

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0005-9889

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

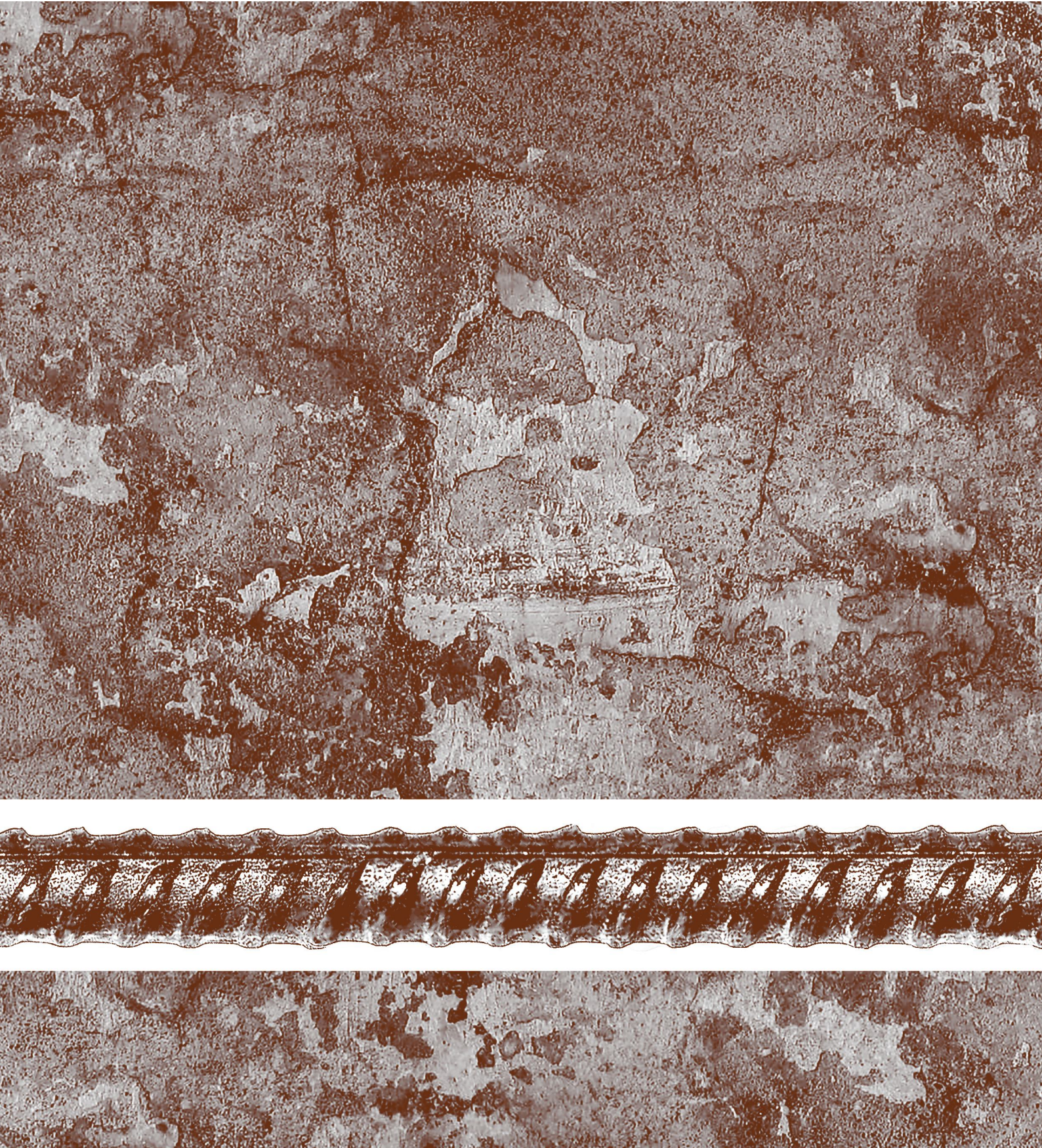
1

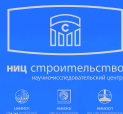
615

2023

WWW.BZHVRU

ИЗДАЕТСЯ С 1955 ГОДА





С 1927 ГОДА
95
ЛЕТ



МИНСТРОЙ
РОССИИ



11 - 13 апреля 2023

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОНГРЕСС

Наука. Инновации. Цели. Строительство
(МСК-2023)

сайт конгресса



При поддержке:



МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ



Учредитель: Ассоциация «Железобетон»
Адрес: Рязанский просп., д. 22, корп. 2,
г. Москва, 109428, Российская Федерация
Издатель: АО «НИЦ «Строительство»
Адрес: 2-я Институтская ул., д. 6, корп. 1,
г. Москва, 109428, Российская Федерация
Зарегистрирован в Министерстве печати и
информации РФ
Рег. ПИ № ФС 77-76959 от 09.10.2019
ISSN 0005-9889 (Print)
Основан: Институт НИИЖБ Госстроя СССР
и ВНИИжелезобетон
Минстройматериалов СССР

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Издается с 1955 г.

1 (615)
Январь–февраль 2023

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- М.М. КОЗЕЛКОВ, А.В. ЛУГОВОЙ, Р.Ш. ШАРИПОВ
**Конструктивное решение сопряжения большепролетного
стального покрытия с несущей системой из монолитного
железобетона павильона «Атомная энергия» АО «ВДНХ» 5**
- И.С. КУЗНЕЦОВА, В.Г. РЯБЧЕНКОВА, Д.В. АКОПЯН
**Исследование поведения железобетонных конструкций
из высокопрочного бетона при пожаре. 14**
- В.В. ПОЛЕТАЕВ, А.Е. НИКИТИН
**Мониторинг международных стандартов в области
деятельности ИСО/ТК 71 «Бетон, железобетон,
преднапряженный железобетон» 23**
- А.И. САГАЙДАК, В.В. БАРДАКОВ, Е.С. БОРОВОКОВА
**Разработка методики контроля и прогноза
прочности бетона в раннем возрасте методом
акустической эмиссии 33**

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

- З.У. БЕППАЕВ, Л.Х. АСТВАЦАТУРОВА, С.А. КОЛОДЯЖНЫЙ, С.А. ВЕРНИГОРА, В.В. ЛОПАТИНСКИЙ
**Перспективы применения тонкодисперсных рециклинговых
продуктов переработки бетонов в качестве минеральных
добавок для изготовления строительных растворов 43**

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

Founder of the journal:

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

Publisher: JSC Research Center of Construction

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

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

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

BETON I ZHELEZOBETON

Published since 1955

1 (615)
 January–February 2023

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

M.M. KOZELKOV, A.V. LUGOVOY, R.Sh. SHARIPOV

**The constructive solution for coupling a large-span steel coating
 with a bearing system made of monolithic reinforced concrete
 of the "Atomic energy" pavilion of JSC "VDNH" 5**

I.S. KUZNETSOVA, V.G. RYABCHENKOVA, D.V. AKOPYAN

**Study of the behavior of reinforced concrete structures
 made from high-strength concrete during fire 14**

V.V. POLETAEV, A.E. NIKITIN

**Monitoring of international standards in the field of
 ISO/TC 71 "Concrete, reinforced concrete, prestressed
 reinforced concrete" 23**

A.I. SAGAIK, V.V. BARDAKOV, E.S. BOROVKOVA

**Development of methods for monitoring and predicting
 the strength of concrete at an early age by acoustic
 emission method 33**

TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

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

S.A. VERNIGORA, V.V. LOPATINSKY

**Prospects for the use of fine-dispersed recycling products
 of concrete processing as mineral additives
 for the manufacture of building mortars 43**

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

Редакционная коллегия

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

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

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

ГРАНЕВ В.В., д-р техн. наук, заместитель генерального директора – научный руководитель АО «ЦНИИПромзданий» (Москва, Российская Федерация)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editorial team:

ZVEZDOV A.I., Editor-in-Chief, Dr. Sci. (Engineering), Deputy Director General for Research, JSC Research Center of Construction (Moscow, Russian Federation)

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

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

GRANEV V.V., Dr. Sci. (Engineering), Deputy General Director – Scientific Supervisor of JSC "TsNIPromzdaniy" (Moscow, Russian Federation)

VOLKOV Yu.S., Cand. Sci. (Engineering), Advisor of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Scientific Secretary of Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction (Moscow, Russian Federation)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

FALIKMAN V.R., Cand. Sci. (Chemical), Doctor of Materials Science, Head of the Center for Scientific and Technical Assistance at Complex facilities Construction of the 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)

М.М. КОЗЕЛКОВ✉, А.В. ЛУГОВОЙ, Р.Ш. ШАРИПОВ

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

КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ СОПРЯЖЕНИЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНОГО СТАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ С НЕСУЩЕЙ СИСТЕМОЙ ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ПАВИЛЬОНА «АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ» АО «ВДНХ»

Аннотация

Введение. Все более широкое использование разнообразных современных архитектурных форм общественных сооружений массового пользования влечет за собой поиск соответствующих конструктивных решений, которыми должны обеспечиваться безопасность, эксплуатационная пригодность, а также долговечность несущих конструктивных систем и их элементов.

Цель. На примере запроектированного и уже возводимого выставочного павильона «Атомная энергия» на территории АО «ВДНХ» показан один из возможных вариантов решения сопряжения большепролетных конструкций покрытия с конструктивной системой из монолитного железобетона. Данный вариант сопряжения представляет собой заделанные в монолитные пилоны и диафрагмы жесткости опорные части стальных консольных ферм покрытия. Проведенные расчеты и конструирование показали соответствие нового решения сопряжения требованиям действующих норм по несущей способности, жесткости и трещиностойкости.

Материалы и методы. Посредством численного моделирования с применением различных расчетных комплексов, анализа опытных данных натуральных моделей и их сопоставления с данными моделирования были получены исходные данные для конструирования основных несущих конструкций.

Результаты. В результате примененного комплексного подхода были получены и верифицированы исходные данные для конструирования основных несущих конструкций, имеющих нетиповые параметры поперечного сечения.

Выводы. В ходе проектирования несущего каркаса было произведено усовершенствование системы сопряжения большепролетных стальных ферм консольного типа с монолитными железобетонными конструкциями павильона «Атомная энергия» на территории АО «ВДНХ».

Ключевые слова: железобетонные конструкции, сталежелезобетонные конструкции, конструктивная система, бетон, арматура, консоль, колонна, диафрагма, плита перекрытия

Для цитирования: Козелков М.М., Луговой А.В., Шарипов Р.Ш. Конструктивное решение сопряжения большепролетного стального покрытия с несущей системой из монолитного железобетона павильона «Атомная энергия» АО «ВДНХ» // *Бетон и железобетон*. 2023. № 1 (615). С. 5–13. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1\(615\)-5-13](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1(615)-5-13)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело финансовой поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 16.12.2022

Поступила после рецензирования 27.01.2023

Принята к публикации 09.02.2023

M.M. KOZELKOV✉, A.V. LUGOVOY, R.Sh. SHARIPOV

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

THE CONSTRUCTIVE SOLUTION FOR COUPLING A LARGE–SPAN STEEL COATING WITH A BEARING SYSTEM MADE OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE OF THE “ATOMIC ENERGY” PAVILION OF JSC “VDNH”

Abstract

Introduction. The increasing use of a variety of modern architectural forms of public buildings of mass use entails the search for appropriate design solutions that should ensure safety, serviceability, as well as the durability of load-bearing structural systems and their elements.

Aim. Using the example of the designed and already under construction exhibition pavilion “Atomic Energy” on the territory of JSC “VDNH”, one of the possible solutions for the coupling of large-span roof system with a structural system of monolithic reinforced concrete is shown. This coupling option includes the supporting parts of the steel cantilever trusses of the roof embedded in monolithic pylons and bracing members. The calculations and detailing carried out showed that the new coupling solution meets the requirements of the current standards for load-bearing capacity, rigidity and crack resistance.

Materials and methods. By means of numerical modeling using various computational complexes, analysis of experimental data of full-scale models and their comparison with modeling data, the initial data for the construction of the main load-bearing structures were obtained.

Results. As a result of the applied integrated approach, the initial data for the construction of the main load-bearing structures with atypical cross-sectional parameters were obtained and verified.

Conclusions. During the design of the load-bearing frame, the system of coupling of large-span steel trusses of the cantilever type with monolithic reinforced concrete structures of the “Atomic Energy” pavilion on the territory of JSC “VDNH” was improved.

Keywords: reinforced concrete structures, steel-reinforced concrete structures, structural system, concrete, reinforcement, cantilever, column, bracing member, floor slab

For citation: Kozelkov M.M., Lugovoy A.V., Sharipov R.Sh. The constructive solution for coupling a large-span steel coating with a bearing system made of monolithic reinforced concrete of the “Atomic energy” pavilion of JSC “VDNH”. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023. No. 1 (615), pp. 5–13. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1\(615\)-5-13](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1(615)-5-13)

Author contribution statements

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the article.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 16.12.2022

Revised 27.01.2023

Accepted 09.02.2023



Рис. 1. Архитектурное решение выставочного павильона «Атомная энергия»
Fig. 1. Architectural solution of the exhibition pavilion "Atomic Energy"

Проектируемый объект расположен в Северо-Восточном административном округе города Москвы на территории ВДНХ. Окружающая застройка: павильон № 18 «Белоруссия», павильон № 17 «Лесное хозяйство» (автор проекта – ООО «ЮНК Проект»). Здание павильона сформировано одним квадратным в плане объемом. Особенностью архитектурной композиции рассматриваемого сооружения является достижение максимальной прозрачности и естественной освещенности выставочной части внутреннего пространства (рис. 1), которое достигается путем применения светопрозрачных наружных ограждающих конструкций. Светопрозрачными конструкциями в плане здания ограничивается площадь павильона в зоне расположения большепролетных ферм покрытия консольного типа, которые имеют вылет до 47,2 м. Наружные габариты надземной части здания, не включая декоративные выступающие ламели и револьверные двери входов, козырьков, – 75 × 75 м. Высотная отметка основного фасада, ориентированного на главную аллею и расположенную рядом площадь, – 12,5 м. Высотное завершение – от 12,5 до 20 м. Количество этажей – 7, из них – 3 этажа подземных и 4 этажа надземных.

Все железобетонные конструкции сооружения выполнены из монолитного железобетона. Внутреннее пространство павильона по диагонали разделено двумя железобетонными стенами, раскрепленными железобетонными балками и дисками перекрытий [1].

Стены и пространство между ними отделяют входной остекленный холл от залов многоцелевого назначения. Образованный стенами атриум является внутренним коммуникационным пространством. Стены также являются частью конструкции, к которой крепится консольная часть кровли. В состав павильона входят следующие помещения по назначению:

- залы многоцелевого назначения;
- помещения предприятия общественного питания;
- помещения офисов;
- технические помещения;
- складские помещения.

Проектирование сооружения осуществлялось в соответствии с требованиями действующих нормативно-технических документов, федеральных законов, постановлений и распоряжений правительства [1–22].

Уровень ответственности здания КС-3 (здание с повышенным уровнем ответственности), так как оно относится к уникальным зданиям и сооружениям в соответствии с ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» [15]. Коэффициент надежности по ответственности принят равным $\gamma_n = 1,1$. Здание запроектировано I-й степени огнестойкости класса конструктивной пожарной опасности С0 в соответствии со ст. 28 № 123-ФЗ [4].

В соответствии с первоначальным конструктивным решением опирание консольных ферм производилось по достаточно гибким колоннам (рис. 2, 3). Передача на колонны усилий с нижнего и верхнего поясов консольных ферм приводила к возникновению в колоннах значительных изгибающих моментов и поперечных сил (рис. 4), которые приводили к недостаточной несущей способности колонн по нормальным и наклонным сечениям. Во избежание дефицита прочности несущих конструкций решения опорных зон ферм были перепроектированы.

Так, была усилена зона опирания путем продления ферм в направлении залов многофункционального назначения вплоть до второй монолитной диагонально расположенной стены. В пределах зоны продления были запроектированы монолитные диафрагмы, которые образовали жесткое соединение

диагонально ориентированных стен. Кроме того, были приняты более развитые поперечные сечения колонн у диагональных стен с размерами поперечного сечения 900 × 900 мм и 900 × 1500 мм в диагональных стенах, а также сталежелезобетонные колонны 900 × 1500 мм со стальным прямоугольным сердечником 700 × 1200 т = 80 мм. Диагональная железобетонная стена толщиной 600 мм и опорная диагональная железобетонная стена фермы были приняты толщиной 800 мм.

План скорректированного технического решения монолитных конструкций зоны опирания представлен на рис. 5, а вид сбоку поперек направления вылета консольных ферм – на рис. 6.

Основные материалы для устройства монолитных конструкций по скорректированному техническому

решению были приняты следующими: фундаментная плита (толщиной 1,5 м) выполнена из бетона класса по прочности на сжатие В40, марок по водонепроницаемости W12 и морозостойкости F₃₀₀. Стены и колонны приняты из бетона класса В60, а балочные перекрытия – из бетона класса В40.

После этого были проведены расчеты несущей конструктивной системы павильона с учетом неупругих деформаций бетона и арматуры, принимая во внимание образование и раскрытие эксплуатационных трещин в железобетонных конструкциях. Расчеты включали: установление действующих усилий и перемещений во всех элементах, расчет на устойчивость конструктивной системы (устойчивость формы и положения, устойчивость на всплытие – по требованию экспертизы), оценку сопротивляемости

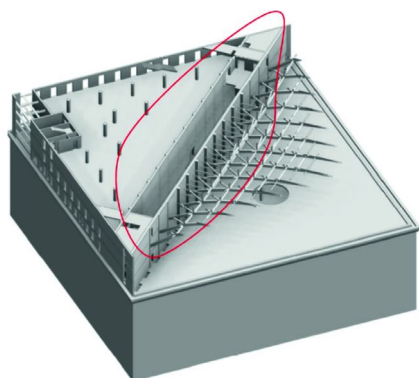


Рис. 2. Первоначальный вариант части конструктивной системы в зоне сопряжения стальных ферм с монолитными конструкциями (общий вид)

Fig. 2. The initial version of a part of the structural system in the coupling zone of steel trusses with monolithic structures (general view)

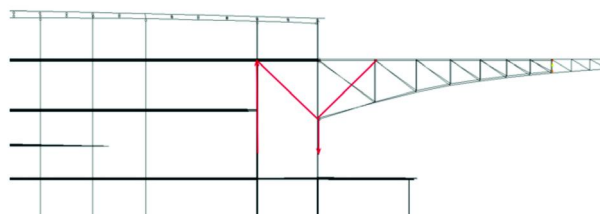


Рис. 3. Первоначальный вариант фрагмента расчетной схемы части конструктивной системы в зоне сопряжения стальных ферм с монолитным каркасом

Fig. 3. The initial version of the fragment of the design scheme of a part of the structural system in the coupling zone of steel trusses with a monolithic frame

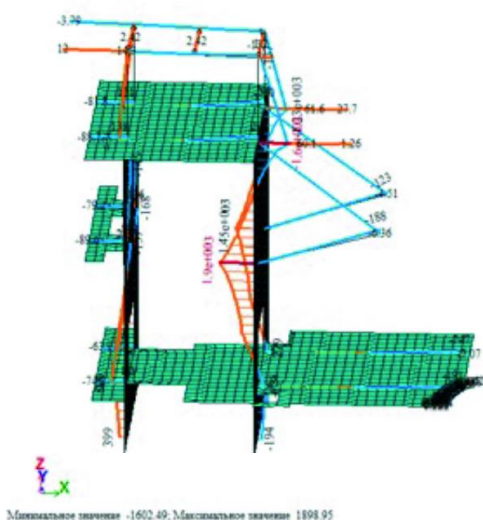


Рис. 4. Эпюры продольных сил в сжатых и растянутых элементах стальных ферм, а также поперечных сил в монолитных колоннах в зоне опирания стальных ферм на монолитные конструкции

Fig. 4. Diagrams of longitudinal forces in compressed and stretched elements of steel trusses, as well as transverse forces in monolithic columns in the area of support of steel trusses on monolithic structures

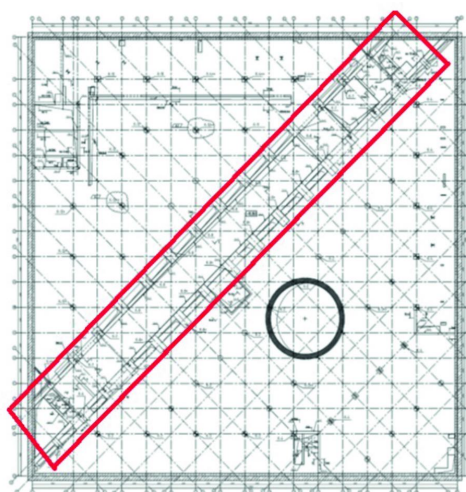


Рис. 5. Скорректированное техническое решение проекта части конструктивной системы в зоне опирания стальных ферм на монолитные конструкции (план)

Fig. 5. Adjusted technical solution of the design of a part of the structural system in the area of the support of steel trusses on monolithic structures (plan)

конструктивной системы прогрессирующему разрушению. Кроме того, производился расчет железобетонных и стальных конструкций всего павильона. Расчет железобетонных конструкций производился по предельным состояниям двух групп: по несущей способности (по прочности и устойчивости) и по эксплуатационной пригодности (по трещиностойкости и деформациям). При этом расчет на устойчивость колонн и стен производился в рамках расчета по прочности с учетом влияния продольного изгиба, а также в рамках расчета конструктивной системы по деформированной схеме. Расчет по деформациям выполнялся в рамках расчета статически неопределимой конструктивной системы. Расчеты конструктивной системы выполнялись методом конечных элементов с использованием программных комплексов «Лира», а также «Атена», реализующим в своем расчетном аппарате применение объемных конечных элементов.

