределения принималась в случае, если нулевая гипотеза

не отвергалась по результатам проверки хотя бы по двум критериям (табл. 6).

Таблица 6
 Table 6

Принимаемые гипотезы о характере распределения
Accepted hypotheses about the nature of the distribution

	Предел текучести	Временное сопротивление	Отношение σ_B/σ_T	Относительное удлинение, δ_{max}	Относительное удлинение, δ_5
Результат оценки по критерию Шапиро – Уилка	Соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному
Результат оценки по критерию Пирсона	Соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному

Продолжение таблицы 6

	Предел текучести	Временное сопротивление	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, δ_{max}	Относительное удлинение, δ_s
Результат оценки по критерию Колмогорова – Смирнова	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному
Принимаемая гипотеза о характере распределения	Соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному

Результаты оценки уровня качества арматурного проката при долговременном контроле представлены в табл. 7.

Для всех оцениваемых параметров $X_{cp} - ks$ больше, чем C_{min} , что соответствует требованиям ГОСТ 34028-2016 [14]. Поскольку результаты испытаний на временное сопротивление не подчиняются нормальному закону распределения, то результаты оценки уровня качества при долговременном контроле для этого показателя не могут считаться достоверными.

Для демонстрации воздействия выбросов на характер распределения и результаты проверки гипотезы о нормальности распределения была выполнена аналогичная оценка исходных данных без исключения выбросов. Этот анализ показал, как наличие выбросов может исказить результаты проверки нормальности и, соответственно, влиять на корректность оценки качества продукции.

Обработка проводилась только для параметров, для которых ранее в массивах были обнаружены выбросы: временное сопротивление, отношение временного сопротивления к пределу текучести и относительное удлинение δ_{max} . Результаты статистической обработки исходных выборок, включающих выбросы, представлены в табл. 8.

Таблица 7
Table 7

Результаты оценки уровня качества арматурного проката при долговременном контроле
The results of the assessment of the quality level of rolled rebar products under long-term control

	Предел текучести, σ_t , МПа	Временное сопротивление, σ_b , МПа	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, δ_{max}	Относительное удлинение, δ_s
$X_{cp} - ks$	640,02	738,28	1,14	7,20	21,02
C_{min}	600	700	1,05	5	14

Таблица 8
Table 8

Результаты статистической обработки
Statistical processing results

	Временное сопротивление, σ_b , МПа	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, δ_{max}
Минимум	739	1,12	6,1
Максимум	790	1,18	13,2
Размах	51	0,06	7,1
Среднее значение	759,02	1,16	9,03
Дисперсия	124,37	0,0001	1,70
Стандартное отклонение	11,15	0,01	1,31
Коэффициент вариации	1,47 %	0,79 %	14,46 %
Коэффициент асимметрии	0,18	-0,26	0,58
Коэффициент эксцесса	-0,68	2,15	0,62

Наличие выбросов в выборках привело к смещению средних оценок, росту значения коэффициента вариации и значительному изменению коэффициентов асимметрии и эксцесса.

Гистограммы частотных распределений и графики «квантиль – квантиль» для результатов ис-

пытаний представлены на рис. 3 и 4 соответственно.

Результаты проверки гипотезы о нормальности распределения по критериям Шапиро – Уилка, Пирсона и Колмогорова – Смирнова представлены в табл. 9–11.

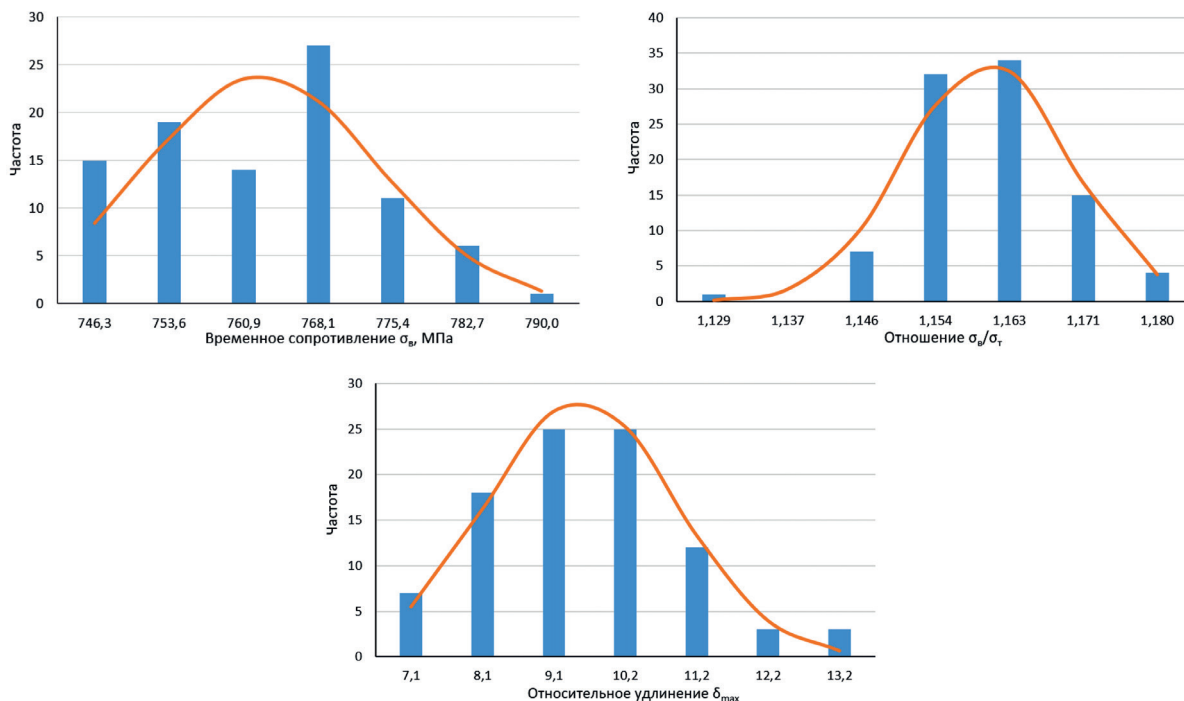


Рис. 3. Гистограммы частотных распределений результатов испытаний арматурного проката
Fig. 3. Histograms of frequency distributions of test results for rolled rebar products

