

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

6
625
2024

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.

6 (625)

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

А.А. БУБИС, И.Р. ГИЗЯТУЛЛИН, А.А. ДАВИДЕНКО,
И.А. ПЕТРОСЯН, Т.В. НАЗМЕЕВА, А.И. ДАВИДЕНКО, Н.И. ПУШКО

**Особенности применения комбинированных
сталежелезобетонных перекрытий
на основе легких стальных тонкостенных конструкций
в сейсмоопасных районах**

5

А.А. ШИЛИН, А.Б. ЩУКИНА

**О разработке свода правил «Бетонные
и железобетонные конструкции транспортных
сооружений тоннелей и метрополитенов. Правила ремонта»**

20

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

З.У. БЕППАЕВ, Л.Х. АСТВАЦАТУРОВА, С.А. КОЛОДЯЖНЫЙ,
С.А. ВЕРНИГОРА, В.В. ЛОПАТИНСКИЙ

**Характеристики долговечности бетона и железобетона
на рециклинговом (бетонном) щебне**

27

А.Н. ГУДКОВ

**Сравнительные исследования влагозащитных свойств
легких гидрофобных штукатурок
на легких заполнителях по отношению к газобетону**

40

В.Р. ФАЛИКМАН, А.В. АНЦИБОР, П.Н. СИРОТИН, А.В. СУРКОВ

**Требования к допустимым перерывам бетонирования
при ведении монолитных работ**

51

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 FederationRegistered by the Federal Service for
Supervision of Communications and
Information Technologies and mass
communications (ROSKOMNADZOR).Mass media registration certificate
PI No. FS77-76959 dated October 09, 2019.Mass media registration certificate
EI No. FS77-86552 dated December 26, 2023.

ISSN 0005-9889 (Print)

ISSN 3034-1302 (Online)

Founded: Institutes of NIIZhB Gosstroy of the
USSR and VNIIZhelezobeton of the USSR
Ministry of Construction Materials**The authors**of published materials are responsible for the
accuracy of the submitted information, the
accuracy of the data from the cited literature
and for using in articles data which are not
open to the public.**The Editorial Staff**can publish the articles as a matter
for discussion, not sharing the point of view
of the author.**Reprinting**and reproduction of articles, promotional and
illustrative materials are possible only with the
written permission of the editor-in-chief.**The Editorial Staff is not responsible
for the content of advertisements
and announcements.****Editorial address:** 6, bld. 1, 2nd Institutskaya
str., Moscow, 109428, Russian Federation**Tel.:** +7(495) 602-00-70, add. 1022/1023**E-mail:** bzhb.ru@yandex.ru**http:** //bzhb.ru

Free price

BETON I ZHELEZOBETON

Published since 1955

6 (625)

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND STRUCTURES

A.A. BUBIS, I.R. GIZIATULLIN, A.A. DAVIDENKO, I.A. PETROSYAN,

T.V. NAZMEYEVA, A.I. DAVIDENKO, N.I. PUSHKO

**Features of the application of combined steel-reinforced
concrete floors based on lightweight steel thin-walled
structures in seismic-prone regions****5**

A.A. SHILIN, A.B. SHCHUKINA

**On the development of the code of practice "Concrete
and reinforced concrete structures of transport facilities,
tunnels, and metro systems. Repair regulations"****20**

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

Z.U. BEPPAEV, L.H. ASTVATSATUROVA, S.A. KOLODYAZHNY,

S.A. VERNIGORA, V.V. LOPATINSKY

**Durability characteristics of concrete
and reinforced concrete with recycling (concrete) rubble****27**

A.N. GUDKOV

**Comparative studies of moisture protection properties
of the lightweight hydrophobic plasters
on lightweight fillers in relation to aerated concrete****40**

V.R. FALIKMAN, A.V. ANTSIBOR, P.N. SIROTIN, A.V. SURKOV

**Requirements for permissible pauses of concreting
during monolithic works****51**

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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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)

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)

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.

**А.А. БУБИС¹, И.Р. ГИЗЯТУЛЛИН^{1,✉}, А.А. ДАВИДЕНКО¹,
И.А. ПЕТРОСЯН¹, Т.В. НАЗМЕЕВА², А.И. ДАВИДЕНКО³, Н.И. ПУШКО³**

¹ Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК)
им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1,
г. Москва, 109428, Российская Федерация

² Ассоциация развития стального строительства, Остоженка ул., д. 19, стр. 1,
г. Москва, 119034, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет имени К.Е. Ворошилова»,
тер. ЛНАУ, д. 1, г. Луганск, 291008, Луганская Народная Республика, Российская Федерация

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЛЕГКИХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СЕЙСМООПАСНЫХ РАЙОНАХ

Аннотация

Введение. Статья посвящена исследованию особенностей применения комбинированных сталежелезобетонных перекрытий, выполненных на основе легких стальных тонкостенных конструкций, при возведении зданий в сейсмоопасных районах. Эти конструкции отличаются легкостью, высокой несущей способностью относительно собственного веса и ускоряют процесс строительства. В совокупности такие свойства делают их конкурентоспособной альтернативой традиционным технологиям, применяемым при строительстве зданий, возводимых в сейсмических районах.

Целью исследования является обзорный анализ, демонстрация текущего прогресса, проблем и будущих направлений исследований, особенностей применения комбинированных сталежелезобетонных перекрытий зданий на основе легких стальных тонкостенных конструкций в сейсмических районах.

Материалы и методы. Выполнен систематический обзор и анализ отечественных и зарубежных исследований сейсмостойкости комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций. Использованы систематизация, структурный, сравнительный и сопоставительный анализы, теоретическое обобщение материалов, полученных при анализе отечественных и зарубежных нормативно-технических документов, а также литературных источников, содержащих ин-

формацию о результатах исследований сейсмостойкости комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций.

Результаты. Рассмотрены и обобщены результаты экспериментальных исследований сейсмостойкости комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций. Продемонстрированы текущие достижения, актуальные проблемы и перспективные направления дальнейших исследований. Результаты анализа подтверждают, что комбинированные сталежелезобетонные перекрытия на основе легких стальных тонкостенных конструкций обеспечивают конкурентоспособное и эффективное решение для строительства зданий, возводимых в сейсмоопасных районах. Результаты исследования подтверждают, что эффективное взаимодействие стального каркаса, профилированного настила и бетонного слоя обеспечивает оптимальный баланс между жесткостью и пластичностью конструкции комбинированного сталежелезобетонного перекрытия, что особенно важно для сопротивления сейсмическим нагрузкам и обеспечения надежности и механической безопасности здания. Однако отсутствие нормативных документов, регулирующих проектирование комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций зданий, возводимых в сейсми-

ческих районах, ограничивает их широкое внедрение в строительной практике.

Выводы. Подтверждается необходимость проведения теоретических и экспериментальных исследований, разработки и совершенствования нормативно-технических документов, которые позволят расширить применение комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций, обеспечивая надежность и механическую безопасность зданий, возводимых с их применением, в том числе в сейсмических районах.

Ключевые слова: легкие стальные тонкостенные конструкции, сталежелезобетонные конструкции, изгибаемые конструкции, перекрытие, профнастил, сейсмостойкость

Для цитирования: Бубис А.А., Гизятуллин И.Р., Давиденко А.А., Петросян И.А., Назмеева Т.В., Давиденко А.И., Пушко Н.И. Особенности применения комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций в сейсмоопасных районах // *Бетон и железобетон*. 2024. № 6 (625). С. 5–19. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6\(625\)-5-19](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6(625)-5-19). EDN: MYQGYP

Вклад авторов

Бубис А.А. – руководство исследованием.

Гизятуллин И.Р. – поиск и анализ информации по теме исследования, систематизация полученных результатов, написание статьи.

Давиденко А.А. – поиск и анализ информации по теме исследования, написание статьи.

Петросян И.А., Назмеева Т.В., Давиденко А.И., Пушко Н.И. – поиск и анализ информации по теме исследования.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы по теме: «Исследование особенностей действительной работы сборных сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК, в т. ч. для их применения в сейсмических районах», по заказу ФАУ «ФЦС» (Рег. № НИОКТР 124112500086-6).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 01.12.2024

Поступила после рецензирования 15.12.2024

Принята к публикации 19.12.2024

**A.A. BUBIS¹, I.R. GIZIATULLIN^{1,✉}, A.A. DAVIDENKO¹, I.A. PETROSYAN¹,
T.V. NAZMEYEVA², A.I. DAVIDENKO³, N.I. PUSHKO³**

¹ Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

² Association for the Development of Steel Construction, Ostozhenka St., 19, bld. 1, Moscow, 119034, Russian Federation

³ FSBEI HE Lugansk State Agrarian University named after K.E. Voroshilov, Lugansk city, Artyomovsky district, LSAU ter., 1, Lugansk, 291008, Lugansk People's Republic, Russian Federation

FEATURES OF THE APPLICATION OF COMBINED STEEL—REINFORCED CONCRETE FLOORS BASED ON LIGHTWEIGHT STEEL THIN—WALLED STRUCTURES IN SEISMIC—PRONE REGIONS

Abstract

Introduction. The article is devoted to the study of the features of the use of combined steel-reinforced concrete floors made on the basis of lightweight steel thin-walled structures in the construction of buildings in seismic areas. These structures are lightweight, have a high load-bearing capacity relative to their own weight and accelerate the construction process. Together, these properties make them a competitive alternative to traditional technologies used in the construction of buildings erected in seismic areas.

The aim of the study is to review, demonstrate the current progress, problems and future directions of research, features of the use of combined steel-reinforced concrete floors of buildings based on lightweight steel thin-walled structures in seismic areas.

Materials and methods. A systematic review and analysis of domestic and international studies on the seismic resistance of composite steel-reinforced concrete floors based on lightweight steel thin-walled structures were conducted. The study used systematization, structural, comparative, and correlational analyses, as well as theoretical generalization of materials obtained from normative and technical documents and research literature regarding the seismic performance of these floors.

Results. The findings of experimental studies on the seismic resistance of composite steel-reinforced concrete floors based on lightweight steel thin-walled structures were reviewed and summarized. Current achievements, pressing challenges, and future research directions were demonstrated. The analysis confirms that these floors offer a competitive and effective solution for construction of buildings being erected in re-

gions prone to seismic activity. The synergy between the steel frame, profiled decking, and concrete layer ensures an optimal balance of stiffness and ductility, which is critical for resisting seismic loads and ensuring structural reliability and mechanical safety. However, the lack of normative documents regulating the design of such floors in seismic regions hinders their broader adoption in construction practices.

Conclusions. The study confirms the necessity for theoretical and experimental research, as well as the development and refinement of normative and technical documents. These efforts will facilitate the wider application of composite steel-reinforced concrete floors based on lightweight steel thin-walled structures, ensuring the reliability and mechanical safety of buildings constructed with their use, particularly in regions prone to seismic activity.

Keywords: lightweight steel thin-walled structures, steel-reinforced concrete structures, flexural structures, ceiling, corrugated sheet, seismic resistance

For citation: Bubis A.A., Giziatullin I.R., Davidenko A.A., Petrosyan I.A., Nazmeyer T.V., Davidenko A.I., Pushko N.I. Features of the application of combined steel-reinforced concrete floors based on lightweight steel thin-walled structures in seismic-prone regions. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 6 (625), pp. 5–19. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6\(625\)-5-19](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6(625)-5-19). EDN: MYQGY

Authors contribution statement

Bubis A.A. – research management.

Giziatullin I.R. – search and analysis of information on the research topic, systematization of the obtained results, writing the article.

Davidenko A.A. – search and analysis of information on the research topic, writing the article.

Petrosyan I.A., Nazmeyerova T.V., Davidenko A.I., Pushko N.I. – search and analysis of information on the research topic.

Funding

The study was carried out as part of the research and development work on the topic: “Study of the features

of the actual operation of precast steel-reinforced concrete floors based on LSTS, including for their use in seismic areas”, by order of the Federal Autonomous Institution “FCS” (Reg. No. NIOKTR 124112500086-6).

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 01.12.2024

Revised 15.12.2024

Accepted 19.12.2024

Введение

В районах, подверженных сейсмической активности, проектирование и возведение зданий и сооружений требуют комплексного подхода, направленного на обеспечение их надежности и безопасности при воздействии сейсмических нагрузок. Необходимо учитывать особенности сейсмических воздействий, исследовать действительную работу материалов, элементов и конструкций зданий и сооружений, а также внедрять современные технологические решения, направленные на повышение их сейсмостойкости. Такой подход позволяет существенно снизить риски ненормативных повреждений и разрушений, обеспечивая высокую надежность и безопасность зданий и сооружений в условиях воздействия сейсмических нагрузок.

Одним из ключевых элементов конструктивной системы здания, участвующих в обеспечении его устойчивости к сейсмическим воздействиям, является система перекрытий. Она играет важнейшую роль в перераспределении и передаче сейсмических нагрузок на несущие вертикальные конструкции здания. Растущий спрос на безопасные и эффективные конструктивные решения и методы строительства стимулирует исследование гибридных конструктивных решений, которые могут сочетать легкость с высокой, по отношению к собственному весу, несущей способностью. Одним из примеров таких конструктивных решений является использование комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе каркаса из холодногнутых тонкостенных профилей и профилированного настила с устройством железобетонной плиты поверх нее.

Комбинированные сталежелезобетонные перекрытия с использованием легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) представляют собой современную альтернативу традиционным строительным решениям, сочетающую в себе легкость, высокую прочность и жесткость. Данные конструкции обеспечивают значительное снижение веса здания, что снижает нагрузку на фундамент и позволяет увеличить устойчивость к сейсмическим воздействиям. Благодаря высокой несущей способ-

ности и гибкости проектирования такие перекрытия подходят как для малоэтажного, так и для многоэтажного строительства, предлагая более экономичное и эффективное решение в сравнении с классическими системами.

Применение комбинированной системы позволяет использовать преимущества стали, такие как: высокая прочность, пластичность и скорость монтажа, при сохранении преимуществ бетона, в частности жесткости и огнестойкости. Включение профилированного настила в качестве несъемной опалубки обеспечивает дополнительные преимущества, включая улучшение конструктивных характеристик и эффективности строительства.

Конструктивные системы зданий с применением каркасов из ЛСТК достаточно давно востребованы на рынке строительства, но в кризисные времена, как показала пандемия COVID-19, технология сухого и быстровозводимого строительства с использованием ЛСТК оказалась особенно актуальной. По этим причинам конструктивные системы зданий на основе ЛСТК переживают бум на протяжении многих лет как в области их применения для несущих конструкций, так и для ненесущих и самонесущих конструкций и, прежде всего, для строительства зданий в сейсмоопасных районах, где легкость играет одну из ключевых ролей в обеспечении их сейсмостойкости.

В настоящей статье рассматриваются особенности и преимущества применения комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций в сейсмических районах.

Материалы и методы

Данное исследование является результатом выполненной авторами с целью обзорного анализа, демонстрации текущего прогресса, проблем и будущих направлений исследований работы, связанной с поиском и анализом литературных источников, содержащих информацию об особенностях применения комбинированных сталежелезобетонных перекрытий зданий на основе легких стальных тонкостенных кон-

струкций в сейсмических районах. В процессе работы использованы: систематизация, структурный, сравнительный и сопоставительный анализы, теоретическое обобщение материалов, полученных при анализе отечественных и зарубежных литературных источников, содержащих информацию о результатах исследований комбинированных сталежелезобетонных перекрытий зданий на основе каркасов из легких стальных тонкостенных конструкций, возводимых в сейсмических районах. Информация, полученная в ходе работы, систематизирована и структурирована, основные результаты исследования представлены в данной статье.

Результаты исследования

Основными конструктивными элементами каркасно-обшивных конструкций по технологии ЛСТК в зданиях являются стены и перекрытия, в том числе стропильные системы покрытий. Принцип устройства каркасно-обшивной конструкции состоит в том, что элементы каркаса из стальных холодногнутых профилей заполняются эффективным утеплителем и обшиваются плитными материалами с последующей отделкой и, обеспечивая совместную работу, образуют таким способом единую конструкцию стен и перекрытий (покрытий).

Каркасно-обшивные конструкции стен и перекрытий (покрытий) состоят из вертикальных стоек (в случае стен) и горизонтальных балок (в случае перекрытий), расположенных на расстоянии от 300 до 600 мм, концы которых крепятся к направляющим, которые поддерживают стойки или балки каркаса для стен и перекрытий соответственно.

В качестве каркаса несущих стен и перекрытий (покрытий) могут использоваться элементы различной конфигурации, проиллюстрированные на рис. 1. Профили различаются между собой несущей способностью и жесткостью. Также для увеличения жесткости и прочности каркасно-обшивной несущей конструкции можно использовать состав-

ные сечения (например, двутавровые сечения, коробчатые и т. д.).

Основой комбинированного сталежелезобетонного перекрытия с применением легких стальных тонкостенных конструкций служит каркас из холодногнутых профилей. Наиболее часто для устройства каркаса конструкций перекрытий применяются профили С- и Z-образной формы, а также составные двутавровые сечения.

Как правило, холодногнутые стальные профили применяются в следующем диапазоне размеров:

- по толщине металла – от 1,2 до 4 мм;
- по высоте стенок – от 200 до 380 мм;
- по ширине полок – от 50 до 125 мм.

Основной шаг балок каркаса перекрытия, как правило, соответствует шагу стоек в каркасах стеновых панелей и принимается равным 600 мм. Пролет балок назначается с учетом объемно-планировочных решений конкретного проекта здания. Для организации горизонтальных дисков жесткости может предусматриваться использование панелей обшивки из конструкционных плитных материалов, профилированного настила, в том числе с устройством монолитной плиты поверх настила или с заполнением каркаса панели перекрытия пенобетоном неавтоклавного твердения.

Профилированный настил в сталежелезобетонных перекрытиях применяют в качестве элементов несъемной опалубки. Использование профилированного настила в таких перекрытиях позволяет достичь оптимального сочетания несущей способности и легкости конструкции, что особенно актуально для зданий, возводимых в сейсмически активных районах. Разница в весе несущих конструкций на единицу площади между ЛСТК и традиционными конструктивными системами может составлять от 1,7 до 8,5 раза в зависимости от типа конструктивной системы здания и его этажности. В табл. 1 приведено сравнение среднего веса несущих конструкций здания на 1 м² его площади.

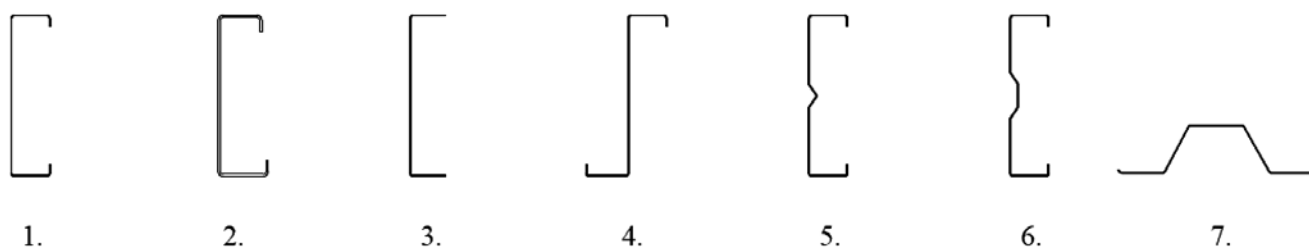


Рис. 1. Основные типы сечений холодногнутых профилей: 1 – С-образное равнополочное сечение (С-профиль); 2 – С-образное неравнополочное сечение (С-профиль); 3 – швеллерное сечение (швеллерообразный профиль); 4 – Z-образное сечение (Z-профиль); 5 – Σ (сигма)-образное сечение (Σ -профиль); 6 – Σ -профиль с вытянутым вдоль стенки рифом; 7 – П-образное сечение (Ω -профиль)

Fig. 1. Main types of cross sections of the cold-formed profiles: 1 – C-shaped equal-flange section (C-profile); 2 – C-shaped unequal-flange section (C-profile); 3 – channel section (channel-shaped profile); 4 – Z-shaped section (Z-profile); 5 – Σ (sigma)-shaped section (Σ -profile); 6 – Σ -profile with a reef extended along the wall; 7 – U-shaped section (Ω -profile)

Таблица 1

Table 1

Значения среднего веса несущих конструкций здания на 1 м² его площади
Values of the average weight of load-bearing structures of a building per 1 м² of its area

Тип конструктивной системы	Средний вес несущих конструкций на единицу площади здания, кН/м ²
Здания из каменных конструкций	7–10
Каркасные здания из монолитного железобетона	4–6
Стальные каркасные здания с железобетонными плитами перекрытий	2,5–4
Каркасно-обшивная система из ЛСТК	0,8–1,5

Основным элементом, обеспечивающим жесткость и устойчивость сталежелезобетонного перекрытия, является железобетонная плита. В комбинированных сталежелезобетонных перекрытиях, как правило, используется бетон средней прочности (25–35 МПа), но в зависимости от проектных решений и требований возможно применение бетона более высокой прочности.

Для обеспечения совместной работы элементов ЛСТК каркаса, профилированного настила и железобетонной панели перекрытия используются различные виды соединения: болты, сварные швы, саморезы. Наиболее часто используются соединения на саморезах, как самые простые в устройстве в постройных условиях на строительной площадке.

Совместная работа профнастила с бетоном обеспечивается за счет элементов крепления профлиста с каркасом ЛСТК, анкерных выпусков, соединенных с балками в местах опирания профнастила и установки арматурной сетки, штампованными рифами на контактных поверхностях профнастила. Однако анкеровка профнастила лишь на опорах эффективна для увеличения сдвиговой жесткости комбинированной системы перекрытия, но может быть недостаточной для обеспечения его несущей способности при значительных знакопеременных сдвиговых деформациях, возникающих при сейсмических воздействиях. Исследование [1] свидетельствует, что отсутствие анкеровки в пролете плиты приводит к снижению в 3,8 раза предельных деформаций сжатия бетона, в 1,28 раза деформаций в растянутом профнастиле и, как следствие, к снижению в 1,9 раза несущей способности конструкции бетонного перекрытия, армированного профнастилом (рис. 2).

Применение профнастила с зигзагообразными штампованными рифами в качестве единственного элемента внешнего армирования без анкеровки в пролете и стержневой арматуры в растянутой зоне требует особой осторожности, учитывая повышенную деформативность такой системы даже при вертикальных эксплуатационных нагрузках (рис. 3). Такие плиты перекрытий, как правило, не создают жесткий диск

и не вносят вклад в распределение жесткостей между вертикальными конструкциями здания. Профнастил с зигзагообразными штампованными рифами следует использовать преимущественно как дополнительную меру для повышения сдвигового сопротивления на контакте «сталь – бетон», особенно в условиях значительных знакопеременных сдвиговых деформаций, возникающих при сейсмических воздействиях.

Профилированный настил играет ключевую роль в повышении жесткости и устойчивости комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций. Профнастил выступает в качестве элемента армирования для бетонной плиты, улучшая несущую способность и снижая риск образования трещин при сейсмических воздействиях. При этом форма и конфигурация профилированного настила могут оказывать значительное влияние на поведение перекрытия при сейсмических воздействиях.

Специфика возведения зданий со сталежелезобетонными перекрытиями в районах повышенной сейсмичности вызывает необходимость совершенствования конструктивных решений железобетонных конструкций перекрытий, армированных стальным профнастилом, с целью восприятия крутящих моментов, знакопеременных нагрузок и перекосов при условии необходимости снижения собственного веса перекрытия. На рис. 4 приведены некоторые эффективные конструкции перекрытий повышенной сдвиговой и крутильной жесткости, армированные стальным профнастилом с поперечными анкерами в пролете [2, 3].