Особенно тщательно подходили к расчетам узлов сопряжения стальных ферм с монолитными конструкциями, а также к расчету монолитных колонн и перекрытий в зонах примыкания к узлам сопряжения стальных и железобетонных элементов. Все указанные узлы были смоделированы с использованием в расчетах двух независимых программных комплексов. На рис. 7 показана схема узла сопряжения, которая была перенесена в расчетную конечно-элементную схему всего сооружения. Фрагмент конечно-элементной модели с узлом сопряжения, представленный в объемных конечных элементах, приведен на рис. 8.

Ранее уже обращалось внимание на данный узел сопряжения, как на наиболее ответственный элемент примененной конструктивной системы. С учетом сложной работы узла сопряжения для него дополнительно была произведена оценка прочности наиболее нагруженных элементов плит перекрытий, стен

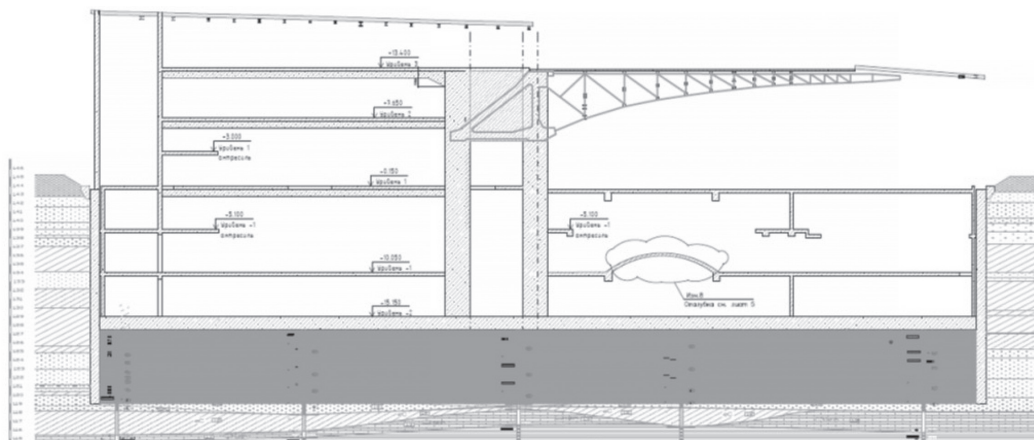


Рис. 6. Скорректированное техническое решение проекта части конструктивной системы в зоне сопряжения консольных ферм с монолитными конструкциями (вид сбоку)

Fig. 6. Adjusted technical solution of the design of a part of the structural system in the interface area of cantilever trusses with monolithic structures (side view)

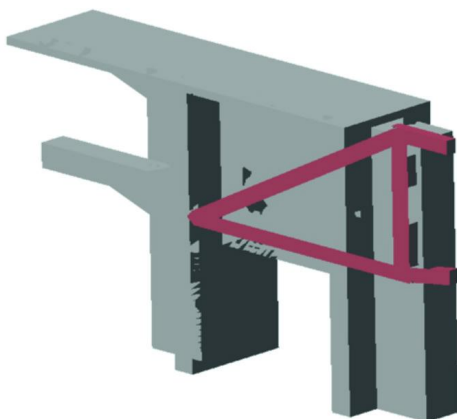


Рис. 7. Схема принятого узла сопряжения в зоне опирания стальных ферм на монолитные конструкции (общий вид)

Fig. 7. Diagram of the adopted coupling node in the area of support of steel trusses on monolithic structures (general view)

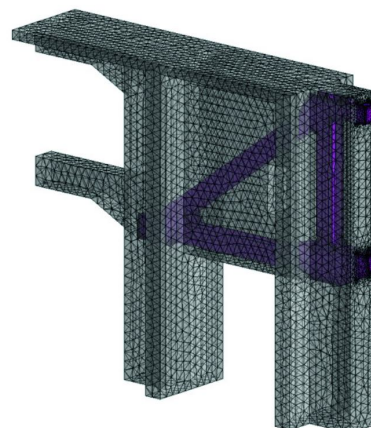


Рис. 8. Конечно-элементная модель узла сопряжения в зоне опирания стальных ферм на монолитные конструкции

Fig. 8. Finite element model of the coupling node in the area of support of steel trusses on monolithic structures

и диафрагм жесткости. Так, для плит перекрытий прочность выделенных элементов рассчитывалась при совместном действии изгибающих и крутящих моментов на основании обобщенных уравнений предельного равновесия (пп. 8.1.53–8.1.54 [11]):

$$(M_{x,ult} - M_x) \cdot (M_{y,ult} - M_y) - M_{xy}^2 \geq 0; \quad (1)$$

$$M_{x,ult} \geq M_x; \quad (2)$$

$$M_{y,ult} \geq M_y; \quad (3)$$

$$M_{xy,ult} \geq M_{xy}, \quad (4)$$

где M_x, M_y, M_{xy} – изгибающие и крутящие моменты, действующие на выделенный плоский элемент;

$M_{x,ult}, M_{y,ult}, M_{xy,ult}$ – предельные изгибающие и крутящие моменты, воспринимаемые выделенным элементом.

Значения предельных изгибающих моментов $M_{x,ult}$ и $M_{y,ult}$ определяли из расчета нормальных сечений, перпендикулярных осям X и Y , плоского выделенного элемента с продольной арматурой, параллельной осям X и Y , согласно указаниям пп. 8.1.1–8.1.13 [11].

Значения предельных крутящих моментов вычисляли по бетону $M_{bxy,ult}$ и по растянутой продольной арматуре $M_{sxy,ult}$ по формулам:

$$M_{bxy,ult} = 0,1R_b b^2 h, \quad (5)$$

где b и h – меньший и больший размеры соответственно плоского выделенного элемента;

$$M_{sxy,ult} = 0,5R_s (A_{sx} + A_{sy}) h_0, \quad (6)$$

где A_{sx} и A_{sy} – площади сечения продольной арматуры в направлении осей X и Y ;

h_0 – рабочая высота поперечного сечения плиты.

Расчеты по прочности плоских выделенных элементов наиболее нагруженных диафрагм и стен на действие поперечных сил выполнялись в соответствии с п. 8.1.55 [11] из условия:

$$\frac{Q_x}{Q_{x,ult}} + \frac{Q_y}{Q_{y,ult}} \leq 1, \quad (7)$$

где Q_x и Q_y – поперечные силы, действующие по боковым сторонам плоского выделенного элемента;

$Q_{x,ult}$ и $Q_{y,ult}$ – предельные поперечные силы, воспринимаемые плоским выделенным элементом.

Значения предельных поперечных сил определяют по формуле:

$$Q_{ult} = Q_b + Q_{sw}, \quad (8)$$

где Q_b и Q_{sw} – предельные поперечные силы, воспринимаемые соответственно бетоном и поперечной арматурой и определяемые по формулам:

$$Q_b = 0,5R_{bt} b h_0; \quad (9)$$

$$Q_{sw} = q_{sw} h_0, \quad (10)$$

где q_{sw} – интенсивность поперечного армирования, определяемая по формуле (п. 8.59 [11]).

Кроме того, производили расчет диафрагм и стен в своей плоскости из условий, основанных на обобщенных уравнениях предельного равновесия:

$$(N_{x,ult} - N_x)(N_{y,ult} - N_y) - N_{xy}^2 \geq 0; \quad (11)$$

$$N_{x,ult} \geq N_x; \quad (12)$$

$$N_{y,ult} \geq N_y; \quad (13)$$

$$N_{xy,ult} \geq N_{xy}; \quad (14)$$

где N_x, N_y и N_{xy} – нормальные и сдвигающие силы, действующие по боковым сторонам плоского выделенного элемента;

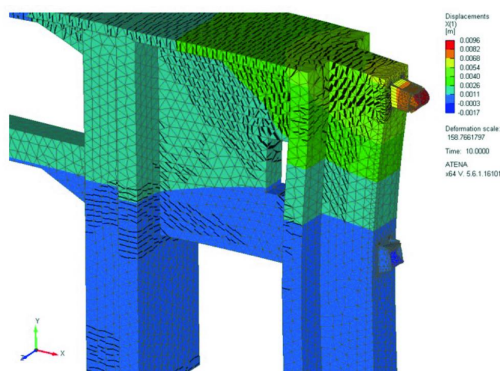


Рис. 9. Горизонтальные деформации узла сопряжения в зоне опирания стальных ферм на монолитные конструкции

Fig. 9. Horizontal deformations of the coupling node in the area of support of steel trusses on monolithic structures

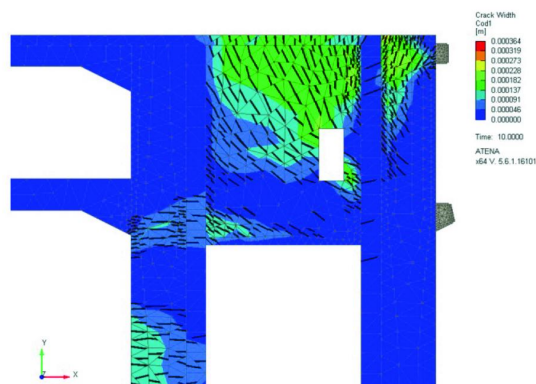


Рис. 10. Участки образования и ширина раскрытия эксплуатационных трещин узла сопряжения в зоне опирания стальных ферм на монолитные конструкции

Fig. 10. Areas of formation and width of opening of operational cracks of the coupling node in the zone of support of steel trusses on monolithic structures

$N_{x,ult}$, $N_{y,ult}$ и $N_{xy,ult}$ – предельные нормальные и сдвигающие силы, воспринимаемые плоским выделенным элементом.

Значения предельных нормальных сил $N_{x,ult}$ и $N_{y,ult}$ определяли из расчета нормальных сечений, перпендикулярных осям X и Y , плоского выделенного элемента с вертикальной и горизонтальной арматурой, параллельной осям X и Y , согласно указаниям пп. 8.1.14–8.1.19 [11].

Перечисленные выше расчеты с применением обобщенных уравнений предельного равновесия показали, что условия прочности рассмотренных участков диафрагм и стен, а также плит перекрытий в зоне сопряжений стальных ферм покрытия с монолитными конструкциями удовлетворяются.

Расчеты по устойчивости принятой конструктивной системы здания показали, что минимальное значение коэффициента запаса по устойчивости формы сооружения, рассчитанное с учетом возможности образования трещин и неупругих деформаций в бетоне и арматуре, составило 2,14, что превышает установленные нормами требования (> 2). В расчетах на прогрессирующее разрушение полученное значение коэффициента запаса по устойчивости также удовлетворяет требованиям норм.

Кроме того, в соответствии с пп. 8.1.43 и 8.1.44 [11] были выполнены расчеты на местное сжатие участков колонн, на которые производится опирание стальных консолей, имея в виду приложение сжимающих сил на ограниченной площади нормально к поверхности железобетонного элемента. Расчеты показали, что условия прочности на местное сжатие удовлетворяются.

На рис. 9 и 10 справочно приведены изополя соответственно деформаций элементов узла и расчетных значений ширины раскрытия трещин в различных

сечениях, характеризующие напряженно-деформированное состояние элементов конструкции рассматриваемого узла сопряжения.

В настоящее время заканчивается возведение несущих строительных конструкций сооружения (рис. 11, 12).

Выводы

1. В ходе проектирования несущего каркаса было произведено усовершенствование системы сопряжения большепролетных стальных ферм консольного типа с монолитными железобетонными конструкциями павильона «Атомная энергия» на территории АО «ВДНХ». Расчеты усовершенствованной несущей конструктивной системы, а также ее элементов показали, что после произведенных корректив технических решений сопряжений монолитных конструкций со стальными консольными фермами выполняются требования действующих норм по двум группам предельных состояний.

2. В дальнейшем перспектива развития подобных конструктивных решений сопряжения стальных покрытий с монолитными железобетонными конструкциями видится в применении сталесталежелезобетонных вертикальных конструкций, использование которых позволит более эффективно воспринять вертикальные сжимающие усилия в колоннах. Для растянутых участков диафрагм жесткости и плит перекрытий, а также получающих растягивающие напряжения железобетонных колонн в последующей практике проектирования представляется целесообразным применение постнапряженных железобетонных конструкций, растянутая предварительно напряженная арматура которых позволит более эффективно обеспечить восприятие возникающих растягивающих усилий.



Рис. 11. Общий вид узлов сопряжения в зоне опирания стальных ферм на монолитные конструкции до бетонирования
Fig. 11. General view of the coupling nodes in the area of the support of steel trusses on monolithic structures before concreting



Рис. 12. Общий вид узлов сопряжения в зоне опирания стальных ферм на монолитные конструкции до бетонирования
Fig. 12. General view of the coupling nodes in the area of the support of steel trusses on monolithic structures before concreting

Список литературы

1. Расчетно-пояснительная записка по объекту: «Павильон «Атомная энергия» на территории АО «ВДНХ», расположенный по адресу: г. Москва, ул. Проспект Мира, вл. 119, стр. 19, общей площадью 20 000 кв. м. в пределах земельного участка с кадастровым номером 77:02:0018011:8467».

2. Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации».

3. Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

4. Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

5. Федеральный закон от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения с изменениями на 25 июня 2012 года (в действующей редакции).

6. Постановление Правительства РФ от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

7. Постановление Правительства РФ от 26 декабря 2014 г. № 1521 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (в редакции, актуальной с 17 декабря 2016 г., с изменениями и дополнениями, внесенными в текст, согласно постановлениям Правительства РФ: от 29.09.2015 г. № 1033, от 07.12.2016 г. № 1307).

8. Распоряжение Правительства РФ от 21.06.2010 г. № 1047-р «О перечне национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

9. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Москва: Стандартинформ; 2017.

10. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. Москва: Минстрой России; 2014.

11. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Москва: Минстрой России; 2013.

12. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. Москва: Минрегион России; 2011.

13. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. Москва: Минстрой России; 2017.

14. СП 468.1325800.2019. Бетонные и железобетонные конструкции. Правила по обеспечению огнестойкости и огнестойкости. Москва: Стандартинформ; 2020.

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

16. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2012.

17. ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости. Основные требования. Москва: Стандартинформ; 2014.

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

19. ГОСТ 10181-2014. Смеси бетонные. Методы испытаний. Москва: Стандартинформ; 2015.

20. ГОСТ 14098-2014. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры. Москва: Стандартинформ; 2015.

21. ГОСТ 10922-2012. Арматурные и закладные изделия, их сварные, вязаные и механические соединения для железобетонных конструкций. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ; 2013.

22. ГОСТ 12730.0-78. Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости. Москва: Стандартинформ; 1980.

References

1. Raschetno-poyasnitel'naya zapiska po ob'ektu: «Pavil'on «Atomnaya ehnergiya» na territorii AO «VDNKH», raspolozhennyj po adresu: g. Moskva, ul. Prospekt Mira, vl. 119, str. 19, obshchej ploshchad'yu 20 000 kv. m. v predelakh zemel'nogo uchastka s kadastrovym nomerom 77:02:0018011:8467».

2. Federal'nyj zakon ot 29 dekabrya 2004 g. No. 190-FZ «Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federacii».

3. Federal'nyj zakon Rossijskoj Federacii ot 30 dekabrya 2009 g. No. 384-FZ «Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij».

4. Federal'nyj zakon ot 22.07.2008 g. No. 123-FZ «Tekhnicheskij reglament o trebovaniyakh pozharnoj bezopasnosti».

5. Federal'nyj zakon ot 30.03.1999 g. No. 52-FZ «O sanitarno-ehpidemiologicheskom blagopoluchii naseleniya s izmeneniyami na 25 iyunya 2012 goda (deystvuyushchej redakcii).

6. Postanovlenie pravitel'stva RF ot 16 fevralya 2008 g. No. 87 «O sostave razdelov proektnoj dokumentacii i trebovaniyakh k ikh sodержaniyu».

7. Postanovlenie pravitel'stva RF ot 26 dekabrya 2014 g. No. 1521 «Ob utverzhdenii perechnya nacional'nykh standartov i svodov pravil (chastej takikh standartov i svodov pravil), v rezul'tate primeneniya

kotorykh na obyazatel'noj osnove obespechivaetsya soblyudenie trebovanij federal'nogo zakona «Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij» (v redakcii, aktual'noj s 17 dekabrya 2016 g., s izmeneniyami i dopolneniyami, vnesennymi v tekst, soglasno postanovleniyam pravitel'stva RF: ot 29.09.2015 g. No. 1033, ot 07.12.2016 g. No. 1307).

8. Rasporyazhenie pravitel'stva RF ot 21.06.2010 g. No. 1047-r «O perechne nacional'nykh standartov i svodov pravil (chastej takikh standartov i svodov pravil), v rezul'tate primeneniya kotorykh na obyazatel'noj osnove obespechivaetsya soblyudenie trebovanij federal'nogo zakona «Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij».

9. SP 20.13330.2016. Loads and actions. Moscow: Standartinform; 2017 (in Russian).

10. SP 14.13330.2014. Seismic Building Design Code. Moscow: Ministry of Construction; 2014 (in Russian).

11. SP 63.13330.2012. Concrete and won concrete construction. Design requirements. Updated edition SNiP 52-01-2003. Moscow: Ministry of Construction; 2013 (in Russian).

12. SP 16.13330.2011. Steel structures. Updated edition SNiP II-23-81*. Moscow: Minregion Rossii; 2011 (in Russian).

13. SP 22.13330.2016. Soil bases of buildings and structures. Updated edition SNiP 2.02.01-83*. Moscow: Ministry of Construction; 2017 (in Russian).

14. SP 468.1325800.2019. Concrete and reinforced concrete structures. Rules for ensuring of fire resistance and fire safety. Moscow: Standartinform; 2020 (in Russian).

15. State Standart 27751-2014. Reliability for constructions and foundations. General principles. Moscow: Standartinform; 2015 (in Russian).

16. State Standart 7473-2010. Fresh concrete. Specifications. Moscow: Standartinform; 2012 (in Russian).

17. State Standart 10060-2012. Concretes. Methods for determination of frost-resistance. Moscow: Standartinform; 2014 (in Russian).

18. State Standart 10180-2012. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens. Moscow: Standartinform; 2013 (in Russian).

19. State Standart 10181-2014. Concrete mixtures. Methods of testing. Moscow: Standartinform; 2015 (in Russian).

20. State Standart 14098-2014. Welded joints of reinforcement and inserts for reinforced concrete structures. Types, constructions and dimensions. Moscow: Standartinform; 2015 (in Russian).

21. State Standart 10922-2012. Welded reinforcing products and inserts, welded, lap and mechanical joints for reinforced concrete structures. General specifications. Moscow: Standartinform; 2013 (in Russian).

22. State Standart 12730.0-78. Concretes. General requirements for methods of determination of density, moisture content, water absorptions porosity and watertightness. Moscow: Standartinform; 1980 (in Russian).

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

Михаил Михайлович Козелков✉, канд. техн. наук, руководитель центра № 22 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: centr22@mail.ru
тел.: 8 (910) 444-70-75

Michael M. Kozelkov✉, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Center No. 22 of NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: centr22@mail.ru
tel.: 8 (910) 444-70-75

Антон Васильевич Луговой, инженер, главный конструктор центра № 22 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: centr22@mail.ru
тел.: 8 (910) 477-36-26

Anton V. Lugovoy, Engineer, Chief Designer of the Center No. 22 of NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: centr22@mail.ru
tel.: 8 (910) 477-36-26

Равиль Шамильевич Шарипов, канд. техн. наук, заместитель директора по научной и производственной работе НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: 1747724@mail.ru
тел.: 8 (499) 174-77-24

Ravil Sh. Sharipov, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Director for Research and Production Activities of NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: 1747724@mail.ru
tel.: 8 (499) 174-77-24

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

И.С. КУЗНЕЦОВА✉, В.Г. РЯБЧЕНКОВА, Д.В. АКОПЯН

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА ПРИ ПОЖАРЕ

Аннотация

Введение. Высокопрочный бетон обладает высокой механической прочностью и рядом других преимуществ, но склонен к взрывообразному разрушению при быстром высокотемпературном нагреве (при пожаре), что приводит к уменьшению сечений железобетонных конструкций и преждевременному наступлению предела огнестойкости по потере несущей способности (R). Результаты исследований огнестойкости конструкций из высокопрочных бетонов отсутствуют в строительной нормативной базе. Расчетный метод оценки огнестойкости конструкций из высокопрочного бетона также не проработан с апробацией огневыми испытаниями.

Цель. Экспериментальное исследование огнестойкости железобетонных плитных конструкций из высокопрочных бетонов классов В60 и В100 с учетом влияния процесса взрывообразного разрушения высокопрочного бетона при пожаре.