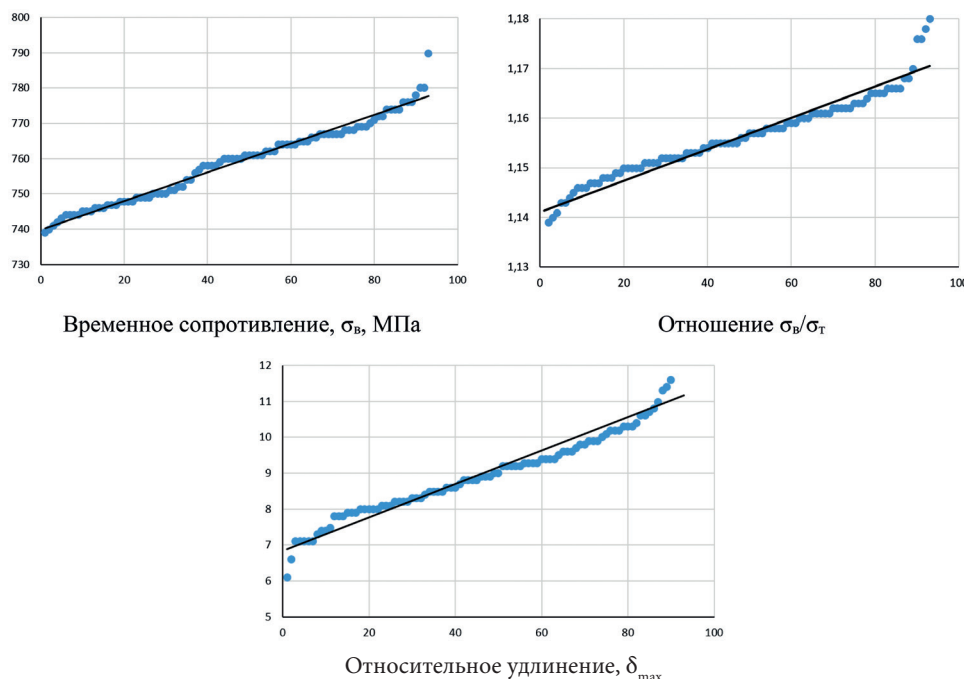


Рис. 4. Графики «квантиль – квантиль» для результатов испытаний арматурного проката
Fig. 4. Quantile-quantile graphs for the test results of rolled rebar products

Таблица 9
Table 9

Результаты оценки нормальности распределения по критерию Шапиро – Уилка
The results of the assessment of the normality of the distribution according to the Shapiro–Wilk criterion

	Временное сопротивление	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, δ_{max}
W	0,968	0,969	0,978
p-value	0,023	0,026	0,121
alpha	0,05		
Результат оценки	Не соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному

Таблица 10
Table 10

Результаты оценки нормальности распределения по критерию Пирсона
The results of the evaluation of the normality of the distribution according to the Pearson criterion

	Временное сопротивление	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, δ_{max}
χ^2	11,263	10,257	9,460
$\chi^2_{кр}$	9,488		
alpha	0,05		
Результат оценки	Не соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному

Таблица 11
Table 11

Результаты оценки нормальности распределения по критерию Колмогорова – Смирнова
The results of the evaluation of the normality of the distribution according to the Kolmogorov–Smirnov criterion

	Временное сопротивление	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, δ_{max}
λ	0,603	0,303	0,244
$\lambda_{кр}$	1,347		
alpha	0,05		
Результат оценки	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному

Как и в предыдущем примере, гипотеза о нормальном характере распределения принималась в случае, если нулевая гипотеза не отвергалась по результатам проверки хотя бы по двум критериям (табл. 12).

Результаты оценки уровня качества арматурного проката при долговременном контроле представлены в табл. 13.

Проведенный анализ показал, что по сравнению с массивами данных без выбросов в анализируемых массивах изменился характер частотного распределения (рис. 3) и распределения эмпирических значений на графике «квантиль – квантиль» (рис. 4).

Наличие неисключенных выбросов в выборке привело к тому, что характер распределения показателя отношения временного сопротивления к пределу текучести невозможно признать нормальным, как следствие, невозможно признать корректными результаты оценки уровня качества арматурного проката при долговременном контроле для данного показателя. Однако для показателя относительного удлинения δ_{max} наличие выбросов привело к незначительным изменениям, а характер распределения для данного показателя можно признать нормальным. Для высокой надежности результатов рекомен-

Таблица 12
Table 12

**Принимаемые гипотезы о характере распределения
Accepted hypotheses about the nature of the distribution**

	Временное сопротивление	Отношение σ_b/σ_T	Относительное удлинение, δ_{max}
Результат оценки по критерию Шапиро – Уилка	Не соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному
Результат оценки по критерию Пирсона	Не соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному
Результат оценки по критерию Колмогорова – Смирнова	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному
Принимаемая гипотеза о характере распределения	Не соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному

Таблица 13
Table 13

**Результаты оценки уровня качества арматурного проката при долговременном контроле
The results of the assessment of the quality level of rebar products under long-term control**

	Временное сопротивление, σ_b, МПа	Отношение σ_b/σ_T	Относительное удлинение, δ_{max}
$X_{cp} - ks$	742,63	1,14	7,11
C_{min}	700	1,05	5

дуются проводить выборочный контроль качества постоянно. Использование специализированных программных комплексов позволяет значительно упростить и автоматизировать предложенную методику выборочного контроля.