Проектирование сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК требует учета ключевых факторов, влияющих на обеспечение их надежности и эффективности при сейсмических воздействиях. Одним из наиболее важных факторов является сдвиговая прочность соединения между стальным каркасом из ЛСТК, профилированным настилом и бетонной плитой. Для обеспечения надежной передачи нагрузок между элементами системы при эксплуатационных нагрузках и сейсмических воздействиях необ-

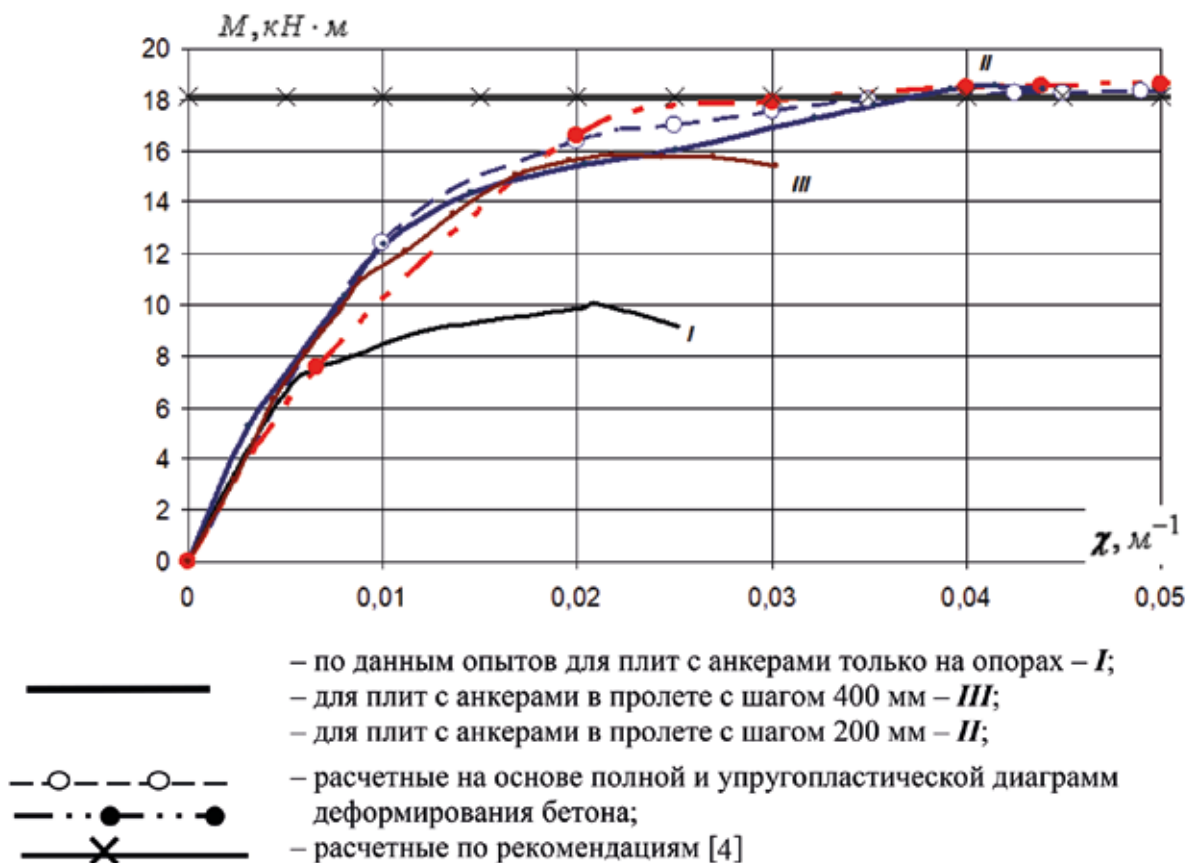


Рис. 2. Диаграммы «М – χ » для плит с анкерами в пролете и на опорах [1]

Fig. 2. “M – χ ” diagrams for slabs with anchors in the span and on supports [1]

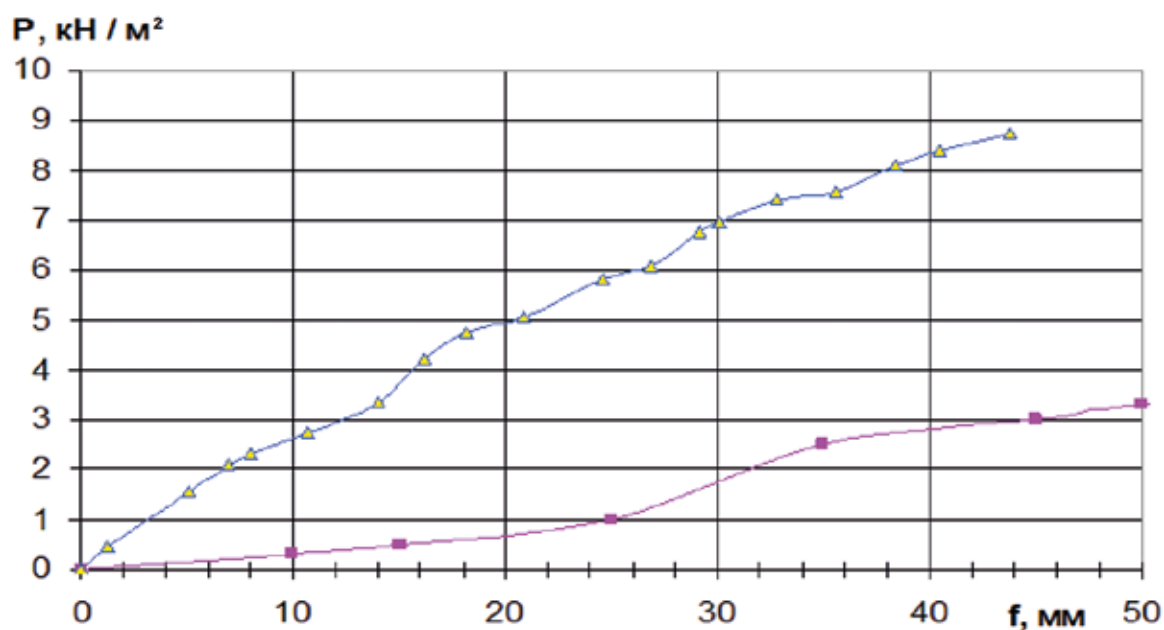


Рис. 3. Сопоставление зависимостей «нагрузка – прогиб» пустотнорёбристых плит пролетом 6 м с поперечными анкерами в пролете (синяя линия) [5] и плит, армированных профнастилом SKH 90-1000Z с зигзагообразной штамповкой рифами (розовая линия) [6]

Fig. 3. Comparison of the “load – deflection” dependencies of ribbed slabs with a span of 6 m with transverse anchors in the span (blue line) [5] and slabs reinforced with SKH 90-1000Z corrugated sheeting with zigzag stamping of ribs (pink line) [6]



Рис. 4. Эффективные конструкции перекрытий повышенной сдвиговой жесткости, армированные стальным профнастилом с поперечными анкерами в пролете [2, 3]
Fig. 4. Efficient structures of floors with increased shear rigidity, reinforced with steel corrugated sheets with transverse anchors in the span [2, 3]

ходимо тщательно прорабатывать конструкцию этих соединений. Применение самонарезающих винтов или других типов механических соединений на опорах и в пролете плиты перекрытия может значительно увеличить композитное взаимодействие стали и бетона, что способствует повышению жесткости и несущей способности комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК.

Толщина бетонной плиты является ключевым фактором для обеспечения необходимой несущей способности и деформативности сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК при сейсмических нагрузках. Она должна быть рассчитана таким образом, чтобы гарантировать достаточную несущую способность и жесткость для восприятия эксплуатационных нагрузок и сейсмических воздействий, соответствовать требованиям динамической комфортности и одновременно минимизировать общий вес конструкции. Не менее важное значение имеют тип и количество арматуры в плите. Арматура должна быть рассчитана таким образом, чтобы обеспечивать достаточную прочность на растяжение, предотвращая образование трещин, и придавать конструкции пластичность, необходимую для эффективного восприятия сейсмических воздействий.

Технология ЛСТК была внедрена в практику строительства более двух десятилетий назад, однако нормативно-техническая база, регулирующая нормы и правила к расчету и проектированию конструкций зданий из ЛСТК, в России начала формироваться только после 2016 года с вступлением в силу СП 260.1325800.2016 «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования» [7]. Следует отметить, что данный стандарт не охватывает проектирование конструкций зданий из ЛСТК, предназначенных для возведения в сейсмически активных районах. В России проектирование зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах, регламентируется СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная

редакция СНиП II-7-81*» [8]. В рамках изменения № 4 к СП 14.13330.2018 [8], на основании проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, включающих обширные экспериментальные исследования, были установлены требования к расчету и проектированию зданий из каркасно-обшивных конструкций с применением каркасов из стальных холодногнутых оцинкованных профилей.

Зарубежные нормативные документы, такие как AISI S400-15 [9] и NBCC [10], содержат требования к проектированию зданий из ЛСТК. Эти требования охватывают каркасно-обшивные конструкции с каркасом из стальных холодногнутых оцинкованных профилей с панелями обшивок из деревянных конструкционных панелей, стального листа или гипсокартонных обшивок, каркасы с крестообразными связями из стальных лент, а также рамные каркасы с болтовыми соединениями (по принципу стальных каркасов на основе горячекатаного металлопроката). Однако, как и отечественные стандарты, они не регламентируют требования для расчета и проектирования комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций.

Экспериментальные исследования по изучению поведения каркасно-обшивных конструкций из ЛСТК под действием сейсмических нагрузок начались в конце 80-х – начале 90-х гг. XX века. В последние годы было проведено множество экспериментальных исследований сейсмостойкости конструкций из ЛСТК. Большая часть этих работ была сосредоточена на исследованиях сейсмостойкости вертикальных несущих конструкций каркасно-обшивных стен [11–18]. Ведутся многочисленные работы в области исследования соединений элементов каркаса между собой [19–22] и поведения ненесущих конструкций из ЛСТК [23–25] при действии на них нагрузок, моделирующих сейсмические. В Российской Федерации на базе центра исследований сейсмостойкости сооружений (ЦИСС) ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко также ведутся активные исследования в данных направлениях [26–29].

Несмотря на значимость горизонтальных дисков перекрытий и покрытий в перераспределении сейсмических нагрузок, сопоставимую с ролью вертикальных несущих конструкций, их поведение при сейсмических воздействиях изучено значительно меньше. Исследования в этой области ограничены, что подтверждается отдельными работами, проведенными в Канаде на горизонтальных диафрагмах из ЛСТК, обшитых деревянными конструкционными панелями

(рис. 5а), с различными конструктивными решениями и слоями отделочного материала [30], а также в Италии на горизонтальных диафрагмах из ЛСТК со стальным настилом (рис. 5б) [31].

В рамках проекта LAMIEREDIL [32, 33] была проанализирована сейсмическая реакция двух трехэтажных моделей в масштабе 1:3, выполненных из ЛСТК с ленточными крестообразными связями (рис. 6).



a (a)



б (b)

Рис. 5. а – образец горизонтальной диафрагмы (перекрытия) с обшивкой из деревянных конструкционных панелей [30];

б – образец горизонтальной диафрагмы (перекрытия) со стальным настилом [31]

Fig. 5. a – a specimen of a horizontal diaphragm (ceiling) with sheathing made of wooden structural panels [30];

b – a specimen of a horizontal diaphragm (ceiling) with steel decking [31]

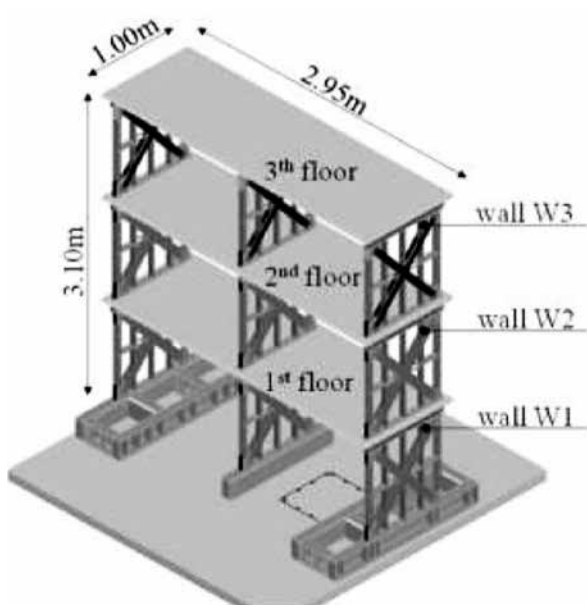


Рис. 6. Полномасштабные испытания экспериментального образца LAMIEREDIL [32]

Fig. 6. A full-scale testing of the LAMIEREDIL sample [32]

Опытные образцы различались конструктивным решением перекрытий: для первого типа образца были выполнены сталежелезобетонные перекрытия по профлисту, для второго типа образца были выполнены перекрытия с обшивкой из ориентированно-стружечной плиты (ОСП) толщиной 18 мм (рис. 7). Исследование проводилось на сейсоплатформе, результаты испытаний показали, что глобальная реакция конструктивной системы была почти линейной для обоих образцов в рамках проектных уровней сейсмического воздействия. Для испытаний с более высокой интенсивностью сейсмического воздействия глобальная реакция системы отклонялась от линейной, образец получал повреждения, идентифицируемые при визуальном осмотре конструкций (деформации ленточных крестообразных связей, ослабление соединений).

Максимальное межэтажное смещение, зарегистрированное на третьем уровне экспериментального образца, составило 3,62 % для образца со сталежелезобетонными плитами перекрытий и 2,44 % для плит перекрытий с обшивкой ОСП панелями. Наблюдаемые повреждения образца представляли собой пластические деформации вертикальных ленточных связей и ослабление болтов анкерующих элементов узлов соединений стеновых панелей с фундаментом и плитами перекрытий для обоих типов испытанных образцов. Для экспериментального образца с плитами перекрытий с обшивкой ОСП панелями также наблюдалась локальная потеря устойчивости полок вертикальных стоек каркаса стеновой панели. Плиты перекрытий обоих типов экспериментальных образцов в процессе испытаний работали как жесткие горизонтальные диски.

В России исследование особенностей действительной работы сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК, в том числе для их применения в сейсмических районах, до настоящего времени не проводилось.

Применение комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК в зданиях, возводимых в сейсмически активных районах, обладает значительными преимуществами, однако сопровождается рядом технических вызовов и ограничений. Одной из ключевых задач будущих исследований является разработка технических решений, обеспечивающих эффективную работу всех элементов системы. Особое внимание должно быть уделено соединениям между стальным каркасом, профилированным настилом и бетонной плитой, так как они играют важную роль в обеспечении надежной передачи нагрузок и композитном взаимодействии между элементами системы при эксплуатационных нагрузках и сейсмических воздействиях. Кроме того, разрабатываемые решения сдвигоустойчивых соединений требуют обязательных экспериментальных исследований для подтверждения их надежности и эффективности.

Заключение и обсуждение

В статье проанализированы и обобщены результаты существующих исследований, посвященных особенностям использования комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций в зданиях, возводимых в сейсмоопасных районах.

Основные результаты исследования можно резюмировать следующим образом:

1. Комбинированные сталежелезобетонные перекрытия на основе ЛСТК являются перспективным и эффективным решением, способствующим повышению сейсмостойкости зданий, возводимых в сейсмоопасных регионах. Эти конструкции отличаются легкостью, высокой несущей способностью относительно собственного веса и ускоряют процесс строительства. В совокупности такие свойства делают их конкурентоспособной альтернативой традиционным технологиям, применяемым при строительстве зданий, возводимых в сейсмических районах.

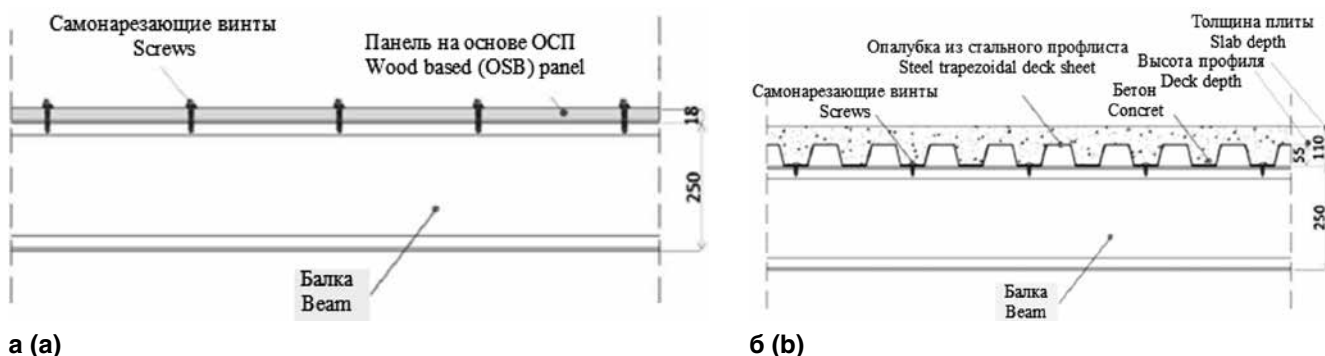


Рис. 7. Конструкция плит перекрытий экспериментального образца LAMIEREDIL (размеры в мм) [33]:

а – сталежелезобетонное перекрытие по профлисту (образец первого типа);

б – перекрытие с обшивкой ОСП панелями (образец второго типа)

Fig. 7. Construction of the experimental floor slabs of LAMIEREDIL sample (lengths in mm) [33]:

а – steel-reinforced concrete shaped sheet floors (Type 1 sample); б – floor made of wood-based (OSB) panels (Type 2 sample)

2. Тонкостенные сечения подвержены различным режимам потери устойчивости, включая глобальные и локальные, особенно при их использовании в качестве изгибаемых элементов, что является одним из их возможных конструктивных ограничений для применения в различных конструкциях. С учетом этого оптимальной конструкцией комбинированной сталежелезобетонной плиты перекрытия на основе ЛСТК является конструкция, в которой нейтральная ось проходит по границе бетонной плиты и балок из ЛСТК. В этом случае достигается максимальная эффективность работы всех компонентов композитной системы: тонкостенные балки воспринимают растягивающие усилия, что позволяет им развивать пластические деформации при сейсмических воздействиях в полной мере, а бетон работает на сжатие.

3. За счет эффективного взаимодействия стального каркаса, профилированного настила и бетонного слоя обеспечивается оптимальный баланс между жесткостью и пластичностью конструкции комбинированного сталежелезобетонного перекрытия, что особенно важно для сопротивления сейсмическим нагрузкам и обеспечения надежности и механической безопасности здания.

4. Несмотря на значительный потенциал технологии, в отечественных и зарубежных нормативных документах отсутствуют положения, регулирующие проектирование комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК зданий, возводимых в сейсмических районах. Этот пробел в нормативной базе ограничивает их широкое внедрение в строительной практике.

5. Для преодоления данной проблемы требуется проведение комплексных исследований действительной работы таких конструкций, включая изучение их поведения под воздействием сейсмических нагрузок. Важными задачами являются изучение прочности и деформативности соединений комбинированной конструкции, разработка критериев проектирования и нормирование параметров сейсмостойкости, обеспечивающих их надежность и механическую безопасность.

6. Учитывая огромные масштабы территории Российской Федерации, разнообразие климатических и сейсмических зон, а также особенности и широкий спектр потенциальных решений комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК, исследование их действительной работы при действии сейсмических воздействий становится приоритетной задачей. Это позволит значительно расширить возможности применения комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК при строительстве зданий в сейсмических районах.

Дальнейшее развитие нормативной базы и прикладных исследований в данной области станет важным шагом к обеспечению надежного и безопасного

применения комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК, способствуя развитию современного сейсмостойкого строительства.

Список литературы

1. Беляева С.Ю., Присяжнюк Н.В., Давиденко А.И. К вопросу совершенствования методики расчета прочности изгибаемых железобетонных элементов, армированных стальным профилированным настилом // *Строительные конструкции: Межвед. научн-техн. сб. науч. работ*. Киев: ННИСК, 2004. Вып. 60. С. 542–546.
2. Рекомендации по проектированию монолитных железобетонных перекрытий со стальным профилированным настилом / НИИЖБ, ЦНИИПромизданий. Москва: Стройиздат, 1987. 40 с.
3. Давиденко А.И., Давиденко М.А., Беляева С.Ю., Присяжнюк Н.В. Трубчато-ребристая железобетонная плита со стальным профилированным настилом: конструктивное решение и расчет прочности // *Современные строительные конструкции из металла и древесины: Сб. научных трудов*. Одесса, 2005. Ч. 1. С. 62–67.
4. Боярский А.В., Елисеев Ю.И. Новые эффективные профилированные настилы для армирования композитных плит // *Строительные материалы и технологии*. 2007. Вып. 24. С. 9–12.
5. Давиденко А.И., Давиденко М.А., Присяжнюк Н.В., Райтаровский А.Н., Мазур С.Е., Белов И.Д. Трубчато-ребристая конструкция перекрытия со стальным профилированным настилом. Патент 9769 Е 01 В 5/40. ДонДТУ. № 200503027. Заявл. 04.04.05. Оpubл. 17.10.05. Бюл. № 10.
6. Беляева С.Ю. К расчету прочности монолитной железобетонной конструкции перекрытия с двойным профилированным настилом // *Межвед. научн-техн. сб. науч. работ*. Киев: НИИСК, 2005. Вып. 63. С. 37–42.
7. СП 260.1325800.2016. Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ, 2016.
8. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. Москва: Стандартинформ, 2018.
9. AISI S400-15. North American Standard for Seismic Design of Cold-Formed Steel Structural Systems. Washington, DC, USA: American Iron and Steel Institute (AISI), 2015.
10. NBCC. National Building Code of Canada. Ottawa, ON, Canada: National Research Council of Canada (NRCC), 2005.
11. Schafer B.W., Ayhan D., Leng J., Liu P., Padilla-Llano D., Peterman K.D., Stehman M., Buonopane S.G., Eatherton M., Madsen R., et al. Seismic response and engineering of cold-formed steel framed buildings. *Structures*. 2016, no. 8, pp. 197–212.

12. Buonopane S.G., Bian G., Tun T.H., Schafer B.W. Computationally Efficient Fastener-Based Models of Cold-Formed Steel Shear Walls with Wood Sheathing. *Journal of Constructional Steel Research*. 2015, vol. 110, pp. 137–148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.03.008>
13. Ayhan D., Schafer B.W. Cold-formed steel member bending stiffness prediction. *Journal of Constructional Steel Research*. 2015, vol. 115, pp. 148–159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.07.004>
14. Liu O., Peterman K.D., Yu C., Schafer B.W. Impact of construction details on OSB-sheathed cold-formed steel framed shear walls. *Journal of Constructional Steel Research*. 2014, vol. 101, pp. 114–123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2014.05.003>
15. Ayhan D., Qin Y., Torabian S., Schafer B.W. Characterizing joist-ledger performance for cold-formed steel light frame construction. *Proceedings of the Eighth International Conference on Advances in Steel Structures*. Lisbon, Portugal, July 22–24. 2015, 15 p.
16. Schafer B.W. Seismic response and engineering of cold-formed steel framed buildings. *Proceedings of the Eight International Conference on Advances in Steel Structures*. Lisbon, Portugal, July 22–24. 2015, 22 p.
17. Peterman K.D., Schafer B.W. Experimental determination of base shear from full-scale shake table testing of two cold-formed steel framed buildings. *Proceedings of the 8th International Conference on Behavior of Steel Structures in Seismic Areas – STESSA 2015*. Shanghai, China, July 1–4. 2015.
18. Bian G., Padilla-Llano D.A., Leng J., Buonopane S.G., Moen C.D., Schafer B.W. OpenSEES modeling of cold formed steel framed wall system. *Proceedings of the 8th International Conference on Behavior of Steel Structures in Seismic Areas – STESSA 2015*. Shanghai, China, July 1–4. 2015. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23911.65441>
19. Swensen S., Deierlein G.G., Miranda E. Behavior of screw and adhesive connections to gypsum wallboard in wood and cold-formed steel-framed wallframes. *Journal of Structural Engineering*. 2016, vol. 142, issue 4, E4015002. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001307](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001307)
20. Ye J., Wang X., Zhao M. Experimental study on shear behavior of screw connections in CFS sheathing. *Journal of Constructional Steel Research*. 2016, vol. 121, pp. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.12.027>
21. Fiorino L., Macillo V., Landolfo R. Experimental characterization of quick mechanical connecting systems for cold-formed steel structures. *Advances in Structural Engineering*. 2017, vol. 20, issue 7, pp. 1098–1110. DOI: <https://doi.org/10.1177/1369433216671318>
22. Fiorino L., Pali T., Bucciero B., Macillo V., Terracciano M.T., Landolfo R. Experimental study on screwed connections for sheathed CFS structures with gypsum or cement based panels. *Thin-Walled Structures*. 2017, vol. 116, pp. 234–249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2017.03.031>
23. Jenkins C., Soroushian S., Rahmanishamsi E., Maragakis E.M. Experimental fragility analysis of cold-formed steel-framed partition wall systems. *Thin-Walled Structures*. 2016, vol. 103, pp. 115–127.
24. Wang X., Pantoli E., Hutchinson T.C., Restrepo J.I., Wood R.L., Hoehler M.S., Grzesik P., Sesma F.H. Seismic performance of cold-formed steel wall systems in a full-scale building. *Journal of Structural Engineering*. 2015, vol. 141, no. 10, 04015014. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001245](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001245)
25. Magliulo G., Petrone C., Capozzi V., et al. Seismic performance evaluation of plasterboard partitions via shake table tests. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2014, vol. 12, pp. 1657–1677. <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9567-8>
26. Бубис А.А., Гизятуллин И.Р., Доттуев А.И., Назмева Т.В. Сейсмостойкость зданий из каркасно-обшивных конструкций с каркасом из стальных холодногнутых оцинкованных профилей // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2021. Том 31. № 4. С. 98–109. DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4\(31\)-98-109](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4(31)-98-109)
27. Гизятуллин И.Р. Экспериментальные исследования каркасно-обшивочных конструкций стен из легких стальных тонкостенных конструкций при действии сейсмических нагрузок // *Научный потенциал строительной отрасли: Сборник материалов II научно-практической конференции, Москва, 22 сентября 2021 года. Москва: АО «НИЦ «Строительство», 2021. С. 13–17. DOI: <https://doi.org/10.37538/2713-1157-2021-13-17>*
28. Гизятуллин И.Р. Сейсмостойкость зданий из каркасно-обшивных конструкций с каркасом из стальных холодногнутых оцинкованных профилей: обзор и анализ современного состояния вопроса // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022. Том 32. № 1. С. 30–52. DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-30-52](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-30-52)
29. Гизятуллин И.Р. Сейсмостойкость зданий из каркасно-обшивных конструкций с каркасом из стальных холодногнутых оцинкованных профилей // *Вестник Международной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству*. 2022. № 1 (13). С. 19–49. DOI: <https://doi.org/10.38054/iaeee-202203>
30. Nikolaidou V., Latreille P., Rogers C.A., Lignos D.G. Characterization of cold-formed steel framed/woodsheathed floor and roof diaphragm structures. *Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, 16WCEE*. Santiago, Chile, 9–13 January 2017. 2017, p. 452.