Материалы и методы. Огневыми испытаниям подлежали серии натуральных плит, изготовленные из высокопрочного бетона классов В60 и В100 с добавкой микрокремнезема в количестве 6,75, 9 и 13%, с армированием стальной арматурой класса А500С. Для сопоставления результатов были испытаны контрольные плиты из обычного тяжелого бетона класса В30. По результатам огневых испытаний определялись пределы огнестойкости натуральных плит из высокопрочного бетона и специфика взрывообразного разрушения высокопрочного бетона при пожаре. Установлен упрощенный метод оценки предела огнестойкости для плитных конструкций из высокопрочного бетона на микрокремнеземе.

Результаты. В статье приведены результаты экспериментальных исследований и огневых испытаний огнестойкости плитных конструкций из высокопрочного бетона классов В60 и В100 с добавкой микрокремнезема в количестве 6,75, 9 и 13 %, с армированием стальной арматурой класса А500С.

Выводы. Эффективность исследований определяется развитием расчетного метода оценки огнестойкости для конструкций из высокопрочного бетона при проектировании. По результатам работы выявлена необходимость дальнейших исследований огнестойкости разных типов конструкций из высокопрочного бетона с вариациями классов и видов высокопрочных бетонов в зависимости от их вещественно-количественного состава.

Ключевые слова: высокопрочный бетон, добавка микрокремнезема, пожар, натурные плиты, огневые испытания, предел огнестойкости, взрывообразное разрушение бетона

Для цитирования: Кузнецова И.С., Рябченкова В.Г., Акопян Д.В. Исследование поведения железобетонных конструкций из высокопрочного бетона при пожаре // *Бетон и железобетон*. 2023. № 1 (615). С. 14–22. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1\(615\)-14-22](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1(615)-14-22)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследования выполнялись в рамках государственного задания на оказание государственных услуг Федеральному автономному учреждению «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве», утвержденного Минстроем России 30.12.2020 № 069-00004-21-00 на 2021 год и на плановый период 2022 и 2023 годов, и финансировались из средств федерального бюджета.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 07.12.2022

Поступила после рецензирования 11.01.2023

Принята к публикации 19.01.2023

I.S. KUZNETSOVA✉, V.G. RYABCHENKOVA, D.V. AKOPYAN

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

STUDY OF THE BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES MADE FROM HIGH-STRENGTH CONCRETE DURING FIRE

Abstract

Introduction. High-strength concrete has high mechanical strength and a number of other advantages, but is prone to explosive destruction during rapid high-temperature heating (in case of fire), which leads to a decrease in the cross-sections of reinforced concrete structures and premature occurrence of the fire resistance limit by loss of bearing capacity (R). The results of studies on the fire resistance of structures made of high-strength concrete are not available in the construction regulatory framework. The calculation method for assessing the fire resistance of structures made of high-strength concrete with fire testing has not been worked out too.

Aim. Experimental study of fire resistance of reinforced concrete slab structures made of high-strength concrete of B60 and B100 classes, taking into account the influence of the process of explosive destruction of high-strength concrete in case of fire.

Materials and methods. Concrete samples and full-scale slabs made of high-strength concrete with the addition of microsilica of B60 and B100 classes were subject to research. Full-scale solid-section slabs made of high-strength concrete of B60–B100 classes with steel reinforcement of A500C class were subject to fire tests. Based on the results of fire tests, the limits of fire resistance of full-scale slabs of high-strength concrete and the specifics of explosive destruction of high-strength concrete in a fire were determined.

Results. The article presents the results of experimental studies and fire tests of the fire resistance of slab structures made of high-strength concrete.

Conclusions. The effectiveness of research is determined by the development of a computational method for assessing fire resistance for structures made of high-strength concrete during design. Based on the results of

the work, the need for further studies of the fire resistance of different types of structures made of high-strength concrete, with variations of high-strength concrete classes and types, depending on their material and quantitative composition, was revealed.

Keywords: high-strength concrete, microsilica additive, fire, full-scale slabs, fire tests, fire resistance limit, explosive destruction of concrete

For citation: Kuznetsova I.S., Ryabchenkova V.G., Akopyan D.V. Study of the behavior of reinforced concrete structures made from high-strength concrete during fire. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023. No. 1 (615), pp. 14–22. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1\(615\)-14-22](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1(615)-14-22)

Author contribution statements

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the article.

Funding

The research was carried out within the framework of the state task for the provision of public services to the Federal autonomous institution “Federal center for regulation, standardization and technical conformity assessment in construction”, approved by the Ministry of construction of the Russian Federation on 30.12.2020 No. 069-00004-21-00 for 2021 and for the planning period of 2022 and 2023 and was funded from the federal budget.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 07.12.2022

Revised 11.01.2023

Accepted 19.01.2023

В современном строительстве высокопрочный бетон (далее – ВБ) является часто востребованным строительным материалом при возведении ответственных конструкций за счет позиционирования его высокой механической прочности, газо- и водонепроницаемости, коррозионной стойкости, стойкости к воздействию агрессивных сред и истиранию. Перечисленные преимущества, конечно, не подлежат сомнениям.

Вместе с тем широкому кругу специалистов известно, что для ВБ характерна склонность к взрывообразному разрушению при быстром нагреве (при пожаре), приводящему к уменьшению сечения железобетонной конструкции и, как следствие, снижению предела огнестойкости по потере несущей способности.

Исследования огнестойкости натуральных конструкций из ВБ путем огневых испытаний в нашей стране практически не проводились либо носили частный характер без внесения результатов испытаний в строительную нормативную базу.

В нормативных документах отсутствуют данные о влиянии воздействия высоких температур на динамику снижения прочности высокопрочных бетонов. При проектировании зданий с обеспечением огнестойкости железобетонных конструкций из ВБ ранее применялись коэффициенты условий работы при нагреве, как и для обычного тяжелого бетона. Однако правомочность такого допущения не проверена экспериментально, а на практике может быть далека от действительности.

Также неизвестно, насколько отличаются пределы огнестойкости железобетонных конструкций из ВБ от пределов огнестойкости аналогичных конструкций из обычных тяжелых бетонов.

Правила оценки огнестойкости железобетонных конструкций из ВБ не отражены конкретикой в нормативных документах. В разделе 5 СП 468.1325800.2019 [1] отмечено, что для высокопрочных бетонов классов В60 и выше коэффициенты условий работы и другие расчетные характеристики при нагреве следует определять экспериментально.

В европейских нормах (Еврокод EN 1992-1-2:2004 [2]) есть указания о том, что для бетона классов $80/95 < C \leq 90/105$ характерно хрупкое разрушение при пожаре. Для конструкций из бетона классов от C55/67 до C80/95 при процентном содержании микрокремнезема более 6 % по массе цемента необходимо предусматривать специальные мероприятия по защите от хрупкого взрывообразного разрушения бетона при пожаре.

Повышенные прочностные характеристики ВБ достигаются, как правило, за счет применения минеральных и химических добавок. Наиболее часто применяемыми являются минеральные тонкомолотые добавки на основе микрокремнезема, золы-уноса и доменных шлаков.

Структурообразование ВБ имеет сходные черты с процессами, протекающими в обычном бетоне. Основной отличительной особенностью ВБ является более низкая пористость, повышение однородности структуры, уменьшение количества макродефектов в цементном камне и контактной зоне. Это достигается за счет снижения расхода воды по сравнению с обычным бетоном, уплотнения структуры в результате замещения цемента тонкомолотой минеральной добавкой и уплотнения структуры контактной зоны между цементным камнем и заполнителем. Присутствие тонкодисперсных наполнителей и добавок снижает количество портландита и этtringита и обеспечивает заполнение капиллярных пор продуктами гидратации [3–5], что снижает пористость и приводит к достижению высокой прочности бетона.

Рядом исследователей установлено [8–12], что ВБ имеет высокий потенциал к взрывообразному разрушению при высокотемпературном нагреве (при пожаре). Взрывообразный характер проявлялся в нескольких группах образцов, подвергнутых одинаковым условиям испытания. Неустойчивое поведение затрудняет точный прогноз взрывного разрушения ВБ при пожаре. Существует мнение, что предрасположенность к такому разрушению у ВБ связана с условиями проведения эксперимента, наличием тонкомолотой добавки и, как следствие, низкой проницаемостью, ограничивающей возможность нагретой влаги мигрировать через поры в бетоне. Это является результатом увеличения давления пара внутри цементного камня с ростом температуры и продолжается до тех пор, пока давление пара не приведет к взрывообразному разрушению нагретого бетона [8].

Поскольку взрывообразное разрушение бетона наблюдается не только в конструкциях из высокопрочного бетона, но и из обычного тяжелого бетона, в рассматриваемой научно-исследовательской работе ставилась задача определения характерного отличия протекания процесса взрывообразного разрушения в конструкциях из обычного тяжелого бетона и ВБ на микрокремнеземе. Для изучения специфики взрывообразного разрушения ВБ был выбран тип плитных конструкций для проведения огневых испытаний.

Помимо изучения специфики характера взрывообразного разрушения ВБ на микрокремнеземе, целью проведенных лабораторных исследований и огневых испытаний являлось получение экспериментальных данных о:

- фактических пределах огнестойкости железобетонных плит из ВБ на микрокремнеземе;
- геометрических параметрах повреждений плит от взрывообразного разрушения бетона (глубина и площадь распространения дефекта);
- влиянии процентного содержания микрокремнезема в ВБ классов В60 и В100 на интенсивность

взрывообразного разрушения при пожаре.

Огневые испытания проведены для шести серий железобетонных плит сплошного сечения, изготовленных с вариацией двух классов высокопрочных бетонов на микрокремнеземе (В60, В80, В100), с вариацией содержания микрокремнезема 6,75 и 9 % – для бетонов класса В60, 9 и 13 % – для бетонов класса В100, 9 % – для бетонов класса В80.

Для всех серий ВБ применены идентичные базовые сырьевые материалы:

- вяжущее – портландцемент со шлаком ЦЕМ III/A-Ш 42,5Н, ГОСТ 31108-2016 [17];
- крупный заполнитель – гранитный щебень, ГОСТ 8267-93 [18], фракции 5–20 мм;
- мелкий заполнитель – песок класса I, ГОСТ 8736-2014 [19], с модулем крупности 2,2 мм;
- модификатор бетона марки МБ 10-50С;
- вода затворения.

В некоторые серии ВБ вводился порообразователь – СНВ.

Для сопоставительного анализа была изготовлена седьмая контрольная серия натуральных плитных образцов из обычного тяжелого бетона класса В30.

Геометрические параметры и армирование всех серий плит были идентичными. Натурные плиты имели габариты 4200 × 1200 × 150 мм (длина × ширина × толщина). Армирование плит, однорядное, производилось горячекатаной стержневой арматурой класса А500С в количестве 7 стержней диаметром 12 мм при толщине нижнего защитного слоя касательно к арматуре – 20 мм.

Время от начала затворения бетонной смеси (время отправки машины-бетоновоза с бетонного завода) до ее укладки в опалубку крупноразмерных плит составляло ~ (1,0–1,5) часа. Температура воздуха – 35 °С. После заливки бетона все плиты были промаркированы и укрыты полиэтиленовой пленкой (рис. 1).

Твердение бетона плит осуществлялось в течение 28 суток хранения под пленкой с периодическим



Рис. 1. Фрагмент процесса изготовления натуральных плит на площадке НИЭЦ «Стройтест»

Fig. 1. Fragment of the process of full-scale plates manufacturing at the site of the NIETs «Stroytest»

поливом плит водой. Далее плиты были распалублены и штабелированы на площадке НИЭЦ «Стройтест» с установкой прокладок (устройство продухов для сушки бетона). Возраст бетона плит к моменту огневых испытаний составлял не менее 1,5 месяцев.

Огневые испытания натуральных плит проведены по методикам ГОСТ 30247.0-94 [13] и ГОСТ 30247.1-94 [14] в специализированном испытательном центре – ООО «Независимый Испытательный и Экспертный Центр «Стройтест» (ООО «НИЭЦ «Стройтест») в г. Алексине Тульской области.

В ходе огневых испытаний воспроизводилось двустороннее шарнирное опирание плит (статически определимая схема работы) при рабочем пролете 4000 мм (рис. 2).

Перед огневыми испытаниями (не менее чем за 1 час до начала испытания) плиты нагружались равномерно распределенной нагрузкой, идентичной во всех сериях плит и равной 720 кг/м² с учетом собственного веса конструкций и коэффициента перегрузки, равного 1,2 по СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия» [20] (рис. 3). Нагружение плит поддерживалось постоянным до окончания огневого испытания.

Непосредственно перед огневыми испытаниями из плит всех серий отбирались образцы для контроля влажности бетона по ГОСТ 12730.2-2020 [21] в лабораторных условиях, которые герметично упаковывались и доставлялись в лабораторию НИИЖБ. Фактическая влажность бетона в сериях плит варьировалась в пределах 3,4–4,2 %.

В ходе нагружения и в процессе огневого испытания производились замеры прогибов плит в середине пролета при помощи струнных прогибомеров с электронной шкалой.

Контроль температур в пространстве огневой камеры печи осуществлялся при помощи печных термопар. Помимо печных термопар, при изготовлении плит в тело бетона на нижнюю арматуру

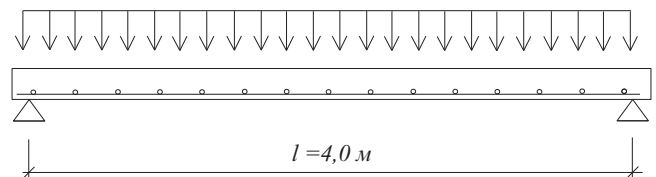


Рис. 2. Принципиальная схема нагружения опытных плит равномерно-распределенной нагрузкой при огневых испытаниях
Fig. 2. Schematic diagram of loading of experimental plates with evenly distributed load during fire tests

устанавливались термопары в соответствии с требованиями пункта 7.3.1 ГОСТ 30247.1-94 [14] в количестве 5-ти термопар на каждую испытываемую плиту.

Огневые испытания плит проводились до момента наступления одного из предельных состояний огнестойкости: по потере несущей способности (R), потере целостности (E) и потере теплоизолирующей способности (I) по ГОСТ 30247.1-94 [14]. Во всех сериях плит предельное состояние наступало по признаку потери несущей способности – по достижению предельного прогиба ($L/20$, где L – пролет плиты).

В процессе огневых испытаний всех серий плит фиксировалось время начала и окончания взрывообразного разрушения бетона, его периодичность и интенсивность.

По результатам огневых испытаний устанавливались фактические пределы огнестойкости плит. После остывания плит производился их визуальный осмотр, фиксировались параметры повреждений нагреваемой бетонной поверхности (трещины и сколы бетона, их глубина и размеры).

Во всех сериях плит из ВБ на микрокремнеземе (серии 1–6) процесс взрывообразного разрушения бетона начинался через 7–9 минут от начала огневого воздействия и прекращался за 5–10 минут до наступления предельного состояния по достижению предельного прогиба ($L/20$). Интенсивность взрывообразного разрушения бетона на протяжении всего времени огневого испытания была различной. На начальной стадии взрывообразного разрушения, в течение примерно 10 минут, звуковой эффект напоминал приглушенные множественные хлопки, подобно звуку хлопков попкорна при жарке, а через смотровое окно наблюдалось непрерывное осыпание или отстреливание множества мелких частиц бетона размером 3–10 мм (в виде «каменного дождя») с нижней нагреваемой поверхности. Через 20 минут от

начала огневого воздействия громкость хлопков усиливалась, но частота их уменьшалась (периодичность между звуками взрывов составляла 2–5 сек). Через 25–30 минут от начала испытания слышны резкие взрывообразные одиночные звуки, происходящие с интервалом 10–40 сек. Наблюдались отстрелы щепады бетона с боковых угловых граней плит с разлетом осколков вне камеры печи на несколько метров. Такой неравномерный и длительный характер протекания процесса взрывообразного разрушения ВБ в плитах довольно специфичный и имеет значительное распространение по площади бетонной поверхности плит. Глубина повреждения бетонной поверхности, вследствие взрывообразного разрушения, составляла в среднем порядка 10 мм, что ускоряло прогрев арматуры.

Минимальная интенсивность взрывообразного разрушения и повреждаемость бетона наблюдались в серии плит класса В60 из ВБ с содержанием микрокремнезема 6,75 % (серия 1). При этом повреждение целостности поверхностного слоя бетона со стороны обогреваемой поверхности распространилось на ~10 % площади плит и на глубину до 10 мм. Оголение арматуры плит отсутствовало (рис. 4).

Наибольшая интенсивность взрывообразного разрушения и существенная повреждаемость бетона наблюдались в сериях плит классов В60, В80 и В100 из ВБ с содержанием микрокремнезема 9 % (серии 2, 4, 6). Повреждения целостности бетона со стороны обогреваемой поверхности распространялись на ~(60–70) % площади плит и на глубину до 5–8 мм. Оголение арматуры по площади плит отсутствовало, за исключением локальных участков арматуры в угловых зонах вблизи продольных граней, где глубина сколов была наиболее значительной (рис. 5–7).

Таким образом, положение Еврокода EN 1992-1-2:2004 [2] о том, что для ВБ с содержанием микрокремнезема более 6 % по массе цемента необходимо предусматривать специальные мероприятия



Рис. 3. Характерный вид плит серии 6 под нагрузкой перед огневым испытанием
Fig. 3. Characteristic view of the series 6 plates under load before the fire test



Рис. 4. Вид обогреваемой поверхности плиты серии 1 (6,75 % микрокремнезема в ВБ) после огневого испытания
Fig. 4. View of the heated surface of the series 1 plate (6.75 % of microsilica in HSC) after the fire test

по защите от хрупкого взрывообразного разрушения бетона при пожаре, подтвердилось результатами проведенных исследований.

Предельное состояние всех серий плит в процессе огневого испытания наступало при достижении предельного прогиба с последующим обрушением плит через 1–2 минуты. При этом в сериях 1–6 плит из ВБ средняя температура нагрева арматуры в момент наступления предельного состояния составляла 500–550 °С, а максимальная температура на необогреваемой поверхности плит достигала 70 °С.

В конструкциях из обычного тяжелого бетона процесс взрывообразного разрушения бетона при пожаре происходит иначе. Разрушение, как правило, начинается через 10–15 минут от начала огневого воздействия и происходит в виде нескольких одиночных резких взрывных эффектов разной громкости в течение не более 15–20 минут. При этом происходят локальные сколы бетона различной глубины (5–15 мм) и площади разрушения. Примером отличия

характера взрывообразного разрушения бетона может служить серия 7 плит из обычного тяжелого бетона, которая испытывалась в качестве контрольных образцов, в ней присутствуют только локальные сколы бетона на обогреваемой поверхности после огневого испытания (рис. 8). Площадь поражения взрывообразным разрушением нагреваемой поверхности плит значительно меньше, чем в плитах из ВБ на микрокремнеземе. Аналогичный характер взрывообразного разрушения плит из обычного тяжелого бетона наблюдался в процессе огневых испытаний в НИОКР от 2017 и 2019 годов [15, 16].

Обобщенные результаты огневых испытаний натуральных плит сплошного сечения из ВБ с различным содержанием микрокремнезема, а также контрольных плит из обычного тяжелого бетона приведены в табл. 1.

В ходе проведенной расчетной оценки огнестойкости плит из ВБ с микрокремнеземом по СП 468.1325800.2019 [1] с учетом взрывообразного



Рис. 5. Вид обогреваемой поверхности плиты серии 2 (9 % микрокремнезема в ВБ) после огневого испытания. Класс бетона – В60

Fig. 5. View of the heated surface of the series 2 plate (9 % of microsilica in HSC) after the fire test. Concrete class – В60



Рис. 7. Вид обогреваемой поверхности плиты серии 4 (9 % микрокремнезема в ВБ) после огневого испытания. Класс бетона – В100

Fig. 7. View of the heated surface of the series 4 plate (9 % of microsilica in HSC) after the fire test. Concrete class – В100



Рис. 6. Вид обогреваемой поверхности плиты серии 6 (9 % микрокремнезема в ВБ) после огневого испытания. Класс бетона – В80

Fig. 6. View of the heated surface of the series 6 plate (9 % of microsilica in HSC) after the fire test. Concrete class – В80



Рис. 8. Вид обогреваемой поверхности плиты контрольной серии 7 (из обычного тяжелого бетона) после огневого испытания. Класс бетона – В30. Присутствуют два локальных скола бетона

Fig. 8. View of the heated surface of the control series 7 plate (made of ordinary heavy concrete) after the fire test. The concrete class is В30. There are two local concrete chips

разрушения бетона путем уменьшения толщины защитного слоя бетона на 6–10 мм получена удовлетворительная сходимости теоретических и экспериментальных результатов с погрешностью не более $\pm 5\%$.

По результатам огневых испытаний сделаны следующие выводы.

1. Во всех сериях плит фактические пределы огнестойкости по потере несущей способности (R) были меньше, чем в контрольной серии 7 из обычного тяжелого бетона на 13–22 минуты (в среднем – на 15 минут) и достигались по критерию наступления предельного прогиба (L/20).

2. После огневого испытания на обогреваемых поверхностях всех серий плит из ВБ с микрокремнеземом наблюдалось повреждение целостности защитного слоя бетона на глубину 6–10 мм. Распространение повреждений поверхностного слоя бетона по площади варьировалось от 10 до 60 %. Наибольшая степень поврежденности нагреваемой поверхности наблюдалась в плитах из ВБ с содержанием микрокремнезема 9 %.