Выводы

1. Наличие выбросов в выборке меняет характер частотного распределения и распределение эмпирических значений.
2. Для показателя отношения временного сопротивления к пределу текучести выбросы привели к тому, что распределение нельзя признать нормальным, что делает результаты оценки уровня качества арматурного проката при долговременном контроле недостоверными.
3. Для показателя относительного удлинения δ_{max} влияние выбросов в рассмотренных примерах оказалось незначительным, характер распределения для этого показателя можно признать нормальным.
4. Для повышения надежности результатов рекомендуется проводить выборочный контроль качества на постоянной основе.
5. Применение специализированных программных комплексов позволяет упростить и автоматизировать процесс выборочного контроля, что повышает его эффективность и точность.

Список литературы

1. Мадатян С.А. Арматура железобетонных конструкций. Москва: Воентехлит, 2000. 256 с.
2. Полякова М.А., Харитонов В.А., Снимщиков С.В., Петров И.М., Харитонов В.А. Прокат арматурный: сортамент, стандартизация, технология. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2022. 288 с.
3. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Москва: Стандартинформ, 2019.
4. СП 430.1325800.2018. Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ, 2019.
5. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП 11-7-81*. Москва: Стандартинформ, 2018.
6. Дорохин П.С., Харитонов В.А. Прогресс в структуре потребления арматурного проката диаметром до 18 мм неизбежен // *Стройметалл*. 2012. № 3. С. 14–23.
7. Снимщиков С.В., Харитонов В.А., Суриков И.Н., Аникеев В.В. Взгляд в будущее // *Стройметалл*. 2013. № 5. С. 7–13.
8. Харитонов В.А., Петров И.М. Оценка и направления повышения конкурентоспособности бунтовой арматурной стали // *Вестник Магнитогорско-*

- го государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 4. С. 65–69.
9. Коршунов Д.А. Аспекты надежности армирования // *Бетон и железобетон*. 2004. № 1. С. 27–31.
 10. Беленький Д.М., Вернези Н.Л., Косенко Е.Е. О прочностных возможностях арматурной стали // *Бетон и железобетон*. 2004. № 3. С. 17–21.
 11. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings.
 12. Харитонов В.А. Анализ уровня качества арматурного проката класса В500С на основе методов математической статистики // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2013. № 8. С. 48–59.
 13. Михеева Е.Н., Сероштан М.В. Управление качеством. Москва: Дашков и К, 2012. 532 с.
 14. ГОСТ 34028-2016. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019.
 15. ГОСТ Р 52544-2006. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2006.
 16. ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2006.
 17. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Москва: Высшая школа, 2003. 479 с.
 18. Румянцев М.И., Левандовский С.А., Ручинская Н.А., Черкисов К.Е., Логинов А.В. Статистические методы обработки и анализа числовой информации, контроля и управления качеством проката. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2015. 259 с.
 19. Лемешко Б.Ю., Лемешко С.Б. Сравнительный анализ критериев проверки отклонения распределения от нормального закона // *Метрология*. 2005. № 2. С. 2–23.
 20. Лемешко Б.Ю., Рогожников А.П. О нормальности погрешностей измерений в классических экспериментах и мощности критериев, применяемых для проверки отклонения от нормального закона // *Метрология*. 2012. № 5. С. 3–26.
 21. ГОСТ Р ИСО 5479-2002. Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2002.
 22. ISO 5479:1997. Statistical interpretation of data – Tests for departure from the normal distribution.
 23. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Москва: Физматлит, 2006. 816 с.
 24. Р 50.1.033-2001. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть 1. Критерии типа хи-квадрат. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2002.
 25. Р 50.1.037-2002. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть II. Непараметрические критерии. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2002.

References

1. Madatyan S.A. Reinforcement of reinforced concrete structures. Moscow: Publishing house of military-technical literature, 2000, 256 p. (In Russian).
2. Polyakova M.A., Kharitonov V.A., Snimshchikov S.V., Petrov I.M., Kharitonov V.A. Rolled rebar products: assortment, standardization, technology. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University Publ., 2022, 288 p. (In Russian).
3. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
4. SP 430.1325800.2018. Monolithic structural systems. Design rules. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
5. SP 14.13330.2018. Seismic building design code. Updated version of SNiP 11-7-81*. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
6. Dorokhin P.S., Kharitonov V.A. Progress in the consumption structure of rolled rebar products with a diameter of up to 18 mm is inevitable. *Stroy metal*. 2012, no. 3, pp. 14–23. (In Russian).
7. Snimshchikov S.V., Kharitonov V.A., Surikov I.N., Anikeev V.V. A look into the future. *Stroy metal*. 2013, no. 5, pp. 7–13. (In Russian).
8. Kharitonov V.A., Petrov I.M. Assessment and ways for competitiveness increasing of coil reinforcing steel. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2013, no. 4, pp. 65–69. (In Russian).
9. Korshunov D.A. Aspects of reinforcement reliability. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete*. 2004, no. 1, pp. 27–31. (In Russian).
10. Belenky D.M., Vernesi N.L., Kosenko E.E. On the strength capabilities of reinforcing steel. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete*. 2004, no. 3, pp. 17–21. (In Russian).
11. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings.
12. Kharitonov V.A. Analysis of the quality level of rolled rebar products of class В500С based on mathematical statistics methods. *Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*. 2013, no. 8, pp. 48–59. (In Russian).
13. Mikheeva E.N., Seroshtan M.V. Quality management. Moscow: Dashkov and Co., 2012, 532 p. (In Russian).
14. State Standard 34028-2016. Reinforcing rolled products for reinforced concrete constructions. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
15. State Standard R 52544-2006. Weldable deformed reinforcing rolled products of А500С and В500С