31. Baldassino N., Bernardi M., Zandonini R., Zordan M. Study of cold-formed steel floor systems under shear loadings. *Proceedings of the Eighth International Conference on Thin-Walled Structures (ICTWS 2018)*. Lisbon, Portugal, 24–27 July 2018.
32. Fiorino L., Macillo V., Landolfo R. Shake table tests of a full-scale two-story sheathing-braced cold-formed steel building. *Engineering Structures*. 2017, vol. 151, pp. 633–647. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.08.056>
33. Campiche A. Numerical modelling of CFS three-story strap-braced building under shaking-table excitations. *Materials*. 2021, vol. 14, no. 1, p. 118. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14010118>
9. AISI S400-15 North American Standard for Seismic Design of Cold-Formed Steel Structural Systems. Washington, DC, USA: American Iron and Steel Institute (AISI), 2015.
10. NBCC. National Building Code of Canada. Ottawa, ON, Canada: National Research Council of Canada (NRCC), 2005.
11. Schafer B.W., Ayhan D., Leng J., Liu P., Padilla-Llano D., Peterman K.D., Stehman M., Buonopane S.G., Eatherton M., Madsen R., et al. Seismic response and engineering of cold-formed steel framed buildings. *Structures*. 2016, no. 8, pp. 197–212.
12. Buonopane S.G., Bian G., Tun T.H., Schafer B.W. Computationally Efficient Fastener-Based Models of Cold-Formed Steel Shear Walls with Wood Sheathing. *Journal of Constructional Steel Research*. 2015, vol. 110, pp. 137–148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.03.008>

References

1. Belyaeva S.Yu., Prisyazhnyuk N.V., Davidenko A.I. On the Improvement of the Methodology for Calculating the Strength of Reinforced Concrete Flexural Elements Reinforced with Steel Profiled Decking. *Construction Structures: Interdepartmental Scientific and Technical Collection of Research Papers*. Kyiv: NNISK, 2004, issue 60, pp. 542–546. (In Russian).
2. Recommendations for the design of monolithic reinforced concrete floors with steel profiled decking / NIIZHB, TsNIIPromizdany. Moscow: Stroyizdat Publ., 1987, 40 p. (In Russian).
3. Davidenko A.I., Davidenko M.A., Belyaeva S.Yu., Prisyazhnyuk N.V. Tubular-Ribbed Reinforced Concrete Slab with Steel Profiled Decking: Design Solution and Strength Calculation. *Modern Building Structures Made of Metal and Wood: Collection of Scientific Papers*. Odessa, 2005, Part 1, pp. 62–67. (In Russian).
4. Boyarsky A.V., Eliseev Yu.I. New Effective Profiled Decking for Reinforcement of Composite Slabs. *Building Materials and Technologies*. 2007, issue 24, pp. 9–12. (In Russian).
5. Davidenko A.I., Davidenko M.A., Prisyazhnyuk N.V., Raitarovskiy A.N., Mazur S.E., Belov I.D. Patent 9769 E 01 B 5/40. Tubular-Ribbed Flooring Structure with Steel Profiled Decking. DonSTU. Application No. 200503027. Filed April 4, 2005. Published October 17, 2005. Bulletin No. 10. (In Russian).
6. Belyaeva S.Yu. Strength Calculation of Monolithic Reinforced Concrete Slabs with Double Profiled Decking. *Construction Structures: Interdepartmental Scientific and Technical Collection of Research Papers*. Kyiv: NIISK, 2005, issue 63, pp. 37–42. (In Russian).
7. SP 260.1325800.2016. Cold-formed thin-walled steel profile and galvanized corrugated plate constructions. Design rules. Moscow: Standardinform Publ., 2016. (In Russian).
8. SP 14.13330.2018. Seismic building design code. Updated version of SNIIP II-7-81*. Moscow: Standardinform Publ., 2018. (In Russian).
13. Ayhan D., Schafer B.W. Cold-formed steel member bending stiffness prediction. *Journal of Constructional Steel Research*. 2015, vol. 115, pp. 148–159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.07.004>
14. Liu O., Peterman K.D., Yu C., Schafer B.W. Impact of construction details on OSB-sheathed cold-formed steel framed shear walls. *Journal of Constructional Steel Research*. 2014, vol. 101, pp. 114–123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2014.05.003>
15. Ayhan D., Qin Y., Torabian S., Schafer B.W. Characterizing joist-ledger performance for cold-formed steel light frame construction. *Proceedings of the Eighth International Conference on Advances in Steel Structures*. Lisbon, Portugal, July 22–24. 2015, 15 p.
16. Schafer B.W. Seismic response and engineering of cold-formed steel framed buildings. *Proceedings of the Eight International Conference on Advances in Steel Structures*. Lisbon, Portugal, July 22–24. 2015, 22 p.
17. Peterman K.D., Schafer B.W. Experimental determination of base shear from full-scale shake table testing of two cold-formed steel framed buildings. *Proceedings of the 8th International Conference on Behavior of Steel Structures in Seismic Areas – STESSA 2015*. Shanghai, China, July 1–4. 2015.
18. Bian G., Padilla-Llano D.A., Leng J., Buonopane S.G., Moen C.D., Schafer B.W. OpenSEES modeling of cold formed steel framed wall system. *Proceedings of the 8th International Conference on Behavior of Steel Structures in Seismic Areas – STESSA 2015*. Shanghai, China, July 1–4. 2015. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23911.65441>
19. Swensen S., Deierlein G.G., Miranda E. Behavior of screw and adhesive connections to gypsum wallboard in wood and cold-formed steel-framed wall-joints. *Journal of Structural Engineering*. 2016, vol. 142, issue 4, E4015002. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001307](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001307)

20. Ye J., Wang X., Zhao M. Experimental study on shear behavior of screw connections in CFS sheathing. *Journal of Constructional Steel Research*. 2016, vol. 121, pp. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.12.027>
21. Fiorino L., Macillo V., Landolfo R. Experimental characterization of quick mechanical connecting systems for cold-formed steel structures. *Advances in Structural Engineering*. 2017, vol. 20, issue 7, pp. 1098–1110. DOI: <https://doi.org/10.1177/1369433216671318>
22. Fiorino L., Pali T., Bucciero B., Macillo V., Terracciano M.T., Landolfo R. Experimental study on screwed connections for sheathed CFS structures with gypsum or cement based panels. *Thin-Walled Structures*. 2017, vol. 116, pp. 234–249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2017.03.031>
23. Jenkins C., Soroushian S., Rahmanishamsi E., Maragakis E.M. Experimental fragility analysis of cold-formed steel-framed partition wall systems. *Thin-Walled Structures*. 2016, vol. 103, pp. 115–127.
24. Wang X., Pantoli E., Hutchinson T.C., Restrepo J.I., Wood R.L., Hoehler M.S., Grzesik P., Sesma F.H. Seismic performance of cold-formed steel wall systems in a full-scale building. *Journal of Structural Engineering*. 2015, vol. 141, no. 10, 04015014. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001245](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001245)
25. Magliulo G., Petrone C., Capozzi V., et al. Seismic performance evaluation of plasterboard partitions via shake table tests. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2014, vol. 12, pp. 1657–1677. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9567-8>
26. Bubis A.A., Giziattullin I.R., Dottuev A.I., Nazmeeva T.V. Seismic resistance of frame-cladding buildings with a cold-formed galvanized steel profile framing. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2021, vol. 31, no. 4, pp. 98–109. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4\(31\)-98-109](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4(31)-98-109)
27. Giziattullin I.R. Experimental study on seismic performance of cold-formed steel shear walls. *Scientific Potential of the Construction Industry: Proceedings of the II Scientific and Practical Conference*, September 22, 2021. Moscow: JSC Research Center of Construction Publ., 2021, pp. 13–17. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.37538/2713-1157-2021-13-17>
28. Giziattullin I.R. Seismic resistance of frame-cladding buildings having cold-formed galvanized steel construction: review and analysis of current status. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022, vol. 32, no. 1, pp. 30–52. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-30-52](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-30-52)
29. Giziattullin I.R. Seismic resistance of frame-cladding buildings having cold-formed galvanized steel construction. *Bulletin of the International Association of Experts on Seismic-Resistant Construction*. 2022, no. 1 (13), 19–49. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.38054/iaeee-202203>
30. Nikolaidou V., Latreille P., Rogers C.A., Lignos D.G. Characterization of cold-formed steel framed/woodsheathed floor and roof diaphragm structures. *Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, 16WCEE*. Santiago, Chile, 9–13 January 2017. 2017, p. 452.
31. Baldassino N., Bernardi M., Zandonini R., Zordan M. Study of cold-formed steel floor systems under shear loadings. *Proceedings of the Eighth International Conference on Thin-Walled Structures (ICTWS 2018)*. Lisbon, Portugal, 24–27 July 2018.
32. Fiorino L., Macillo V., Landolfo R. Shake table tests of a full-scale two-story sheathing-braced cold-formed steel building. *Engineering Structures*. 2017, vol. 151, pp. 633–647. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.08.056>
33. Campiche A. Numerical modelling of CFS three-story strap-braced building under shaking-table excitations. *Materials*. 2021, vol. 14, no. 1, p. 118. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14010118>

Информация об авторах / Information about the authors

Александр Александрович Бубис, канд. техн. наук, руководитель центра исследований сейсмостойкости сооружений (ЦИСС), ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
Alexander A. Bubis, Cand. Sci. (Engineering), Chief of Structures Earthquake Resistance Research Center, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

Ильнур Разевич Гизятуллин[✉], заведующий сектором расчета сооружений лаборатории сейсмостойких сооружений и инновационных методов сейсмозащиты ЦИСС, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
 e-mail: ilnur@seismic-research.ru

Ilnur R. Giziattullin[✉], Head of the Structures Analysis Sector, Laboratory of Earthquake-Resistant Structures and Innovative Methods of Earthquake Protection, Structures Earthquake Resistance Research Center, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
 e-mail: ilnur@seismic-research.ru

Алексей Александрович Давиденко, канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории сейсмостойких сооружений и инновационных методов сейсмозащиты ЦИСС, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
Aleksey A. Davidenko, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, Laboratory of Earthquake-Resistant Structures and Innovative Methods of Earthquake

Protection, Structures Earthquake Resistance Research Center, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

Инна Артемовна Петросян, младший научный сотрудник лаборатории сейсмостойких сооружений и инновационных методов сейсмозащиты, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Inna A. Petrosyan, Junior Researcher, Laboratory of Earthquake-Resistant Structures and Innovative Methods of Earthquake Protection, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

Татьяна Вильсовна Назмеева, канд. техн. наук, руководитель проектов инженерного центра, Ассоциация развития стального строительства, Москва

Tat'yana V. Nazmeyeva, Cand. Sci. (Engineering), Project Manager, Engineering Center, Association for the Development of Steel Construction, Moscow

Александр Иванович Давиденко, д-р техн. наук, профессор кафедры проектирования и строительства сельскохозяйственных объектов, ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет имени К.Е. Ворошилова», Луганск

Alexander I. Davidenko, Dr. Sci. (Engineering), Professor of the Department of Design and Construction of Agricultural Facilities, FSBEI HE Lugansk State Agrarian University named after K.E. Voroshilov, Lugansk

Никита Игоревич Пушко, аспирант кафедры проектирования и строительства сельскохозяйственных объектов, ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет», Луганск

Nikita I. Pushko, Graduate student, Department of Design and Construction of Agricultural Facilities, FSBEI HE Lugansk State Agrarian University, Lugansk

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

А.А. ШИЛИН, А.Б. ЩУКИНА✉ООО «Системные продукты для строительства», улица Введенского, д. 1, стр. 1,
Москва, 117342, Российская Федерация

О РАЗРАБОТКЕ СВОДА ПРАВИЛ «БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ТОННЕЛЕЙ И МЕТРОПОЛИТЕНОВ. ПРАВИЛА РЕМОНТА»

Аннотация

Введение. Транспортные тоннели и метрополитены – сложные инженерные сооружения, подвергающиеся значительным нагрузкам и разнообразным воздействиям. Все это требует разработки системного подхода к обеспечению их эксплуатационной надежности. Бетонные и железобетонные конструкции, составляющие основу этих сооружений, нередко сталкиваются с повреждениями, снижающими их функциональные характеристики и безопасность. Актуализация и систематизация подходов к ремонту таких объектов стали насущными задачами в связи с обновлением нормативной базы, ростом требований к устойчивости объектов инфраструктуры и внедрением новых технологий.

Целью разработки проекта свода правил является формирование технических основ проектирования, организации и производства ремонтно-восстановительных работ бетонных и железобетонных конструкций, транспортных тоннелей и метрополитенов, как строящихся, так и находящихся в эксплуатации или выведенных из нее на короткий период, испытывающих постоянное воздействие воды и водяного пара, нагрузок и воздействий от окружающего массива горных пород, при возможности выполнения работ по восстановлению формы только на внутреннем контуре обделки или строительных конструкций заглубленных частей.

Материалы и методы. Проведен анализ действующих нормативных документов в области ремонта бетонных и железобетонных строительных конструкций, а также положений и рекомендаций международных организаций; изучены и учтены результаты НИОКР.

Результаты. Результатом является проект свода правил, который содержит основные положения по проектированию, организации и проведению ремонтных работ,

включая методы восстановления, усиления и герметизации конструкций. Проект охватывает современные технологии ремонта и учитывает особенности эксплуатации подземных транспортных сооружений. Документ прошел стадию публичного обсуждения, получил экспертные оценки профильных сообществ и ведомств и готовится к утверждению и вводу в действие.

Выводы. Введение в действие свода правил обеспечит повышение качества и надежности ремонтных работ, снижение затрат и увеличение межремонтных сроков, способствуя устойчивому развитию транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, бетонные конструкции, транспортные сооружения, тоннели, метрополитены, правила ремонта

Для цитирования: Шилин А.А., Щукина А.Б. О разработке свода правил «Бетонные и железобетонные конструкции транспортных сооружений тоннелей и метрополитенов. Правила ремонта» // *Бетон и железобетон*. 2024. № 6 (625). С. 20–26. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6\(625\)-20-26](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6(625)-20-26). EDN: AOFMZU

Вклад авторов

Шилин А.А. – разработка проекта документа.

Щукина А.Б. – участие в разработке проекта документа.

Финансирование

Финансирование осуществлялось за счет средств федерального бюджета.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 21.11.2024

Поступила после рецензирования 14.12.2024

Принята к публикации 19.12.2024

ON THE DEVELOPMENT OF THE CODE OF PRACTICE "CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF TRANSPORT FACILITIES, TUNNELS, AND METRO SYSTEMS. REPAIR REGULATIONS"

Abstract

Introduction. Transport tunnels and metro systems are complex engineering structures subjected to significant loads and diverse environmental impacts, necessitating a systematic approach to ensuring their operational reliability. Concrete and reinforced concrete structures, which form the backbone of these facilities, frequently experience damage that compromises their functional characteristics and safety. The need to update and systematize approaches to repairing of such structures has become urgent due to updating of the regulatory framework, increasing demands for infrastructure resilience, and the adoption of advanced technologies.

The aim. The objective of developing the draft Code of Practice is to establish the technical foundations for designing, organizing, and conducting of the repair and restoration work on concrete and reinforced concrete structures of transport tunnels and metro systems. This applies to structures under construction, in operation, or temporarily taken out of service, which are subject to constant exposure to water and water vapor, loads, and impacts from surrounding rock masses. The work also considers the possibility of restoration being limited to the internal contour of the lining or the structural elements of subsurface sections.

Materials and methods. As part of the work, an analysis of existing regulatory documents in the field of repair of concrete and reinforced concrete structures was carried out, along with the review of provisions and recommendations of international organizations. Additionally, the results of research and development (R&D) were studied and taken into account.

Results. The result of the work is a Draft Code of Practice that includes key provisions for the design, organization, and implementation of repair works, including methods for

restoration, reinforcement, and sealing of the structures. The project incorporates modern repair technologies and takes into account the operational specifics of underground transport facilities. The document has undergone a stage of public discussion, received expert evaluations from professional communities and authorities, and is being prepared for approval and implementation.

Conclusions. The implementation of the Code of Practice will enhance the quality and reliability of repair works, reduce costs, and extend the intervals between repairs, thereby contributing to the sustainable development of transport infrastructure.

Keywords: reinforced concrete structures, concrete structures, transportation facilities, tunnels, metro systems, repair regulations

For citation: Shilin A.A., Shchukina A.B. On the development of the code of practice "Concrete and reinforced concrete structures of transport facilities, tunnels, and metro systems. Repair regulations". *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 6 (625), pp. 20–26. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6\(625\)-20-26](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6(625)-20-26). EDN: AOFMZ

Authors contribution statement

Shilin A.A. – development of the document draft.

Shchukina A.B. – participation in the development of the document draft.

Funding

The funding was provided from the federal budget.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 21.11.2024

Revised 14.12.2024

Accepted 19.12.2024

Коллективом сотрудников ООО «Системные продукты для строительства» при участии АО «НИЦ «Строительство», Общероссийской общественной организации «Тоннельная ассоциация России», ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации», ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», АО «Мосинжпроект», ГУП «Московский метрополитен», филиала ОАО «РЖД» Центральная дирекция инфраструктуры был разработан проект свода правил «Бетонные и железобетонные конструкции транспортных сооружений тоннелей и метрополитенов. Правила ремонта».

Необходимость работы обусловлена формированием современного нормативного подхода к обеспечению безопасности, надежности и долговечности строительных конструкций транспортных тоннелей и метрополитенов, а также совершенствования методов ремонта данных объектов.

Современные экономические, технологические и законодательные изменения требуют пересмотра действующих нормативных требований в части выполнения ремонтно-восстановительных работ, особенно с учетом специфики подземных сооружений.

Значительные изменения в нормативно-правовом регулировании, включая поправки, внесенные в ФЗ № 384 [1], а также изменения, утвержденные ПП РФ № 589 [2], требуют пересмотра требований к проектной документации, капитальному ремонту и эксплуатации объектов.

Существующий СП 349.1325800.2017 [3] охватывает принципы ремонта и усиления бетонных и железобетонных конструкций, однако не учитывает специфических условий эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов. Особую сложность представляют ремонтные работы в тоннелях, где конструкции подвержены различным типам нагрузок и воздействиям, а также ограничение возможности доступа к рабочим поверхностям. Это требует корректировки подходов к выбору методов ремонта и материалов для обеспечения защиты и восстановления конструкций.

Разработанный проект свода правил призван устранить противоречия в нормативной базе и сформировать унифицированный подход к проведению ремонтно-восстановительных работ бетонных и железобетонных строительных конструкций транспортных тоннелей и метрополитенов. Основное внимание уделено созданию эффективных инструментов для обеспечения безопасности, увеличения межремонтных сроков и снижения затрат на капитальный ремонт и реконструкцию.

Одновременно документ поддерживает параметрический подход нормирования, позволяющий участникам проектирования выбирать оптимальные инструменты для достижения установленных параметров надежности, долговечности и безопасности.

При разработке свода правил были учтены положения ведомственных строительных норм, а также положения и рекомендации следующих международных

организаций в области эксплуатации, ремонта, реконструкции и усиления бетонных и железобетонных конструкций: Американский институт бетона (ACI) [4–7]; Международный институт ремонта бетона (ICRI) [8]; Международная ассоциация железобетона (FIB) [9–18].

Ниже приведены отдельные положения разработанного проекта свода правил, представляющие собой наибольший интерес для профессионального сообщества.

Раздел 1 «Область применения». Свод правил устанавливает требования к приведению в нормативное состояние бетонных и железобетонных строительных конструкций транспортных тоннелей и метрополитенов. Документ охватывает железнодорожные тоннели шириной колеи 1520 мм, автомобильные тоннели на дорогах общего пользования, городские транспортные тоннели, а также метрополитены и их станционные комплексы, вспомогательные сооружения и депо.

Предусматривается использование требований свода правил при разработке проектной и технической документации для выполнения текущего содержания, ремонта (текущего и капитального) и работ в рамках нового строительства.

Свод правил исключает объекты, подпадающие под действие Технического регламента Таможенного союза (ТР ТС 014/2011) «Безопасность автомобильных дорог» [19], но допускает его применение в случаях, когда это не противоречит требованиям данного регламента и межгосударственным стандартам, входящим в его доказательную базу.

Раздел 3 «Термины, определения и сокращения» включает термины и определения, направленные на обеспечение единства понимания ключевых понятий между различными ведомственными структурами, к которым относятся метрополитены, железнодорожные и автомобильные тоннели. Это позволяет унифицировать подходы к проектированию, эксплуатации и ремонту строительных конструкций транспортных тоннелей, минимизируя разночтения и обеспечивая взаимодействие всех участников. Термины охватывают основные аспекты надзора, эксплуатации, ремонта и использования конформативных технологий, что делает их применимыми для широкого спектра задач в рамках различных систем.

Раздел 4 «Общие положения» устанавливает ключевые принципы и требования для разработки и реализации решений, связанных с ремонтом транспортных тоннелей и метрополитенов. Основное внимание уделено соблюдению механической, пожарной и экологической безопасности, а также учету влияния на здоровье людей. Все принимаемые решения должны быть обоснованы результатами обследований и изысканий, проведенных в соответствии с действующими нормативными документами. Учитываются эксплуатационные нагрузки, изменения окружающей среды, реологические свойства материалов и влияние соседних

объектов в условиях плотной городской застройки. Решения должны быть экономически обоснованы, этапность и контроль выполнения работ обязательны, включая освидетельствование скрытых работ. Дополнительно подчеркивается необходимость мониторинга состояния сооружений и инженерных коммуникаций в зоне влияния ремонтных работ. Эти меры направлены на обеспечение надежности, долговечности и безопасности транспортных сооружений с учетом их функциональных и эксплуатационных особенностей.

Раздел 5 «Общие правила ремонта основных несущих элементов и конструкций» содержит основные принципы и правила, применяемые при ремонте бетонных и железобетонных конструкций транспортных тоннелей и метрополитенов. Особое внимание уделено использованию конформативных технологических решений, которые учитывают преимущества и недостатки различных подходов на этапе проектирования. Решения по выбору и комплектации технологических процессов ремонта должны быть основаны на технологических маршрутах, которые учитывают техническое состояние конструкций, доступную элементную базу, категории технического состояния, прогноз их изменения, а также исчерпание эксплуатационной надежности.

Эксплуатационная надежность конструкций линейных сооружений определяется согласно категории технического состояния, установленной в ГОСТ 31937-2024 [20]. Основными критериями перехода конструкций из одной категории состояния в следующую (вплоть до аварийного) являются такие факторы, как увеличение притока воды, появление трещин, разрушение бетона под воздействием агрессивных вод, отслоение защитного слоя бетона и кор-

розия арматуры в несущих элементах. Эти критерии обеспечивают объективную оценку состояния конструкций и служат основой для принятия обоснованных решений по ремонту.

Раздел 6 «Методы ремонта трещин бетонных и железобетонных конструкций транспортных тоннелей и метрополитенов» описывает методы ремонта трещин в бетонных и железобетонных конструкциях тоннелей и метрополитенов, предлагая системный подход к выбору технологий, материалов и реализации работ в зависимости от условий эксплуатации. Каждый метод в разделе может быть заменен альтернативным, в зависимости от ширины раскрытия трещин, степени их увлажнения, эксплуатационных требований к конструкции, а также применяемых материалов. Такой подход позволяет гибко адаптировать технологии ремонта к специфическим условиям и требованиям объекта, обеспечивая надежность, долговечность и экономическую эффективность восстановительных работ.

Описание методов и их особенности приведены в табл. 1.

Раздел 7 «Методы восстановления форм и несущей способности бетонных и железобетонных конструкций транспортных тоннелей и метрополитенов» посвящен методам восстановления формы и усиления бетонных и железобетонных конструкций транспортных тоннелей и метрополитенов. В нем подробно описаны различные подходы к восстановлению геометрии и несущей способности конструкций, включая использование опалубки, нанесение ремонтных составов различными методами, замену дефектных элементов и применение композитных материалов.

Таблица 1

Table 1

Методы ремонта трещин бетонных и железобетонных конструкций тоннелей и метрополитенов
Methods for repairing of the cracks in concrete and reinforced concrete structures of tunnels
and metro systems

Метод	Область применения	Применяемые материалы	Особенности
Метод заполнения трещин под действием гравитации (6.2)	Трещины с раскрытием до 0,3 мм	Минеральные и (или) органические инъекционные материалы, как с наполнителем, так и без	Дополняется методами 6.3, 6.4 и 6.5. Эффективен при минимальной подвижности трещин и отсутствии значительных внешних нагрузок
Метод уплотнения деформационных швов (6.3)	Деформационные швы тоннельных сооружений, подпорных стен, конструкционные швы между тубингами	Эластичные шнуры или другие упругие материалы с замкнутыми порами, обеспечивающие постоянное давление на контакте с бетонной поверхностью и способные воспринимать необходимое давление при последующем нагнетании инъекционных составов, полиуретановые и (или) акрилатные составы	Требует учета сезонных изменений ширины шва и выбора профиля с оптимальной компрессией

Продолжение таблицы 1

Метод	Область применения	Применяемые материалы	Особенности
Метод инъектирования под давлением (6.4)	Трещины с раскрытием от 0,2–0,3 мм и более, крупные пустоты, к которым имеются высокие требования по несущей способности, герметичности и долговечности	Материалы на полимерной и (или) минеральной основе	Обеспечивает восстановление несущей способности, важен контроль давления и расхода материала
Метод заполнения без избыточного давления (6.5)	Бетонные и железобетонные конструкции транспортных тоннелей и метрополитенов с насыщенностью водой, с трещинами с раскрытием более 0,8 мм	Минеральные или полимерные составы с высокой текучестью	Применим для участков с ограниченным доступом

Особое внимание уделено выбору методов в зависимости от состояния конструкции, характера повреждений и эксплуатационных условий. Рассмотрены способы ручного нанесения растворов, пневматического нанесения (сухого и мокрого), а также методы раздельного бетонирования и замены элементов. Каждый из методов сопровождается описанием применяемых материалов, оборудования и требований к качеству.