3. Оголения арматуры во всех сериях огневых испытаний серий плит из ВБ с микрокремнеземом не наблюдалось, за исключением локальных оголений крайних стержней арматуры в угловых зонах продольных граней. Уменьшение толщины защитного слоя на обширной площади поверхности плит вызывало преждевременный прогрев нижнего ряда арматуры, что повлияло на уменьшение предела огнестойкости плитных конструкций.

4. Поскольку наиболее интенсивное взрывообраз-

ное разрушение бетона происходило по граням плит, определена необходимость проведения исследований огнестойкости колонн и балок из высокопрочных бетонов (т. е. конструкций с наличием граней и углов) для установления характера взрывообразного разрушения и определения возможности применения расчетного метода оценки огнестойкости таких конструкций. Данные об огнестойкости колонн и балок из ВБ на настоящий момент отсутствуют в нормативных документах.

5. По результатам расчетно-экспериментального обоснования была подтверждена возможность расчетной оценки предела огнестойкости плитных конструкций из ВБ с микрокремнеземом по СП 468.1325800.2019 [1] с учетом взрывообразного разрушения бетона. При этом был сделан вывод о том, что при определении температуры прогрева арматуры в плитах следует уменьшать толщину защитного слоя бетона всех арматурных стержней нижнего ряда на 8–10 мм, учитывая взрывообразное разрушение бетона обогреваемой поверхности плит.

Для упрощенной расчетной оценки огнестойкости возможен расчет предела огнестойкости по потере несущей способности плитных конструкций из ВБ без уменьшения толщины защитного слоя бетона (как для обычного тяжелого бетона по методике СП 468.1325800.2019 [1]), но с уменьшением полученного значения предела огнестойкости на 15 минут.

6. Результаты работы целесообразно внести в СП 468.1325800.2019 «Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности» [1].

Таблица 1
Table 1

Обобщенные результаты испытаний на огнестойкость натуральных плит
Generalized results of fire resistance tests of fullscale slabs

№ серии	Вид бетона	Содержание микрокремнезема по массе цемента	Фактический предел огнестойкости	Фактическая влажность бетона, %	Взрывообразное разрушение бетона, % площади повреждения и глубина плит
1	ВБ класса В60	6,75 %	REI 82	4,0	Присутствует на 10 % площади глубиной до 10 мм (рис. 4)
2	ВБ класса В60	9 %	REI 78	3,9	Присутствует на 60 % площади глубиной до 6 мм (рис. 5)
3	ВБ класса В60	9 % с добавкой СНВ	REI 85	4,2	Присутствует на 15 % площади глубиной до 5 мм
4	ВБ класса В100	9 %	REI 87	3,5	Присутствует на 60 % площади глубиной до 8 мм (рис. 7)
5	ВБ класса В100	13 %	REI 84	3,8	Присутствует на 20 % площади глубиной до 6 мм
6	ВБ класса В80	9 %	REI 87	3,7	Присутствует на 60 % площади глубиной до 6 мм (рис. 6)
7	Обычный тяжелый бетон класса В30	–	REI 100	3,4	Присутствует незначительно на 3 % площади (рис. 8)

Эффективность проведенной экспериментальной работы определяется развитием расчетного метода оценки огнестойкости для конструкций из ВБ при проектировании, что позволит обеспечить конструктивную пожарную безопасность объектов строительства.

В заключение следует отметить, что в представленной НИОКР исследовался один вид высокопрочного бетона на микрокремнеземе. Но существуют другие виды ВБ с иным вещественным составом (например, на золе-уноса и доменном шлаке), которые также необходимо подвергать исследованиям с позиций обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, развития расчетных методов оценки огнестойкости конструкций и нормативной строительной базы в целом. Дальнейшие экспериментальные исследования огнестойкости конструкций из ВБ необходимы во исполнение требований пункта 10 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [22] о возможности применения расчетных методов только для конструкций, аналогичных по форме, материалам и конструктивному исполнению строительным конструкциям, прошедшим огневые испытания.

Список литературы

1. СП 468.1325800.2019. Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности. 2020.
2. EN 1992-1-2:2004. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design. [EN 1992-1-2:2004. Еврокод 2: Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1–2. Общие правила. Определение огнестойкости].
3. Каприелов С.С. Новые модифицированные бетоны. М.: ООО «Предприятие Мастер Бетон». 2010, 258 с.
4. Kim J.-K., Kim Y.-Y. Experimental study of the fatigue behavior of high strength concrete. *Cement and Concrete Research*. 1996, vol. 26, Issue 10.
5. Aitcin P.C. High-performance concrete. London: E&FN SPON. 1998.
6. Shi C., Wu Z., Xiao J., Wang D., Huang Z., Fang Z. A review on ultra-high performance concrete: Part 1. Raw materials and mixture design. *Construction and Building Materials*. 2015, no. 101, pp. 741–751.
7. Chan Y., Chu S. Effect of silica fume on steel fibre bond characteristics in reactive powder concrete. *Cement and Concrete Research*. 2004, no. 34 (7), pp. 1167–1172.
8. Леонович С.Н., Литвиновский Д.А. Аналитические зависимости прочностных, деформативных, силовых и энергетических параметров высокопрочного бетона при нагреве // *Вестник БНТУ*. 2011. № 4. С. 30–34.
9. Castillo C. Effect of transient high temperature on high-strength concrete / C. Castillo. *ACI structural journal*. 1990, vol. 87, p. 8.
10. Djaknoun S. Characterization of the Fracture Toughness of the Concrete Mortars Exposed to Elevated Temperatures/ Laboratoire de Mecanique / S. Djaknoun. *American Journal of Applied Sciences*. 2009, vol. 6(2), pp. 296–305.
11. Zhang B. Fracture energy of high performance concrete at high temperatures up to 450 C: the effect of heating temperatures and testing conditions; Napier University; University of Glasgow / B. Zhang. *Magazine of concrete Research*. 2006, vol. 58, pp. 277–288.
12. Plan L.T. Mechanical properties of high-strength concrete at elevated temperature / L.T. Plan. NISTIR 6726, National Institute of Standards and Technology. 2001.
13. ГОСТ 30247.0-94 (ИСО 834-75). Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. 1996.
14. ГОСТ 30247.1-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции. 1996.
15. Отчет по НИОКР «Проведение огневых испытаний и формирование требований к огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций». Том 1. АО «НИЦ «Строительство». 2017. 271 с.
16. Отчет по НИОКР «Исследование бетонных конструкций, армированных фиброй композитной полимерной и арматурой композитной полимерной (АКП), на воздействие пожара». Том 1. АО «НИЦ «Строительство». 2019. 127 с.
17. ГОСТ 31108-2016. Цементы общестроительные. Технические условия. 2017.
18. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. 1995.
19. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. 2015.
20. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями № 1, 2, 3, 4). 2017.
21. ГОСТ 12730.2-2020. Бетоны. Методы определения влажности. 2021.
22. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

References


1. SP 468.1325800.2019. Concrete and reinforced concrete structures. Rules for ensuring of fire resistance and fire safety. 2020 (in Russian).
2. EN 1992-1-2:2004. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design.

3. Kapriyelov S.S. Novyye modifitsirovannyye betony. [New modified concretes]. M.: ООО "Predpriyatiye Master Beton". 2010, 258 p.
4. Kim J.-K., Kim Y.-Y. Experimental study of the fatigue behavior of high strength concrete. *Cement and Concrete Research*. 1996, vol. 26, issue 10.
5. Aitcin P.C. High-performance concrete. London: E&FN SPON. 1998.
6. Shi C., Wu Z., Xiao J., Wang D., Huang Z., Fang Z. A review on ultra-high performance concrete: Part 1. Raw materials and mixture design. *Construction and Building Materials*. 2015, no. 101, pp. 741–751.
7. Chan Y., Chu S. Effect of silica fume on steel fiber bond characteristics in reactive powder concrete. *Cement and Concrete Research*. 2004, no. 34 (7), pp. 1167–1172.
8. Leonovich S.N., Litvinovskiy D.A. Analiticheskiye zavisimosti prochnostnykh, deformativnykh, silovykh i energeticheskikh parametrov vysokoprochnogo betona pri nagreve [Analytical dependencies of strength, deformation, power and energy parameters of high-strength concrete during heating]. *Vestnik BNTU*. 2011, no. 4, pp. 30–34 (in Russian).
9. Castillo C. Effect of transient high temperature on high-strength concrete / C. Castillo. *ACI structural journal*. 1990, vol. 87, p. 8.
10. Djaknoun S. Characterization of the Fracture Toughness of the Concrete Mortars Exposed to Elevated Temperatures/ Laboratoire de Mecanique / S. Djaknoun. *American Journal of Applied Sciences*. 2009, vol. 6(2), pp. 296–305.
11. Zhang B. Fracture energy of high performance concrete at high temperatures up to 450 °C: the effect of heating temperatures and testing conditions; Napier University; University of Glasgow / B. Zhang. *Magazine of concrete Research*. 2006, vol. 58, pp. 277–288.
12. Plan L.T. Mechanical properties of high-strength concrete at elevated temperature / L.T. Plan. NISTIR 6726, National Institute of Standards and Technology. 2001.
13. State Standard 30247.0-94 (ISO 834-75). Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. General requirements. 1996 (in Russian).
14. State Standard 30247.1-94. Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. Loadbearing and separating constructions. 1996 (in Russian).
15. Otchet po NIOKR «Provedeniye ognevykh ispytaniy i soblyudeniye trebovaniy k ognestoykosti i ognesokhrannosti zhelezobetonnykh konstruktsiy». Tom 1. AO «NITS «Stroitel'stvo». 2017, 271 p. (in Russian).
16. Otchet po NIOKR «Issledovaniye betonnykh konstruktsiy, armirovannykh fibroy kompozitnoy polimernoy i armaturoy kompozitnoy polimernoy (AKP), na vozdeystviye pozhara». Tom 1. AO «NITS «Stroitel'stvo». 2017 (in Russian).
17. State Standard 31108-2016. Common cements.


Specifications. 2017.

18. State Standard 8267-93. Crushed stone and gravel of solid rocks for construction works. Specifications. 1995.
19. State Standard 8736-2014. Sand for construction works. Specifications. 2015 (in Russian).
20. SP 20.13330.2016. Loads and actions. Updated version of SNiP 2.01.07-85* (with changes No. 1, 2, 3, 4). 2017 (in Russian).
21. State Standard 12730.2-2020. Concretes. Method of determination of moisture content. 2021 (in Russian).
22. Federal Law No. 123-FZ of 22.07.2008 (as amended on 30.04.2021) "Technical Regulations on fire safety requirements" (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Ирина Сергеевна Кузнецова , канд. техн. наук, заведующий лабораторией температуростойкости и диагностики бетона и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: 1747139@mail.ru

Irina S. Kuznetsova , Cand. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory of temperature resistance and diagnosis of concrete and reinforced concrete Structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: 1747139@mail.ru

Вера Геннадьевна Рябченкова, заместитель заведующего лабораторией температуростойкости и диагностики бетона и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: 1747139@mail.ru


Vera G. Ryabchenkova, Deputy Head of the Laboratory of temperature resistance and diagnostics of concrete and reinforced concrete structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: 1747139@mail.ru

Дорвард Ваагнович Акопян, ведущий инженер лаборатории температуростойкости и диагностики бетона и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Dorvard V. Akopyan, Leading Engineer of the Laboratory of temperature resistance and diagnostics of concrete and reinforced concrete structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: 1747139@mail.ru

 Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

В.В. ПОЛЕТАЕВ, А.Е. НИКИТИН✉

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

МОНИТОРИНГ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ В ОБЛАСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИСО/ТК 71 «БЕТОН, ЖЕЛЕЗОБЕТОН, ПРЕДНАПРЯЖЕННЫЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОН»

Аннотация

Введение. Статья подготовлена по результатам мониторинга нормативной базы международных стандартов в области деятельности ИСО/ТК 71 «Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон». Мониторинг и анализ вновь разрабатываемых и актуализируемых международных стандартов сделан для выявления пробелов в отечественной нормативной базе, поиска дублирующих или противоречащих друг другу нормативных документов, для установления взаимосвязей с нормативными документами, относящимися к смежным областям, для изучения действующих нормативных технических документов на предмет достаточности требований в области деятельности комитета, для подготовки предложений по разработке обязательных строительных норм.

Цель: анализ и сопоставление международной нормативно-технической базы с российской для ее своевременного обновления и устранения возникающих дублирований и противоречий; повышение уровня гармонизации российских и международных норм и стандартов в области строительства зданий и сооружений с точки зрения внедрения прогрессивных отечественных разработок в нормативную базу; разработка предложений по внесению изменений в нормативные технические документы, разработка новых нормативных документов в указанной области.

Материалы и методы. В качестве материала исследования были выбраны международные стандарты ИСО, для дальнейшего анализа европейские и американские стандарты сравнивались с российскими аналогами.

Результаты. В статье проведен выборочный мониторинг, анализ и сопоставление стандартов ИСО и российской нормативно-технической базы для ее своевременного обновления и устранения возникающих дублирований и противоречий, для повышения уровня гармонизации российских и международных норм и стандартов в области строительства зданий и сооружений ИСО/ТК 71 «Бетон, железобетон, преднапря-

женный железобетон». Проанализировано девять международных стандартов ИСО с целью возможной гармонизации с российскими национальными нормами.

Выводы. По итогам мониторинга:

1. Рассмотрены 9 стандартов ИСО/ТК 71 «Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон». Проведена систематизация действующих стандартов ИСО, относящихся к области деятельности ИСО/ТК 71 «Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон».
2. Выявлены и проанализированы ближайшие аналоги нормативных технических и методических документов в национальной системе стандартизации для анализируемых стандартов ИСО.
3. Подготовлены предложения по разработке новых и актуализации ранее утвержденных сводов правил, строительных норм и правил.

Ключевые слова: строительные конструкции, стандарты ИСО, бетон, железобетон, методы испытаний, изготовление бетона, жизненный цикл, экологический менеджмент, строительство

Для цитирования: Полетаев В.В., Никитин А.Е. Мониторинг международных стандартов в области деятельности ИСО/ТК 71 «Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон» // *Бетон и железобетон*. 2023. № 1 (615). С. 23–32. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1\(615\)-23-32](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1(615)-23-32)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

ФАУ «ФЦС» Минстроя России.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 15.12.2022

Поступила после рецензирования 13.01.2023

Принята к публикации 19.01.2023

V.V. POLETAEV, A.E. NIKITIN✉

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

MONITORING OF INTERNATIONAL STANDARDS IN THE FIELD OF ISO/TC 71 “CONCRETE, REINFORCED CONCRETE, PRESTRESSED REINFORCED CONCRETE”

Abstract

Introduction. The article is based on the results of monitoring the regulatory framework of international standards in the field of ISO/TC 71 “Concrete, reinforced concrete, prestressed reinforced concrete”. Monitoring and analysis of newly developed and updated international standards is done to identify gaps in the domestic regulatory framework, to find duplicate or contradict regulatory documents, to establish relationships with regulatory documents related to adjacent areas, to monitor and analyze existing regulatory technical documents for the sufficiency of requirements in the field of the committee’s activities, to prepare proposals for the development of mandatory construction norms.

The aim is to analyze and compare the international and Russian regulatory and technical base for its timely updating and elimination of emerging duplications and contradictions, to increase the level of harmonization of Russian and international norms and standards in the field of construction of buildings and structures, from the point of view of introducing progressive domestic developments into the regulatory framework, to develop proposals for amendments to regulatory technical documents and development of new regulatory documents in this area.

Materials and methods. International ISO standards were selected as the material, and European and American standards were compared with their Russian counterparts for further analysis.

Results. The article provides selective monitoring, analysis and comparison of ISO standards and the Russian regulatory and technical framework for its timely updating and elimination of duplications and contradictions, increasing the level of harmonization of Russian and international norms and standards in the field of construction of buildings and structures ISO/TC 71 “Concrete, reinforced concrete, prestressed reinforced concrete”. Nine international ISO standards have been analyzed with a view to possible harmonization with Russian national standards.

Conclusions. Based on the results of monitoring:

1. 9 ISO/TC 71 standards “Concrete, reinforced concrete, prestressed reinforced concrete” are considered. The systematization of the current ISO standards related to the field of activity of ISO/TC 71 “Concrete, reinforced concrete, prestressed reinforced concrete” has been carried out.
2. The closest analogues of normative technical and methodological documents in the national standardization system for the analyzed ISO standards are identified and analyzed.
3. Proposals have been prepared for the development of new and updating previously approved codes of rules, building codes and regulations.

Keywords: building structures, ISO standards, concrete, reinforced concrete, test methods, concrete production, life cycle, environmental management, construction

For citation: Poletaev V.V., Nikitin A.E. Monitoring of international standards in the field of ISO/TC 71 “Concrete, reinforced concrete, prestressed reinforced concrete”. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023. No. 1 (615), pp. 23–32. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1\(615\)-23-32](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1(615)-23-32)

Author contribution statements

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the article.

Funding

FAO “FCS” of the Ministry of Construction of Russian Federation.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 15.12.2022

Revised 13.01.2023

Accepted 19.01.2023

Национальная система стандартизации в последнее десятилетие в большей мере была ориентирована на гармонизацию с европейскими стандартами. Сейчас отечественные и европейские строительные стандарты по основным аспектам гармонизированы не менее чем на 90 %. При этом они иногда отличаются по форме и способу изложения, однако по содержанию они сопоставимы и используют идентичную и понятную нам систему измерений. Основное различие наблюдается в тех областях строительства, где наша промышленность недостаточно предлагает новые материалы для использования в строительстве. Например, химические добавки для торкрет бетона, всевозможные составы для реконструкции и ремонта, углепластиковые усиления конструкций, утилизация бетонных конструкций, экологические стандарты и др. Есть некоторые направления, где более полно представлена отечественная стандартизация, например, использование золы или шлаков, некоторые виды оценки коррозии бетона. При этом принципиальной разницы в оценке стандартизации нет.

Что касается стандартов ИСО, то тут ситуация сложнее. Каждый год комитет ИСО выбирает несколько стандартов в области бетона и железобетона и образует для каждого стандарта международные рабочие группы для анализа мирового опыта и создания «усредненного» стандарта в рассматриваемом направлении, который будет принят всеми странами-участниками программы ИСО (более 140 стран). Рабочие группы взаимодействуют на интернет-портале ИСО со всеми странами-участниками, и после поэтапной системы голосования стандарт принимается как международный стандарт ИСО, который может быть использован всеми странами-участниками. К сожалению, российские строительные нормы не сильно влияют на формирование стандартов ИСО, так как там существует регламентированная структура оформления стандартов, которая не соответствует отечественной. Вторая причина слабого влияния отечественной стандартизации на стандарты ИСО – это относительно малое количество стран, которые используют российские стандарты. В мировом масштабе примерно половина стран участников ИСО использует или американские стандарты, или европейские и соответственно при формировании нового стандарта и поэтапном голосовании (DIS, FDIS и др.) за основу выбираются или американские, или европейские стандарты.

С учетом глобального развития и прогнозируемого роста производства цемента и бетона необходимым представляется систематический подход к гармонизации отечественной нормативной базы и международных стандартов ИСО в области технического регулирования производства бетона и железобетона. Принятие единых подходов к базовым испытаниям и нормированию требований к продукции при

производстве бетона и железобетона будет способствовать устранению торговых барьеров.

Анализ системы международных стандартов ИСО в области деятельности ИСО/ТК 71 «Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон» показывает, что существует необходимость методического анализа всей нормативной базы ИСО в этой области, поскольку имеет место определенное несоответствие между нормативными документами отечественной и международной нормативных баз.

Для анализа в данной статье были выбраны международные стандарты ИСО только на последних стадиях рассмотрения – DIS «проект международного стандарта (ИСО)»/(Draft International Standard) и FDIS «окончательный проект международного стандарта»/(Final Draft International Standard) или пересмотра (обновления) уже существующего стандарта ИСО. Группой экспертов ТК 71 для анализа в 2022 году всего было выбрано 9 стандартов, наиболее часто используемых при строительстве и требующих более качественной проработки. Эти стандарты рассматривались и обсуждались на директории ИСО/ТК 71 в течение 2021 года.

Перечень стандартов ИСО, выбранных для мониторинга на 2022 год, приведен в табл. 1.

По итогам мониторинга выбранных стандартов их условно можно разделить на две группы:

А. Стандарты ИСО, которые не значимы для национальной стандартизации ввиду более полной отечественной базы.

Б. Стандарты ИСО, для которых не существует национальных аналогов, или они требуют дополнения.

Группа А включает 3 стандарта из 9 выбранных для мониторинга. Остановимся коротко на каждом из них:

1. ИСО 16711 Requirements for seismic assessment and retrofit of concrete structures / Требования к сейсмической оценке бетонных конструкций

Стандарт ИСО устанавливает принцип сейсмической оценки, принятия решения о сейсмоусилении, основы процедуры обследования уязвимых конструкций, проведения сейсмомодернизации. В документе подробно разъясняется содержание, представлены требования стандартов для комплексной оценки сейсмического повреждения, стандартные рабочие элементы, связанные с сейсмической оценкой, а также стандартные процедуры на каждом этапе. Документ затрагивает реконструкцию на основе сейсмических характеристик. В целом, это общий документ с общими положениями, предназначенный для обеспечения широкой свободы выбора с точки зрения оценки сейсмического повреждения.