- classes for reinforcement of concrete constructions. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2006. (In Russian).
16. State Standard 5781-82. Hot-rolled steel for reinforcement of ferroconcrete structures. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2006. (In Russian).
 17. Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics. Moscow: Higher school, 2003, 479 p. (In Russian).
 18. Rumyantsev M.I., Levandovsky S.A., Ruchinskaya N.A., Cherkasov K.E., Loginov A.V. Statistical methods of processing and analyzing of the numerical information, quality control and management of rolled products. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University Publ., 2015, 259 p. (In Russian).
 19. Lemeshko B.Yu., Lemeshko S.B. Comparative analysis of the criteria for checking the deviation of the distribution from the normal law. *Metrologiya*. 2005, no. 2, pp. 2–23. (In Russian).
 20. Lemeshko B.Yu., Rogozhnikov A.P. On normality of errors in measurements in classical experiments and power of tests for deviation from the normal law. *Metrologiya*. 2012, no. 5, pp. 3–26. (In Russian).
 21. State Standard R ISO 5479-2002. Statistical methods. Tests for departure of the probability distribution from the normal distribution. Moscow: Publishing house of standards, 2002. (In Russian).
 22. ISO 5479:1997. Statistical interpretation of data – Tests for departure from the normal distribution.
 23. Kobzar A.I. Applied mathematical statistics. Moscow: Physical and mathematical literature publishing house, 2006, 816 p. (In Russian).
 24. R 50.1.033-2001. Applied statistics. Rules of check of experimental and theoretical distribution of the consent. Part I. Goodness-of-fit tests of a type chi-square. Moscow: Publishing house of standards, 2002. (In Russian).
 25. R 50.1.037-2002. Applied statistics. Rules of check of experimental and theoretical distribution of the consent. Part II. Nonparametric goodness-of-fit test. Moscow: Publishing house of standards, 2002. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Вениамин Александрович Харитонов, канд. техн. наук, профессор кафедры технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск
e-mail: hva-46@yandex.ru
тел.: +7 (351) 929-84-81

Veniamin A. Kharitonov, Cand. Sci. (Engineering), Professor of the Department of Materials Processing Technologies, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk
e-mail: hva-46@yandex.ru
tel.: +7 (351) 929-84-81

Игорь Михайлович Петров, канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии и стандартизации, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, филиал в г. Белорецке
e-mail: atrox.88@mail.ru
тел.: +7 (349) 724-00-59

Igor M. Petrov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Metallurgy and Standardization, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, branch in Beloretsk
e-mail: atrox.88@mail.ru
tel.: +7 (349) 724-00-59

Сергей Валентинович Снимщиков, канд. техн. наук, проректор по Э и ДПО, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва
e-mail: s.snimshikov@mstuca.ru
тел.: +7 (499) 459-04-90

Sergey V. Snimshchikov, Cand. Sci. (Engineering), Vice-rector for E and APE, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow
e-mail: s.snimshikov@mstuca.ru
tel.: +7 (499) 459-04-90

Михаил Юрьевич Усанов, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой металлургии и стандартизации, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, филиал в г. Белорецке
e-mail: barracuda_m@mail.ru
тел.: +7 (349) 724-00-59

Mikhail Yu. Usanov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Metallurgy and Standardization, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, branch in Beloretsk
e-mail: barracuda_m@mail.ru
tel.: +7 (349) 724-00-59

Иван Петрович Саврасов✉, канд. техн. наук, помощник проректора, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва
e-mail: i.savrasov@mstuca.ru
тел.: +7 (499) 452-47-60

Ivan P. Savrasov✉, Cand. Sci. (Engineering), Assistant to the Vice-rector, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow
e-mail: i.savrasov@mstuca.ru
tel.: +7 (499) 452-47-60

Дмитрий Олегович Демин, преподаватель, Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова НИУ ВШЭ, Москва
e-mail: ddemin@hse.ru

Dmitry O. Demin, Lecturer, Tikhonov Moscow Institute of Electronics and Mathematics, National Research University "Higher School of Economics", Moscow
e-mail: ddemin@hse.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

В.Л. ХЛОПУКАО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1,
г. Москва, 109428, Российская Федерация

ИСТИРАЕМОСТЬ БЕТОНА ИЗ СУХОЙ САМОУПЛОТНЯЮЩЕЙСЯ НАПРЯГАЮЩЕЙ БЕТОННОЙ СМЕСИ

Аннотация

Введение. В мировой практике все чаще применяется самоуплотняющийся бетон, имеющий высокую удобоукладываемость без дополнительных (вибрационных) усилий. Также известен напрягающий бетон, способный увеличиваться в объеме при твердении, а в условиях ограничения деформаций расширения – самонапрягаться, создавая собственное внутреннее напряженное состояние, которое нейтрализует проявление усадки.

Цель. Определение истираемости бетона, изготовленного из сухой самоуплотняющейся напрягающей бетонной смеси.