Выводы

Разработка проекта свода правил «Бетонные и железобетонные конструкции транспортных сооружений тоннелей и метрополитенов. Правила ремонта» стала необходимым шагом для систематизации подходов к ремонту сложных инженерных объектов. Каждый из методов ремонта адаптирован к эксплуатационным условиям и типу повреждений, что обеспечивает гибкость в применении и высокую эффективность решений.

Проект свода правил подчеркивает важность выбора подходящих материалов для проведения ремонтных работ, а также необходимость строгого контроля качества на всех этапах.

Реализация предложенных технологий и методов способна значительно повысить качество и надежность ремонтных работ, сократить затраты на их выполнение и увеличить межремонтные сроки. Это особенно важно в условиях интенсивной эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры, где минимизация простоев играет ключевую роль.

Список литературы

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (с изменениями на 25 декабря 2023 года) // *Российская газета*. 2009. № 255. С. 31 декабря. Собрание законодательства Российской Федерации. 2010. № 1. Ст. 5. Режим доступа:

<https://nps2.cntd.ru/kodeks02/> (дата обращения: 01.11.2024).

2. О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 06.05.2024 № 589. Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 10.05.2024, № 0001202405100010. Собрание законодательства Российской Федерации. 2024. № 20. Ст. 2624. Режим доступа: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 01.11.2024).
3. СП 349.1325800.2017. Конструкции бетонные и железобетонные. Правила ремонта и усиления. Москва, 2017.
4. ACI 116R-00. Cement and Concrete Terminology. Reported by ACI Committee 116. ACI Publication SP-19 (00).
5. ACI Manual of Concrete Practice. Part 7-2017. ACI 446.4R-04 to ACI 5447R-16. Part 7 of 8. American Concrete Institute.
6. ACI 546.3R-06. Guide for the Selection of Materials for the Repair of Concrete. ACI Committee 546, American Concrete Institute.
7. ACI Manual of Concrete Practice. Part 5-2017. ACI 350.1-10 to ACI 374.3R-16. Part 5 of 8. American Concrete Institute.
8. ICRI\ACI. Concrete Repair Manual. Joint publication by International Concrete Repair Institute and American Concrete Institute. Detroit, MI, 1999.
9. FIB Bulletin No. 102. Guide for Protection and Repair of Concrete Structures. Guide for Good Practice. March 2022, 291 p.
10. FIB Bulletin No. 03. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Volume 3: Durability – Design for Fire Resistance – Member Design – Assessment, Maintenance and Repair – Practical Aspects. December 1999.

11. FIB Bulletin No. 17. Management, Maintenance and Strengthening of Concrete Structures. Technical Report. April 2002, 180 p.
12. FIB Bulletin No. 34. Model Code for Service Life Design. Model Code. February 2006, 116 p.
13. FIB Bulletin No. 44. Concrete Structure Management: Guide to Ownership and Good Practice. February 2008, 210 p.
14. FIB Bulletin No. 59. Condition Control and Assessment of Reinforced Concrete Structures Exposed to Corrosive Environments (Carbonation/Chlorides). State-of-Art Report. May 2011, 80 p.
15. FIB Bulletin No. 53. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Second Edition. Volume 3: Design of Durable Concrete Structures. December 2009, 390 p.
16. FIB Bulletin No. 54. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Second Edition. Volume 4: Design of Concrete Buildings for Fire Resistance, Design of Members, Practical Aspects. October 2010, 196 p.
17. FIB Bulletin No. 52. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Second Edition. Volume 2: Basis of Design. January 2010, 350 p.
18. FIB Bulletin No. 51. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Second Edition. Volume 1: Design of Concrete Structures, Conceptual Design, Materials. November 2009, 306 p.
19. Технический регламент Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог»: [утв. решением Комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 г. № 827]. Официальный сайт Комиссии Таможенного союза. URL: <http://www.tsouz.ru> (дата обращения: 02.11.2024).
20. ГОСТ 31937-2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Москва: ФГБУ «РСТ», 2024.
4. ACI 116R-00. Cement and Concrete Terminology. Reported by ACI Committee 116. ACI Publication SP-19 (00).
5. ACI Manual of Concrete Practice. Part 7-2017. ACI 446.4R-04 to ACI 5447R-16. Part 7 of 8. American Concrete Institute.
6. ACI 546.3R-06. Guide for the Selection of Materials for the Repair of Concrete. ACI Committee 546, American Concrete Institute.
7. ACI Manual of Concrete Practice. Part 5-2017. ACI 350.1-10 to ACI 374.3R-16. Part 5 of 8. American Concrete Institute.
8. ICR/ACI. Concrete Repair Manual. Joint publication by International Concrete Repair Institute and American Concrete Institute. Detroit, MI, 1999.
9. FIB Bulletin No. 102. Guide for Protection and Repair of Concrete Structures. Guide for Good Practice. March 2022, 291 p.
10. FIB Bulletin No. 03. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Volume 3: Durability – Design for Fire Resistance – Member Design – Assessment, Maintenance and Repair – Practical Aspects. December 1999.
11. FIB Bulletin No. 17. Management, Maintenance and Strengthening of Concrete Structures. Technical Report. April 2002, 180 p.
12. FIB Bulletin No. 34. Model Code for Service Life Design. Model Code. February 2006, 116 p.
13. FIB Bulletin No. 44. Concrete Structure Management: Guide to Ownership and Good Practice. February 2008, 210 p.
14. FIB Bulletin No. 59. Condition Control and Assessment of Reinforced Concrete Structures Exposed to Corrosive Environments (Carbonation/Chlorides). State-of-Art Report. May 2011, 80 p.
15. FIB Bulletin No. 53. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Second Edition. Volume 3: Design of Durable Concrete Structures. December 2009, 390 p.
16. FIB Bulletin No. 54. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Second Edition. Volume 4: Design of Concrete Buildings for Fire Resistance, Design of Members, Practical Aspects. October 2010, 196 p.
17. FIB Bulletin No. 52. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Second Edition. Volume 2: Basis of Design. January 2010, 350 p.
18. FIB Bulletin No. 51. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Second Edition. Volume 1: Design of Concrete Structures, Conceptual Design, Materials. November 2009, 306 p.
19. Technical Regulation of the Customs Union "Road Safety": [approved by Decision of the Customs Union Commission dated October 18, 2011, No. 827]. Official website of the Customs Union Commission. URL: <http://www.tsouz.ru> (accessed: 02 November 2024).

References

1. Technical regulations on the safety of buildings and structures (as amended on December 25, 2023). *Rossiyskaya Gazeta*. 2009. No. 255. December 31. Collection of legislation of the Russian Federation. 2010. No. 1. Art. 5. Available at: <https://nps2.cntd.ru/kodeks02/> (accessed: 01 November 2024). (In Russian).
2. On amendments to certain acts of the Government of the Russian Federation: Decree of the Government of the Russian Federation of May 6, 2024 No. 589. Official Legal Information Portal www.pravo.gov.ru, May 10, 2024, No. 0001202405100010. Collection of legislation of the Russian Federation. 2024. No. 20. Art. 2624. Available at: <http://www.pravo.gov.ru> (accessed: 01 November 2024). (In Russian).
3. SP 349.1325800.2017. Concrete and reinforced concrete structures. Rules of structural reinforcement and repair. Moscow, 2017. (In Russian).

20. State Standard 31937-2024. Buildings and structures. Rules for inspection and monitoring of technical condition. Moscow: FGUP "RST", 2024.

Информация об авторах
Information about the authors

Андрей Александрович Шилин, д-р техн. наук, генеральный директор, ООО «Системные продукты для строительства», Москва

Andrey A. Shilin, Dr. Sci. (Engineering), General Director, LLC "System Products for Construction", Moscow

Анастасия Борисовна Щукина[✉], заместитель генерального директора, ООО «Системные продукты для строительства», Москва

e-mail: shchukina.sps@gmail.com

Anastasia B. Shchukina[✉], Deputy General Director, LLC "System Products for Construction", Moscow

e-mail: shchukina.sps@gmail.com

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

**З.У. БЕППАЕВ✉, Л.Х. АСТВАЦАТУРОВА, С.А. КОЛОДЯЖНЫЙ,
С.А. ВЕРНИГОРА, В.В. ЛОПАТИНСКИЙ**

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА НА РЕЦИКЛИНГОВОМ (БЕТОННОМ) ЩЕБНЕ

Аннотация

Введение. Одним из важнейших резервов экономии материальных и энергетических ресурсов в области строительной индустрии является повторное вовлечение в сферу производства рециклингового (бетонного) щебня, в частности для производства тяжелых бетонов классов В7,5–В35 общестроительного назначения. Решение этой проблемы практически позволит обеспечить внедрение важнейшего принципа безотходности технологических процессов (при производстве сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций) и создать условия для выполнения важных социальных, экономических и экологических задач.

Цель. Проведение экспериментальных исследований по определению нормируемых характеристик долговечности бетона и железобетона на основе рециклингового (бетонного) щебня и природного песка, а также их сравнение с аналогичными по составу бетонами на основе природных щебня и песка.

Материалы и методы. Для проведения исследований в качестве крупного заполнителя применяли рециклинговый (бетонный) и гранитный (природный) щебень по ГОСТ 8267-93. В качестве мелкого заполнителя применяли природный песок по ГОСТ 8736-2014. В качестве вяжущего применяли портландцемент по ГОСТ 31108-2020. В качестве добавки применяли суперпластификатор С-3 по ГОСТ 24211-2008. Воду затворения применяли по ГОСТ 23732-2011.

Результаты. Бетоны на основе рециклингового щебня и природного песка по сравнению с аналогичным по составу бетоном на основе природного щебня и природного песка обладают несколько меньшей прочностью, плотностью и идентичными показателями по водонепроницаемости и морозостойкости.

Выводы. По результатам проведенной работы выявлено, что бетон на основе рециклингового щебня и природного песка обеспечивает первоначальное пас-

сивное состояние стальной арматуры и длительно сохраняет (более 100 лет) пассивное состояние стальной арматуры при толщине защитного слоя бетона 10 мм. Бетоны на основе рециклингового щебня и природного песка могут использоваться как традиционные конструкционные бетоны общестроительного назначения.

Ключевые слова: рециклинг, рециклинговый щебень, продукты утилизации бетонных и железобетонных конструкций, параметры долговечности бетона и железобетона, эффективный коэффициент диффузии углекислого газа, пассивное состояние арматуры

Для цитирования: Беппаев З.У., Аствацатурова Л.Х., Колодяжный С.А., Вернигора С.А., Лопатинский В.В. Характеристики долговечности бетона и железобетона на рециклинговом (бетонном) щебне // *Бетон и железобетон*. 2024. № 6 (625). С. 27–39. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6\(625\)-27-39](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6(625)-27-39). EDN: ZMYRQC

Вклад авторов

Беппаев З.У. – руководство работой, анализ результатов, подготовка статьи.

Аствацатурова Л.Х. – анализ результатов, подготовка и оформление статьи.

Колодяжный С.А. – выполнение экспериментальной части, подготовка статьи.

Вернигора С.А., Лопатинский В.В. – выполнение экспериментальной части.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 04.12.2024

Поступила после рецензирования 17.12.2024

Принята к публикации 19.12.2024

Z.U. BEPPAEV✉, L.H. ASTVATSATUROVA, S.A. KOLODYAZHNY,
S.A. VERNIGORA, V.V. LOPATINSKY

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

DURABILITY CHARACTERISTICS OF CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE WITH RECYCLING (CONCRETE) RUBBLE

Abstract

Introduction. One of the most important reserves for saving material and energy resources in the construction industry is the re-involvement of recycled (concrete) crushed stone in the production sector, in particular for the production of heavy concrete of classes B7,5–B35 for general construction purposes. Solving this problem will practically ensure the implementation of the most important principle of waste-free technological processes (in the production of precast and monolithic concrete and reinforced concrete structures) and create conditions for fulfilling important social, economic and environmental tasks.

Aim. Conducting experimental studies to determine the standardized durability characteristics of concrete and reinforced concrete based on recycled (concrete) crushed stone and natural sand, as well as comparing them with similar concretes based on natural crushed stone and sand.

Materials and methods. For the research, recycled (concrete) and granite (natural) crushed stone according to State Standard 8267-93 were used as coarse aggregates. Natural sand according to State Standard 8736-2014 was used as a fine aggregate. Portland cement according to State Standard 31108-2020 was used as a binder. Superplasticizer C-3 according to State Standard 24211-2008 was used as an additive. The mixing water was used according to State Standard 23732-2011.

Results. Concretes based on recycled crushed stone and natural sand have slightly lower strength, density and identical indicators of water resistance and frost resistance compared to similar concrete based on natural crushed stone and natural sand.

Conclusions. Based on the results of the work carried out, it was revealed that concrete based on recycled crushed stone and natural sand ensures the initial passive state of steel reinforcement and retains the passive state of steel

reinforcement for a long time (more than 100 years) with a protective layer thickness of 10 mm. Concretes based on recycled crushed stone and natural sand can be used as traditional structural concretes for general construction purposes.

Keywords: recycling, recycled crushed stone, recycling products of concrete and reinforced concrete structures, durability parameters of concrete and reinforced concrete, effective carbon dioxide diffusion coefficient, passive condition of reinforcement

For citation: Beppaev Z.U., Astvatsaturova L.H., Kolodyazhny S.A., Vernigora S.A., Lopatinsky V.V. Durability characteristics of concrete and reinforced concrete with recycling (concrete) rubble. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 6 (625), pp. 27–39. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6\(625\)-27-39](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6(625)-27-39). EDN: ZMYRQC

Authors contribution statement

Beppaev Z.U. – management of the work, analysis of the results, preparation of the article.

Astvatsaturova L.H. – analysis of the results, preparation and design of the article.

Kolodyazhny S.A. – implementation of the experimental part, preparation of the article.

Vernigora S.A., Lopatinsky V.V. – implementation of the experimental part.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 04.12.2024

Revised 17.12.2024

Accepted 19.12.2024

Введение

Одним из важнейших резервов экономии материальных и энергетических ресурсов в области строительной индустрии является повторное вовлечение в сферу производства рециклинговых щебня и песка, в частности для производства тяжелых бетонов классов В7,5–В35 общестроительного назначения. Решение этой проблемы практически позволит обеспечить внедрение важнейшего принципа безотходности технологических процессов (при производстве сборных и монолитных бетонных, а также железобетонных конструкций и изделий) и создать условия для выполнения важных социальных, экономических и экологических задач.

В Российской Федерации ежегодный объем строительных отходов, образующихся в результате ремонта, реконструкции и сноса зданий, составляет 15–17 млн т и в ближайшие годы увеличится до 35–45 млн т. В частности, при сносе одного 5-этажного дома образуется около 15 тыс. тонн отходов. Такие строительные отходы, как правило, перевозятся на специальные полигоны и мусорные свалки. За рубежом концепция использования вторичных ресурсов получила широкое распространение к середине 80-х годов прошлого века.

Несмотря на то что в настоящее время в РФ функционируют десятки дробильно-сортировочных установок по переработке бетонного лома и в целом накоплен положительный опыт применения вторичного щебня и песка, проблема прогнозной оценки их свойств и свойств бетонов на их основе при длительной эксплуатации и обоснования направлений их использования в строительстве изучена недостаточно.

В развитых странах мира уделяется значительное внимание проблеме отходов, образующихся при утилизации бетонных и железобетонных конструкций и изделий. Концепция стран Евросоюза, нашедшая отражение в нескольких директивах, принятых в начале 90-х годов прошлого века, заключается в создании системы рециклинга и вторичном использовании материалов. Таким образом предотвращается образование отходов, оптимизируется процесс их конечной обработки. В этих странах осуществляется практика государственного регулирования в вопросах использования отходов, направленная на постоянную разработку и совершенствование технологических процессов по повторному включению отходов в производственный цикл после их первичного использования. Государственное регулирование предусматривает высокую стоимость захоронения отходов на свалках и введение специальных налоговых ставок для производителей, не применяющих в производстве вторичные ресурсы. Во многих странах Европы при приеме отходов на полигоны требуют официальных доказательств того, что их невозможно переработать. Складирование строительных отходов

на свалках стоит довольно дорого, их дешевле перерабатывать, чем вывозить. Европейский союз и национальные политики большинства европейских стран поощряют местные органы власти к сведению до минимума производства отходов строительства и сноса и к поиску путей создания альтернативной замены природным ресурсам. В Великобритании, в частности с целью сохранения природных ресурсов и стимулирования рециклинга, введен налог на применение каждой тонны природного заполнителя (первичного сырья) в размере 1,6 фунтов стерлингов. Большое значение применению рециклинговых заполнителей для производства бетона (waste management) придается и в Германии. Германия является первой страной, которая создала свои национальные рекомендации о рециклинговом бетоне.

В США существует закон о борьбе с твердыми отходами (в том числе из бетона и железобетона), ориентированный на производство из них вторичных материалов, принятый в 1976 г. Кроме этого, использование вторичного сырья поощряется на государственном уровне, запрещено захоронение отходов, произведенных на территории другого штата. В некоторых штатах устанавливается высокая плата за захоронение отходов. Стоимость переработки отходов во вторичное сырье значительно ниже, чем стоимость утилизации отходов, что является важным экономическим стимулом для создания новых технологий, позволяющих наладить безотходное производство. В США постоянно проводятся рыночные исследования, направленные на выявление и устранение технологических и экономических барьеров для использования вторичного сырья в процессе производства. К примеру, в результате подобного исследования были ликвидированы высокие тарифные ставки на транспортировку вторичного сырья.

В Японии уделяется особое внимание вопросам использования вторичного сырья. Высокие темпы развития промышленного производства, в том числе бетонных и железобетонных конструкций и изделий, привели к проблеме чрезвычайно высокого уровня загрязнения окружающей среды на рубеже 60-х годов прошлого века. В 1967 г. был принят «Основной закон об охране окружающей среды», к которому затем был принят ряд поправок. Основной концепцией закона является возложение обязанностей за переработку отходов на предприятия-производители отходов. Государство использует административные, финансовые и законодательные меры для стимулирования производителей к использованию вторичного сырья. Установлены определенные стандарты переработки промышленных отходов. К примеру, затопление отходов законодательно запрещено с целью предотвращения загрязнения водных объектов. В Японии создана определенная система в сфере переработки отходов, финансируемая государством. Основными направлениями рециклинга в Японии являются:

утилизация отходов в качестве сырья для изготовления исходного продукта, использование отходов для получения какой-либо товарной продукции, применение отходов для рециклингового бетона и железобетона. Активное внедрение в Японии системы рециклинга позволило создать новые рабочие места, появившиеся в результате расширения производства, снизить себестоимость производимой продукции, уменьшить расход первичных материальных и энергетических ресурсов.

Для Российской Федерации использование вторичных ресурсов и внедрение системы рециклинга в производственный процесс является относительно новым и перспективным направлением. В настоящее время переработка вторичных ресурсов не выделена в обособленный объект государственного регулирования – Федеральный закон № 89-ФЗ от 24 июня 1998 года «Об отходах производства и потребления» с изменениями [1], внесенными Федеральным законом от 28 июля 2012 г. № 128-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» [2], не рассматривает отходы как вторичные материальные ресурсы. Платежи за размещение отходов значительно ниже затрат, необходимых на совершенствование технологий. Необходимо повышение платежей за загрязнение окружающей среды и стоимости использования природных ресурсов, что позволит переориентировать предприятия на отказ от использования понятия «отходы» и внедрение в производство систем рециклинга.

Следует отметить, что в Распоряжении Правительства Российской Федерации № 868-р от 10 мая 2016 г. «Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года» отмечается низкий уровень вовлечения отходов производства и потребления в новое производство (раздел II, часть 8) [3]. Указом Президента Российской Федерации № 176 от 19 апреля 2017 г. утверждена «Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» [4]. Одним из приоритетных направлений в этом документе является «развитие системы эффективного обращения с отходами производства и потребления, создание индустрии утилизации, в том числе повторного применения таких отходов».

Бетоны на рециклинговых заполнителях представляют собой одну из актуальных тем исследований в области «зеленого (экологического) строительства» по ГОСТ Р 70346-2022 «Зеленые» стандарты. Здания многоквартирные жилые «зеленые». Методика оценки и критерии проектирования, строительства и эксплуатации» [5].

Проблемами утилизации отходов некондиционных бетонных и железобетонных конструкций в свете получения вторичного щебня и отсева для их последующего использования в Российской Федерации начали заниматься в конце 70-х годов XX века.

В НИИЖБ в конце 70-х – в начале 80-х годов XX века были проведены комплексные исследования заполнителей из дробленного тяжелого бетона и бетонов на их основе. По результатам проведенных исследований были разработаны «Рекомендации по приготовлению и применению бетонов на заполнителях из дробленного тяжелого бетона» [6]. Рекомендации были разработаны под общим руководством д-р техн. наук Б.А. Крылова и Л.А. Малининой в 1982 г. В середине 80-х годов XX века в НИИЖБ были проведены комплексные исследования по переработке и использованию отходов предприятий сборного железобетона. По результатам проведенных исследований были разработаны «Рекомендации по переработке и использованию отходов предприятий сборного железобетона» [7]. Рекомендации были разработаны под общим руководством д-р техн. наук Б.А. Крылова и Б.В. Гусева в 1987 г. В ходе проведения этих исследований были выявлены основные свойства заполнителей из дробленного тяжелого бетона и бетонов на их основе.

В [8] представлены результаты исследования физико-механических свойств вторичного щебня из дробленного бетонного лома. Установлено, что во вторичном щебне присутствуют разнородные по составу и свойству зерна минерального заполнителя, их сростки с цементно-песчаным камнем и агрегаты цементно-песчаного камня. Вторичный щебень менее прочен и менее морозостоек, чем первичный, из-за наличия в нем цементно-песчаного камня. В [9] рассматривается вопрос комплексного применения бетонного лома в качестве щебня (вторичного) взамен природного в цементных бетонах класса по прочности при сжатии выше В35, а также в качестве вторичного вяжущего. Установлено, что вторичный щебень из бетонного лома с маркой по дробимости М600 можно использовать для получения бетона класса В40 и морозостойкостью F₂₀₀. По свойствам он не уступает бетону на природном заполнителе с маркой по дробимости М1200. В [10] анализируются перспективы применения бетонных отходов в технологии композиционных материалов. Обосновывается возможность использования вторичного минерального сырья из дробленного бетона в качестве крупного заполнителя для получения композиционных материалов классом до В25. В [11] рассмотрены проблемы образования большого количества отходов строительства, не используемых вторично. Анализ строительных площадок показал, что большая часть отходов – это бой бетона, который обладает разными прочностными и другими характеристиками. Проведен сравнительный анализ нормируемых характеристик вторичного щебня с природным щебнем. Оценена возможность использования вторичного щебня при возведении и реконструкции элементов гидротехнических сооружений.

Общие нормы и требования, регламентирующие использование вторичного строительного сырья (отходов), в том числе рециркулируемых материалов,

заложены в ряде действующих отечественных нормативно-технических и методических документов.

ГОСТ Р 56020-2020 «Бережливое производство. Основные положения и словарь» [12]. Положения этого ГОСТ могут использоваться при организации предприятий по утилизации бетонных и железобетонных конструкций и изделий с выпуском вторичного строительного сырья в качестве кондиционного материала.

ГОСТ Р 54098-2010 «Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения» [13] устанавливает основные термины и их определения в области обращения с отходами как с постоянно пополняемыми (условно возобновляемыми) вторичными материальными ресурсами, при использовании которых в виде сырья хозяйствующий субъект (юридическое лицо или индивидуальный предприниматель) добывается ресурсо- и энергосбережения в процессах хозяйственной деятельности с одновременным снижением техногенной нагрузки на окружающую среду. Стандарт распространяется на вторичные материальные ресурсы, образующиеся из отходов производства и потребления в процессах хозяйственной деятельности.

В ГОСТ 25192-2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования» [14] указана возможность повторного использования рециркулируемых материалов в производстве бетонов, введено понятие нового вида бетона – рециклированного. Это бетон, изготовленный с применением утилизированных вяжущих, заполнителей и воды.

ГОСТ 32495-2013 «Щебень, песок и песчано-щебеночные смеси из дробленого бетона и железобетона. Технические условия» [15] регламентирует области применения щебня, песка и песчано-щебеночных смесей из дробленого бетона, в том числе в качестве заполнителей бетона и строительного раствора различного назначения. Этот стандарт также устанавливает технические характеристики, правила приемки, методы испытаний, требования к транспортированию и хранению названных материалов.