Из отечественных стандартов наиболее близкими являются СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах» (Актуализированная редакция

Таблица 1
Table 1

Перечень стандартов ИСО, выбранных для мониторинга на 2022 г.
List of ISO standards selected for monitoring for 2022.

Технический комитет	Наименование документа	Стандарт
ISO/TC 71/SC 8	Environmental management for concrete and concrete structures – Part 1: General principles / Экологический менеджмент для бетона и бетонных конструкций – Часть 1: Общие принципы	ISO/DIS 13315-1(E)
ISO/TC 71/SC 6	Test methods for discrete polymer fibre for fibre-reinforced cementitious composites / Методы испытаний дискретных полимерных волокон для фибробетона	ISO/FDIS 23523
ISO/TC 71/SC 7	Requirements for Seismic assessment and retrofit of concrete structures / Требования к сейсмической оценке и ремонту бетонных конструкций	ISO/DIS 16711
ISO/TC 71/SC 1	Aggregates for concrete – Test methods for mechanical and physical properties – Part 5: Determination of particle size distribution by sieving method / Заполнители для бетона – Методы испытаний механических и физических свойств – Часть 5: Определение гранулометрического состава просеивающим методом	ISO/DIS 20290-5
ISO/TC 71/SC 1	Test methods for sprayed concrete – Part 1: Flash setting accelerating admixtures – Setting time / Методы испытаний торкрет бетона – Часть 1: Добавки ускорители схватывания – Время схватывания	ISO/DIS 23945-1
ISO/TC 71/SC 1	Aggregates for concrete – Test methods for chemical properties – Part 2: Determination of soluble sulfate salts / Заполнители для бетона – Методы испытаний химических свойств – Часть 2: Определение растворимых сульфатных солей	ISO/DIS 24684-2
ISO/TC 71/SC 6	Quality control for batching & mixing steel fibre-reinforced concretes / Контроль качества для дозирования и смешивания стальных фиброармированных бетонов	ISO/FDIS 22873
ISO/TC 71/SC 6	Fibre reinforced polymer (FRP) reinforcement for concrete structures – Part 2: Specifications of CFRP strips / Армирование углепластиком (FRP) бетонных конструкций – Часть 2: Спецификации полос углепластика	ISO/DIS 18319-2
ISO/TC 71	Life cycle management of concrete structures / Управление жизненным циклом бетонных конструкций	ISO/FDIS 22040

СНиП II-7-81*) и ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния». Стандарты излагают общие требования к проектированию зданий с учетом сейсмике.

Документ ИСО 16711, в отличие от национальных стандартов, имеет более общий характер, не определяет расчетных и аналитических методик для оценки. Данный стандарт можно отнести к общей области управления жизненным циклом зданий и организации эксплуатации. Существуют еще два национальных связанных документа: ГОСТ 32016-2012 «Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Общие требования» и СП 349.1325800.2017 «Конструкции бетонные и железобетонные. Правила ремонта и усиления» – устанавливающие общие требования к выбору стратегии проведения ремонтных работ. При этом следует отметить, что в Российской Федерации отсутствует документ, устанавливающий именно правила выбора стратегии повышения сейсмостойкости.

Прямого аналога у ИСО 16711 в России нет.

Из европейских стандартов наиболее близкий EN 1998-3 (2005) (English): «Design of structures for

earthquake resistance – Part 3: Assessment and retrofitting of buildings / Проектирование конструкций для обеспечения сейсмостойкости – Часть 3: Оценка и модернизация зданий» или аналогичный немецкий DIN EN 1998-3 «Евро код 8. Правила расчета с учетом сейсмостойкости строительных конструкций. Часть 3. Оценка и модернизация зданий».

Стандарт ИСО 16711 «Requirements for Seismic assessment and retrofit of concrete structures / Требования к сейсмической оценке бетонных конструкций» является «рамочным» стандартом, устанавливающим концептуальные требования к объекту стандартизации – оценке сейсмостойкости железобетонных конструкций и систем и выработке стратегий их усиления. Положения стандарта не противоречат требованиям российской нормативно-правовой и нормативно-технической баз. На данном этапе разработки тематики международной стандартизации в рамках научно-исследовательских работ предложения по дополнению и изменению указанного стандарта отсутствуют.

2. ISO/DIS 20290–5 Aggregates for concrete – Test methods for mechanical and physical properties – Part 5: Determination of particle size

distribution by sieving method / Заполнители для бетона – Методы испытаний механических и физических свойств – Часть 5: Определение гранулометрического состава просеивающим методом

Стандарт ИСО описывает метод промывки и сухого просеивания, используемый для определения гранулометрического состава заполнителей. Он распространяется на все заполнители, включая легкие заполнители, номинальным размером до 90 мм.

Наиболее близкие к ИСО 20290 «Заполнители для бетона – Методы испытаний механических и физических свойств – Часть 5: Определение гранулометрического состава просеивающим методом» являются следующие национальные стандарты:

– ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний / Sand for construction work. Testing methods»;

– ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия / Crushed stone and gravel of solid rocks for construction works. Specifications».

Иностранным аналогом данного стандарта является: EN 933-1:1997 «Tests for geometrical properties of aggregates, consists of the following parts – Part 1: Determination of particle size distribution – Sieving method / Испытания геометрических свойств заполнителей – Часть 1: Определение распределения частиц по размерам – Метод просеивания». Этот стандарт гармонизован с ISO 20290-5 «Aggregates for concrete – Test methods for mechanical and physical properties – Part 5: Determination of particle size distribution by sieving method / Заполнители для бетона – Методы испытаний механических и физических свойств – Часть 5: Определение гранулометрического состава просеивающим методом». На его основе был составлен аналогичный стандарт ИСО. В США используют похожий стандарт – ASTM D2487-17 «Standard Practice for Classification of aggregates for Engineering Purposes / Стандартная практика классификации заполнителей для инженерных целей».

Проведя анализ отечественной нормативной базы и перспективных разработок с целью выявления наиболее прогрессивных, можно сделать заключение, что стандартизация данной области хорошо проработана в российских нормах и правилах и повсеместно используется. Национальные российские аналоги в полной мере регламентируют все положения международных стандартов и полностью покрывают запросы пользователей. Необходимости дополнительной работы в настоящее время нет.

3. ISO 24684–2 Aggregates for concrete – Test methods for chemical properties – Part 2: Determination of soluble sulfate salts / Заполнители для бетона – Методы испытаний химических свойств – Часть 2: Определение растворимых сульфатных солей

Стандарт описывает процедуру определения растворимых сульфатных солей, которые могут присутствовать в заполнителях. Испытание подходит для заполнителей, в которых содержание сульфатов возникает непосредственно в результате контакта с соленой водой или погружения в нее, например, типичных заполнителей, вытесненных из морского дна.

Наиболее близкими к ИСО 24684-2 являются следующие национальные стандарты:

– ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний / Sand for construction work. Testing methods».

– ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия / Crushed stone and gravel of solid rocks for construction works. Specifications».

Иностранным аналогом данного стандарта является: BS ISO 24684-2 «Aggregates for concrete – Test methods for chemical properties – Part 2: Determination of soluble sulfate salts / Заполнители для бетона – Методы испытаний химических свойств – Часть 2: Определение растворимых сульфатных солей», который актуализирован с ISO 24684-2 «Aggregates for concrete – Test methods for chemical properties – Part 2: Determination of soluble sulfate salts / Заполнители для бетона – Методы испытаний химических свойств – Часть 2: Определение растворимых сульфатных солей». Есть еще один связанный с ним стандарт EN 12620:2002+A1:2008 «Aggregates for concrete / Заполнители для бетона».

США используют похожий стандарт – ASTM C1370-00 «Standard Test Method for Determining the Chemical Resistance of Aggregates for Use in Chemical-Resistant Sulfur Polymer Cement Concrete and Other Chemical-Resistant Polymer Concretes / Стандартный метод испытаний для определения химической стойкости заполнителей для использования в химически стойких сернистых полимерцементных бетонах и других химически стойких полимербетонах».

Национальные российские аналоги в полной мере регламентируют все положения международных стандартов и полностью покрывают запросы пользователей. Необходимости дополнительной работы в настоящее время нет.

Вторая группа Б включает 6 стандартов из 9 выбранных для мониторинга. Остановимся коротко на каждом из них:

1. ISO 13315–1 Environmental management for concrete and concrete structures – Part 1: General principles / Экологический менеджмент для бетона и бетонных конструкций – Часть 1: Общие принципы

Бетонные конструкции потребляют большое количество заполнителей, цемента и стали, которые выделяют CO₂ в своих производственных процессах. Стандарт предназначен для обеспечения основных правил управления окружающей средой для бетона и

бетонных конструкций, имеющих такие характеристики. При разработке стандарта учитывались связанные стандарты [1–4].

В стандарте описан жизненный цикл бетона и железобетонных конструкций, состоящий из следующих этапов:

- этап проектирования: этап, на котором определяются характеристики бетонных конструкций для удовлетворения экологических требований заказчика;

- этап производства: производство компонентов бетона, производство бетона и бетонных изделий и выполнение бетонных конструкций;

- этап эксплуатации и ремонтно-восстановительных работ бетонных конструкций;

- фаза конца жизни: фаза сноса бетонных конструкций, повторное использование некоторых элементов, а также переработка и утилизация бетона.

Этот стандарт ИСО частично связан с ГОСТ Р 14.01-2005 «Экологический менеджмент. Общие положения и объекты регулирования» и ГОСТ Р ИСО 14001-2016 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению». В этих стандартах регламентированы такие понятия, как система экологического менеджмента, экологическая политика, экологические цели и планирование действий, ресурсы, компетентность, обмен информацией, мониторинг, измерение, анализ и оценка, корректирующие действия, постоянное улучшение. В отдельных российских нормативных документах представлены основные положения по долговечности бетонных конструкций, времени эксплуатации и рециклингу по окончании срока службы. Например, оценка срока службы в зависимости от среды эксплуатации бетонных конструкций рассматривается в ГОСТ 31384 и ГОСТ 27751.

В Европе в рамках системы экоаудита и экоменеджмента (EMAS) разработаны международные стандарты экологического менеджмента DIN EN ISO (DIN 33922, DIN 33923, DIN 33924, DIN 33927, DIN EN ISO 14041, DIN EN ISO 14042, DIN EN ISO 14043, DIN EN ISO 14044, DIN EN ISO 14025 и DIN EN ISO 14004 [5–13]).

Наиболее близкими к европейским экологическим стандартам DIN EN ISO 14001:2009 и ИСО серии 13315 являются следующие американские стандарты:

- ASTM E2129-18: «Standard Practice for Data Collection for Sustainability Assessment of Building Products / Стандартная практика сбора данных для оценки экологичности и долговечности строительных изделий при эксплуатации»;

- ASTM E2348-17: «Standard Guide for Framework for a Consensus-based Environmental Decision-making Process / Стандартное руководство по рамочной основе для процесса принятия экологических решений»;

- ACI 350.5-12: «Specifications for Environmental

Concrete / Технические характеристики экологичного бетона»;

- ACI 365.1R-17: «Report on Service Life Prediction / Отчет о прогнозе срока службы».

Американские экологические стандарты, в отличие от европейских и от стандартов ИСО, менее привязаны к экологическому менеджменту в области бетона и железобетона. При проведении анализа не удалось найти американские стандарты, подробно охватывающие экологические аспекты в таких областях, как техническое обслуживание, снос и повторное использование бетонных конструкций, экологические аспекты переработки бетона.

В России экологических стандартов в области бетона и железобетона нет, поэтому это направление является очень актуальным для нас. Отечественные стандарты по экологическому менеджменту бетона могли бы связать производство с отслеживанием жизненного цикла бетона и железобетона. Данное направление только начинает внедряться.

Опираясь на существующие отечественные стандарты по экологическому менеджменту, детально изучив международные стандарты, можно сделать заключение о необходимости проведения работы по экологическому менеджменту для бетона и железобетонных конструкций с разработкой предложений для создания российского стандарта, гармонизированного со стандартом ИСО 13315-1, которая позволит сформулировать и расширить методику стандартизации, а также понять влияние используемых методов на возможность гармонизации отечественного и международных стандартов.

2. ISO 23523 Test methods for discrete polymer fibre for fibre-reinforced cementitious composites / Методы испытаний дискретных полимерных волокон для фибробетона

Стандарт определяет методы испытаний для дискретного полимерного волокна, такие как диаметр, длина, предел прочности при растяжении, начальный модуль упругости, плотность, температура плавления, содержание влаги и щелочная стойкость в качестве основных элементов. Это методы испытаний, предназначенные для сертификации волокна, а не для контроля качества или приемки в полевых условиях.

Выявлены наиболее близкие к ИСО 23523 национальные стандарты:

- ГОСТ Р 57045-2016 «Композиты полимерные. Метод определения характеристик при растяжении перпендикулярно к плоскости армирования / Polymer composites. Test method for determination of tensile properties perpendicular to reinforcement plane». Стандарт распространяется на полимерные композиты, полученные методом намотки непрерывных высокомодульных волокон, и устанавливает метод определения характеристик при растяжении перпендикулярно к плоскости армирования.

– ГОСТ 33842-2016 «Волокно параарамидное. Общие технические требования и методы испытаний / Para-aramid fibre. General technical requirements and test methods». Стандарт является модифицированным по отношению к европейским региональным стандартам EN 13003-1:1999.

Европейским аналогом является, например, Standard Norge, SN NS-EN 14889-2:2006 «Fibres for concrete – Part 2: Polymer fibres – Definitions, specifications and conformity / Волокна для бетона – Часть 2: Полимерные волокна – Определения, спецификации и соответствие», Dansk Standard, DS DS/EN 14889-2/ZA-2007 «Fibres for concrete – Part 2: Polymer fibres – Definitions, specifications and conformity / Волокна для бетона – Часть 1: Полимерные волокна – Определения, спецификации и соответствие». Эти стандарты разработаны для всех типов бетона.

Проведя анализ отечественной нормативной базы, можно сделать заключение, что российские стандарты применимы к полимерным композициям, однако они не связаны с использованием полимерных волокон в цементных составах. Поэтому в развитие темы считаем целесообразным выполнение исследования с целью доработки российского стандарта ГОСТ 33842-2016 и включение в него раздела «Методы испытаний дискретных полимерных волокон для фибробетона», гармонизованного со стандартом ИСО. Необходимо определить возможность создания отдельного стандарта, который будет адаптирован под использование полимерных волокон именно для цементных составов. Специализированный стандарт по испытанию волокон применительно к строительным конструкциям в России пока отсутствует.

3. ISO/DIS 23945–1 Test methods for sprayed concrete – Part 1: Flash setting accelerating admixtures – Setting time / Методы испытаний торкретбетона – Часть 1: Добавки ускорители схватывания – Время схватывания

Торкрет бетон широко используется для стабилизации конструкций в очень короткие сроки и для укладки бетона без использования форм. Он идеально подходит для укрепления грунта при проходке туннелей и горных работах, при ремонте, реставрации, новом строительстве и во многих других областях. Стандарт предназначен для предоставления нормативного метода испытаний торкрет бетона.

Универсального метода испытаний химических добавок для торкрет бетона в России нет. ГОСТ 30459-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности / Admixtures for concretes and mortars. Determination and estimate of the efficiency» определяет эффективность использования добавок, но не для торкрет бетона.

Еще один национальный стандарт, увязанный с химическими добавками для бетона, – это

ГОСТ 24211-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия / Admixtures for concretes and mortars. General specifications». Этот документ подробно классифицирует химические добавки, но не содержит в себе методов испытаний.

Европейским стандартом – аналогом ИСО 23945-1 – является DIN EN 934-5 «Admixtures for concrete, mortar and grout – Part 5: Admixtures for sprayed concrete – Definitions, requirements, conformity, marking and labelling / Добавки для бетона, раствора и затирки – Часть 5: Добавки для торкрет бетона – Определения, требования, соответствие и маркировка».

Также существует идентичный европейский стандарт BS ISO 23945-1 «Test methods for sprayed concrete – Part 1: Flash setting accelerating admixtures – Setting time \ Методы испытаний торкрет бетона – Часть 1: Ускоряющие схватывание добавки – Время схватывания». Методы испытаний в нем совпадают с ИСО 23945.

Ввиду отсутствия подобного стандарта в России, необходимо разработать аналогичный национальный стандарт по методике оценки эффективности влияния химических добавок-ускорителей схватывания цемента для торкрет бетона.

4. ISO 22873 Quality control for batching and mixing steel fibre-reinforced concretes / Контроль качества для дозирования и смешивания стальных фиброармированных бетонов

Стандарт ИСО устанавливает принципы и процедуры для обеспечения контроля качества железобетонных армированных бетонов во время процедуры дозирования и смешивания для доставки покупателю с однородно смешанными ингредиентами, которые можно отбирать и тестировать в пункте доставки. Пять основных групп стальных волокон определены стандартом ИСО для продукта из стального волокна:

- группа I: холоднотянутая проволока;
- группа II: резанный лист;
- группа III: заклеенная проволока;
- группа IV: крученая холоднотянутая проволока;
- группа V: фрезерованная проволока.

Наиболее близкими к ИСО 22873 являются следующие национальные стандарты:

– СП 360.1325800.2017 «Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования / Steel fiber reinforced concrete structures. Design rules». Свод правил устанавливает требования к проектированию сталефибробетонных конструкций, изготавливаемых из тяжелого и мелкозернистого бетонов и эксплуатируемых в климатических условиях Российской Федерации (при систематическом воздействии температур не выше плюс 50 °С и не ниже минус 70 °С), в среде с неагрессивной степенью воздействия при статическом действии нагрузки;

– ГОСТ Р 52751-2007 «Плиты из сталефибробетона для пролетных строений мостов. Технические

условия / Steel-fibro-concrete slabs for bridge spans. Specifications». Стандарт распространяется на сборные железобетонные сплошные плиты с комбинированным армированием (рабочая арматура и стальная фибра), предназначенные для применения в качестве несущей части сборных и сборно-монолитных сталежелезобетонных, железобетонных и стальных пролетных строений заводского изготовления для железнодорожных и автодорожных мостов преимущественно северного исполнения.

Иностранными аналогами данного стандарта являются:

- BS EN 14845-2:2007 "Test methods for fibres in concrete – Part 2: Effects on concrete". British Standards Institution, London, UK;

- DIN N62 "Steel fibre concrete". Deutsches / Institut für Normung, Berlin, Germany;

- EN 14487-1:2005 "Sprayed concrete – Part 1: Definitions, specifications and conformity". British Standards Institution, London, UK;

- ACI 544.4R-88 (Reapproved 1999) "Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete". American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA.

В отличие от иностранных, российские стандарты касаются только контроля качества для дозирования и смешивания стальных фиброармированных бетонов. Российские стандарты, в отличие от стандарта ИСО 22873, более широко охватывают различные испытания образцов из бетона, в том числе и контроль качества. В то же время стандарт ИСО 22873 более детально регламентирует контроль качества для дозирования и смешивания стальных фиброармированных бетонов. В нем есть свои особенности. В связи с этим целесообразно провести НИР по доработке раздела ГОСТ СП 360.1325800.2017. Возможно провести НИОКР по созданию отдельного независимого стандарта, гармонизованного с ИСО 22873.

5. ISO 18319–2 Fibre reinforced polymer (FRP) reinforcement for concrete structures – Part 2: Specifications of CFRP strips / Армирование углепластиковой полосой (FRP) бетонных конструкций – Часть 2: Спецификация полос из углепластика

Документ ИСО устанавливает требования к полосам из полимера, армированного углеродным волокном (CFRP), в качестве внешней арматуры на бетонном основании. Этот документ применим к полосам из углепластика, которые:

- состоят из углеродного волокна и термореактивной смолы;
- изготавливаются методом интрузии;
- имеют объемную долю углеродного волокна более 60 %;
- имеют толщину в пределах 3 мм.

В документе указаны методологии выражения механических свойств, внешнего вида и размеров, а также выборочные испытания. Этим требованиям

должен соответствовать производитель продукции. Свойства для проектирования рассчитываются на основе характеристик, предписанных в соответствующих нормах проектирования.

Наиболее близкими к ИСО 18319 являются следующие национальные стандарты:

- ГОСТ 32656-2014 (ISO 527-4:1997, ISO 527-5:2009) «Композиты полимерные. Методы испытаний. Испытания на растяжение / Polymer composites. Test methods. Tensile test methods». Стандарт распространяется на изотропные, ортотропные, а также на однонаправленно армированные полимерные композиты, устанавливает требования к методам определения их механических свойств при растяжении: предела прочности, модуля упругости, коэффициента Пуассона. Стандарт рассматривает термопласты, армированные однонаправленными комплексными нитями, ровингами, лентами, тканями, волокна в которых ориентированы только в одном направлении. Рассматриваемые армирующие материалы изготавливают из стекловолокна, углеродного, арамидного волокна и других аналогичных волокон. Образцы по форме похожи на образцы, используемые в стандарте ИСО 18319. Методика определения получаемых характеристик и коэффициента Пуассона совпадают.

Иностранными аналогами данного стандарта являются:

- ACI 440.8M-2013 «Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Materials Made by Wet Layup for External Strengthening of Concrete and Masonry Structures / Спецификация на полимерные материалы с углестекловолоконным армированием (FRP), произведенные методом влажной укладки для внешнего усиления бетонных и каменных конструкций»;

- ACI 440.1R-2015 «Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars – Incorporating Errata: 02/8/2017 / Руководство для проектирования и строительства структурного бетона, укрепленного ламелями».