Материалы и методы. Использовались сухие самоуплотняющиеся напрягающие бетонные смеси. Определение истираемости проводилось по ГОСТ 13087-81 с использованием круга истирания.

Результаты. Полученные результаты показали, что марка по истираемости G1 (низкая) соответствует большинству образцов, что указывает на высокую твердость материала.

Выводы. Высокая твердость материала приводит к низкой истираемости, что делает его пригодным для использования в конструкциях с высокой нагруз-

кой. Необходимо дальнейшее исследование влияния различных добавок на свойства самоуплотняющихся бетонов.

Ключевые слова: сухая самоуплотняющаяся напрягающая бетонная смесь, самоуплотняющийся бетон, СУБ, напрягающий бетон, расширяющая добавка, сухая бетонная смесь, истираемость

Для цитирования: Хлопук В.Л. Истираемость бетона из сухой самоуплотняющейся напрягающей бетонной смеси // *Бетон и железобетон*. 2025. № 1 (626). С. 66–71. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1\(626\)-66-71](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1(626)-66-71). EDN: JOPAGY

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 20.01.2025

Поступила после рецензирования 13.02.2025

Принята к публикации 20.02.2025

V.L. KHLOPUK

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

ABRADABILITY OF CONCRETE FROM DRY SELF-COMPACTING SELF- STRESSING CONCRETE MIX

Abstract

Introduction. In world practice, self-compacting concrete is increasingly used, which has high workability without additional (vibration) efforts. Straining concrete is also known, which is capable of increasing in volume during hardening, and under conditions of limited expansion deformations, it can self-strain, creating its own internal stress state, which neutralizes the manifestation of shrinkage.

Aim. Determination of the abrasability of concrete made from a dry, self-sealing, straining concrete mixture.

Materials and methods. Dry self-sealing straining concrete mixes were used. The determination of abrasability was carried out according to State Standard 13087-81 using an abrasion circle.

Results. The results showed that the abrasion grade G1 (low) corresponds to the majority of samples, which indicates the high hardness of the material.

Conclusions. The high hardness of the material leads to low abrasability, which makes it suitable for use in high-load structures. Further investigation of the effect of var-

ious additives on the properties of self-sealing concretes is necessary.

Keywords: dry self-compacting self-stressing concrete mix, self-compacting concrete, self-stressing concrete, expansion agent, dry concrete mix, abrasability

For citation: Khlopuk V.L. Abradability of concrete from dry self-compacting self-stressing concrete mix. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 1 (626), pp. 66–71. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1\(626\)-66-71](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1(626)-66-71). EDN: JOPAGY

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 20.01.2025

Revised 13.02.2025

Accepted 20.02.2025

Введение

Наличие малонаселенных, труднодоступных мест и мест, пострадавших от стихий и бедствий, требующих устройства и воссоздания конструкций и инфраструктуры с минимальными затратами труда и капитальных вложений, побудило к разработке универсального материала, т. е. сухой самоуплотняющейся напрягающей бетонной смеси, основанной на свойствах самоуплотняющихся и напрягающих бетонных смесей и бетонов.

В соответствии с ГОСТ 25192-2012 [1] самоуплотняющийся бетон – это бетон, изготовленный из бетонной смеси, способной уплотняться под действием собственного веса. Иными словами, это бетонная смесь, которая без воздействия внешних сил уплотнения (вибрирования) и самостоятельно под воздействием собственного веса течет, освобождается от воздуха и заполняет пространство между опалубкой сооружения и арматурными стержнями. Самоуплотняющаяся бетонная смесь имеет улучшенную текучесть, высокую плотность при низком содержании воды.

Эффективное применение самоуплотняющихся или бетонов гравитационного уплотнения позволяет: бетонировать густоармированные конструкции сложной формы, для которых затруднено использование вибраторов; снизить шум и вибрацию; сократить сроки строительства; обеспечить однородную бездефектную структуру бетона за счет исключения человеческого фактора при укладке и уплотнении бетонной смеси.

Среди большой гаммы бетонов особое место занимают напрягающий бетон и бетон с компенсированной усадкой – материалы с уникальными свойствами, конкурирующими по ряду показателей с керамикой и полимерами. Согласно ГОСТ 32803-2023 [2] напрягающий бетон – это бетон, содержащий в качестве вяжущего напрягающий цемент или портландцемент с расширяющей добавкой, обеспечивающие расширение бетона в процессе его твердения.

Применение таких бетонов позволяет за счет регулируемого расширения в процессе твердения нейтрализовать проявление усадки и создать в железобетонной конструкции предварительное напряжение всей находящейся в ней и растягиваемой при этом арматуры за счет сцепления с бетоном.

Применение напрягающего бетона может решить следующие задачи: отказаться от гидроизоляции; повысить трещиностойкость; обеспечить водонепроницаемость; обеспечить стойкость к агрессивным щелочам и кислотам; сократить количество арматуры и обеспечить предварительное напряжение химическим способом; обеспечить надежность и долговечность конструкций; сократить сроки строительства, а при эксплуатации – сроки межремонтных работ.

Объединение свойств вышеуказанных бетонов позволило создать и испытать свойства бетонной смеси

и бетона, изготовленного из сухой самоуплотняющейся напрягающей бетонной смеси.

Определение истираемости, т. е. способности материала изменяться в объеме и массе под действием истирающих усилий, является одним из показателей долговечности бетона и служит логическим продолжением испытаний свойств бетона, изготовленного из сухой самоуплотняющейся напрягающей бетонной смеси.