По результатам анализа рассмотренных источников можно констатировать, что рециклинговые заполнители (щебень и песок) представляют собой ценный ресурс для производства бетонных и железобетонных конструкций. Их использование для замены природных заполнителей в бетоне может принести значительные экономические, энергетические и экологические преимущества. Производство и транспортировка природных заполнителей являются причиной выбросов, представляющих 0,0046 млн т углеродного эквивалента за каждую тонну природных заполнителей по сравнению с 0,0024 млн т углеродного эквивалента за тонну рециклинговых заполнителей. С учетом мирового потребления 25 млрд т заполнителей в год для производства бетона замена природных заполнителей на рециклинговые значительно сокращает выбросы в окружающую среду. Это преимуще-

ство будет более значимым с течением времени, поскольку истощение источников природных заполнителей инициирует их разработку с больших глубин и их поставки на большие расстояния, в то время как источники рециклинговых заполнителей обычно расположены поблизости к производителям и потребителям бетона.

Во всех рассмотренных научно-исследовательских работах в основном были изучены вопросы, связанные с прочностью бетонов на рециклинговых заполнителях, при этом вопросы, связанные с долговечностью таких бетонов, практически не изучены. В рассмотренных действующих отечественных нормативно-технических и методических документах указана возможность повторного использования рециркулируемых материалов в производстве бетонов. При этом в действующих нормативных документах практически отсутствуют требования к характеристикам долговечности бетонов на основе рециклингового щебня.

Отсутствие данных о долговечности бетонов не дает возможность прогнозировать сроки службы и эксплуатации в различных средах бетонных, а также железобетонных конструкций и изделий на основе рециклинговых заполнителей. Кроме этого, без изучения параметров долговечности таких бетонов нет возможности определять области их применения в строительной отрасли страны.

Целью работы являлось проведение экспериментальных исследований по определению нормируемых характеристик долговечности бетона и железобетона на основе рециклингового (бетонного) щебня и природного песка, а также их сравнение с аналогичными по составу традиционными бетонами на основе природных щебня и песка.

Материалы и методы

Для проведения исследований в качестве крупного заполнителя применяли рециклинговый (бетонный) щебень, выпускаемый ООО «РЕГРАД», фракцией 5–20 мм (марка по дробимости 600, средняя насыпная плотность 1175 кг/м³, водопоглощение 8,75 %), а также гранитный (природный) щебень фракцией 5–20 мм (марка по дробимости 1400, средняя насыпная плотность 1380 кг/м³, водопоглощение 2,4 %) производства АО «Каменногорское карьероуправление». Остальные нормируемые характеристики рециклингового (бетонного) щебня были идентичны характеристикам гранитного (природного) щебня и соответствовали ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» [16].

В качестве мелкого заполнителя применяли природный песок производства АО «Богаевский карьер» с модулем крупности 2,32, соответствующий ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия» [17]. В качестве вяжущего для бетонов на основе гранитного и рециклингового щеб-

ня с природным песком применяли портландцемент ЦЕМ II/В-Ш 42,5Н производства ООО «ХайдельбергЦементРус», соответствующий ГОСТ 31108-2020 «Цементы общестроительные. Технические условия» [18]. В качестве добавки применяли суперпластификатор С-3, соответствующий ГОСТ 24211-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия» [19]. Для приготовления бетонов применяли воду, соответствующую ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия» [20].

При проведения экспериментальных исследований были подобраны идентичные по составу бетонные смеси на основе рециклингового и гранитного щебня с природным песком. Далее была определена подвижность бетонных смесей и изготовлены образцы для определения прочности, плотности, параметров пористости, водопоглощения, водонепроницаемости, морозостойкости, диффузионной проницаемости для углекислого газа и значения pH жидкой фазы бетонов на основе рециклингового и гранитного щебня с природным песком.

Прочность бетонов на сжатие на основе рециклингового и гранитного щебня с природным песком определяли испытанием образцов-кубов размером $100 \times 100 \times 100$ мм (в количестве 6 штук на каждый состав) в соответствии с ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» [21].

Плотность, а также истинную плотность бетонов определяли испытанием образцов-кубов размером $100 \times 100 \times 100$ мм (в количестве 3 штук на каждый состав) в соответствии с ГОСТ 12730.1-2020 «Бетоны. Методы определения плотности» [22].

Параметры пористости (поровой структуры) бетонов (полный объем пор, объем открытых капиллярных пор, объем условно-закрытых капиллярных пор) определяли испытанием образцов-кубов размером $100 \times 100 \times 100$ мм (в количестве 3 штук на каждый состав) в соответствии с ГОСТ 12730.4-2020 «Бетоны. Методы определения параметров пористости» [23].

Водопоглощение бетонов определяли испытанием образцов-кубов размером $100 \times 100 \times 100$ мм (в количестве 3 штук на каждый состав) в соответствии с ГОСТ 12730.3-2020 «Бетоны. Метод определения водопоглощения» [24].

Водонепроницаемость бетонов определяли испытанием образцов-цилиндров с диаметром и высотой 150 мм (в количестве 6 штук на каждый состав) в соответствии с ГОСТ 12730.5-2018 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости» [25].

Морозостойкость бетонов определяли испытанием образцов-кубов размером $100 \times 100 \times 100$ мм (в количестве 18 штук на каждый состав) в соответствии с ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» [26].

Диффузионную проницаемость для углекислого газа бетонов определяли испытанием образцов-ку-

бов размером $100 \times 100 \times 100$ мм (в количестве 9 штук на каждый состав) в соответствии с ГОСТ 31383-2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний» [27] с вычислением значений эффективного коэффициента диффузии углекислого газа в бетоне.

Значения pH жидкой фазы бетонов определяли по методике НИИЖБ, в соответствии с которой из растворной части бетонов отбирали пробы размерами зерен 3–5 мм. Отобранные зерна объединяли в навески массой 4–6 г. Далее подготовленные таким образом навески заливали дистиллированной водой объемом 100 мл. В течение 3-х суток навески периодически взбалтывались, а затем с применением иономера определяли значения pH жидкой фазы бетонов.

Способность бетонов на основе рециклингового и гранитного щебня с природным песком первоначально пассивировать стальную арматуру определяли по полученным значениям pH жидкой фазы бетонов. Способность бетонов на основе рециклингового и гранитного щебня с природным песком длительно изолировать стальную арматуру с сохранением ее первоначального пассивного состояния определяли по полученным значениям диффузионной проницаемости бетонов для углекислого газа.

Результаты

Подобранные для проведения экспериментальных исследований составы бетонов на основе рециклингового и гранитного щебня с природным песком приведены в табл. 1.

Результаты определения подвижности бетонных смесей показали, что расход воды для бетона на основе рециклингового щебня с природным песком на 13 % больше расхода воды для бетона на основе гранитного щебня с природным песком. Это обусловлено большим водопоглощением рециклингового щебня по сравнению с гранитным щебнем.

Результаты определения и сравнения значений прочности на сжатие, плотности, параметров пористости, водопоглощения, водонепроницаемости, морозостойкости, диффузионной проницаемости бетона для углекислого газа и значений pH жидкой фазы бетонов на основе рециклингового и гранитного щебня с природным песком приведены в табл. 2. Общие виды использованного оборудования и образцов бетона на основе рециклингового и гранитного щебня с природным песком в процессе определения их основных характеристик приведены на рис. 1–11.

Анализ полученных результатов показал, что:

- прочность бетона в возрасте 28 суток на основе гранитного щебня с природным песком выше прочности бетона на основе рециклингового щебня с природным песком на 20 %;
- плотность бетона на основе гранитного щебня с природным песком выше плотности бетона

Таблица 1

Table 1

Составы бетонов на основе гранитного и рециклингового щебня с природным песком
Concrete compositions based on granite and recycled crushed stone with natural sand

Вид бетона	Расход компонентов бетонной смеси, кг/м ³					В/Ц	Осадка конуса, см
	цемент	щебень	песок	вода	С-3 % от цем.		
Бетон (контрольный) на основе гранитного щебня с природным песком	360	980	860	175	0,5	0,48	15–16
Бетон на основе рециклингового щебня с природным песком	360	980	860	198	0,5	0,55	13–14

Таблица 2

Table 2

Результаты определения и сравнения значений прочности на сжатие, плотности, параметров пористости, водопоглощения, водонепроницаемости, морозостойкости, диффузионной проницаемости бетона для углекислого газа и значений pH жидкой фазы бетонов на основе гранитного и рециклингового щебня с природным песком
The results of determining and comparing the values of compressive strength, density, porosity, water absorption, water resistance, frost resistance, diffusion permeability of concrete for carbon dioxide and pH values of the liquid phase of concrete based on granite and recycled crushed stone with natural sand

Тип бетона	Прочность на сжатие, МПа/класс бетона	Плотность, кг/м ³	Параметры пористости	Водопоглощение, % по массе	Марка по водонепроницаемости	Марка по морозостойкости	Эффективный коэффициент диффузии углекислого газа, $D' \times 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$	Значение pH жидкой фазы
Бетон (контрольный) на основе гранитного щебня с природным песком	42,1–46,2/B30	2382	Ист. плот. 2849 кг/м ³ . Полный объем пор 163,92 см ³	4,80	W16	F ₁ 300	0,14	12,21
Бетон на основе рециклингового щебня с природным песком	32,9–36,2/B25	2169	Ист. плот. 3015 кг/м ³ . Полный объем пор 280,60 см ³	7,84	W16	F ₁ 300	0,25	12,19

на основе рециклингового щебня с природным песком на 10 %, при этом истинная плотность бетона на основе гранитного щебня с природным песком на 6 % выше истинной плотности бетона на основе рециклингового щебня с природным песком;

– полный объем пор бетона на основе гранитного щебня с природным песком меньше полного объема пор бетона на основе рециклингового щебня с природным песком на 70 %;

– водопоглощение (в % по массе) бетона на основе гранитного щебня с природным песком меньше водопоглощения бетона на основе рециклингового щебня с природным песком на 64 %;

– марка по водонепроницаемости бетона на основе гранитного щебня с природным песком идентична

марке по водонепроницаемости бетона на основе рециклингового щебня с природным песком;

– марка по морозостойкости бетона на основе гранитного щебня с природным песком идентична марке по морозостойкости бетона на основе рециклингового щебня с природным песком;

– диффузионная проницаемость для углекислого газа бетона на основе гранитного щебня с природным песком ниже диффузионной проницаемости для углекислого газа бетона на основе рециклингового щебня с природным песком на 75 %;

– значения pH жидкой фазы бетона на основе гранитного щебня с природным песком (pH = 12,21) и бетона на основе рециклингового щебня с природным песком (pH = 12,19) практически идентичны.



а (a)



б (b)

Рис. 1. Общий вид образцов-кубов $100 \times 100 \times 100$ мм для определения основных характеристик бетона (контрольного) на основе гранитного щебня с природным песком (а) и на основе рециклингового щебня с природным песком (б)

Fig. 1. General view of $100 \times 100 \times 100$ mm cube samples for determining of main characteristics of concrete (control) based on granite crushed stone with natural sand (a) and on the basis of recycled crushed stone with natural sand (b)



Рис. 2. Общий вид гидравлического пресса для определения прочности бетонов

Fig. 2. General view of the hydraulic press for determining the strength of concrete



Рис. 3. Общий вид климатической камеры для определения морозостойкости бетонов

Fig. 3. General view of the climate chamber for determining the frost resistance of concrete



Рис. 4. Общий вид установки для определения водонепроницаемости бетонов

Fig. 4. General view of the installation for determining the water resistance of concrete



Рис. 5. Общий вид газоанализатора диоксида углерода для определения диффузионной проницаемости для углекислого газа бетонов

Fig. 5. General view of a carbon dioxide gas analyzer for determining the diffusion permeability of concrete for carbon dioxide



Рис. 6. Общий вид образцов бетона на основе гранитного щебня с природным песком до и в процессе испытаний на водонепроницаемость

Fig. 6. General view of concrete samples based on granite rubble with natural sand before and during water resistance tests



Рис. 7. Общий вид образцов из бетона на основе рециклингового щебня с природным песком до и в процессе испытаний на водонепроницаемость

Fig. 7. General view of concrete samples based on recycled crushed stone with natural sand before and during waterproofness tests



a (a)

б (b)

Рис. 8. Общий вид образцов бетона на основе гранитного (а) и рециклингового (б) щебня с природным песком после испытания на диффузионную проницаемость для углекислого газа

Fig. 8. General view of concrete samples based on granite (a) and recycled (b) crushed stone with natural sand after testing for diffusion permeability to carbon dioxide



Рис. 9. Определение морозостойкости образцов бетона на основе гранитного щебня с природным песком
Fig. 9. Determination of frost resistance of concrete samples based on granite rubble with natural sand



Рис. 10. Определение морозостойкости образцов бетона на основе рециклингового щебня с природным песком
Fig. 10. Determination of frost resistance of concrete samples based on recycled crushed stone with natural sand



a (a)

б (b)

Рис. 11. Общий вид образцов из бетона на основе гранитного щебня с природным песком (а) и образцов бетона на основе рециклингового щебня с природным песком (б) после испытаний на морозостойкость
Fig. 11. General view of concrete samples based on granite crushed stone with natural sand (a) and concrete samples based on recycled crushed stone with natural sand (b) after frost resistance tests

Выводы

1. Исследованные бетоны на основе рециклингового (бетонного) щебня с природным песком по сравнению с аналогичными по составу (за исключением расхода воды затворения) бетонами на основе гранитного щебня с природным песком обладают меньшей прочностью и плотностью. Бетоны на основе рециклингового (бетонного) щебня имеют большее водопоглощение и объем пор.

2. Исследованные бетоны на основе рециклингового (бетонного) щебня с природным песком имеют идентичные с бетонами на основе гранитного щебня с природным песком показатели по водонепроницаемости и морозостойкости.

3. Исследованные бетоны на основе рециклингового и гранитного щебня с природным песком обеспечивают первоначальное пассивное состояние стальной арматуры. Бетон на основе гранитного щебня с природным песком имеет эффективный коэффициент диффузии углекислого газа $D^I = 0,14 \times 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$ и относится к бетонам пониженной проницаемости для углекислого газа. Бетон на основе рециклингового щебня с природным песком имеет эффективный коэффициент диффузии углекислого газа $D^I = 0,25 \times 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$ и относится к бетонам нормальной проницаемости для углекислого газа. Оба вида бетонов (при отсутствии других агрессивных воздействий) способны длительно сохранять (более 100 лет) первоначальное пассивное состояние стальной арматуры при толщине защитного слоя бетона 10 мм.

4. Результаты проведенных исследований показали, что с применением в качестве заполнителей рециклингового щебня с природным песком можно получать тяжелые бетоны общестроительного назначения, характеристики долговечности которых удовлетворяют требованиям действующих нормативных документов.

5. Использование рециклингового щебня в качестве крупного заполнителя для изготовления новых бетонных, а также железобетонных конструкций и изделий соответствует стандартам «зеленого (экологического) строительства» по ресурсосбережению, бережливому производству и энергосбережению. Повторное применение рециклингового щебня при производстве бетонных, а также железобетонных конструкций и изделий уменьшает негативное воздействие на окружающую среду за счет безотходности производства и сокращения количества отходов, а также позволит наращивать скорость и объемы строительства новых зданий и сооружений. Применение вторичного (рециклингового) щебня при производстве бетонных, а также железобетонных конструкций и изделий приобретает особую актуальность в связи с осуществлением реновации жилищного фонда в Москве (и в других городах страны), а также необходимостью восстановления населенных пунктов после природных катастроф

и вооруженных конфликтов, в том числе в новых регионах Российской Федерации.

Список литературы

1. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24 июня 1998 года № 89-ФЗ.
2. Федеральный закон «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 28 июля 2012 года № 128-ФЗ.
3. Распоряжение Правительства Российской Федерации «Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года» от 10 мая 2016 года № 868-р.
4. Указ Президента Российской Федерации «Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» от 19 апреля 2017 года № 176.
5. ГОСТ Р 70346-2022. «Зеленые» стандарты. Здания многоквартирные жилые «зеленые». Методика оценки и критерии проектирования, строительства и эксплуатации. АО «ДОМ.РФ», 2022.
6. Рекомендации по приготовлению и применению бетонов на заполнителях из дробленного тяжелого бетона. НИИЖБ Госстроя СССР под общим руководством д.т.н. Б.А. Крылова и Л.А. Малининой. Москва, 1982.
7. Рекомендации по переработке и использованию отходов предприятий сборного железобетона. НИИЖБ Госстроя СССР под общим руководством д.т.н. Б.А. Крылова и Б.В. Гусева. Москва, 1987.
8. Вайсберг Л.А., Каменева Е.Е. Исследование состава и физико-механических свойств вторичного щебня из дробленного бетона // *Строительные материалы*. 2014. № 6. С. 41–45.
9. Красникова Н.М., Кириллова Е.В., Хозин В.Г. Вторичное использование бетонного лома в качестве сырьевых компонентов цементных бетонов // *Строительные материалы*. 2020. № 1–2. С. 56–65. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-56-65>
10. Сидорова А.С., Анцупова С.Г. Отходы дробления бетонного лома как материал для получения заполнителей для бетона // *Материалы всероссийской научно-практической конференции*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.18101/978-5-9793-1632-1-111-114>
11. Галицкова Ю.М., Михасек А.А. Использование отходов в промышленном и гидротехническом строительстве // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 6. С. 51–54.
12. ГОСТ Р 56020-2020. Бережливое производство. Основные положения и словарь. Москва: Стандартинформ, 2020.
13. ГОСТ Р 54098-2010. Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения. Москва: Стандартинформ, 2011.

14. ГОСТ 25192-2012. Бетоны. Классификация и общие технические требования. Москва: Стандартинформ, 2013.
15. ГОСТ 32495-2013. Щебень, песок и песчано-щебеночные смеси из дробленого бетона и железобетона. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2014.
16. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2018.
17. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2015.
18. ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2020.
19. ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2010.
20. ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2012.
21. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Москва: Стандартинформ, 2013.
22. ГОСТ 12730.1-2020. Бетоны. Методы определения плотности. Москва: Стандартинформ, 2021.
23. ГОСТ 12730.4-2020. Бетоны. Методы определения параметров пористости. Москва: Стандартинформ, 2021.
24. ГОСТ 12730.3-2020. Бетоны. Метод определения водопоглощения. Москва: Стандартинформ, 2021.
25. ГОСТ 12730.5-2018. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости. Москва: Стандартинформ, 2019.
26. ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости. Москва: Стандартинформ, 2014.
27. ГОСТ 31383-2008. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний. Москва: Стандартинформ, 2010.
5. State Standard R 70346-2022. "Green" standard. "Green" residential building. Assessment method and criteria for design, construction and maintenance. JSC "DOM.RF", 2022. (In Russian).
6. Recommendations for the preparation and application of concrete on aggregates from crushed heavy concrete. NIIZHB of the Gosstroy of the USSR under the general leadership of Dr. Sci. (Engineering) B.A. Krylov and L.A. Malinina. Moscow, 1982. (In Russian).
7. Recommendations on the processing and use of waste from precast concrete enterprises. NIIZHB of the Gosstroy of the USSR under the general supervision of Dr. Sci. (Engineering) B.A. Krylov and B.V. Gusev. Moscow, 1987. (In Russian).
8. Vaisberg L.A., Kameneva E.E. Investigation of the composition and physico-mechanical properties of secondary crushed stone of crushed concrete. *Stroitel'nye Materialy = Construction Materials*. 2014, no. 6, pp. 41–45. (In Russian).
9. Krasnikova N.M., Kyrillova E.V., Khozin V.G. Reuse of concrete waste as input products for cement concretes. *Stroitel'nye Materialy = Construction Materials*. 2020, no. 1–2, pp. 56–65. (In Russian).
10. Sidorova A.S., Antsupova S.G. Waste from crushing concrete scrap as a material for obtaining aggregates for concrete. *Materials of the All-Russian scientific and practical conference*. 2021. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.18101/978-5-9793-1632-1-111-114>
11. Galitskova Yu.M., Mikhasek A.A. The use of waste in industrial and hydrotechnical construction. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering*. 2015, no. 6, pp. 51–54. (In Russian).
12. State Standard R 56020-2020. Lean production. Fundamentals and vocabulary. Moscow: Standartinform Publ., 2020. (In Russian).
13. State Standard R 54098-2010. Resources saving. Secondary material resources. Terms and definitions. Moscow: Standartinform Publ., 2011. (In Russian).
14. State Standard 25192-2012. Concretes. Classification and general technical requirements. Moscow: Standartinform Publ., 2013. (In Russian).
15. State Standard 32495-2013. Aggregates, fines and its mixtures made from recycled reinforced and non-reinforced concrete. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2014. (In Russian).
16. State Standard 8267-93. Crushed stone and gravel of solid rocks for construction works. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
17. State Standard 8736-2014. Sand for construction works. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2015. (In Russian).
18. State Standard 31108-2020. Common cements. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2020. (In Russian).

References

1. Federal Law "On Production and Consumption Wastes" dated 24 June, 1998 No. 89-FZ. (In Russian).
2. Federal Law "On Amendments to the Federal Law on Production and Consumption Wastes" dated 28 July, 2012 No. 128-FZ. (In Russian).
3. Decree of the Government of the Russian Federation "Strategy for the Development of the Building Materials Industry for the Period up to 2020 and beyond until 2030" dated 10 May, 2016 No. 868-r. (In Russian).
4. Decree of the President of the Russian Federation "Strategy of Environmental Safety of the Russian Federation for the period up to 2025" dated 19 April, 2017 No. 176. (In Russian).

19. State Standard 24211-2008. Admixtures for concretes and mortars. General specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2010. (In Russian).
20. State Standard 23732-2011. Water for concrete and mortars. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2012. (In Russian).
21. State Standard 10180-2012. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens. Moscow: Standartinform Publ., 2013. (In Russian).
22. State Standard 12730.1-2020. Concretes. Methods of determination of density. Moscow: Standartinform Publ., 2021. (In Russian).
23. State Standard 12730.4-2020. Concretes. Methods of determination of porosity parameters. Moscow: Standartinform Publ., 2021. (In Russian).
24. State Standard 12730.3-2020. Concretes. Method of determination of water absorption. Moscow: Standartinform Publ., 2021. (In Russian).
25. State Standard 12730.5-2018. Concretes. Methods for determination of water tightness. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
26. State Standard 10060-2012. Concretes. Methods for determination of frost-resistance. Moscow: Standartinform Publ., 2014. (In Russian).
27. State Standard 31383-2008. Protection against corrosion of concrete and reinforced concrete constructions. Test methods. Moscow: Standartinform Publ., 2010. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Замир Узаирович Беппаев✉, канд. техн. наук, заведующий лабораторией обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций (№ 9), НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: beton61@mail.ru

Zamir U. Bepbaev✉, Cand. Sci. (Engineering), Head of Laboratory of Inspection and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures (No. 9), Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: beton61@mail.ru

Лидия Хореновна Аствацатурова, старший научный сотрудник лаборатории обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций (№ 9), НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Lydia H. Astvatsaturova, Senior Researcher of Laboratory of Inspection and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures (No. 9), Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Сергей Алексеевич Колодяжный, научный сотрудник лаборатории обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций (№ 9), НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Sergei A. Kolodyazhny, Researcher of Laboratory of Inspection and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures (No. 9), Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Сергей Анатольевич Вернигора, младший научный сотрудник лаборатории обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций (№ 9), НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Sergey A. Vernigora, Junior Researcher of Laboratory of Inspection and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures (No. 9), Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Владислав Владимирович Лопатинский, инженер лаборатории обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций (№ 9), НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Vladislav V. Lopatinsky, Engineer of Laboratory of Inspection and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures (No. 9), Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

А.Н. ГУДКОВ

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

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛАЗОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ЛЕГКИХ ГИДРОФОБНЫХ ШТУКАТУРОК НА ЛЕГКИХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ ПО ОТНОШЕНИЮ К ГАЗОБЕТОНУ

Аннотация

Введение. Одним из важнейших свойств фасадных штукатурок является их способность сопротивляться воздействию атмосферной влаги, или гидрофобность. В слой фасадной штукатурки вода проникает путем адсорбции. В этом случае прохождение влаги через штукатурный раствор вызывается капиллярным действием (водопоглощение, влагопроницаемость).

Гидрофобизация – резкое снижение способности материалов смачиваться водой и водными растворами при сохранении паропроницаемости.

В работе проведено сравнительное исследование влагозащитных свойств легкой минеральной гидрофобной штукатурки на основе пенокерамических гранул «СПАДАР» и штукатурных смесей с другими аналогичными легкими заполнителями по отношению к газобетону. Сравнивались значения капиллярного водопоглощения штукатурных составов, а также водопоглощение по массе и глубине проникновения воды в тело газобетонных образцов без покрытия и покрытых со всех сторон исследуемыми штукатурными составами.

Цель. Исследовать влагозащитные свойства штукатурного состава с пенокерамическими гранулами «СПАДАР» и аналогичных штукатурных составов (на пенокерамических гранулах «KERWOOD» (другого производителя), гранулированном пеностекле и перлитовом песке) по отношению к газобетону.

Материалы и методы. Для проведения исследования были использованы ранее разработанные легкие гидрофобные штукатурные составы для фасадных работ с плотностью в сухом состоянии не более 600 кг/м³ и образцы газобетона плотностью 600 кг/м³. Сравнивались значения водопоглощения по массе контрольного образца газобетона, а также образцов газобетона, покрытых со всех сторон исследуемыми

гидрофобными штукатурными растворами. Также сравнивалась глубина проникновения воды в тело этих образцов.

Результаты. Установлено водопоглощение по массе контрольных образцов газобетона и оштукатуренных легкими штукатурными растворами и глубина проникновения воды в слой газобетона через 1,5 часа. Выявлены преимущества штукатурного состава с использованием пенокерамических гранул «СПАДАР».