По итогам работы предлагаем провести НИОКР: «Исследование армирования углепластиковой полосой с целью усиления бетонных и железобетонных конструкций» с разработкой предложений по созданию национального стандарта «Методы испытаний армирующих пластиковых листов для усиления бетонных и железобетонных конструкций», ввиду того, что специализированный стандарт по испытанию волокон применительно к строительным конструкциям в России отсутствует.

6. ISO 22040 Life cycle management of concrete structures / Управление жизненным циклом бетонных конструкций

Стандарт ИСО охватывает концепции и конкретные

процедуры методов управления бетонными конструкциями с учетом текущих проблем, чтобы рационально управлять бетонными конструкциями на протяжении всего их жизненного цикла и более надежно обеспечивать функционирование. В документе отражены ключевые принципы, структура и процедуры для надлежащего управления жизненным циклом (LCM), в которых планирование, проектирование, выполнение, использование и окончание срока службы конструкции связаны между собой.

Наиболее близкими к ИСО 22040 являются следующие национальные стандарты и методические пособия:

– Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве: «Методическое пособие по назначению срока службы бетонных и железобетонных конструкций с учетом воздействия среды эксплуатации на их жизненный цикл». Рекомендации охватывают жизненный цикл с момента признания его необходимости до конца срока службы конструкций. Предусмотрено проектирование долговечности, основанное на установившихся правилах и требованиях к характеристикам материалов, к качеству их составляющих, к условиям работы конструкции, с учетом требований, отраженных в действующих отечественных нормативных документах. Используются отдельные положения международных стандартов, данные, полученные научно-исследовательскими организациями, техническими комитетами профильных международных организаций РИЛЕМ и ФИБ. Этот документ не имеет прямой связи с ИСО 22040, при этом отражает его основные положения.

Существуют европейские и американские аналоги ИСО:

– BS ISO 22040:2021 «Life cycle management of concrete structures / Управление жизненным циклом бетонных конструкций». Документ содержит принципы внедрения управления жизненным циклом (LCM) бетонных конструкций на всех этапах планирования, проектирования, исполнения, использования и окончания срока службы, а также рамки и процедуры для LCM.

– ASTM E917-17e1 «Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems (Includes all amendments and changes) / Стандартная практика измерения стоимости жизненного цикла зданий и строительных систем (включает все поправки и изменения)»

– ASTM E2921-16a «Standard Practice for Minimum Criteria for Comparing Whole Building Life Cycle Assessments for Use with Building Codes, Standards, and Rating Systems / Стандартная практика для минимальных критериев сравнения оценок жизненного цикла всего здания для использования со строительными нормами, стандартами и рейтинговыми системами».

Обобщая итоги проведенного мониторинга, опираясь на существующие отечественные стандарты, можно сделать вывод о необходимости проведения работы в области стандартизации управления жизненным циклом бетонных конструкций. Необходимо провести научно-исследовательскую работу для обоснования предложений для последующей разработки стандарта-аналога ИСО 22040.

Подытоживая проведенный мониторинг действующих стандартов ИСО, относящихся к области деятельности ИСО/ТК 71 «Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон», отметим, что в результате рассмотрения девяти стандартов можно сделать заключение о том, что:

– проведено выявление и анализ ближайших аналогов нормативных технических и методических документов в национальной системе стандартизации для анализируемых стандартов ИСО;

– проведен анализ отечественной нормативной базы и сопоставление ее с базой международной, сделаны предложения по актуализации требований российских нормативно-технических документов с точки зрения гармонизации отечественных и международных документов технического нормирования в области деятельности ИСО/ТК 71 «Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон».

Список литературы / References

1. State Standart R ISO 14050-2009. Environmental management. Vocabulary. Moscow: Standartinform; 2011 (in Russian).

2. ISO/DIS 13315-1(E). Environmental management for concrete and concrete structures – Part 1: General principles [Экологический менеджмент для бетона и бетонных конструкций – Часть 1: Общие принципы]. ISO (in English).

3. ISO/FDIS 23523. Test methods for discrete polymer fibre for fibre-reinforced cementitious composites [Методы испытаний дискретных полимерных волокон для фибробетона]. ISO (in English).

4. ISO/DIS 16711. Requirements for Seismic assessment and retrofit of concrete structures [Требования к сейсмической оценке бетонных конструкций]. ISO (in English).

5. ISO/DIS 20290-5. Aggregates for concrete – Test methods for mechanical and physical properties – Part 5: Determination of particle size distribution by sieving method [Заполнители для бетона – Методы испытаний механических и физических свойств – Часть 5: Определение гранулометрического состава просеивающим методом]. ISO (in English).

6. ISO/DIS 23945-1. Test methods for sprayed concrete – Part 1: Flash setting accelerating admixtures – Setting time [Методы испытаний торкрет бетона – Часть 1: Добавки ускорители схватывания – Время схватывания]. ISO (in English).

7. ISO/DIS 24684-2. Aggregates for concrete – Test methods for chemical properties – Part 2: Determination of soluble sulfate salts [Заполнители для бетона – Методы испытаний химических свойств – Часть 2: Определение растворимых сульфатных солей]. ISO (in English).

8. ISO/FDIS 22873. Quality control for batching & mixing steel fibre-reinforced concretes [Контроль качества для дозирования и смешивания стальных фиброармированных бетонов]. ISO (in English).

9. ISO/DIS 18319-2. Fibre reinforced polymer (FRP) reinforcement for concrete structures – Part 2: Specifications of CFRP strips [Армирование углепластиком (FRP) бетонных конструкций – Часть 2: Спецификации полос углепластика]. ISO (in English).

10. ISO/FDIS 22040. Life cycle management of concrete structures [Управление жизненным циклом бетонных конструкций]. ISO (in English).

Информация об авторах / Information about the authors

Владимир Васильевич Полетаев, канд. техн. наук, заведующий лабораторией легких и ячеистых бетонов и конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Vladimir V. Poletaev, Cand. Sci. (Engineering), Head of Laboratory of light and cellular concrete and structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Александр Евгеньевич Никитин[✉], канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник сектора коррозии бетона лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: nae10@yandex.ru

Alexander E. Nikitin[✉], Cand. Sci. (Engineering), Lead Researcher of Department of corrosion of concrete at the Laboratory of corrosion and service life of concrete and reinforced concrete constructions, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: nae10@yandex.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

А.И. САГАЙДАК^{1,✉}, В.В. БАРДАКОВ², Е.С. БОРОВКОВА³

¹ 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

² ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ», Энтузиастов шоссе, д. 20Б, г. Москва, 111024, Российская Федерация

³ Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, ул. Блохина, д. 29, г. Новополоцк, 212440, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ И ПРОГНОЗА ПРОЧНОСТИ БЕТОНА В РАННЕМ ВОЗРАСТЕ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Аннотация

Введение. Приведено описание основных результатов выполненной в АО «НИЦ «Строительство» научно-исследовательской работы по теме: «Разработка методики контроля и прогноза прочности бетона в раннем возрасте методом акустической эмиссии».

Целью выполнения работы являлось получение экспериментальных данных для разработки методики контроля и прогноза прочности бетона в раннем возрасте методом акустической эмиссии.

Материалы и методы. Исследования проводились на бетонных смесях, изготовленных из тяжелого и мелкозернистого бетонов с минеральными и химическими добавками. Процесс твердения бетонов сопровождался регистрацией данных акустической эмиссии. Акустико-эмиссионный мониторинг проводился непрерывно в течение нескольких суток после бетонирования составов.

Результаты. По результатам проведенного исследования выявлены наиболее информативные параметры акустико-эмиссионных данных, которые коррелируют с прочностью бетона, разработаны автоматизированные алгоритмы контроля его прочности. На основании результатов измерения скорости распространения акустических волн и уменьшения коэффициента затухания акустических сигналов, а также выходу этих значений на плато, определены периоды завершения схватывания бетонных смесей. В ходе экспериментов определены оптимальные частотные характеристики преобразователей акустической эмиссии.

Выводы. Результаты исследований позволяют внедрить в практику строительства новый подход контроля прочностных свойств бетонов в раннем возрасте с использованием метода акустической эмиссии.

Предложенный подход позволяет проводить контроль дистанционно, без присутствия оператора. К преимуществам предложенного подхода также относится его использование в труднодоступных местах, где применение других методов контроля затруднительно.

Ключевые слова: бетонная смесь, твердение бетона, акустическая эмиссия, контроль и прогноз прочности бетонной смеси, акустико-эмиссионный мониторинг

Для цитирования: Сагайдак А.И., Бардаков В.В., Боровкова Е.С. Разработка методики контроля и прогноза прочности бетона в раннем возрасте методом акустической эмиссии // *Бетон и железобетон*. 2023. № 1 (615). С. 33–42. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1\(615\)-33-42](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1(615)-33-42)

Вклад авторов

Сагайдак А.И. – разработка программы исследований, обзор литературных данных, проведение эксперимента, обработка результатов экспериментальной работы, выводы по работе.

Бардаков В.В. – проведение эксперимента, обработка результатов экспериментальной работы.

Боровкова Е.С. – обзор литературных данных и нормативных документов, обработка результатов эксперимента, оформление статьи.

Финансирование

Работа выполнена за счет средств госбюджета.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 27.12.2022

Поступила после рецензирования 31.01.2023

Принята к публикации 02.02.2023

A.I. SAGAIK^{1,✉}, V.V. BARDAKOV², E.S. BOROVKOVA³

¹ Research institute of concrete and reinforced concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutuskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

² LLC "INTERUNIS-IT", Entusiasts highway, 20B, Moscow, 111024, Russian Federation

³ Euphrosyne Polotskaya state university of Polotsk, Blokhin Street, 29, Novopolotsk, 212440, Republic of Belarus

DEVELOPMENT OF METHODS FOR MONITORING AND PREDICTING THE STRENGTH OF CONCRETE AT AN EARLY AGE BY ACOUSTIC EMISSION METHOD

Abstract

Introduction. The description of the main results of the research work carried out in JSC Research Center of Construction on the topic "Development of methods for monitoring and predicting the strength of concrete at an early age by acoustic emission method" is given.

Aim. The aim of the work is to obtain experimental data for the development of methods for monitoring and predicting the strength of concrete at an early age by acoustic emission.

Materials and methods. The research was carried out on concrete mixtures made of heavy and fine-grained concrete with mineral and chemical additives. In the process of concrete hardening the acoustic emission method was used. Acoustic emission monitoring was carried out continuously for several days.

Results. According to the results of the study, the most informative parameters of acoustic emission data that correlate with the strength of concrete have been identified. Automated algorithms for concrete strength monitoring have been developed. Based on the results of measuring the propagation velocity of acoustic waves and the decrease in the attenuation coefficient of acoustic signals, as well as the output of these values to the plateau, the periods of completion of setting of concrete mixtures are determined. During the experiments optimal frequency characteristics of acoustic emission sensors were determined.

Conclusions. The results of the research allow us to introduce into the practice of construction a new approach for monitoring the strength properties of concrete during its hardening using the acoustic emission method. Proposed approach can be carried out remotely, without the pres-

ence of an operator. The advantages of this approach also include its use in hard-to-reach places where the use of other testing methods is difficult.

Keywords: concrete mix, concrete hardening, acoustic emission, testing and prediction, acoustic emission monitoring

For citation: Sagaidak A.I., Bardakov V.V., Borovkova E.S. Development of methods for monitoring and predicting the strength of concrete at an early age by acoustic emission method. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023. No. 1 (615), pp. 33–42. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1\(615\)-33-42](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1(615)-33-42)

Author contribution statements

Sagaidak A.I. – development of a research program, review of the literature data, conducting an experiment, processing of the results of experimental work, conclusions on the work.

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

Borovkova E.S. – review of literature data and regulatory documents, processing of the experimental results, design of the article.

Funding

The work was carried out at the expense of the state budget.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 27.12.2022

Revised 31.01.2023

Accepted 02.02.2023

Введение

Проведенный авторами обзор научной литературы показал, что перспективным методом контроля незатвердевшей бетонной смеси является метод акустической эмиссии (АЭ). Метод АЭ позволяет регистрировать акустические сигналы, излучаемые самой структурой бетона при ее формировании [1–4]. Данный метод является пассивным методом неразрушающего контроля и позволяет контролировать прочность бетона в любом месте конструкции, на любой глубине, в труднодоступных местах, при этом геометрия конструкции не оказывает влияния [6]. Сильное затухание сигналов АЭ в бетонной смеси позволяет использовать данный метод в условиях строительной площадки, механические шумы не оказывают существенного влияния на процесс измерений. Возникает возможность контролировать прочность бетона в сильно армированных конструкциях, не снимая опалубку внутри тела бетона, что расширяет область применения.

По результатам проведенного исследования предложены информативные параметры акустико-эмиссионных данных, тесно связанные с прочностью бетона, разработаны автоматизированные алгоритмы контроля и прогнозирования прочности бетона.

В ходе проведения исследований оценивалось влияние масштабного фактора и наличия армирования на процессы выделения сигналов АЭ при твердении бетона. Исследовалось затухание акустических сигналов в бетонной смеси. Определены оптимальные частотные характеристики преобразователей АЭ (ПАЭ). Сформированы предложения по применению результатов работы при разработке ГОСТ Р «Бетоны. Акустико-эмиссионный метод контроля прочности». Результаты исследований позволяют внедрить в практику строительства новый подход по контролю прочностных свойств бетонов с использованием метода АЭ.

Методика проведения исследования.

Образцы, используемые приборы и оборудование

Для проведения измерений по регистрации сигналов АЭ в процессе твердения бетонных составов

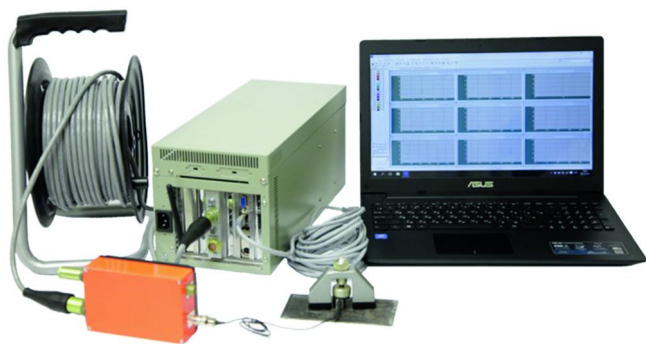


Рис. 1. АЭ система A-Line DDM-1
Fig. 1. A-Line DDM-1 AE system

использовалась система A-Line DDM-1 (рис. 1), производства компании ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ».

Система A-Line DDM-1 – это многоканальная модульная система сбора и обработки АЭ информации распределенного типа с последовательным высокоскоростным цифровым каналом передачи данных. АЭ комплексы данной серии состоят из центрального компьютера (блок сбора и обработки данных) и нескольких измерительных линий, объединяющих последовательно соединенные модули сбора и обработки АЭ информации, к которым, в свою очередь, подключаются используемые ПАЭ.

С целью создания акустического контакта между ПАЭ и свежеприготовленной бетонной смесью использовался металлический волновод с закрепленной на конце пластинкой. ПАЭ устанавливался на волновод через контактную смазку (литол) и фиксировался при помощи магнитного держателя. Волновод, в свою очередь, погружался в бетон до момента касания пластинкой состава.

Температуру твердеющего бетона измеряли регистратором ТС-32К с использованием термопар.

Контроль твердения бетонов методом АЭ исследовался на бетонных кубах размером 200 × 200 × 200 мм и двух железобетонных балках размером 1500 × 200 × 200 мм. Образцы изготавливались из тяжелого и мелкозернистого бетонов. Формы для образцов и конструкций изготавливались из ламинированной фанеры.

Регистрация сигналов АЭ для каждого состава проводится непрерывно не менее семи суток. Контроль прочностных характеристик бетона производят на кубах размером 100 × 100 × 100 мм. Прочность бетона контролировали в 1, 3, 7, 14 и 28 сутки твердения. Контроль изотермии бетонов при помощи термопар проводится параллельно с АЭ измерениями.

Образцы твердели в естественных условиях при температуре +20 °С.

Материалы для изготовления бетонной смеси

В табл. 1 приведены материалы для изготовления бетонов.

В табл. 2 и 3 приведены составы тяжелых и мелкозернистых бетонов.

Для каждого состава проведено бетонирование не менее четырех бетонных кубов. Также было проведено бетонирование двух железобетонных балок из состава АЭ2.

Результаты исследований. АЭ мониторинг твердения бетонов

АЭ мониторинг твердения бетонов проводился непрерывно в течение нескольких суток в режиме On-line (рис. 2).

Как показали исследования, по изменению АЭ параметров с течением времени можно выделить три временных интервала, характеризующихся различной степенью интенсивности АЭ, что отражается как

Таблица 1
Table 1

**Материалы для изготовления бетонов
Materials for the manufacture of concrete**

Материал	Основные сведения
Вязущее	ПЦ ЦЕМ I 52,5н (ООО «Южно-Уральская ГПК»), с удельной поверхностью 3800 см ² /г, нормальной густотой НГ = 27,5 %
Песок	Песок строительный, производства ООО «Облнерудпром», карьер Подгоринский
Щебень	Щебень фракции 5–20 мм, Кашинское месторождение известняков, Свердловская область, ГО Богданович, ООО «ТехИнжиниринг»
Химические добавки Д1	СП-180М по ТУ 20.59.59-003-26025492-2018, производства «Оптим-Бетон» – суперпластификатор на основе смеси полиметиленафталинсульфонатов и модифицированных лигно-сульфонатов
Химические добавки Д2	CENTRIPOR TFM 411R, производства MC Bauchemie – воздухововлекающая на основе сульфозтоксилатов жирных спиртов
Минеральная добавка	Шлак доменный гранулированный молотый ООО «Мечел-Материалы»

Таблица 2
Table 2

**Номинальные составы тяжелого бетона
Nominal compositions of heavy concrete**

Серия	Номинальный состав бетонной смеси, кг/м ³						Ориенти- ровочное В/Ц В/(Вяж)	Ориентировочная средняя плотность бетонной смеси, кг/м ³	Марка по осадке стандартного конуса
	Цемент	Минеральная добавка	Песок	Щебень	Вода	Химические добавки			
АЭ 1	200		970	1000	190	Д1	0,95	2360	П4
АЭ 2	350		770	1100	190	Д1	0,54	2410	П4
АЭ 3	500		530	1200	190	Д1	0,38	2420	П4
АЭ 4	500		610	1200	140	Д1	0,28	2450	П4
АЭ 5	180	20	970	1000	190	Д1	0,95	2360	П4
АЭ 6	315	35	770	1100	190	Д1	0,54	2410	П4
АЭ 7	450	50	530	1200	190	Д1	0,38	2420	П4

Таблица 3
Table 3

**Номинальные составы мелкозернистого бетона
Nominal compositions of fine-grained concrete**

Серия	Номинальный состав бетонной смеси, кг/м ³				Ориентировочное В/Ц В/(Вяж)	Ориентировочная средняя плотность бетонной смеси, кг/м ³	Марка по осадке стандартного конуса
	Цемент	Песок	Вода	Химические добавки			
АЭ 9	200	1610	190	Д1 + Д2	0,95	2000	П4
АЭ 10	500	1500	225	Д1	0,45	2250	П4
АЭ 11	800	1300	250	Д1	0,31	2350	П4

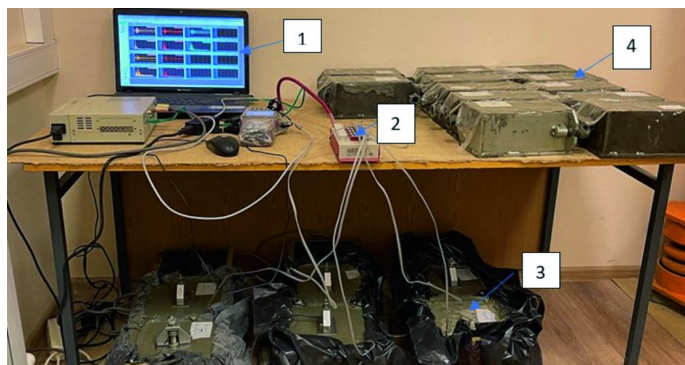


Рис. 2. Проведение эксперимента по мониторингу твердения бетонов методом АЭ в лабораторных условиях. На переднем плане АЭ система (1), регистратор температуры ТС–32К (2), кубы 200 × 200 × 200 мм (3), кубы 100 × 100 × 100 мм (4)

Fig. 2. Conducting an experiment to monitor the hardening of concrete by the AE method in laboratory conditions. In the foreground is the AE system (1), the temperature recorder TS–32K (2), cubes 200 × 200 × 200 mm (3), cubes 100 × 100 × 100 mm (4)

в количестве регистрируемых импульсов, так и в значении их энергетических параметров. Каждый из трех временных интервалов соответствует различным периодам структурообразования бетона:

- I – период растворения (начальный и индукционный периоды);
- II – ускоренный (период схватывания);
- III – период кристаллизации (твердения).