Цель

Показатель истираемости важен для определения срока службы бетонных конструкций, особенно подвергающихся интенсивным нагрузкам, таких как дорожные покрытия, тротуары, промышленные полы, лестницы, переходы и перекрытия. Чем выше устойчивость бетона к истиранию, тем дольше он сохраняет свои первоначальные характеристики и обеспечивает безопасность эксплуатации.

Целями определения истираемости бетона являются: оценка качества бетона и его устойчивость к нагрузкам во время транспортировки, хранения и эксплуатации; прогнозирование долговечности конструкций; определение наиболее подходящей области применения.

Материалы и методы

Для приготовления сухой самоуплотняющейся напрягающей бетонной смеси были применены следующие материалы: портландцемент 500-Д0-Н по ГОСТ 10178-85 [3], производства ООО «ХайдельбергЦемент Рус» (Тульская обл.); комплексная расширяющая добавка для самоуплотняющейся бетонной смеси, изготовленная автором в соответствии с патентом RU 2 724 083 C1 [4]; песок кварцевый фракционированный (фр. 0,4–0,8 и 0,8–1,6) по ТУ 5717-001-92392203-2016, производства ООО «Кварцевые пески» (Нижегородская обл.); песок из отсевов дробления базальта (фр. 0–5) по ГОСТ 31424-2010 [5], производства ООО «Булатовский базальт» (Архангельская обл.); щебень гранитный (фр. 5–10) по ГОСТ 8267-93 [6], производства ООО «Карьероуправление «Мосавтодор» (Республика Карелия).

Из полученной сухой самоуплотняющейся напрягающей бетонной смеси были изготовлены образцы бетона. Из них 4 образца (рис. 1) плотностью 2413 г/см^3 , возрастом 56 суток, размерами около $70 \times 70 \text{ мм}$ и средней высотой 25,6 мм были подготовлены для определения истираемости.

Испытания бетонных образцов по показателю «истираемость» выполнялись в соответствии с ГОСТ 13087-2018 [7] на истирательном круге ЛКИ-3 (рис. 2) с использованием шлифзерна № 16 по ГОСТ 3647-80 [8] с насыпной плотностью $(1,72 \pm 0,05) \text{ г/см}^3$.

Полный период испытаний длился четыре цикла. Каждый цикл составлял 150 м пути. После каждых 30 м или 28 кругов для истирательного круга

ЛКИ-3 образцы снимали с установки и меняли абразивный порошок. Истиранию подвергали нижнюю (при бетонировании) грань образца. Перед испыта-

нием образцы взвешивали и измеряли площадь истираемой грани. Также взвешивали образцы после четырех циклов испытаний.



Рис. 1. Бетонные образцы до испытаний на истираемость
Fig. 1. Concrete samples before abrasability tests



Рис. 2. Испытательный круг ЛКИ-3, процесс испытания образцов на истираемость
Fig. 2. LKI-3 test circle, the process of testing of the samples for abrasability



Рис. 3. Образцы бетона после испытаний на истираемость (слева направо: общий вид испытанных образцов, вид с торца, укрупненный вид со следами шлифовк)
Fig. 3. Concrete samples after abrasability tests (from left to right: general view of the tested samples, end face view, enlarged view with traces of grinding)

Марку по истираемости бетона на круге истирания G в $г/см^2$, характеризующую потерей массы образца, определяют с погрешностью до $0,1 г/см^2$ для отдельного образца по формуле:

$$G_1 = \frac{m_1 - m_2}{F},$$

где m_1 – масса образца до испытания, г;
 m_2 – масса образца после 4 циклов испытания, г;
 F – площадь истираемой грани образца, $см^2$.

Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Марка по истираемости обычных товарных бетонов, в том числе изготовленных из сухих смесей,

соответствует $G3 (0,9 г/см^2)$, при средних значениях – $0,87 г/см^2$. Напрягающие бетоны, за счет их плотной структуры, имеют марку $G1 (0,7 г/см^2)$, при средних значениях – $0,57 г/см^2$.

Испытанные образцы самоуплотняющегося напрягающего бетона имеют средний показатель истираемости $0,415 г/см^2$, что почти вдвое ниже значения для марки по истираемости $G1 (0,7 г/см^2)$ и немного лучше средних значений напрягающих бетонов. В соответствии с ГОСТ 13015-2012 [9, п. 5.6.11] данный бетон может применяться в конструкциях, работающих в условиях повышенной интенсивности движения: аэродромные и дорожные плиты; мосты и путепроводы; фундаментные плиты и плоскостные конструкции;

Таблица 1
Table 1

**Истираемость бетона
Abradability of concrete**

Вид образцов	Номер образца	Масса образцов до испытаний, m_1 , г	Масса образцов после испытаний, m_2 , г	Разница по массе, $m_1 - m_2$, г	Площадь истираемой поверхности, F , см ²	Истираемость образца, G , г/см ²	Средняя истираемость образцов, G , г/см ²
Бетон на 56 сутки	1	283,5	263,1	20,4	48,58	0,42	0,415
	2	327,3	306,8	20,5	50,12	0,41	
	3	282,5	262,8	19,7	48,09	0,41	
	4	317,6	296,4	21,2	49,14	0,43	

полы общественных, промышленных и животноводческих предприятий и т. д.

Выводы

Проведенные испытания на истираемость бетонных образцов, изготовленных из сухой самоуплотняющейся напрягающей бетонной смеси, показали, что помимо удобоукладываемости, самоуплотнения, прочностных характеристик и водонепроницаемости данные образцы обладают высокими эксплуатационными характеристиками и долговечностью.