Выводы. На основе полученных данных разработан состав легкого гидрофобного штукатурного раствора с использованием пенокерамических гранул «СПАДАР» и намечены дальнейшие исследования данных штукатурных составов по паропроницаемости и морозостойкости.

Ключевые слова: гидрофобная минеральная штукатурка, легкая штукатурная смесь, газобетон, легкие заполнители, пенокерамические гранулы

Для цитирования: Гудков А.Н. Сравнительные исследования влагозащитных свойств легких гидрофобных штукатурок на легких заполнителях по отношению к газобетону // *Бетон и железобетон*. 2024. № 6 (625). С. 40–50. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6\(625\)-40-50](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6(625)-40-50). EDN: RYWDVC

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 20.09.2024

Поступила после рецензирования 11.10.2024

Принята к публикации 17.10.2024

COMPARATIVE STUDIES OF MOISTURE PROTECTION PROPERTIES OF THE LIGHTWEIGHT HYDROPHOBIC PLASTERS ON LIGHTWEIGHT FILLERS IN RELATION TO AERATED CONCRETE

Abstract

Introduction. One of the most important properties of facade plasters is their ability to resist the effects of atmospheric moisture or hydrophobicity. Water penetrates into the facade plaster layer by adsorption. In this case, the passage of moisture through the plaster solution is caused by capillary action (water absorption, moisture permeability). Hydrophobization is a sharp decrease in the ability of materials to be wetted with water and aqueous solutions while maintaining vapor permeability.

In this paper, a comparative study of the moisture-proof properties of lightweight mineral hydrophobic plaster based on foam ceramic granules "SPADAR", plaster mixtures with other similar lightweight fillers, in relation to aerated concrete. The values of capillary water absorption of plaster compositions, as well as water absorption by weight and the depth of water penetration into the body of aerated concrete samples uncoated and coated on all sides with the studied plaster compositions were compared.

Aim. To investigate the moisture-proof properties of a plaster composition with foam ceramic granules "SPADAR" and similar plaster compositions (on foam ceramic granules "KERWOOD" (another manufacturer), granular foam glass and perlite sand) in relation to aerated concrete.

Materials and methods. To conduct the study, previously developed lightweight hydrophobic plaster compositions for facade work with a dry density of no more than 600 kg/m³ and aerated concrete samples with a density of 600 kg/m³ were used. Water absorption by weight values of a control sample of aerated concrete, as well as aerated concrete samples coated on all sides with the studied hydrophobic plaster solutions were compared. The depth of water penetration into the body of these samples was also compared.

Results. Water absorption by weight of control samples of aerated concrete and plastered with lightweight plaster mortars and the depth of water penetration into the aerated concrete layer after 1.5 hours were established. The advantages of the plaster composition using foam ceramic granules "SPADAR" are revealed.

Conclusions. Based on the data obtained, the composition of a light hydrophobic plaster mortar was developed using foam ceramic granules "SPADAR" and further studies of these plaster compositions on vapor permeability and frost resistance are planned.

Keywords: hydrophobic mineral plaster, lightweight plaster mixture, aerated concrete, lightweight fillers, foam ceramic granules

For citation: Gudkov A.N. Comparative studies of moisture protection properties of the lightweight hydrophobic plasters on lightweight fillers in relation to aerated concrete. *Beton i Zhelzobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 6 (625), pp. 40–50. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6\(625\)-40-50](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6(625)-40-50). EDN: RYWDVC

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 20.09.2024

Revised 11.10.2024

Accepted 17.10.2024

Для выполнения своих функций легкие минеральные штукатурки должны соответствовать требованиям ГОСТ 33083-2014 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем для штукатурных работ. Технические условия» [1]. Очень важно для отделки фасадов, чтобы используемые штукатурки имели незначительное водопоглощение, то есть проявляли гидрофобные свойства.

В ранее выполненном исследовании [2] было определено капиллярное водопоглощение для всех применяемых в этой работе легких штукатурных составов.

Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Следует отметить, что на основании ГОСТ 33083-2014 [1] водопоглощение при капиллярном подсосе легких штукатурок должно быть не более $0,4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \times \text{мин}^{0,5})$ по истечении 90 минут воздействия воды. При этом условии штукатурка обеспечивает защиту минерального основания, на которое она нанесена, от воздействия (проникновения) атмосферной влаги (дождь, снег), то есть влагозащиту.

Надо сразу сказать, что гидрофобные штукатурки, в отличие от гидроизоляционных штукатурок, не обеспечивают защиту минерального основания от гидростатического напора (давления) воды. Но этого и не требуется, когда речь идет о фасадах зданий, эксплуатирующихся в обычных климатических условиях. В этом случае как раз играют роль гидрофобные (водоотталкивающие) свойства штукатурки.

Транспорт воды в цементных штукатурках происходит через капиллярные системы. Если удастся посредством соответствующей гидрофобизации раствора добиться снижения капиллярного транспортирования воды, то достигается не только препятствование вредному влиянию влажности, но одновременно и проникновению вредных веществ или веществ, способствующих их образованию в форме растворимых солей (например, хлориды или сульфаты).

Гидрофобизация – процесс резкого снижения способности материалов смачиваться водой и водными растворами при сохранении паропроницаемости.

Гидрофобизация штукатурного раствора обеспечивается за счет снижения миграции (транспорта) влаги по открытым капиллярам. Это достигается вводом в сухую строительную смесь:

1. Гидрофобизаторов – добавок, резко снижающих миграцию влаги по капиллярам штукатурного раствора за счет обволакивания стенок капилляров, что приводит к изменению их угла смачивания, проникающая вода как бы отталкивается из капилляра.

К гидрофобизаторам относят порошки стеаратов кальция и цинка, олеатов натрия, кремнийорганические гидрофобизаторы (силиконовые, силановые, силосановые пропитки и порошки), гидрофобизирующие жидкости (силиконаты), парафиновые эмульсии.

2. Гидрофобных редиспергируемых полимерных порошков (РПП), пленки которых после завершения процесса их полимеризации и процесса гидратации цемента штукатурки, обволакивая (перекрывая) капилляры, способствуют резкому уменьшению проникновения в них влаги.

3. Комплексов из сочетания РПП и гидрофобизаторов.

Очень важным свойством гидрофобной штукатурки является ее паропроницаемость, которая обеспечивает быстрый выход влаги в виде пара из тела штукатурки и основания. Для легкой минеральной штукатурки, в соответствии с требованиями ГОСТ 33083-2014 [1], коэффициент паропроницаемости должен быть не менее $0,1 \text{ мг}/(\text{м} \times \text{ч} \times \text{Па})$.

Баланс значений водопоглощения при капиллярном подсосе штукатурки и ее паропроницаемости обеспечивает надежную и долговую защиту фасада здания при его эксплуатации.

В данной работе проведено исследование по определению влагозащитных свойств легкой минеральной гидрофобной штукатурки с разными легкими заполнителями в составе по отношению к газобетону.

Для этой цели готовилось 5 серий образцов-кубиков $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$, по 2 штуки в серии. Контрольные

Таблица 1

Table 1

Водопоглощение при капиллярном подсосе применяемых в данном исследовании легких штукатурок
Water absorption in case of capillary suction for the lightweight plasters used in this study

Номер состава легкий заполнитель	Капиллярное водопоглощение, $W_k, \text{ кг}/(\text{м}^2 \times \text{мин}^{0,5})$
1 на пенокерамике «СПАДАР»	0,14
2 на пенокерамике другого производителя	0,28
3 на вспученном перлитовом песке	0,7
4 на гранулированном пеностекле	0,35

образцы (серия 1) выпиливались из газобетонного блока плотностью 600 кг/м³ и ничем не покрывались. Остальные образцы обмазывались со всех сторон составами легких гидрофобных штукатурных растворов толщиной 10 мм:

Серия 2 – штукатурный состав на пенокерамических гранулах «СПАДАР»;

Серия 3 – штукатурный состав на пенокерамических гранулах «другого производителя»;

Серия 4 – штукатурный состав на перлитовом песке;

Серия 5 – штукатурный состав на гранулах пено-стекла.

Для этого были разработаны **четыре состава** легкой штукатурки **с одинаковым расходом** заполнителей и модифицирующих добавок, но с разными видами заполнителей (пенокерамические гранулы «СПАДАР», пенокерамические гранулы другого производителя, гранулированное пеностекло и вспученный перлитовый песок). Разработанные составы представлены в табл. 2.

В качестве заполнителя, обеспечивающего выход растворной смеси на 1 м³ (с учетом разной плотности используемых легких заполнителей), **в составах 3 и 4** использован минеральный порошок МП-1. В качестве вяжущего вещества был использован белый портландцемент (производства Турции).

Модифицирующие добавки, используемые в данном исследовании

Для обеспечения водоудерживающих свойств и реологии растворной смеси использовался порошок **эфира целлюлозы** с вязкостью не менее 60 000 Па·с в дозировке 0,3 % от массы сухой смеси.

Для дополнительного усиления тиксотропных свойств растворной смеси, снижения ее налипаемо-

сти на инструмент был использован **эфир крахмала** в дозировке 0,1 % от массы сухой смеси.

Для обеспечения адгезии к основанию, повышения сопротивления на изгиб, повышения водостойкости разрабатываемых составов использовался **редиспергируемый сополимерный порошок** сополимера винилацетат-этилен в количестве 1,5 % от массы сухой смеси.

Дозировки модифицирующих добавок взяты из опыта предыдущих разработок и одинаковы во всех четырех составах.

Для придания гидрофобных свойств исследуемым штукатурным составам использовался комплексный порошковый **гидрофобизатор DAO EZCON SH-8** на основе солей стеариновой и олеиновой кислот и силоксанового порошка в дозировке 1,0 % от массы сухой смеси. Данный гидрофобизатор, на основании ранее проведенных исследований, является одним из самых эффективных.

Некоторые полученные технические характеристики исследуемых составов легкой гидрофобной штукатурки представлены в табл. 3.

Образцы с нанесенными штукатурными составами хранились в нормальных условиях 28 суток, после чего все 5 серий образцов высушивались до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре +70 °С.

После твердения и сушки все 5 серий образцов (рис. 1, 2) помещались в воду с пригрузом, чтобы образцы были полностью погружены на глубину 10–15 мм. В воде образцы выдерживались 1,5 часа (90 минут).

После выдерживания в воде указанное количество времени образцы извлекались, обтирались ветошью и взвешивались. На основании полученных значений

Таблица 2
Table 2

Составы легкой гидрофобной штукатурки Compositions of lightweight hydrophobic plaster

Наименование материала	Расход материала, % от смеси			
	Состав 1, «СПАДАР»	Состав 2, гранулы другого производителя	Состав 3, перлит	Состав 4, пеностекло
Портландцемент белый СЕМ I R 52.5, Турция	49,0	49,0	49,0	49,0
Гранулы пенокерамики (песок) «СПАДАР»	48,1	–	–	–
Гранулы пенокерамики (песок) другого производителя	–	48,1	–	–
Перлитовый песок	–	–	7,0	–
Пеностекло гранулированное	–	–	–	30,0
Мин. порошок МП-1	–	–	41,1	18,1
Модифицирующие добавки	1,9	1,9	1,9	1,9
Гидрофобизатор DAO EZCON SH-8	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица 3

Table 3

Технические характеристики исследуемых составов сухой штукатурной смеси и растворной смеси
Technical characteristics of the studied compositions of dry plaster mixture and mortar mixture

Наименование показателя	Состав 1, «СПАДАР»	Состав 2, гранулы другого производителя	Состав 3, перлит	Состав 4, пеностекло
Насыпная плотность сухой смеси, кг/м ³	648	650	570	570
Плотность растворной смеси, кг/м ³	900	904	1060	850
Плотность раствора в сухом состоянии, кг/м ³	710	720	760	660
Расход воды, л/кг	0,55	0,55	0,63	0,55



Рис. 1. Фото образцов газобетона, выпиленных из блока
Fig. 1. Photos of aerated concrete samples cut from the block



Рис. 2. Фото образцов газобетона, обмазанных исследуемыми составами легкой штукатурной смеси «СПАДАР»
Fig. 2. Photos of aerated concrete samples coated with the studied compositions of a "SPADAR" lightweight plaster mixture

массы во влажном состоянии определялось водопоглощение по массе всех 5 серий образцов после выдерживания в воде 90 минут.

Далее влажные образцы разрушались на гидравлическом прессе и фиксировалась глубина проникновения воды в тело образцов (штукатурный слой + газобетон) после 90 минут в воде.

В результате проведенных испытаний установлены значения водопоглощения по массе исследуемых образцов после выдержки 90 минут в воде, а также глубина проникновения воды в тело газобетона за указанные промежутки времени (рис. 5–9). Результаты испытаний приведены в табл. 4.

На основании полученных данных производился анализ эффективности влагозащитных свойств каждого исследуемого состава легкой штукатурной смеси по отношению к газобетону.

Водопоглощение – способность материала впитывать и удерживать в порах (пустотах) влагу при непосредственном контакте с водой. Характеризуется количеством воды, которую поглощает сухой материал при полном погружении и выдерживании в воде заданный промежуток времени, отнесенным к массе сухого материала (водопоглощение по массе, W_m).

Водопоглощение по массе выражают относительным числом или в процентах и вычисляют по формуле (1):

$$W_m = (m_n - m_c) / m_c \times 100 \%, \quad (1)$$

где m_c – масса сухого образца, г;

m_n – масса образца, насыщенного водой, г.

В соответствии с полученными данными (табл. 4 и рис. 3) оштукатуривание образцов составами легких гидрофобных минеральных штукатурок обеспечило снижение водопоглощения образцов **серий 2–5** в сравнении с контрольными образцами **серии 1** более чем в 3,3–3,8 раза с водопоглощения равного $W_{m1} = 35,6 \%$ в серии 1 до $W_{m2} = 9,4 \%$ в **серии 2**.

Серия 2 исследуемых образцов оштукатурена легким штукатурным гидрофобным составом на основе пенокерамических гранул «СПАДАР».

Образцы из **серии 3** на пенокерамике другого производителя имеют водопоглощение по массе, равное $W_{m3} = 10,6 \%$, что на 1,2 % больше водопоглощения образцов **серии 2** на пенокерамике «СПАДАР».

Это связано с большей капиллярной пористостью раствора, зависящей от гранулометрического состава песка гранул другого производителя. Об этом было написано ранее в статье [2].

Наибольшее водопоглощение по массе из защищенных штукатуркой образцов имеют образцы **серии 4** на вспученном перлитовом песке. Водопоглощение образцов **серии 4** составило $W_{m4} = 10,9 \%$, что на 1,5 % выше в сравнении с водопоглощением образцов **серии 2**.

А вот водопоглощение образцов **серии 5** (на пеностекле) оказалось всего на 0,4 % выше водопоглощения образцов **серии 2** (на пенокерамике «СПАДАР») и составило $W_{m5} = 9,8 \%$. Тем не менее надо отметить, что в образцах этой серии вода проникла в тело газобетона на 1,0 мм в отличие от образцов **серии 2**, где проникновение воды составило менее 0,2 мм (табл. 4 и рис. 4, 5, 7).

Таблица 4
Table 4

Сравнительные испытания исследуемых образцов
Comparative tests of the studied samples

Серия образцов	Масса образца, г		Водопоглощение по массе образца (газобетон + штукатурка) через 90 минут, %	Глубина проникновения воды в газобетон, мм
	сухого	после 90 минут в воде		
Серия 1, контрольные (газобетон)	610	827	35,6	100,0 – полностью
Серия 2, на пенокерамике «СПАДАР»	926	1013	9,4	0,2
Серия 3, на пенокерамике другого производителя	1002	1109	10,6	0,5
Серия 4, на перлите	940	1042	10,9	2,0
Серия 5, на пеностекле	953	1046	9,8	1,0



Рис. 3. Водопоглощение по массе испытанных образцов через 90 минут в воде
Fig. 3. Water absorption by weight of the tested samples after 90 minutes in the water

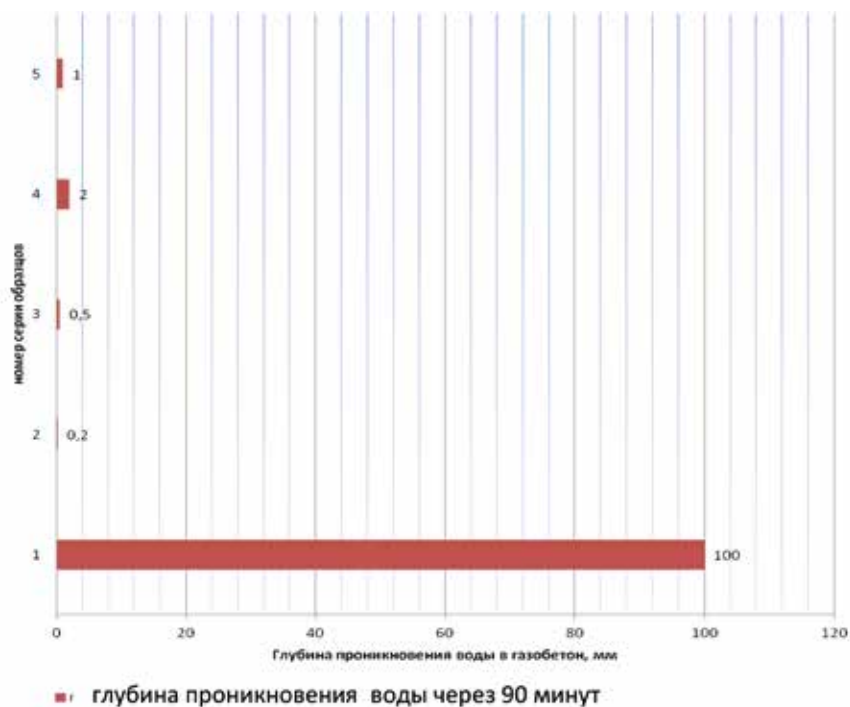


Рис. 4. Глубина проникновения воды в тело газобетонных образцов $100 \times 100 \times 100$ мм через 90 минут в воде
Fig. 4. The depth of water penetration into the body of aerated concrete samples of $100 \times 100 \times 100$ mm after 90 minutes in the water

То есть проникновение воды в тело газобетона на 1,0 мм в образцах **серии 5** (рис. 7) связано (как и в других случаях) с большей капиллярной пористо-

стью штукатурки на пеностекле в сравнении со штукатуркой на пенокерамике «СПАДАР», которой покрыты образцы **серии 2** (рис. 5).



Рис. 5. Фрагмент образца из серии 2, обмазанного легкой штукатурной смесью на основе пенокерамических гранул «СПАДАР», после выдерживания на протяжении 90 минут в воде. Вода проникла в тело газобетона на 0,2 мм

Fig. 5. A fragment of a sample from series 2, coated with a lightweight plaster mixture based on "SPADAR" foam ceramic granules, after exposure for 90 minutes in the water. The water penetrated 0.2 mm into the aerated concrete body



Рис. 6. Фрагменты образца из серии 2, обмазанного легкой штукатурной смесью на основе пенокерамических гранул «СПАДАР», после выдерживания на протяжении 90 минут в воде (слева) и контрольного образца из серии 1 (справа).

После нахождения в воде 90 минут контрольный образец газобетона полностью пропитан водой

Fig. 6. Fragments of a sample from series 2 coated with a lightweight plaster mixture based on "SPADAR" foam ceramic granules, after exposure for 90 minutes in the water (left) and a control sample from series 1 (right). After being in the water for 90 minutes, the control sample of aerated concrete is completely soaked in water

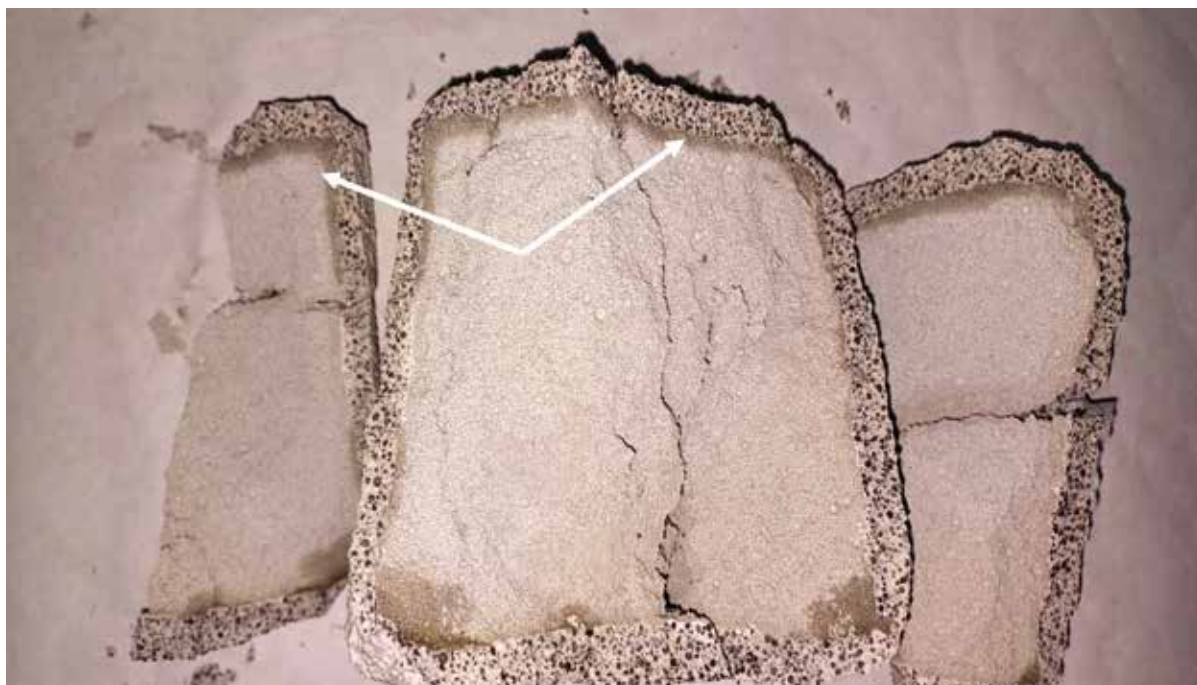


Рис. 7. Фрагменты образца из серии 5, обмазанного легкой штукатурной смесью на основе пеностеклянных гранул, после выдерживания на протяжении 90 минут в воде. Вода прошла сквозь тело штукатурки и просочилась на глубину до 1,0 мм в тело газобетонного образца

Fig. 7. Fragments of a sample from series 5 coated with a lightweight plaster mixture based on foam glass granules, after being soaked in water for 90 minutes. The water passed through the body of the plaster and seeped to a depth of 1.0 mm into the body of the aerated concrete sample



Рис. 8. Фрагменты образца из серии 3, обмазанного легкой штукатурной смесью на основе пенокерамических гранул «KERWOOD», после выдерживания на протяжении 90 минут в воде. Вода прошла сквозь тело штукатурки и просочилась на глубину до 0,5 мм в тело газобетонного образца

Fig. 8. Fragments of a sample from series 3 coated with a lightweight plaster mixture based on "KERWOOD" foam granules, after being soaked in the water for 90 minutes. The water passed through the body of the plaster and seeped to a depth of 0.5 mm into the body of the aerated concrete sample



Рис. 9. Фрагменты образца из серии 4, обмазанного легкой штукатурной смесью на основе перлитового песка, после выдерживания 90 минут в воде. Вода прошла сквозь тело штукатурки и просочилась на глубину до 2,0 мм в тело газобетонного образца

Fig. 9. Fragments of a sample from series 4, coated with a lightweight plaster mixture based on perlite sand, after being soaked for 90 minutes in the water. The water passed through the body of the plaster and seeped to a depth of 2.0 mm into the body of the aerated concrete sample

Продолжая анализ данных табл. 4 и рис. 4, видим, что контрольные образцы (серия 1) по истечении 90 минут в воде полностью пропитались влагой (рис. 6).

В **серии 2** испытанных образцов вся влага через 90 минут задержалась в основном в штукатурном слое и не проникла в тело газобетона далее 0,2 мм (рис. 4, 5).

В образцах **серий 3–5** вода проникла в тело газобетона на глубину:

- 0,5 мм (серия 3 на пенокерамике «KERWOOD» – другого производителя);
- 2,0 мм (серия 4 на перлите);
- 1,0 мм (серия 5 на пеностекле).

Таким образом, наименьшей глубиной проникновения воды в тело газобетона, после образцов **серии 2**, отличаются образцы **серии 3**.

Глубже всего вода проникла в тело газобетона в образцах **серии 4** (на перлите) – 2,0 мм (рис. 9).

Выводы

На основании данных проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Контрольные образцы газобетона (серия 1) полностью водонасыщаются влагой после пребывания в воде 90 минут и имеют водопоглощение 35,6 %.

2. В целом образцы **серий 2–5**, оштукатуренные разработанными составами легкой гидрофобной штукатурки (**составы 1–4, табл. 2**), показали хороший результат по защите минерального основания (газобетона) от проникновения воды. При этом водопоглощение исследуемых образцов снизилось в сравнении с контрольным составом в 3,3–3,8 раза. Проникновение воды в тело газобетона на глубину составило от 0,2 до 2,0 мм, а основное количество воды задержалось в слое гидрофобной штукатурки. Это связано с эффективным водоотталкивающим действием используемого в данной работе комплексного гидрофобизатора **DAO EZCON SH-8**.

3. Наиболее эффективным штукатурным составом из исследуемых составов по показателям водопоглощения испытанных образцов и глубине проникновения воды в тело газобетона оказался **состав 2** на основе пенокерамических гранул «СПАДАР».