В табл. 4 приведены результаты АЭ мониторинга твердения бетонов шести составов: АЭ 1, АЭ 3, АЭ 4, АЭ 5, АЭ 7 (составы тяжелого бетона с химической и комбинацией химической и минеральной добавок) и мелкозернистого бетона АЭ 11 с химической добавкой. Из приведенных данных видно, что периоды структурообразования (выделены пунктирными линиями) можно наблюдать в течение первых двух суток после бетонирования.

Таблица 4
Table 4

АЭ мониторинг твердения бетонов с химической и минеральной добавкой
AE monitoring of concrete with chemical and mineral additives hardening

Скорость гидратации	Вид АЭ зависимости			Вязущие/ образец
	dA/dt (Производная кумулятивной амплитуды)	$A = f(t)$ (Кумулятивная амплитуда)	A (Амплитуда АЭ)	
Ускорение твердения				Цементы Химические добавки АЭ 1 В/Ц 0,95
Ускорение твердения				Цементы Минеральные добавки АЭ 5 В/Ц 0,95
Замедленное с ускорением				Цементы Химические добавки АЭ 4 В/Ц 0,28
Замедленное с ускорением				Цементы Химические добавки АЭ 11 В/Ц 0,31
Нейтральное действие				Цементы Химические добавки АЭ 7 В/Ц 0,38
Нейтральное действие				Цементы Химические добавки АЭ 3 В/Ц 0,38

На диаграммах, приведенных в табл. 4, возможно оценить влияние составов и добавок на скорость гидратации, времени схватывания, а также оценить фактическую прочность бетона в проектном возрасте, по изменению кумулятивной кривой амплитуд импульсов АЭ и ее производной бетона.

Сигналы АЭ в пределах первого периода (I) в основном связаны с развитием капиллярного давления и деформаций в твердеющей цементной пасте, включая развитие аутогенной усадки [8, 11, 13]. Эта зона характеризуется значительным количеством химически несвязанной воды, которая придает смеси механическую подвижность. Чем выше активность АЭ в пределах первого периода и чем выше амплитуда сигналов АЭ, тем выше механическое перемещение смеси и ее отдельных компонентов.

Высокий коэффициент затухания акустических волн приводит к снижению количества зарегистрированных импульсов АЭ либо к их полному отсутствию в пределах второго (II) периода. При этом, чем меньше длительность второго периода, тем более интенсивно протекает процесс структурообразования бетона и тем выше его проектная прочность.

Переход от второго периода к третьему (III) характеризуется увеличением активности АЭ. Чем больше число импульсов АЭ и выше их энергетические параметры в этот период, тем выше конечная прочность бетона.

Скорость гидратации возможно описать тремя основными схемами: ускорение, замедление и нейтральное действие, а также несколькими комбинированными схемами: замедление с ускорением, ускоре-

ние с замедлением, и т. д. (рисунки табл. 4). АЭ мониторинг твердения бетонов позволяет определить влияние состава и добавок по показателям интенсивности и длительности периодов гидратации. Временная зависимости параметров импульсов АЭ позволяет проследить длительность индукционного периода гидратации, а энергетические характеристики импульсов АЭ (энергия АЭ, амплитуда АЭ) – интенсивность процессов гидратации.

Прогноз прочности бетона

Реализация методики прогнозирования прочности бетона осуществляется в соответствии с блок-схемой, представленной на рис. 3.

Реализация методики выполняется в два этапа: предварительные эксперименты по построению градуировочных зависимостей и проведение измерений на конструкции. Время, необходимое на сбор данных для прогноза прочности, не является фиксированным и для большинства составов не превышает 48 часов. Для прогноза прочности бетонов наиболее информативными параметрами являются:

- Δt – длительность второго периода;
- $tg(\alpha_{III})$ – тангенс угла наклона кумулятивной зависимости параметров импульсов АЭ от времени для третьего периода.

Данные параметры Δt , $tg(\alpha_{III})$ могут быть использованы для построения множественной регрессионной модели по формуле:

$$R_{28} = b_1 \cdot \Delta t + b_2 \cdot tg(\alpha_{III}) + b_0, \tag{1}$$

где b_1 , b_2 и b_0 – коэффициенты регрессионного уравнения;

R_{28} – прочность бетона в возрасте 28 суток.

На основании уравнения (1), построенного по результатам предварительных экспериментов, возможно осуществлять прогноз прочности бетона.



Рис. 3. Блок-схема методики прогнозирования прочности бетона
 Fig. 3. Block diagram of the method of predicting the strength of concrete

Акустико–эмиссионный контроль набора прочности бетона в процессе твердения

Метод АЭ может быть использован также для контроля процесса нарастания прочности, который может осуществляться в режиме реального времени. В качестве примера на рис. 4 представлена зависимость суммарной энергии импульсов АЭ, числа импульсов АЭ и прочности от времени для бетонного куба из состава АЭ 4 за временной интервал 28 суток. Суммарный счет импульсов АЭ был выбран в качестве наиболее информативного параметра в ходе предварительно проведенного анализа.

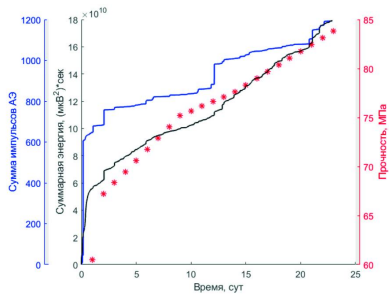


Рис. 4. Зависимость суммарной энергии АЭ, числа импульсов АЭ и прочности от времени
Fig. 4. Dependence of the total AE energy, the number of AE hits and strength on time

Зависимости суммарной энергии импульсов АЭ, числа импульсов АЭ, отражающие процесс накопления импульсов АЭ, а также их энергетический вклад и прочности от времени имеют схожий внешний вид, что связано с тем, что метод АЭ регистрирует активность, которая непосредственно связана с физическими процессами, протекающими при структурообразовании и твердении бетона и, как следствие, отвечающими за увеличение его прочности. В качестве примера на рис. 5 представлены зависимости суммарной энергии и числа импульсов АЭ от прочности.

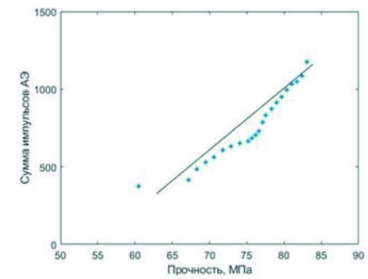
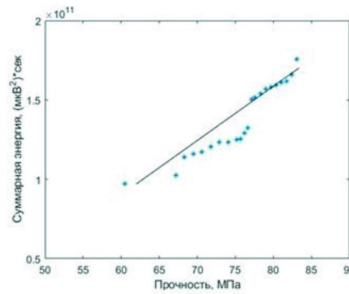


Рис. 5. Зависимость (а) суммарной энергии АЭ от прочности и (б) числа импульсов АЭ от прочности
Fig. 5. Dependence of (a) the total AE energy on strength and (b) the number of AE hits on strength

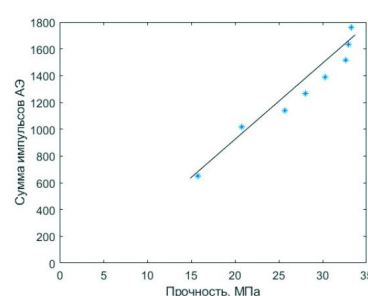
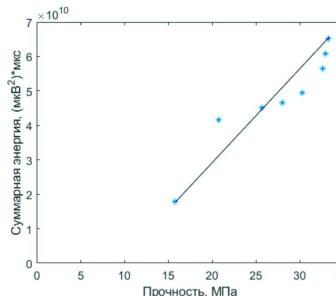
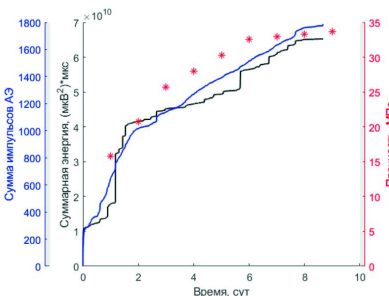


Рис. 6. Зависимости (а) суммарной энергии АЭ, числа импульсов АЭ и прочности от времени, (б) суммарной энергии АЭ от прочности и (в) числа импульсов АЭ от прочности (тяжелый бетон с минеральными добавками, состав АЭ 6)
Fig. 6. Dependences of (a) the total AE energy, the number of AE hits and strength on time, (b) the total AE energy on strength and (v) the number of AE hits on strength (heavy concrete with mineral additives, co-becoming AE 6)

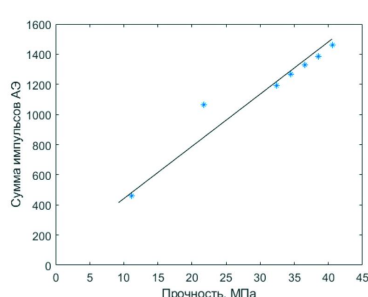
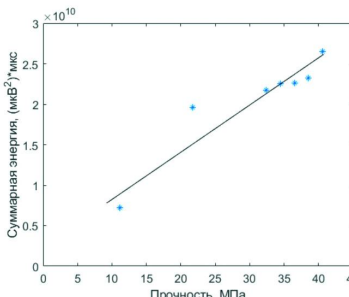
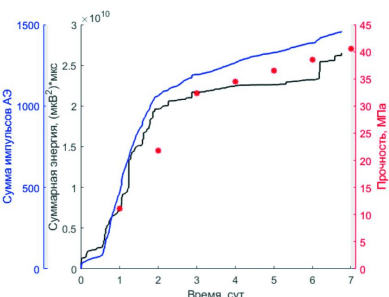


Рис. 7. Зависимости (а) суммарной энергии АЭ, числа импульсов АЭ и прочности от времени, (б) суммарной энергии АЭ от прочности и (в) числа импульсов АЭ от прочности (мелкозернистый бетон, состав АЭ 10)
Fig. 7. Dependences of (a) the total AE energy, the number of AE hits and strength on time, (б) the total AE energy on strength and (v) the number of AE hits on strength (fine-grained concrete, composition of AE 10)

Начиная с третьих суток представленные зависимости имеют однозначную взаимосвязь. Коэффициент корреляции для зависимости суммарной энергии АЭ от прочности составляет 0.94, а для зависимости числа импульсов АЭ от прочности – 0.95. Аналогичные зависимости могут быть построены и для тяжелых бетонов с минеральными добавками (рис. 6), а также мелкозернистых бетонов (рис. 7).

Коэффициент корреляции для зависимости суммарной энергии АЭ от прочности составляет 0.94, а для зависимости числа импульсов АЭ от прочности – 0.97.

Коэффициент корреляции для зависимости суммарной энергии АЭ от прочности составляет 0.93, а для зависимости числа импульсов АЭ от прочности – 0.96.

Акустико-эмиссионные измерения в процессе твердения железобетонных балок

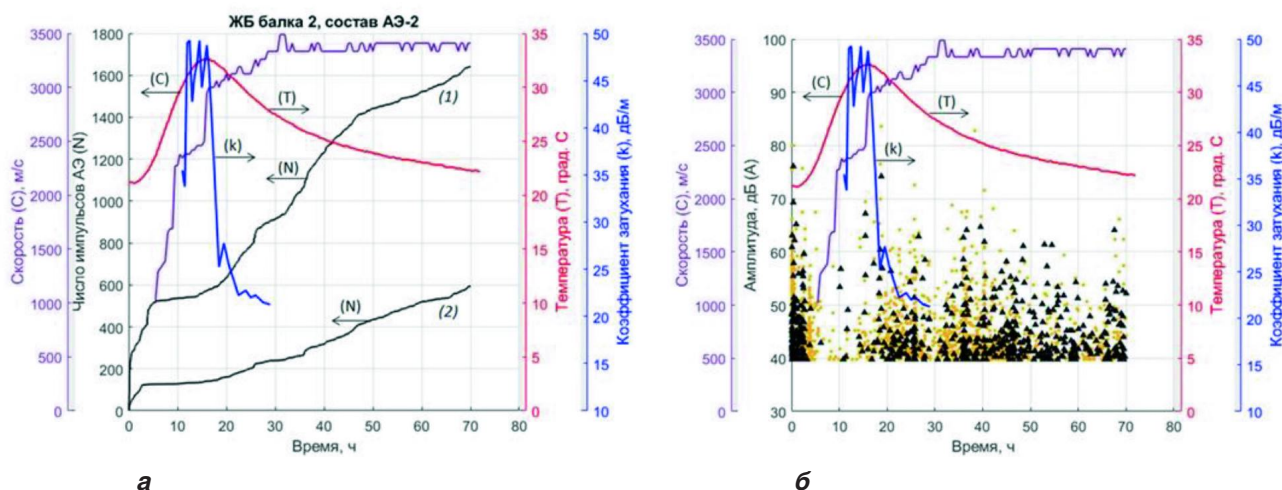
Измерения АЭ данных для железобетонных балок проводились с целью оценки влияния армирования на результаты регистрации АЭ данных, а также оценки частотного диапазона используемых ПАЭ. Для определения коэффициента затухания и скорости распространения акустических волн в процессе твердения бетона использовалась антенная решетка из ПАЭ, установленных на волновод и расположенных на расстоянии 15 см друг от друга вдоль балки. Измерения проводились в автоматическом режиме каждые пол часа путем поочередного излучения и приема акустических сигналов всеми ПАЭ антенной решетки. Было исследовано два типа ПАЭ: DIS30-300 (низкочастотный) и GT200 (среднечастотный).

На рис. 8 для сравнения представлены зависимости числа импульсов АЭ и амплитуд для двух типов преобразователей.

Для рассматриваемых зависимостей наблюдается общая тенденция изменения представленных

параметров с течением времени. На начальном этапе происходит рост АЭ активности с последующим ее уменьшением практически до нулевого значения. В этот же момент наблюдается непродолжительный интервал времени, когда температура является практически постоянной, после чего начинается ее повышение. Измерение коэффициента затухания и скорости распространения акустических волн на начальном этапе является невозможным в связи с высоким значением коэффициента затухания и тем фактом, что излучаемый сигнал затухает прежде, чем пройдет расстояние между ПАЭ. Для амплитуды импульсов АЭ также наблюдается плавное снижение численных значений.

В момент, когда происходит первое скачкообразное увеличение скорости распространения акустических волн, АЭ данные характеризуются периодом затишья. Значения коэффициента затухания являются практически неизменными в пределах данного периода. Начало данного периода может быть характеризовано как начало схватывания. В момент, когда по данным АЭ начинается повторный рост активности АЭ (также происходит повторный рост амплитуд импульсов АЭ), температура достигает своего максимума. В то же время начинается резкое снижение коэффициента затухания и выход на плато скорости, которому предшествует скачкообразное изменение. Совокупный анализ данных факторов позволяет говорить о завершении периода схватывания. Прочность бетона в это время составляет около 50 % проектной прочности. Для преобразователя DIS30-300 количество импульсов АЭ за аналогичный период превышает аналогичный показатель для GT200 более чем в 2 раза (рис. 8а), что связано с тем, что коэффициент затухания на высо-



* – преобразователь DIS30-300; Δ – преобразователь GT200; кривая (1) – преобразователь DIS30-300; кривая (2) – преобразователь GT200
 Рис. 8. Зависимости (а) числа импульсов АЭ, (б) амплитуд, скорости, коэффициента затухания и температуры для балки * – DIS30-300 converter; Δ – GT200; converter curve (1) – DIS30-300 converter; curve (2) – GT200 converter
 Fig. 8. Dependences of (a) the number of AE hits, (б) amplitudes, velocity, attenuation coefficient and temperature for beam

ких частотах является более высоким, чем на низких. Как следствие, зона контроля для преобразователя DIS30-300 больше, чем для GT200, что обеспечивает более интегральную оценку результатов контроля.

Основные выводы

1. Метод АЭ позволяет выделять стадийность структурообразования бетона. По изменению АЭ параметров с течением времени можно выделить три временных интервала, характеризующихся различной степенью интенсивности АЭ, что отражается как в количестве регистрируемых импульсов, так и в значении их энергетических параметров.

2. Предложен подход по прогнозированию прочности бетона методом АЭ. Время, необходимое для прогнозирования, не является фиксированным и для большинства составов не превышает 48 часов с момента бетонирования.

3. Акустико-эмиссионный метод контроля бетона в раннем возрасте позволяет определять расплывчатую прочность, контролировать нарастание прочности бетона в процессе твердения.

4. АЭ мониторинг твердения бетонных смесей рекомендуется проводить полосовыми преобразователями АЭ, имеющими частотный диапазон регистрируемых сигналов 30–300 кГц.

5. Для создания акустического контакта между ПАЭ и свежеприготовленной бетонной смесью должен использоваться глубинный волновод.

6. Контроль структурообразования в лабораторных условиях методом АЭ целесообразно выполнять на бетонных кубах размером 200 × 200 × 200 мм. Стенки контейнера рекомендуется изготавливать из ламинированной фанеры, что позволяет значительно снизить отражение акустических сигналов от поверхности контейнера.

7. Применен алгоритм дистанционного контроля затухания сигналов акустической эмиссии в процессе твердения бетонных и железобетонных конструкций без присутствия оператора. По измерениям скорости распространения акустических волн, уменьшению коэффициента затухания и выходу этих значений на плато можно говорить о завершении периода схватывания бетонной смеси.

8. АЭ метод позволяет прогнозировать и наблюдать за приращением прочности бетонов массивных и густоармированных конструкций.

9. В условиях строительной площадки контроль и прогноз прочности бетонов АЭ методом возможен дистанционно, без присутствия оператора, в труднодоступных местах, где контроль традиционными методами затруднителен или невозможен.

Список литературы

1. Сагайдак А.И., Бардаков В.В. Прогнозирование прочности бетона в процессе его твердения при помощи метода акустической эмиссии // *Дефектоскопия*. № 6. 2017. С. 40–47.
2. Hoduláková M., Topolář L., Kucharczyková B. The application of acoustic emission technique to monitor the early setting process of cement pastes. *MATEC Web of Conferences*. 2019. 4 p.
3. Trąpczyński W., Goszczyńska B., Bacharz M. Acoustic emission for determining early age concrete damage as an important indicator of concrete quality. *Condition before Loading*. 2020, no. 13, 17 p.
4. Shawkey M.A., Abdelzاهر M.A., Mahmoud H.M., Rashad M.M. Monitoring of acoustic emission behaviour during early-age cement paste hydration. *Materials 5th International conference on advanced sciences ICAS5: Materials Science and Engineering*. 2020, 7 p.
5. Rizzo P., Vandebossche J.M., Nassiri S., X. Ni A Solitary. Wave-based sensor to monitor the setting of fresh concrete. *Sensors*. 2014, no. 14, pp. 12568–12584.
6. Grosse Christian U., Ohtsu M. Acoustic emission testing: basics for research – applications in civil engineering [pdf]. 2008, 400 p. <https://vdoc.pub/documents/acoustic-emission-testing-basics-for-research-applications-in-civil-engineering-4fm86es8ll10> (Date of access 10.09.2021).
7. Shen G., Zhang J., Wu Zh. Advances in Acoustic Emission Technology. *Proceedings of the World Conference on Acoustic Emission*. Guangzhou, China, 2019, pp. 41–53.
8. Bardakov V.V., Sagaidak A.I. Forecasting of concrete strength during the hardening process by means of Acoustic Emission method. *Progress in Acoustic Emission. 8th International Conference on Acoustic Emission III AE*. Kyoto, 2016, pp. 105–110.
9. Dzaye E.D., Schutter G.D., Aggelis D.G. Study on mechanical acoustic emission sources in fresh concrete. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2018, no. 18, pp. 242–254.
10. Van Den Abeele, K. Desadeleer, W. De Schutter, G. & Wevers. Active and passive monitoring of the early hydration process in concrete using linear and nonlinear acoustics. *Cement and Concrete Research*. 2009, no. 39, pp. 426–432.
11. Chotard T., J. Smith, A. Rotureau, D. Fargeot, D. & C. Gault. Acoustic emission characterisation of calcium aluminate cement hydration at an early stage. *J. Eur. Ceram. Soc*. 2003, no. 23, pp. 387–398.
12. Di Bella C., Griffa M., Ulrich T.J., Lura P. Cement and concrete research early-age elastic properties of cement-based materials as a function of decreasing moisture content. *Cement and Concrete Research*. 2016, no. 89, pp. 87–96.

13. Lura P., Couch J., Jensen O.M., Weiss J. Early-age acoustic emission measurements in hydrating cement paste: Evidence for cavitation during solidification due to self-desiccation. *Cement and Concrete Research*. 2009, no. 39, pp. 861–867.

14. Slowik V., Schmidt M., Fritzsche R. Capillary pressure in fresh cement-based materials and identification of the air entry value. *Cement and Concrete Composites*. 2008, no. 30, pp. 557–565.

15. Pazdera L., Topolar L., Korenska M., Smutny J., Bilek V. Advanced analysis of acoustic emission parameters during the concrete hardening for long time // *11th European Conference on Non-Destructive Testing*. 2014, pp. 1–8.

References

1. Sagaidak A.I., Bardakov V.V. Forecasting the strength of concrete during its hardening using the acoustic emission method. *Flaw detection*. 2017, no. 6, pp. 40–47 (In Russian).

2. Hoduláková M., Topolář L., Kucharčzyková B.B. The application of acoustic emission technique to monitor the early setting process of cement pastes. *MATEC Web of Conferences*. 2019, 4 p.