Сухие самоуплотняющиеся напрягающие бетонные смеси и изготовленные на их основе бетоны могут, без дополнительных мероприятий по пропитке бетона или топинга, применяться для ремонтно-восстановительных работ в жилых, общественных, промышленных зданиях и сооружениях, в малонаселенных, труднодоступных местах и местах, пострадавших от стихий и бедствий при устройстве плоскостных конструкций, в том числе полов, отмосток и рамп и т. п.

Список литературы

- ГОСТ 25192-2012. Бетоны. Классификация и общие технические требования. Москва: Стандартинформ, 2013.
- ГОСТ 32803-2023. Бетоны напрягающие. Технические условия. Москва: Российский институт стандартизации, 2024.
- ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
- Титов М.Ю., Титова Л.А., Бейлина М.И., Хлопук В.Л. Комплексная расширяющая добавка для самоуплотняющейся бетонной смеси. Патент RU 2 724 083 C1. Оpubл. 19.06.2020.
- ГОСТ 31424-2010. Материалы строительные нерудные из отсевов дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия.
- ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.

- ГОСТ 13087-2018. Бетоны. Методы определения истираемости. Москва: Стандартинформ, 2019.
- ГОСТ 3647-80. Материалы шлифовальные. Классификация. Зернистость и зерновой состав. Методы контроля. Москва: ИПК Издательство стандартов, 1997.
- ГОСТ 13015-2012. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. Москва: Стандартинформ, 2014.
- Хлопук В.Л., Бейлина М.И., Титов М.Ю. Самоуплотняющийся напрягающий бетон // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2018. № 11 (1011). С. 16–19.
- Хлопук В.Л., Бейлина М.И., Титов М.Ю. Определение реологических характеристик самоуплотняющихся бетонов в российских и зарубежных нормативных документах // *Промышленное и гражданское строительство*. 2019. № 2. С. 39–45. DOI: <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2019.02.39-45>
- Титова Л.А., Бейлина М.И., Хлопук В.Л., Шабалин В.А. Разработка национального стандарта на методы испытания самоуплотняющейся бетонной смеси // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2021. № 3 (30). С. 108–116. DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3\(30\)-108-116](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3(30)-108-116)
- Испытания бетона на истираемость. burosi.ru. URL: <https://burosi.ru/ispytaniya-betona-na-istiraemost>
- Испытания на истираемость бетонов. trts24.ru. URL: <https://trts24.ru/article/ispytaniya-na-istiraemost-betonov>

References

- State Standard 25192-2012. Concretes. Classification and general technical requirements. Moscow: Standartinform Publ., 2013. (In Russian).
- State Standard 32803-2023. Self-stressing concrete. Specifications. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2024. (In Russian).

3. State Standard 10178-85. Portland cement and portland blastfurnace slag cement. Specifications. (In Russian).
4. Titov M.Yu., Titova L.A., Bejlina M.I., Khlopuk V.L. Complex expanding additive for self-compacting concrete mixture. Patent RU 2 724 083 C1. Publ. date 19.06.2020. (In Russian).
5. State Standard 31424-2010. Non-metallic construction materials from sifting of crushing solid stone in aggregate manufacturing. Specifications. (In Russian).
6. State Standard 8267-93. Crushed stone and gravel of solid rocks for construction works. Specifications. (In Russian).
7. State Standard 13087-2018. Concretes. Methods of abrasion test. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
8. State Standard 3647-80. Abrasives. Grain sizing. Graininess and fractions. Test methods. Moscow: Publishing house of standards, 1997. (In Russian).
9. State Standard 13015-2012. Concrete and reinforced concrete products for construction. General technical requirements. Rules for acceptance, marking, transportation and storage. Moscow: Standartinform Publ., 2014. (In Russian).
10. Khlopuk V.L., Beilina M.I., Titov M.Yu. Selfcompacting and selfstressing concrete. *BST: Byulleten' Stroitel'noj Tehniki*. 2018, no. 11 (1011), pp. 16–19. (In Russian).
11. Khlopuk V.L., Beylina M.I., Titov M.Y. Definition of rheological characteristics of self-compacting concretes in Russian and foreign regulatory documents. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering*. 2019, no. 2, pp. 39–45. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2019.02.39-45>
12. Titova L., Beylina M., Khlopuk V., Shabalin V. Development of a national standard for testing methods for self-compacting concrete mixture. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2021, no. 3 (30), pp. 108–116. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3\(30\)-108-116](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3(30)-108-116)
13. Concrete abrasability tests. burosi.ru. URL: <https://burosi.ru/ispytaniya-betona-na-istiraemost> (In Russian).
14. Concrete abrasability tests. trts24.ru. URL: <https://trts24.ru/article/ispytaniya-na-istiraemost-betonov> (In Russian).

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

Владимир Леонидович Хлопук, индивидуальный предприниматель, аспирант, АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: vl.khlopuk@mail.ru

Vladimir L. Khlopuk, Individual Entrepreneur, Graduate Student, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: vl.khlopuk@mail.ru

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

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

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

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

«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

Подписной индекс ООО «Урал Пресс», ООО «АРЗИ» – 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



3rd International Workshop on “Durability and Sustainability of Concrete Structures” (DSCS 2025) Naples (Italy), September 16th-18th, 2025

Circular 3 Call for Abstracts

Venue: University of Naples Federico II, Conference Centre in Via Partenope

Organized by: American Concrete Institute Italy Chapter (ACI IC) and University of Naples Federico II (UniNa)

ACI Sponsoring Committees: ACI 130 - Sustainability of Concrete, ACI 201 – Durability of Concrete, ACI 243- Seawater Concrete

Organizing Committee:

Luigi Coppola (ACI IC President, University of Bergamo)
Marta Del Zoppo (University of Naples Federico II)
Liberato Ferrara (ACI IC Vice President, Politecnico di Milano)
Antonio Nanni (ACI Past President, University of Miami)
Andrea Prota (University of Naples Federico II)
Roberto Realfonzo (University of Salerno)

Honor Committee:

Mario Collepardi (Italy)
Edoardo Cosenza (Italy)
Mario Alberto Chiorino (Italy)
Gaetano Manfredi (Italy)

Tentative International Scientific Committee:

Maria Antonietta Aiello (Italy)	Nele de Belie (Netherlands)	Lidia La Mendola (Italy)	Marisa Pecce (Italy)
Carmen Andrade Perdriz (Spain)	Frank Dehn (Germany)	Pietro Lura (Switzerland)	Giovanni Plizzari (Italy)
Nemkumar Banthia (Canada)	Marco di Prisco (Italy)	Giuseppe Mancini (Italy)	Paolo Riva (Italy)
Hans Beushausen (South Africa)	Guillermo J. Etse (Argentina)	Enzo Martinelli (Italy)	Luc Taerwe (Belgium)
Antonio Caggiano (Italy)	Vyacheslav Falikman (Russia)	Claudio Mazzotti (Italy)	Romildo D. Toledo Filho (Brazil)
Jan Cervenka (Czech Republic)	David Fernández-Ordóñez (Switzerland)	Viktor Mechtcherine (Germany)	Roberto Torrent (Argentina)
Chun-Tao Chen (Taiwan)	Paula Folino (Argentina)	Ole Mejlhede Jensen (Denmark)	Tamon Ueda (Japan)
Denny Coffetti (Italy)	Stephen Foster (Australia)	Harald S. Müller (Germany)	
Laura De Lorenzis (Switzerland)	Pietro Gambarova (Italy)	Annalisa Napoli (Italy)	
Antonello De Luca (Italy)	Ravindra Gettu (India)	Emidio Nigro (Italy)	

Objectives and Themes: This is the third edition of International Workshop on “Durability and Sustainability of Concrete Structures”, after the successful past editions of Moscow 2018 and Bologna 2015. The purpose of this international workshop is to present and discuss the most innovative developments and research on durability and sustainability of concrete construction. Among the topics to be addressed are: reduction in CO₂ emissions; use of binders alter-

native to Portland cement, superplasticizers for low-content clinker cements, recycled materials and innovative products; design of durable structures, maintenance, repair and refurbishment of concrete structures. The topics will be tackled from all perspectives, from material science to testing, from environmental impact evaluation to design under severe conditions and will include maintenance, monitoring, repair and reuse of concrete structures.

Important dates:

- Call for abstracts: **January 31, 2025**
- Acceptance of abstracts: **February 15, 2025**
- Submission of full papers: **April 6, 2025**
- Notification of acceptance: **May 31, 2025**
- Submission of final papers: **June 30, 2025**

Abstracts submission: The 300-words abstracts can be submitted within January 31, 2025 at the following email address: submissionDSCS25@aciitaly.com

Website: <https://www.aciitaly.com/events/dscs-2025/>

Conference Secretary: organizingDSCS25@aciitaly.com, Dr. Marta Del Zoppo

ACI IC Secretary (registration queries only): aciitalychapter@gmail.com, Eng. Valentina Trinchese



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

Мы – команда единомышленников, способных реализовать сложнейшие инженерные проекты.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ

ИЗЫСКАНИЯ

СТРОИТЕЛЬСТВО

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

УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР

АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



ниц строительство
научно-исследовательский центр



ЦНИИСК
ИМ. В.А. КУЧЕРЕНКО



НИИЖБ
ИМ. А.А. ГЕОЛДЫБЕВА



НИИОСП
ИМ. НИИ ПЕРСВАНОВА



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



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



www.cstroy.ru



motorina@cstroy.ru | smirnova@cstroy.ru



повысить квалификацию специалистов и экспертов



пройти обучение в аспирантуре



подготовить диссертацию в докторантуре



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

**Учебный центр
АО «НИЦ «Строительство»
приглашает вас:**





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

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



Преподавательский состав
Учебного центра

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



Набор в аспирантуру и докторантуру АО «НИЦ «Строительство» проводится по направлению 08 .06 .01 «Техника и технология строительства» по направлениям:

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

ФОРМЫ ПОДГОТОВКИ ДИССЕРТАЦИИ В АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



Обучение в аспирантуре,
докторантуре

Прикрепление для
подготовки диссертации без
освоения образовательных
программ



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

Защита диссертаций проводится по следующим научным специальностям:

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



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр



ЦНИИСК
ИМ. В.А. КУЧЕРЕНКО



НИИЖБ
ИМ. А.А. ГВОЗДЕВА



НИИОСП
ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

ЦОК

**центр
оценки
квалификации**

**НЕЗАВИСИМАЯ
ОЦЕНКА КВАЛИФИКАЦИИ**

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



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

Научно-технический журнал
Бетон и железобетон
Вып. 1 (626) 2025

Редактор выпуска Починина Н.Е.
Компьютерная верстка Игнатьева Е.Н.
Дата выхода в свет 28.02.2025 Формат 60x88 1/8
Бумага мелованная. Офсетная печать. Тираж 300 экз. Заказ № 0351
Подписной индекс в каталоге ОАО «АРЗИ» 85502

Отпечатано в типографии «ВАШ ФОРМАТ»
г. Москва, ул. Донская, 32.
+7 (495) 749-45-84
www.kniga-premium.ru