4. В ходе проведенных исследований разработан состав минеральной гидрофобной штукатурки на основе гранул «СПАДАР» (**состав 2**), обеспечивающий наилучшие влагозащитные свойства по отношению к газобетону из исследуемых составов.

5. Необходимо провести дальнейшие исследования разработанных составов по показателям морозостойкости и паропроницаемости.

Благодарности

Автор выражает благодарность компании ООО «СПАДАР» за предоставленные для проведения данной работы образцы пенокерамических гранул.

Список литературы

1. ГОСТ 33083-2014. Смеси сухие строительные на цементном вяжущем для штукатурных работ. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019.
2. Гудков А.Н. Сравнительное исследование физико-механических свойств легкого штукатурного раствора на пенокерамических гранулах «СПАДАР» и аналогичных легких заполнителях // *Бетон и железобетон*. 2024. № 4 (623). С. 39–49. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-4\(623\)-39-49](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-4(623)-39-49)
3. ГОСТ Р 58277-2018. Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний. Москва: Стандартинформ, 2019.
4. ГОСТ 30256-94. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности цилиндрическим зондом. Москва: ИПК Издательство стандартов, 1996.
5. ГОСТ 28013-98. Растворы строительные. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2018.
6. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний. Москва: Стандартинформ, 2018.
7. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения прочности при изгибе и сжатии (с Изменениями № 1, 2). Москва: ИПК Издательство стандартов, 2003.
8. ГОСТ 32496-2013. Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2014.
9. ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2020.
10. СП 82-101-98. Приготовление и применение растворов строительных. Москва: Госстрой России, 1999.
11. Баженов Ю.М. Технология бетона. Москва: Изд-во АСВ, 2002. 500 с.
12. Баженов Ю.М., Коровяков В.Ф., Денисов Г.А. Технология сухих строительных смесей. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2011. 112 с.
13. Корнеев В.И., Зозуля П.В., Медведева И.Н., Богоявленская Г.А., Нуждина Н.И. Рецептурный справочник по сухим строительным смесям. Санкт-Петербург: РИА «Квинтет», 2010. 318 с.
14. Корнеев В.И., Зозуля П.В. и др. Сухие строительные смеси. Состав, свойства: Учебное пособие. Москва: РИФ «Стройматериалы», 2010. 320 с.
2. Gudkov A.N. Comparative study of physical and mechanical properties of a light plaster mortar based on the "SPADAR" foam ceramic granules and similar light fillers. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete*. 2024, no. 4 (623), pp. 39–49. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-4\(623\)-39-49](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-4(623)-39-49)
3. State Standard R 58277-2018. Dry building mixes based on cement binder. Test methods. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
4. State Standard 30256-94. Building materials and products. Method of thermal conductivity determination by cylindrical probe. Moscow: Publishing house of standards, 1996. (In Russian).
5. State Standard 28013-98. Mortars. General specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
6. State Standard 5802-86. Mortars. Test methods. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
7. State Standard 310.4-81. Cements. Methods of bending and compression strength determination (with Changes No. 1, 2). Moscow: Publishing house of standards, 2003. (In Russian).
8. State Standard 32496-2013. Fillers porous for light concrete. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2014. (In Russian).
9. State Standard 31108-2020. Common cements. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2020. (In Russian).
10. SP 82-101-98. Manufacturing and usage of solutions in construction industry. Moscow: Gosstroy of Russia, 1999. (In Russian).
11. Bazhenov Yu.M. Technology of concrete. Moscow: ASV Publ., 2002, 500 p. (In Russian).
12. Bazhenov Yu.M., Korovyakov V.F., Denisov G.A. Technology of dry building mixes. Moscow: Publishing House of the Association of Construction Universities, 2011, 112 p. (In Russian).
13. Korneev V.I., Zozulya P.V., Medvedeva I.N., Bogoyavlenskaya G.A., Nuzhdina N.I. Compounding guide to dry building mixes. St. Petersburg: RIA "Quintet", 2010, 318 p. (In Russian).
14. Korneev V.I., Zozulya P.V. Dry building mixes. Composition, properties: Textbook. Moscow: RIF "Building materials", 2010, 320 p. (In Russian).

Информация об авторе / Information about the author

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

e-mail: alekseygudkov2016@yandex.ru

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

e-mail: alekseygudkov2016@yandex.ru

References

1. State Standard 33083-2014. Dry building plaster cement binder mixes. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).

В.Р. ФАЛИКМАН, А.В. АНЦИБОР✉, П.Н. СИРОТИН, А.В. СУРКОВ

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

ТРЕБОВАНИЯ К ДОПУСТИМЫМ ПЕРЕРЫВАМ БЕТОНИРОВАНИЯ ПРИ ВЕДЕНИИ МОНОЛИТНЫХ РАБОТ

Аннотация

Введение. Проблема «монолитности» бетона возводимых железобетонных конструкций и элементов была и остается одной из наиболее спорных при приемочном контроле в строительной практике. Отсутствие четких критериев оценки наличия «холодного шва», возникающего при вынужденных перерывах в бетонировании, а также различие в условиях бетонирования и свойствах бетонных смесей являются одними из главных факторов, обуславливающих неопределенность в принятии решения об отбраковке возведенной конструкции, принятии решения о необходимости проведения ремонтных мероприятий либо признания возведенной конструкции соответствующей проекту и не требующей дополнительных затрат на обеспечение проектной эксплуатационной надежности. Отсутствие однородности физико-механических свойств бетона отдельных частей монолитной конструкции создает непредусмотренные проектом напряженно-деформированные состояния силового каркаса здания и может провоцировать угрозу безопасности сооружения, приводить к сокращению межремонтного эксплуатационного срока службы несущих конструктивных элементов.

Цель. Уточнение условий возникновения холодных швов бетонирования в зависимости от технологических показателей качества бетонных смесей и технологии укладки.

Результаты проведенного эксперимента не подтверждают требование норм считать границу начала схватывания сколь либо значимой с точки зрения повреждения структуры бетона и способности оказать заметное влияние на падение средней прочности за счет «расшатывания» системы «крупный заполнитель – растворная часть».

Выводы. Сформулированные и дублирующие друг друга требования нормативных документов по граничному условию потери условной «сплошности» свойств бетона в теле конструкции при единовременной укладке бетонной смеси требуют пересмотра и уточнения на основании анализа выполненных ранее и дополнительно проведенных экспериментальных исследований.

Ключевые слова: бетонная смесь, монолитность, сплошность, холодный шов, адгезия, когезия, слой бетонирования, бетоноведение

Для цитирования: Фаликман В.Р., Анцибор А.В., Сиротин П.Н., Сурков А.В. Требования к допустимым перерывам бетонирования при ведении монолитных работ // *Бетон и железобетон*. 2024. № 6 (625). С. 51–63. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6\(625\)-51-63](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6(625)-51-63). EDN: WNTAMS

Вклад авторов

Фаликман В.Р. – постановка задачи, обобщение и систематизация результатов.

Анцибор А.В. – выполнение работ, систематизация результатов, подготовка статьи.

Сиротин П.Н., Сурков А.В. – выполнение работ, подготовка статьи.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 12.10.2024

Поступила после рецензирования 04.11.2024

Принята к публикации 07.11.2024

REQUIREMENTS FOR PERMISSIBLE PAUSES OF CONCRETING DURING MONOLITHIC WORKS

Abstract

Introduction. The problem of “monolithicity” of structural concrete under construction has been and remains one of the most controversial in acceptance control in construction practice. The lack of clear criteria for assessing of cold joints presence arising during forced breaks in concreting, as well as differences in concreting conditions and properties of concrete mixtures, are among the main factors causing uncertainty in making a decision to reject the erected structure, or making a decision on the need for repair measures, or recognizing the erected structure complies with the project and does not requiring additional costs to ensure the design operational reliability. Lack of homogeneity of physical and mechanical properties of concrete separate parts of the monolithic structure creates stress-strain states of the power frame of the building that are not foreseen by the project and can provoke a threat to the safety of the structure, and lead to a reduction in the inter-repair service life of load-bearing structural elements.

Aim. The aim of the work is clarification of the conditions of cold joints occurrence when concreting depending on the technological properties of concrete mixtures and laying technology, its characterization and formulation of proposals in order to make appropriate changes in regulatory documents.

Results. The results of the performed experiment do not support the requirement of the regulations to consider the boundary of the onset of setting as significant in terms of damage to the structure of concrete and the ability to have a noticeable effect on the drop in average strength due to the “loosening” of the “coarse aggregate – mortar” system. Despite the fact that in the series of such experiments it is required to consider more extended statistics, the obtained trends reduce the probability of identifying

the beginning of setting as an indicative boundary of the rheological state, when the influence of vibration on reducing of concrete strength after its subsequent curing under favorable conditions becomes determinant.

Conclusions. The formulated and duplicating each other requirements of normative documents on the boundary condition of loss of conditional “continuity” of concrete properties in the body of the structure at simultaneous placement require revision and clarification based on the analysis of the previously performed and additionally conducted experimental studies.

Keywords: fresh concrete, monolithicity, soundness, cold joint, adhesion, cohesion, concreting layer, concrete science

For citation: Falikman V.R., Antsibor A.V., Sirotin P.N., Surkov A.V. Requirements for permissible pauses of concreting during monolithic works. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 6 (625), pp.51–63. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6\(625\)-51-63](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6(625)-51-63). EDN: WNTAMS

Authors contribution statement

Falikman V.R. – problem statement, article editing.

Antsibor A.V. – execution of works, systematization of results, preparation of the article.

Sirotin P.N., Surkov A.V. – execution of works, preparation of the article.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 12.10.2024

Revised 04.11.2024

Accepted 07.11.2024

Введение

Вопросы производства монолитных бетонных работ, обеспечивающих получение бетонных и железобетонных конструкций в строгом соответствии с техническими требованиями проекта и нормативных документов, не теряют своей актуальности даже с учетом большого опыта строительной практики, накопленного за многие десятилетия при возведении объектов разной сложности в различных климатических условиях. Постоянный прогресс и накопление знаний в области бетоноведения, к сожалению, не в состоянии системно переломить инертность и консерватизм, наблюдаемые при строительстве большинства зданий и сооружений жилищного и промышленного назначения, а также решить проблемы недостаточной квалификационной подготовки строителей.

Одно из явных проявлений этих проблем – часто наблюдаемое образование границ между последовательно укладываемыми в опалубку слоями бетонной смеси с некоторым временным интервалом (рис. 1). Такие границы в строительной среде условно именуют «немонолитность», «несплошность», «холодный шов» [1–4]. В случае же организации запланированного перерыва бетонирования, месторасположение которого, как правило, указывается в проектной документации, используют термин «рабочий шов».

Действующими нормами введены ограничения на допустимые интервалы перерывов бетонирования, которые, в принципе, не должны приводить к образова-

нию «холодного шва». Так, в СП 70.13330.2012 [5] предписано **осуществлять укладку каждого последующего слоя бетонной смеси до начала схватывания предыдущего слоя** (п. 5.3.9). СП 435.1325800.2018 [6] регламентирует, что **«способ укладки бетонной смеси должен обеспечивать монолитность конструкции. Новый слой бетонной смеси должен быть уложен до начала схватывания бетона ранее уложенного слоя»** (п. 9.3.4). При этом в документах не приводятся критерии для диагностирования наличия образования «холодного шва», находящегося в не-проектном месте, а также критерии обеспечения «монолитности» бетона возведенных конструкций.

Требуют определенной конкретизации и положения п. 5.3.6 СП 70.13330.2012 [5], в соответствии с которым «укладку и уплотнение бетона следует выполнять по ППР таким образом, чтобы обеспечить заданную плотность и **однородность бетона**, отвечающих требованиям качества бетона, предусмотренных для рассматриваемой конструкции настоящим сводом правил, ГОСТ 18105-2018 [7], ГОСТ 26633-2015 [8] и проекту. Порядок бетонирования следует устанавливать, предусматривая расположение швов бетонирования с учетом технологии возведения здания и сооружения и его конструктивных особенностей. При этом **должна быть обеспечена необходимая прочность контакта поверхностей бетона в шве бетонирования**, а также прочность конструкции с учетом наличия швов бетонирования». Однако нормами не регламентируется



Рис. 1. Пример дефекта забетонированной стены цоколя с признаками образования «холодного шва» бетонирования
Fig. 1. Example of a defect in a concreted basement wall with signs of formation of a "cold seam" of concreting

и не уточняется, какая именно прочность контакта и при каких усилиях и (или) видах воздействий должна быть обеспечена, а также какой «однородности бетона» и по какому критерию необходимо добиваться производителю бетонных работ.

Постановка задачи

Неудивительно, что изменение свойств на границе смежных слоев бетонирования с признаками «несплошности» изучалось с разных точек зрения на протяжении многих десятилетий. Проведены многочисленные эксперименты с оценкой снижения физико-механических свойств сцепления на границе слоев, с учетом различного расположения плоскости шва к направлению основной действующей нагрузки, с выявлением оценки на снижение несущей способности и эксплуатационной пригодности железобетонных конструкций [9–22]. Тем не менее вопросы критериев «монолитности», а также методов диагностики наличия или отсутствия «холодных швов» в железобетонных конструкциях остаются открытыми до сих пор и в нормативных документах сформулированы нечетко.

На практике оценка сплошности бетона горизонтальных монолитных конструкций чаще всего проводится качественно, по целостности извлекаемого из вертикального сечения конструкции керна, выбуренного в вертикальном направлении поперек плоскости шва. По тому, остается ли образец целым либо разрушается при его извлечении по границе бетонных слоев укладки, визуально оценивают «монолитность» или «несплошность» бетона в конструкции. Такой подход в определенной степени имеет право на применение, поскольку выявляет очевидное различие свойств когезии и адгезии в граничной зоне

слоев. Однако более логичным было бы назначение допустимого снижения показателей адгезии в слоях относительно когезии внутри каждого из слоев.

Для перехода к численным ориентировочным значениям можно обратиться к табл. 3 из ГОСТ Р 56378-2015 [23], где для максимальных показателей прочности сцепления с основанием (адгезионное соединение контактной зоны) для класса ремонтной смеси R4 установлено значение 2 МПа. Это предполагает, что при обеспечении адгезии между ремонтным материалом и телом бетона (субстратом) железобетонной конструкции не менее 2 МПа работоспособность конструкции должна обеспечиваться, а следовательно, приемлемыми должны быть и свойства «монолитности» бетона в конструкции.

Несмотря на изложенный в стандарте подход, данная унификация может вызывать вопросы у авторов проекта, особенно для случаев применения бетонов высоких классов по прочности (от B60 и выше), где показатель когезии, то есть прочности субстрата на растяжение, к которому, как ожидается, адгезия слоев в контактной зоне шва должна стремиться, может достигать значительно более высоких показателей икратно превышать указанную величину в 2 МПа.

Реальная практика строительства не единожды подтверждала, что дефект бетона в граничной зоне последовательно уложенных слоев бетонной смеси может формироваться еще задолго до наступления начала схватывания [12–14, 24, 25]. Это связано, прежде всего, с кинетикой процесса перехода от стадии сохраняемости смеси в границах заданной удобоукладываемости к стадии начала схватывания. Схематично процесс кинетики такого перехода показан на рис. 2.



Рис. 2. Кинетика перехода от стадии сохраняемости удобоукладываемости смеси к стадии начала схватывания
Fig. 2. Kinetics of the transition from the mixture workability preservation stage to the stage of the setting beginning

Как видно из представленной схемы, между окончанием стадии сохраняемости удобоукладываемости (зеленая зона) и началом схватывания (красная зона) существует переходная зона, временной интервал которой, в зависимости от условий внешней среды и конкретных свойств бетонной смеси, может длиться до нескольких часов. В переходной зоне присутствует значительный риск образования границ раздела слоев из-за неспособности вытеснения менее плотных составляющих смеси (продуктов расслоения, потерявших подвижность) более плотной смесью, укладываемой с перерывом.

В некоторых условиях монолитного строительства вынужденные перерывы бетонирования связаны не столько с непредвиденными перерывами в поставке бетонной смеси и работой применяемой техники, сколько с необходимостью соблюдать низкий темп бетонирования для снижения давления на опалубку от высоты столба уложенной подвижной смеси. Для подобных ограничений риск образования «холодных швов» присутствует на высоком уровне, особенно при ведении работ в условиях жаркого климата [12]. Выходом из данной ситуации должно стать контролируемое повышение давления на опалубку: либо с помощью установленных систем мониторинга – датчиков давления на опалубку, либо по проверке реологического состояния уложенных слоев бетонной смеси по специально отобраннным контрольным пробам (рис. 3).

Одним из показательных примеров образования таких видов дефектов является «замоноличенный» слой продуктов расслоения бетонной смеси, показанный на рис. 4. Образование дефекта здесь связано

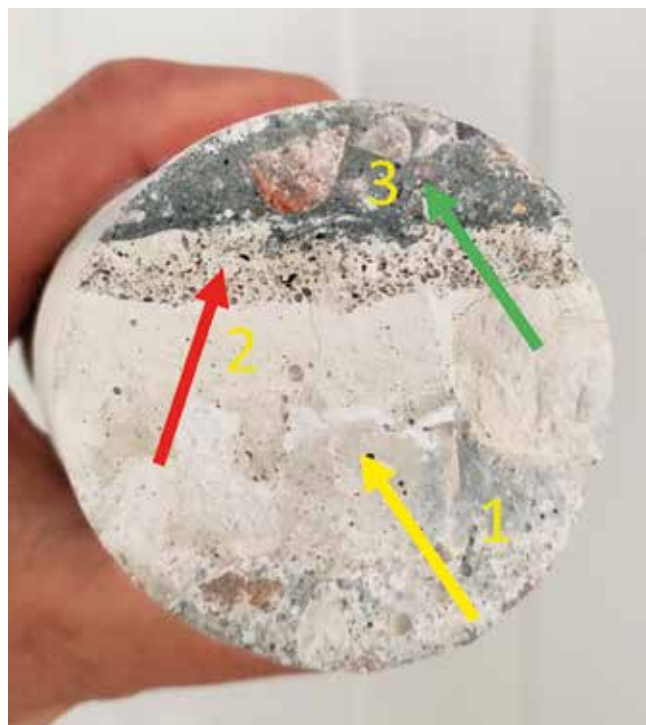


Рис. 4. Образование дефекта между смежными слоями бетона из продуктов водо- и раствооротделения смеси при укладке: 1 – нижележащий слой бетона (склонный к расслоению); 2 – дефектный слой в виде продуктов водо- и раствооротделения; 3 – вышеуложенный слой бетона

Fig. 4. Formation of a defect between adjacent layers of concrete from the products of water and mortar separation of the mixture during laying: 1 – the underlying layer of concrete (prone to delamination); 2 – a defective layer in the form of products of water and mortar separation; 3 – the above layer of concrete

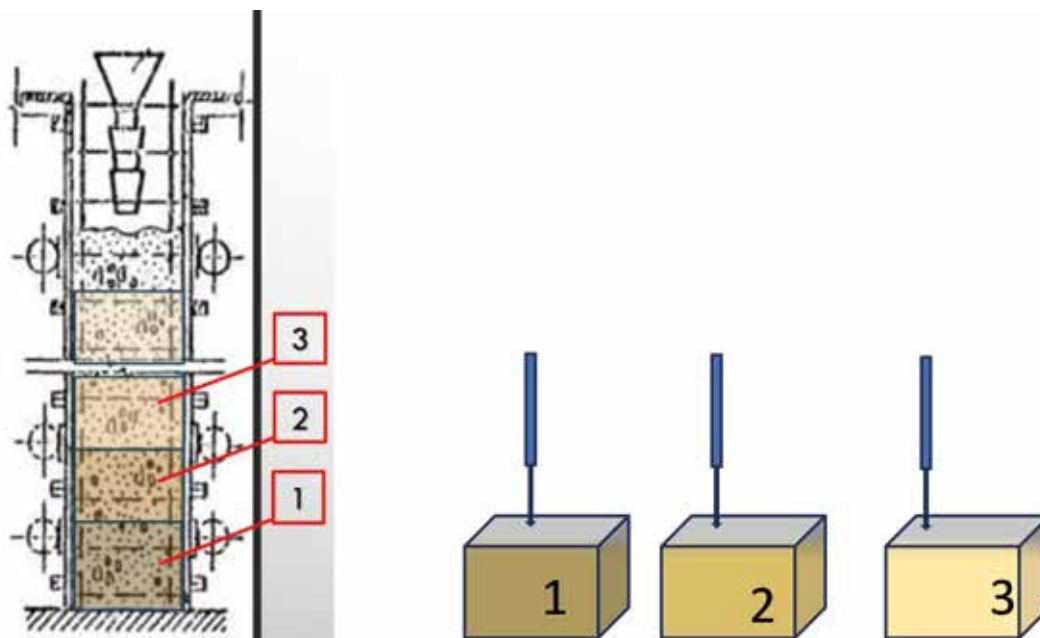


Рис. 3. Диагностика реологического состояния уложенных слоев бетонной смеси по специально отобраннным контрольным пробам
Fig. 3. Diagnostics of the rheological state of the laid layers of concrete mix according to specially selected control samples

с потерей подвижности продуктов водо- и раствор-отделения, что привело к формированию разделяющей дефектной прослойки в теле бетонного сечения конструкции фундамента. Сплошность физико-механических свойств бетона конструкции в этом случае будет определяться не столько адгезией между слоями бетона, сколько когезией самого материала образовавшегося дефектного слоя.

Важно понимать, что дефекты расслоения не всегда являются следствием ошибок входного контроля, допустившего к укладке дефектную бетонную смесь, а могут образовываться вследствие формирования возвышенных и низменных участков в опалубке при неравномерной укладке смеси (что происходит в большинстве случаев при плохо подобранной реологии смеси) и постепенного накопления отделяющейся растворной части из бетонной смеси, формально удовлетворяющей критериям стандарта по раскла-

ваемости, в локальных, чаще всего приопалубочных, зонах бетонирования (рис. 5).

Таким образом, следует констатировать, что приводимая в нормах граница наступления начала схватывания бетонной смеси не является гарантом недопущения «холодных швов» бетонирования. С большой долей уверенности следует ожидать естественное перемешивание укладываемых слоев бетонной смеси и отсутствие граничных зон со сниженными показателями когезии бетона (адгезии между слоями) в период сохранения заданной марки по удобоукладываемости (в диапазоне ПЗ и выше).

Однако может ли наступление начала схватывания являться условием, при котором передача вибрации от вышеуложенного слоя бетонной смеси (рис. 6) приводит к механическому повреждению и разуплотнению нижеуложенного слоя бетонной смеси в период потери подвижности и наступления схватывания?

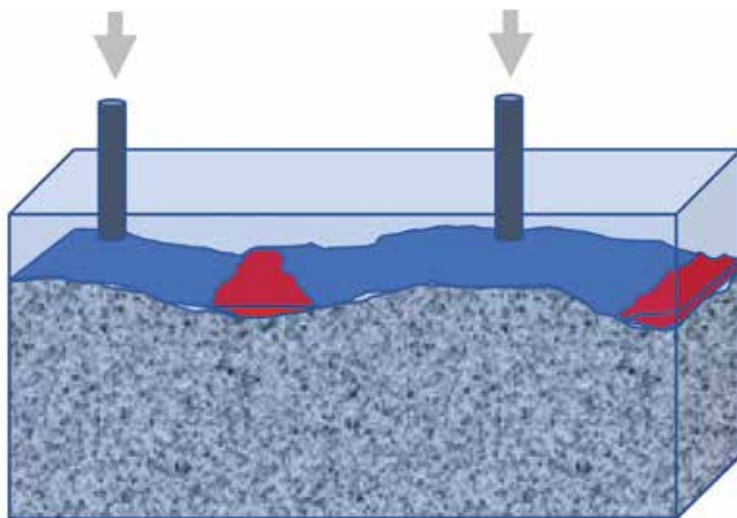


Рис. 5. Пример образования возвышенных и низменных участков при укладке бетонной смеси в опалубку
Fig. 5. An example of the formation of elevated and low-lying areas when laying a concrete mixture in a formwork

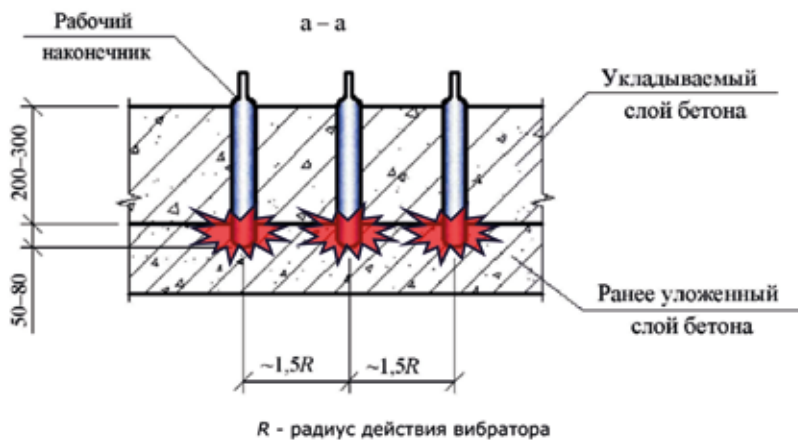


Рис. 6. Вибропобуждение уложенной бетонной смеси за пределами границ сохранения удобоукладываемости
Fig. 6. Vibration sealing of the laid concrete mix beyond the boundaries of the preservation of workability

Цели и задачи исследования

Целью работы является уточнение условий возникновения холодных швов бетонирования в зависимости от технологических показателей качества бетонных смесей и технологии укладки.

Результаты и обсуждение

В поисках ответа на поставленные выше вопросы был проведен следующий эксперимент.

Для оценки влияния вибрации на бетонную смесь и последующие прочностные характеристики бетона в период приближения начала схватывания, а также в период схватывания была изготовлена смесь, из которой изготовлены контрольная и основные серии образцов-кубов. Используются формы 2ФК-100 для 9 серий из 18 образцов-кубов. Все образцы формовались из одного замеса бетонной смеси с крупным заполнителем, марки по подвижности П4 и водоцементным отношением на уровне 0,35. Образцы основных серий уплотнены на виброплощадке и выдержаны в лабораторных условиях в течение разных интервалов времени до повторного вибрирования. Образцы контрольной серии изготовлены путем однократного виброуплотнения смеси на виброплощадке после ее перемешивания (маркировка серии 1).

Параллельно с этим для диагностики начала и окончания срока схватывания смеси были изготов-

лены специальные контрольные пробы растворной части путем отсева крупного заполнителя по методике ГОСТ Р 56587-2015 [26].

Образцы основных серий (серии 2–9) подвергались повторной вибрации на виброплощадке около 30 секунд, а также путем передачи вибрации от вибробулавы, прикладываемой в течение 30–50 секунд с разных сторон формы и через верхнюю заглаженную поверхность образцов. Использованные способы вибрирования предполагали разнообразие видов вибровоздействия, что могло бы расширить представление о возможных практических факторах влияния.

После повторной вибрации образцы основных серий были дополнительно заглажены в формах и помещены в камеру нормального твердения. Периоды вибрации относительно времени начала и конца схватывания приведены в табл. 1 и отмечены на графике кинетики схватывания (рис. 7).

Парные серии образцов, подвергнутые повторному вибрированию на виброплощадке, а также с использованием вибробулавы (рис. 8), были помещены в камеру нормального твердения, в которой находились до начала проведения испытаний на сжатие по ГОСТ 10180-2012 [27]. Образцы были испытаны в возрасте 75 суток.

Перед началом испытаний определялась средняя плотность бетона контрольных образцов, которая

Таблица 1
Table 1

Серии образцов, подвергавшиеся дополнительной вибрации
Series of samples subjected to additional vibration

№ серии образцов	Этап выдерживания бетонной смеси относительно процесса схватывания	Способ вибровоздействия
1	Контрольная серия	Первичное уплотнение на виброплощадке
2	Повторное вибрирование за 15 минут до начала процесса схватывания	Виброплощадка
3	Повторное вибрирование за 15 минут до начала процесса схватывания	Вибробулава
4	Повторное вибрирование сразу после начала процесса схватывания	Виброплощадка
5	Повторное вибрирование сразу после начала процесса схватывания	Вибробулава
6	Повторное вибрирование через 50 минут после начала процесса схватывания	Виброплощадка
7	Повторное вибрирование через 50 минут после начала процесса схватывания	Вибробулава
8	Повторное вибрирование перед завершением процесса схватывания	Виброплощадка
9	Повторное вибрирование перед завершением процесса схватывания	Вибробулава



Рис. 7. Кинетика процесса схватывания бетонной смеси с указанием моментов вибровоздействия на основные серии образцов
Fig. 7. Kinetics of the setting of the concrete mixture process with indication of the moments of vibration impact on the main series of samples



Рис. 8. Повторная вибрация смеси в форме с помощью вибропалки.
 Состояние формованных образцов при вибрации в процессе схватывания
Fig. 8. Repeated vibration of the mixture in the mold using a vibrating mace. State of molded samples with vibration during setting

не показала существенных колебаний между сериями и укладывалась в интервал 2,39–2,41 г/см³ для образцов, вибрированных дополнительно на виброплощадке, и в интервал 2,39–2,43 г/см³ для образцов, вибрированных с помощью вибропалки.

Колебания значений средней плотности бетона в сериях образцов представлены на рис. 9.

Наблюдаемые тенденции в снижении средних плотностей бетона в сериях образцов сравнимы с колебаниями средних плотностей между сериями и не рассматривались как статистически значимые с позиции разуплотнения бетонной смеси при вибрации.

На рис. 10 представлены результаты определения средней прочности бетона контрольной и основных серий образцов после твердения в нормальных условиях.

Как видно из представленного распределения результатов испытаний на сжатие, общее снижение прочности основных серий образцов, дополнительно подвергнутых вибрации, как до начала процесса схватывания, так и после начала, в том числе и перед окончанием схватывания, показали снижение прочности в пределах 5 % прочности образцов контрольной серии. При этом колебания для серий, параллельно вибрированных разными способами, имеют размах

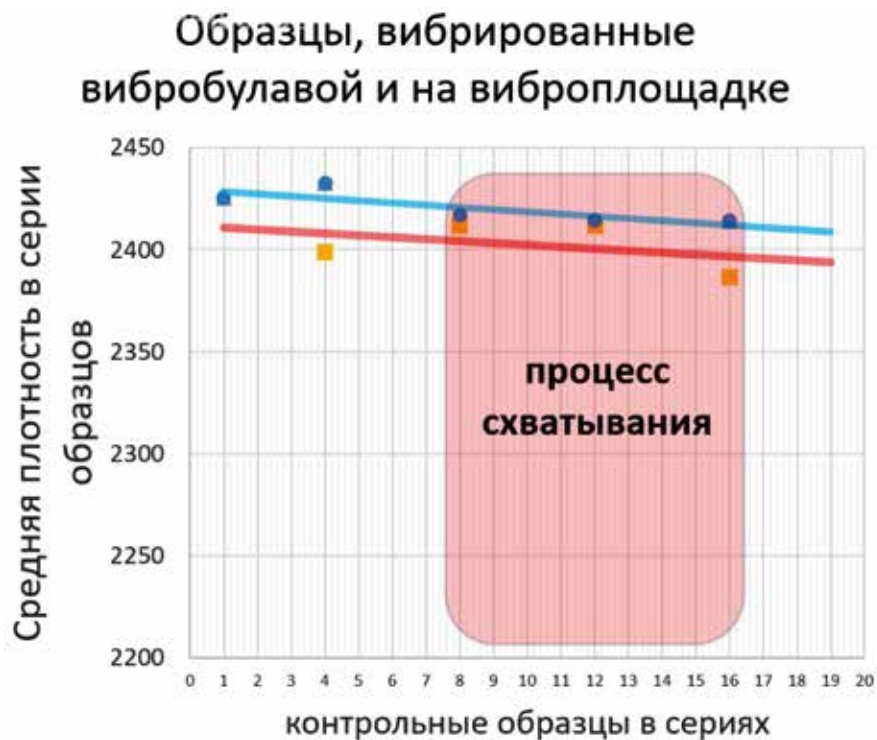


Рис. 9. Колебания средних плотностей бетона в сериях контрольных образцов, вибрированных в разные периоды выдерживания после их изготовления
Fig. 9. Fluctuations of the average density of concrete in a series of control samples vibrated during different periods of curing after their manufacturing

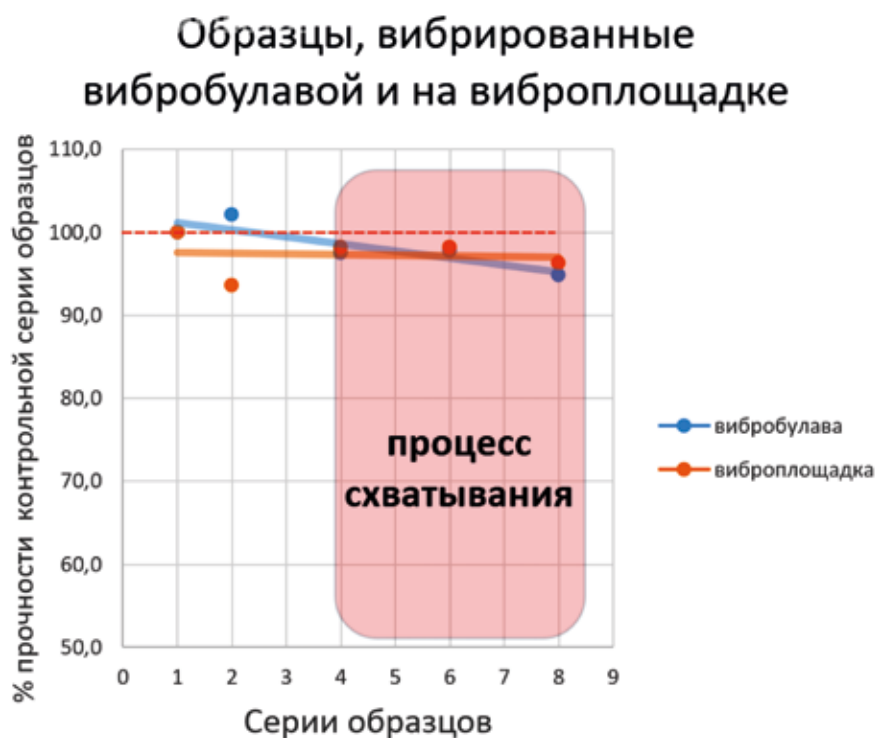


Рис. 10. Распределение средних прочностей в сериях образцов, дополнительно вибрированных в разные моменты выдерживания после изготовления
Fig. 10. Distribution of average strengths in a series of samples additionally vibrated at different moments of curing after manufacturing

средних прочностей от 0,5 до 7 % средней прочности бетона контрольной серии образцов.

Таким образом, полученные результаты проведенного эксперимента не подтверждают требование норм считать границу начала схватывания сколь либо значимой с точки зрения повреждения структуры бетона и способности оказать заметное влияние на падение средней прочности за счет «расшатывания» системы «крупный заполнитель – растворная часть». Несмотря на то что в сериях подобных экспериментов требуется рассматривать более расширенную статистику, полученные тенденции снижают вероятность идентифицировать начало схватывания как показательную границу реологического состояния, когда влияние вибрации на падение прочностных свойств бетона после его последующего твердения в благоприятных условиях становится определяющим. Причиной отсутствия значимого влияния вибрационного воздействия на структуру формирующегося бетона и его физико-механические свойства, по нашему мнению, могло являться низкое значение модуля упругости растворной части, не способствующее активному распространению вибрационных колебаний, «расшатыванию» положения зерен крупного заполнителя в структуре несформировавшегося цементного камня и нарушению потенциальной адгезии по его контактной поверхности. Вместе с тем, даже в случае нарушения контакта на границе заполнителя при вибрировании в начальной стадии формирования бетона, адгезионное сцепление за последующий период твердения достигает необходимого уровня без заметного ущерба для прочности.

Выводы

Сформулированные и дублирующие друг друга требования нормативных документов по граничному условию потери условной «сплошности» свойств бетона в теле конструкции при единовременной укладке требуют пересмотра и уточнения на основании анализа выполненных ранее и дополнительно проведенных экспериментальных исследований. Наиболее приемлемым для обеспечения смешивания бетонной смеси смежных слоев и способности вытеснения на поверхность скапливающихся продуктов расслоения должен являться период сохраняемости удобоукладываемости ранее уложенного слоя смеси.

Реализация требования о прекращении бетонирования и организации рабочего шва (что часто бывает технически сложно реализуемым) не должна являться безальтернативным условием при ведении монолитных бетонных работ. Вопросы допустимости перерывов и образования возможных «холодных швов» для тех или иных конкретных возводимых железобетонных конструкций должны согласовываться с авторским надзором проектной организации, а решение о необходимости ремонта уже образовавшихся «холодных швов» должно приниматься проекти-

ровщиком по результатам проведенной строительной лабораторией инструментальной диагностики.

Для оценки соответствия проектным требованиям железобетонных конструкций с признаками «несплошностей» или «холодных швов» целесообразно, по нашему мнению, задаваться критериями экспериментально определяемой разницы между адгезией и когезией бетона смежных слоев, установлению максимально допустимого различия этих показателей, а также снижению показателей долговечности, в том числе по критерию проницаемости бетона в зоне шва для воздушных и жидких сред.

Для оценки влияния на устойчивость опалубочных систем к темпам бетонирования, при которых обеспечивается «монолитность», необходимо осуществлять контроль изменения свойств удобообрабатываемости бетонных смесей по отобраным контрольным пробам, а также по значениям давления на опалубку с использованием существующих систем мониторинга. Дополнительными контролируемыми параметрами должны быть температурные условия выдерживания бетона в конструкциях, позволяющие экстраполировать фактические показатели подвижности бетонной смеси в отобранных контрольных пробах на свойства бетонной смеси в слоях, уложенных в конструкцию.

В заключение отметим, что экспериментальные работы по данному направлению в настоящее время активно проводятся, а их результаты должны стать основой для развития требований действующей нормативной базы.

Список литературы

1. Гвоздев А.А., Васильев А.П., Дмитриев С.А. Изучение сцепления нового бетона со старым в стыках сборных железобетонных конструкций и рабочих швах. Москва: ОНТИ ЦНИПС, 1936.
2. Житкевич Н.А. Монолитность бетонных сооружений. Санкт-Петербург, 1905.
3. Berkati Cipta Zega, Hakas Prayuda, Fanny Monika, Fadillawaty Saleh and Dian Eksana Wibowo. Effects of cold joint and its direction on the compressive and flexural strength of concrete. *International Journal of GEOMATE*. 2021, vol. 20, issue 82, pp. 86–92.
4. J. Benjamin Alper, Cawsie Jijina. Mass concreting. *Structure magazine*. April 2018.
5. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. Москва, 2012.
6. СП 435.1325800.2018. Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приемки работ. Москва: Стандартинформ, 2019.
7. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. Москва: Стандартинформ, 2019.
8. ГОСТ 26633-2015. Бетоны тяжелые и мелкозерни-

- стие. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019.
9. Гинзбург Ц.Г. О степени прочности на срез цементного шва // *Гидротехническое строительство*. 1946. № 4.
 10. Микульский В.Г., Игонин Л.А. Сцепление и склеивание бетона в сооружениях. Москва: Стройиздат, 1965.
 11. Хуторянский М.С. Условия монолитности бетонных и железобетонных конструкций. Харьков: ГОНТИ НКТП, 1938.
 12. Gayan Buddhika Illangakoon, Shingo Asamoto, Anura Nanayakkara, Lam Nguyen Trong. Concrete cold joint formation in hot weather conditions. *Construction and Building Materials*. 2019, vol. 209, pp. 406–415. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.093>
 13. He-Lin Fu, Huang-Shi Deng, Jiabing Zhang, Yue Shi, Xianquan Huang. Experimental analysis of influence of pouring interval on fracture performance of concrete structures with cold joints. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2022, vol. 118, no. 8, 103289. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2022.103289>
 14. Hyun-Min Yang, Han-Seung Lee, Keun-Hyeok Yang, Mohamed A. Ismail, Seung-Jun Kwon. Time and cold joint effect on chloride diffusion in concrete containing GGBFS under various loading conditions. *Construction and Building Materials*. 2018, vol. 167, no. 4, pp. 739–748. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.093>
 15. İlknur Bekem Kara. Experimental Investigation of the Effect of Cold Joint on Strength and Durability of Concrete. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2021, vol. 46, no. 11, pp. 10397–10408. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05400-5>
 16. Li Z., Liu L., Yan S., Zhang M., Xia J., Xie Y. Effect of freeze-thaw cycles on mechanical and porosity properties of recycled construction waste mixtures. *Construction and Building Materials*. 2019, vol. 210, pp. 347–363. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.184>
 17. Pedro Miguel Duarte Santos and Eduardo Nuno Brito Santos Júlio. Factors Affecting Bond between New and Old Concrete. *ACI Materials Journal*. 2011, vol. 108, no. 4, pp. 449–456.
 18. Quraish Qusay Ali, Barış Erdil, Taha Mohammed Jassam. Critical cold joint angle in concrete. *Construction and Building Materials*. 2023, vol. 409. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133881>
 19. Rathi V.R., Kolase P.K. Effect of cold joint on strength of concrete. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2013, vol. 2, issue 9, pp. 4671–4679.
 20. Tae-Ho Koh, Moon-Kyum Kim, Keun-Hyeok Yang, Yong-Sik Yoon, Seung-Jun Kwon. Service life evaluation of RC T-girder under carbonation considering cold joint and loading effects. *Construction and Building Materials*. 2019, vol. 226, pp. 106–116. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.106>
 21. Torres A., Ramos-Cañón A., Prada-Sarmiento F., Botía-Díaz M. Mechanical behavior of concrete cold joints. *Revista Ingeniería de Construcción*. 2016, vol. 31, no. 3, pp. 151–162.
 22. Yoo Sung-Won, Kwon Seung-Jun. Effects of cold joint and loading conditions on chloride diffusion in concrete containing GGBFS. *Construction and Building Materials*. 2016, vol. 115, pp. 247–255. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.010>
 23. ГОСТ Р 56378-2015. Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Требования к ремонтным смесям и адгезионным соединениям контактной зоны при восстановлении конструкций. Москва: Стандартинформ, 2015.
 24. Huang-Shi Deng, He-Lin Fu, Yi-Bo Zhao, Yue Shi, Xianquan Huang. Using acoustic emission parameters to study damage and fracture characteristics of concrete with different pour intervals cold joints. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2022, vol. 122, p. 103601. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2022.103601>
 25. Huang-Shi Deng, He-Lin Fu, Wei Chen, Yi-Bo Zhao, Hai-Dong Yi. Study on deterioration, cracking mechanism and treatment measures of plain concrete lining with cold joints in high-speed railroad tunnel. *Case Studies in Construction Materials*. 2023, vol. 18.
 26. ГОСТ Р 56587-2015. Смеси бетонные. Методы определения сроков схватывания (с Изменением № 1). Москва: Стандартинформ, 2016.
 27. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Москва: Стандартинформ, 2013.

References

1. Gvozdev A.A., Vasiliev A.P., Dmitriev S.A. Study of adhesion of new concrete with old concrete in joints of prefabricated reinforced concrete structures and working joints. Moscow: ONTI TSNIIP, 1936. (In Russian).
2. Zhitkevich N.A. Monolithicity of concrete structures. Saint Petersburg, 1905. (In Russian).
3. Berkati Cipta Zega, Hakas Prayuda, Fanny Monika, Fadillawaty Saleh and Dian Eksana Wibowo. Effects of cold joint and its direction on the compressive and flexural strength of concrete. *International Journal of GEOMATE*. 2021, vol. 20, issue 82, pp. 86–92.
4. J. Benjamin Alper, Cawsie Jijina. Mass concreting. *Structure magazine*. April 2018.
5. SP 70.13330.2012. Load-bearing and separating constructions. Updated version of SNiP 3.03.01-87. Moscow, 2012. (In Russian).
6. SP 435.1325800.2018. Monolithic constructions of concrete and reinforced concrete. Rules of production and acceptance of work. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
7. State Standard 18105-2018. Concretes. Rules

- for control and assessment of strength. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
8. State Standard 26633-2015. Heavy-weight and sand concretes. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
9. Ginzburg C.G. About the degree of shear strength of cement joint. *Hydrotechnical Construction*. 1946, no. 4. (In Russian).
10. Mikulskiy V.G., Igonin L.A. Cohesion and bonding of concrete in structures. Moscow: Stroyizdat Publ., 1965. (In Russian).
11. Khutoryansky M.S. Conditions of monolithicity of concrete and reinforced concrete structures. Kharkov: GONTI NKTP, 1938. (In Russian).
12. Gayan Buddhika Illangakoon, Shingo Asamoto, Anura Nanayakkara, Lam Nguyen Trong. Concrete cold joint formation in hot weather conditions. *Construction and Building Materials*. 2019, vol. 209, pp. 406–415. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.093>
13. He-Lin Fu, Huang-Shi Deng, Jiabing Zhang, Yue Shi, Xianquan Huang. Experimental analysis of influence of pouring interval on fracture performance of concrete structures with cold joints. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2022, vol. 118, no. 8, 103289. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2022.103289>
14. Hyun-Min Yang, Han-Seung Lee, Keun-Hyeok Yang, Mohamed A. Ismail, Seung-Jun Kwon. Time and cold joint effect on chloride diffusion in concrete containing GGBFS under various loading conditions. *Construction and Building Materials*. 2018, vol. 167, no. 4, pp. 739–748. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.093>
15. İlknur Bekem Kara. Experimental Investigation of the Effect of Cold Joint on Strength and Durability of Concrete. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2021, vol. 46, no. 11, pp. 10397–10408. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05400-5>
16. Li Z., Liu L., Yan S., Zhang M., Xia J., Xie Y. Effect of freeze-thaw cycles on mechanical and porosity properties of recycled construction waste mixtures. *Construction and Building Materials*. 2019, vol. 210, pp. 347–363. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.184>
17. Pedro Miguel Duarte Santos and Eduardo Nuno Brito Santos Júlio. Factors Affecting Bond between New and Old Concrete. *ACI Materials Journal*. 2011, vol. 108, no. 4, pp. 449–456.
18. Quraish Qusay Ali, Barış Erdil, Taha Mohammed Jassam. Critical cold joint angle in concrete. *Construction and Building Materials*. 2023, vol. 409. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133881>
19. Rathi V.R., Kolase P.K. Effect of cold joint on strength of concrete. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2013, vol. 2, issue 9, pp. 4671–4679.
20. Tae-Ho Koh, Moon-Kyum Kim, Keun-Hyeok Yang, Yong-Sik Yoon, Seung-Jun Kwon. Service life evaluation of RC T-girder under carbonation considering cold joint and loading effects. *Construction and Building Materials*. 2019, vol. 226, pp. 106–116. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.106>
21. Torres A., Ramos-Cañón A., Prada-Sarmiento F., Botía-Díaz M. Mechanical behavior of concrete cold joints. *Revista Ingeniería de Construcción*. 2016, vol. 31, no. 3, pp. 151–162.
22. Yoo Sung-Won, Kwon Seung-Jun. Effects of cold joint and loading conditions on chloride diffusion in concrete containing GGBFS. *Construction and Building Materials*. 2016, vol. 115, pp. 247–255. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.010>
23. State Standard R 56378-2015. Materials and systems for the protection and repair of concrete structures. Requirements for products repair and bond connections for rehabilitation of structures. Moscow: Standartinform Publ., 2015. (In Russian).
24. Huang-Shi Deng, He-Lin Fu, Yi-Bo Zhao, Yue Shi, Xianquan Huang. Using acoustic emission parameters to study damage and fracture characteristics of concrete with different pour intervals cold joints. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2022, vol. 122, p. 103601. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2022.103601>
25. Huang-Shi Deng, He-Lin Fu, Wei Chen, Yi-Bo Zhao, Hai-Dong Yi. Study on deterioration, cracking mechanism and treatment measures of plain concrete lining with cold joints in high-speed railroad tunnel. *Case Studies in Construction Materials*. 2023, vol. 18.
26. State Standard R 56587-2015. Concrete mixtures. Methods for determination of time of setting (with Change No. 1). Moscow: Standartinform Publ., 2016. (In Russian).
27. State Standard 10180-2012. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens. Moscow: Standartinform Publ., 2013. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Вячеслав Рувимович Фаликман, д-р материаловедения, канд. хим. наук, профессор, академик РИА, начальник центра № 20, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: vfalikman@yandex.ru

Vyacheslav R. Falikman, Dr. of materials, Cand. Sci. (Chem.), Professor, REA Full Member, Head of Center No. 20, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: vfalikman@yandex.ru

Алексей Валерьевич Анцибор✉, инженер по качеству центра № 20, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ

«Строительство», Москва

e-mail: niigb7@mail.ru

Alexey V. Antsibor[✉], Quality Engineer of Center No. 20, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: niigb7@mail.ru

Павел Николаевич Сиротин, ведущий специалист центра № 20, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: pn.sirotin@yandex.ru

Pavel N. Sirotin, Leading Specialist of Center No. 20, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: pn.sirotin@yandex.ru

Александр Викторович Сурков, ведущий специалист центра № 20, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: aleksandr_surkov@inbox.ru

Aleksandr V. Surkov, Leading Specialist of Center No. 20, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: aleksandr_surkov@inbox.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

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

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).

Входит в категорию K2 Перечня ВАК.

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

Журнал «Вестник НИЦ «Строительство» (print) включен в утвержденный Минобрнауки России Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук. 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,
дом 6, корпус 1, кабинет 115
Тел. редакции: +7(495)602-00-70 доб. 1022, 1023
Выпускающий редактор – Починина Наталья
e-mail: pochininane@cstroy.ru



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. ГОРДЕНКО



НИИОСП
ИМ. Н.М. ПЕРСИВАНОВА



повысить квалификацию
специалистов и экспертов

пройти обучение в аспирантуре

подготовить диссертацию в докторантуре

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

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



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



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



www.cstroy.ru



motorina@cstroy.ru | smirnova@cstroy.ru





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

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



Преподавательский состав Учебного центра

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

ФОРМЫ ПОДГОТОВКИ ДИССЕРТАЦИИ В АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



Обучение в аспирантуре, докторантуре

Прикрепление для подготовки диссертации без освоения образовательных программ



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

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



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

Защита диссертаций проводится по следующим научным специальностям:

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



ниц строительство
научно-исследовательский центр



ЦНИИСК
ИМ. В.А. КУЧЕРЕНКО



НИИЖБ
ИМ. А.А. ГВОЗДЕВА



НИИОСП
ИМ. Н.М. ПЕРСЕВАНОВА

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. 6 (625) 2024

Редактор выпуска Починина Н.Е.
Компьютерная верстка Игнатьева Е.Н.
Дата выхода в свет 25.12.2024