3. Trąpczyński W., Goszczyńska B., Bacharz M. Acoustic emission for determining early age concrete damage as an important indicator of concrete quality. *Condition before Loading*. 2020, no. 13, 17 p.

4. Shawkey M.A., Abdelzaher M.A., Mahmoud H.M., Rashad M.M. Monitoring of acoustic emission behaviour during early-age cement paste hydration. *Materials 5th International conference on advanced sciences ICAS5: Materials Science and Engineering*. 2020, 7 p.

5. Rizzo P., Vandenbossche J.M., Nassiri S., X. Ni A Solitary. Wave-based sensor to monitor the setting of fresh concrete. *Sensors*. 2014, no. 14, pp. 12568–12584.

6. Grosse Christian U., Ohtsu M. Acoustic emission testing: basics for research – applications in civil engineering [pdf]. 2008, 400 p. <https://vdoc.pub/documents/acoustic-emission-testing-basics-for-research-applications-in-civil-engineering-4fm86es8ll10> (Date of access 10.09.2021).

7. Shen G., Zhang J., Wu Zh. Advances in Acoustic Emission Technology. *Proceedings of the World Conference on Acoustic Emission*. Guangzhou, China. 2019, pp. 41–53.

8. Bardakov V.V., Sagaidak A.I. Forecasting of concrete strength during the hardening process by means of Acoustic Emission method. *Progress in Acoustic Emission. 8th International Conference on Acoustic Emission III AE*. Kyoto. 2016, pp. 105–110.

9. Dzayee E.D., Schutter G.D., Aggelis D.G. Study on mechanical acoustic emission sources in fresh concrete. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2018, no. 18, pp. 242–254.

10. Van Den Abeele, K. Desadeleer, W. De Schutter, G. & Wevers. Active and passive monitoring of the early

hydration process in concrete using linear and nonlinear acoustics. *Cement and Concrete Research*. 2009, no. 39, pp. 426–432.

11. Chotard T., J. Smith, A. Rotureau, D. Fargeot, D. & C. Gault. Acoustic emission characterisation of calcium aluminate cement hydration at an early stage. *J. Eur. Ceram. Soc.* 2003, no. 23, pp. 387–398.


12. Di Bella C., Griffa M., Ulrich T.J., Lura P. Cement and concrete research early-age elastic properties of cement-based materials as a function of decreasing moisture content. *Cement and Concrete Research*. 2016, no. 89, pp. 87–96.


13. Lura P., Couch J., Jensen O.M., Weiss J. Early-age acoustic emission measurements in hydrating cement paste: Evidence for cavitation during solidification due to self-desiccation. *Cement and Concrete Research*. 2009, no. 39, pp. 861–867.

14. Slowik V., Schmidt M., Fritzsche R. Capillary pressure in fresh cement-based materials and identification of the air entry value. *Cement and Concrete Composites*. 2008, no. 30, pp. 557–565.

15. Pazdera L., Topolar L., Korenska M., Smutny J., Bilek V. Advanced analysis of acoustic emission parameters during the concrete hardening for long time. *11th European Conference on Non-Destructive Testing*. 2014, pp. 1–8.

Информация об авторах / Information about the authors

Александр Иванович Сагайдак , канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник центра № 20 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва e-mail: sagaidak-niizhb@mail.ru


Alexandr I. Sagaidak , Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher of the Center No. 20, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow e-mail: sagaidak-niizhb@mail.ru

Владимир Васильевич Бардаков, канд. техн. наук, заместитель начальника научно-исследовательского отдела, ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ», Москва e-mail: bardakovv@interunis-it.ru

Vladimir V. Bardakov, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Head of the Research Department, LLC «INTERUNIS-IT», Moscow e-mail: bardakovv@interunis-it.ru

Евгения Сергеевна Боровкова, физик, старший преподаватель Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой, Новополоцк e-mail: e.borovkova@psu.by

Evgeniya S. Borovkova, Physicist, Senior Lecturer at the Euphrosyne Polotsk State University, Novopolotsk e-mail: e.borovkova@psu.by

 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

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ РЕЦИКЛИНГОВЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ БЕТОНОВ В КАЧЕСТВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

Аннотация

Введение. Одним из важнейших резервов экономии материальных и энергетических ресурсов в области строительной индустрии является повторное вовлечение в сферу производства рециклинговых бетонных материалов (продуктов утилизации некондиционных бетонных, железобетонных конструкций и изделий), в частности, высокодисперсных порошков с перспективой их применения в качестве минеральной добавки для производства растворов общестроительного назначения. Реализация такого подхода практически позволит обеспечить внедрение важнейшего принципа безотходности технологических процессов (при производстве сборных и монолитных бетонных, железобетонных конструкций и изделий) и создать условия для решения важных экономических и экологических задач.

Целью работы было определение основных физико-механических характеристик, сравнительный анализ строительного раствора на портландцементе, а также растворов с замещением части портландцемента (на 10, 15 и 25 %) рециклинговым (бетонным) тонкодисперсным порошком с удельной поверхностью 4500 см²/г.

Материалы и методы. Для проведения исследований применялись: рециклинговый (бетонный) тонкодисперсный порошок с удельной поверхностью 4500 см²/г, строительный песок с модулем крупности $M_k = 2.31$ (по ГОСТ 8736-2014), портландцемент со шлаком ЦЕМ III/B-Ш 42,5Н (по ГОСТ 31108-2020), химическая добавка «ЦЕНТРИПОР ТФМ 411Р» («CENTRIPOR TFM 411R»).

Подбор составов растворов проводили по СП 82-101-98. Испытания растворных смесей и растворов проводили по ГОСТ Р 58767-2019. Соответствие прочности растворов при сжатии марке определяли в соответствии с ГОСТ Р 58766-2019.

Результаты. В результате проведенных работ показано, что тонкодисперсный рециклинговый бетонный порошок с удельной поверхностью 4500 см²/г может применяться в качестве минеральной добавки (наполнителя) для производства строительных растворов наравне с используемыми в настоящее время в строительной индустрии страны добавками.

Выводы. Выявлена возможность применения тонкодисперсного рециклингового бетонного порошка с удельной поверхностью 4500 см²/г в качестве минеральной добавки (наполнителя) для производства строительных растворов наравне с используемыми в настоящее время в строительной отрасли страны добавками. Показано, что при замене 10 % цемента рециклинговым (вторичным) тонкодисперсным порошком с удельной поверхностью 4500 см²/г улучшается структура и увеличивается прочность строительных растворов марок М100–М150.

Ключевые слова: рециклинг, рециклинговый тонкодисперсный бетонный порошок, строительные растворы, безотходность технологического процесса, вторичное использование материалов

Для цитирования: Беппаев З.У., Аствацатурова Л.Х., Колодяжный С.А., Вернигора С.А., Лопатинский В.В. Перспективы применения тонкодисперсных рециклинговых продуктов переработки бетонов в качестве минеральных добавок для изготовления строительных растворов // *Бетон и железобетон*. 2023. № 1 (615). С. 43–55. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1\(615\)-43-55](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1(615)-43-55)

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. – выполнение экспериментальной части.

Лопатинский В.В. – выполнение экспериментальной части.

Финансирование

Исследование частично финансировалось ФАУ «ФЦС».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 12.12.2022

Поступила после рецензирования 16.01.2023

Принята к публикации 26.01.2023

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

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

PROSPECTS FOR THE USE OF FINE-DISPERSED RECYCLING PRODUCTS OF CONCRETE PROCESSING AS MINERAL ADDITIVES FOR THE MANUFACTURE OF BUILDING MORTARS

Abstract

Introduction. One of the most important reserves for saving material and energy resources in the construction industry is the re-involvement of recycling concrete materials (products of disposal of substandard concrete, reinforced concrete structures and products), in particular, highly dispersed powders with the prospect of their use as a mineral additive for the production of mortars for general construction purposes, in the production field. The implementation of this approach will practically ensure the introduction of the most important principle of waste-free technological processes (in the production of prefabricated and monolithic concrete, reinforced concrete structures and products) and create conditions for solving important economic and environmental problems.

Aim. The aim of the work were the determining of the main physical and mechanical characteristics, comparative analysis of the mortar on Portland cement, as well as mortars with the replacement of a part of Portland cement (by 10, 15 and 25 %) with a recycling (concrete) fine powder with a specific surface area of 4500 cm²/g.

Materials and methods. For the research, the following components were used: recycling (concrete) fine powder with a specific surface area of 4500 cm²/g, construction sand with a size modulus $M_k = 2.31$ (according to GOST 8736-2014), portland cement with CEMII/V-W 42.5N (according to GOST 31108-2020) slag, chemical additive "CENTRIPOR TFM 411R".

The selection of mortar compositions was carried out according to SP 82-101-98. Tests of mortar mixtures and mortars were carried out according to GOST R 58767-2019. Compliance with the compressive strength of mortars with the grade was determined in accordance with GOST R 58766-2019.

Results. As a result of the work carried out, it is shown that fine-dispersed recycling concrete powder with a specific surface area of 4500 cm²/g can be used as a mineral additive (filler) for the production of mortars on a par with additives currently used in the construction industry of the country.

Conclusions. The possibility of using fine-dispersed recycling concrete powder with a specific surface area of 4500 cm²/g as a mineral additive (filler) for the production of mortars on a par with additives currently used in the construction industry of the country. It has been shown that when 10 % of cement is replaced with recycled (secondary) fine powder with a specific surface area of 4500 cm²/g, the strength of building mortars of the M100–M150 grades increases and its structure improves.

Keywords: recycling, recycling fine-dispersed concrete powder, building mortars, waste-free technological process, secondary use of materials

For citation: Beppaev Z.U., Astvatsaturova L.H., Kolodyazhny S.A., Vernigora S.A., Lopatinsky V.V. Prospects for the use of fine-dispersed recycling products of concrete processing as mineral additives for the manufacture of building mortars. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023. No. 1 (615), pp. 43–55. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1\(615\)-43-55](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-1(615)-43-55)

Author contribution statements

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

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

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

Vernigora S.A. – execution of the experimental part.

Lopatinsky V.V. – execution of the experimental part.

Funding

The study was partially funded by the FAO "FCS".

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Received 12.12.2022

Revised 16.01.2023

Accepted 26.01.2023

Введение

Одним из перспективных направлений экономии материальных и энергетических ресурсов при производстве бетонов и строительных растворов является использование рециркулируемых материалов – материалов, обладающих свойствами многократного использования. В частности, к таким материалам относятся некондиционные бетонные, железобетонные конструкции и изделия. Вторичная переработка (рециклинг) таких материалов представляет собой комплекс технологических мероприятий (дробление, рассев и т. п.) с получением готовых к применению бетонных щебня и песка.

Реализация принципов рециклинга практически позволит обеспечить внедрение важнейшего принципа безотходности технологических процессов (при производстве бетонных, железобетонных конструкций и изделий) и создать условия для решения актуальных экономических и экологических задач.

В ведущих развитых странах мира одобрена и успешно действует следующая приоритетность мероприятий в области переработки строительных отходов: снижение количества образования отходов, а также их вторичное использование и переработка. При этом в этих странах принята четкая иерархия методов обращения с отходами, при которой наиболее предпочтительным путем утилизации отходов является их рециклинг, т. е. процесс переработки и возвращения отходов в повторный оборот в качестве кондиционного товара [1, 2].

Использование рециклингового (вторичного) щебня в качестве заполнителя для производства бетонных и железобетонных конструкций и изделий разрешено Евростандартом EN 206-1 [3]. К рециркулируемым заполнителям в EN 206-1 относят заполнители, извлеченные промывкой из неиспользованного (остаточного) незатвердевшего бетона. Их использование разрешено под ответственность производителя при соблюдении следующих условий: разделение заполнителя на фракции, соответствие породы извлеченных заполнителей породе заполнителя в основном объеме бетона, введение повторно используемых заполнителей в небольших количествах.

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, внесенными Федеральным законом от 28 июля 2012 г. № 128-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» [4], не рассматривает отходы как вторичные материальные ресурсы. Платежи за разме-

щение 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» [5] отмечается низкий уровень вовлечения отходов производства и потребления в новое производство (п. 8, стр. 19).

Использование вторичных ресурсов, а также масштабное освоение и внедрение системы рециклинга в производственный процесс Российской Федерации отвечает основным положениям Указа Президента Российской Федерации «Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» № 176 от 19 апреля 2017 г. [6].

Использование рециклинговых щебня и песка в качестве заполнителей для производства бетонных, железобетонных конструкций и изделий общестроительного назначения в настоящий момент в Российской Федерации не только актуально, но и частично подготовлено. В частности, возможность повторного использования рециклинговых щебня и песка в производстве бетонов предусмотрена в ГОСТ 25192-2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования» [7], в содержание которого введено понятие нового рециклированного вида бетона, изготавливаемого с применением утилизированных заполнителей и воды. Разработан ГОСТ 32495-2013 «Щебень, песок и песчано-щебенистые смеси из дробленого бетона и железобетона. Технические условия» [8], который регламентирует области применения щебня, песка и песчано-щебенистых 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.

Кроме этого, использование вторичных ресурсов отвечает концепции бережливого производства, основной нормативной базой которой является ГОСТ Р 56020-2014 «Бережливое производство. Основные положения и словарь» [9].

В процессе рециклинга бетонных, железобетонных конструкций и изделий получают рециклинговый (бетонный) щебень и песок. Рециклинговый (бетонный) щебень состоит преимущественно из зерен первичного щебня и растворной части бетона, агрегированных в единый конгломерат. Рециклинговый (бетонный) песок состоит преимущественно из зерен растворной части бетона и зерен рециклингового

щебня менее 5 мм. Зерна менее 1,25 мм представляют собой тонкодисперсный порошок и состоят преимущественно из зерен растворной части бетона и негидратированных зерен цемента. Зерна мельче 1,25 мм, как правило, составляют 10–15 % от утилизируемой массы бетона.

В настоящее время в строительной отрасли Российской Федерации рециклинговые (бетонные) щебень и песок (фракций 1,25–5 мм) начали применять для производства низкопрочных (В15 и менее) бетонов. При этом фракции рециклингового песка менее 1,25 мм практически не используются и вывозятся в отвалы.

Одним из перспективных направлений применения рециклингового песка фракции менее 1,25 мм является его использование в качестве минеральных добавок (с замещением части цемента) при производстве строительных растворов. Их использование для замены тождественных природных материалов в растворах может принести значительные экономические, энергетические и экологические преимущества. Производство и транспортировка природных минеральных добавок являются причиной выбросов, представляющих 0,0046 млн т углеродного эквивалента за каждую тонну природных добавок по сравнению с 0,0024 млн т углеродного эквивалента за тонну рециклинговых добавок. С учетом мирового потребления природных добавок в год для производства бетонов и растворов их замена на рециклинговые добавки значительно сокращает выбросы в окружающую среду. Это преимущество будет более значимым с течением времени, поскольку истощение источников природных заполнителей инициирует их поставки на большие расстояния, в то время как источники рециклинговых добавок обычно расположены поблизости к производителям и потребителям бетона и раствора. Повторное использование отхо-

дов бетона во многих случаях весьма целесообразно и отвечает принципам концепции «устойчивого развития» («sustainable development»), основные положения которой предусматривают экономию материалов и энергии, повышение долговечности конструкций и уменьшение негативного воздействия на окружающую среду, в том числе сохранение невозполнимых источников природных ресурсов.

Цель

Целью работы было определение основных физико-механических характеристик и сравнительный анализ контрольного раствора на портландцементе, а также растворов с замещением части портландцемента (на 10, 15 и 25 %) рециклинговым тонкодисперсным порошком с удельной поверхностью 4500 см²/г.

Материалы и методы

Для определения основных физико-механических характеристик и проведения сравнительного анализа контрольного раствора на портландцементе, а также растворов с замещением части портландцемента (на 10, 15 и 25 %) рециклинговым (бетонным) тонкодисперсным порошком сотрудниками лаборатории № 9 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева были проведены комплексные экспериментальные исследования. Для проведения работ из рециклингового (бетонного) песка фракций 1,25–5 мм были изготовлены пробы тонкодисперсного порошка с удельной поверхностью 4500 см²/г.

Для изготовления тонкодисперсного порошка использовали планетарную лабораторную мельницу BM6 Pro. Общий вид лабораторной мельницы BM6 Pro приведен на рис. 1.

Общий вид рециклингового тонкодисперсного бетонного порошка приведен на рис. 2.

Для изготовления экспериментальных образцов раствора применяли строительный песок с модулем



Рис. 1. Общий вид лабораторной мельницы BM6 Pro
Fig. 1. General view of the BM6 Pro laboratory mill

крупности $M_k = 2.31$ по ГОСТ 8736-2014 [10], портландцемент со шлаком ЦЕМII/В-Ш 42,5Н по ГОСТ 31108-2020 [11], химическую добавку «ЦЕНТРИПОР ТФМ 411Р» («CENTRIPOR TFM 411R»).

Подбор составов растворов проводили в соответствии с положениями СП 82-101-98 [12].

В ходе проведения экспериментальных работ определяли:

- реологические свойства растворяемых смесей;
- предел прочности на сжатие образцов раствора в возрасте 1, 7 и 28 сут;
- среднюю плотность образцов раствора в возрасте 1, 7 и 28 сут;
- водопоглощение образцов раствора в возрасте 1, 7 и 28 сут.

По полученным результатам проводили сравнительный анализ характеристик контрольного раствора с характеристиками растворов с рециркуляционным порошком. Испытания растворяемых смесей и растворов проводили по ГОСТ Р 58767-2019 [13]. Соответствие прочности растворов при сжатии марке определяли в соответствии с ГОСТ Р 58766-2019 [14].

Испытания проводились в период с июня по сентябрь 2022 г. на испытательной базе НИИЖБ им. А.А. Гвоздева – структурного подразделения АО «НИЦ «Строительство».

Результаты

Составы контрольного раствора на портландце-



менте и растворов с замещением части портландцемента рециркуляционным тонкодисперсным порошком с удельной поверхностью $4500 \text{ см}^2/\text{г}$ приведены в табл. 1 и 2.

Реологические свойства растворяемых смесей приведены в табл. 3.

Маркировки образцов растворов при проведении испытаний приведены в табл. 4.

Результаты определения предела прочности на сжатие образцов раствора приведены в табл. 5.

Результаты определения средней плотности образцов раствора приведены в табл. 6.

Результаты определения водопоглощения образцов раствора приведены в табл. 7.

Сравнительный анализ прочности контрольного раствора на сжатие к прочности растворов с рециркуляционным порошком приведен в табл. 8.

Сравнительный анализ средней плотности контрольного раствора к средней плотности растворов с рециркуляционным порошком приведен в табл. 9.

Сравнительный анализ водопоглощения контрольного раствора к водопоглощениям растворов с рециркуляционным порошком приведен в табл. 10.

График набора прочности контрольного раствора и растворов с замещением 10, 15 и 25 % портландцемента на рециркуляционный тонкодисперсный порошок с удельной поверхностью $4500 \text{ см}^2/\text{г}$ приведен на рис. 3.

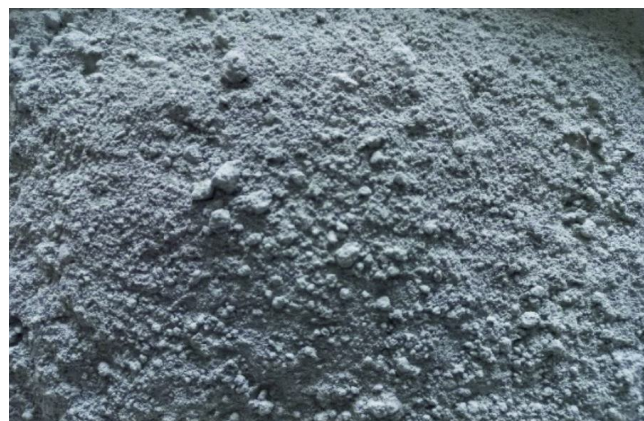


Рис. 2. Общий вид рециркуляционного тонкодисперсного бетонного порошка
Fig. 2. General view of recycling fine concrete powder

Таблица 1
Table 1

Состав контрольного раствора на портландцементе
Composition of the control mortar on Portland cement

№	Компоненты растворяемой смеси	Расход компонентов на 1 м^3 растворяемой смеси, кг
1	Цемент	187,3
2	Рециркуляционный тонкодисперсный порошок	–
3	Песок	1030,2
4	Химическая добавка «ЦЕНТРИПОР ТФМ 411Р»	0,38
5	Вода	174

Таблица 2
Table 2

Составы растворов с замещением части портландцемента рециклинговым тонкодисперсным порошком с удельной поверхностью 4500 см²/г
Compositions of mortar with replacement of a part of Portland cement by the recycling fine powder with a specific surface area of 4500 cm²/g

№	Компоненты растворной смеси	Расход компонентов на 1 м ³ растворной смеси, кг
Расход рециклингового тонкодисперсного порошка 10 %		
1	Цемент	168,6
2	Рециклинговый тонкодисперсный порошок	18,7
3	Песок	1030,2
4	Химическая добавка «ЦЕНТРИПОР ТФМ 411Р»	0,38
5	Вода	174
Расход рециклингового тонкодисперсного порошка 15 %		
1	Цемент	159,2
2	Рециклинговый тонкодисперсный порошок	28,1
3	Песок	1030,2
4	Химическая добавка «ЦЕНТРИПОР ТФМ 411Р»	0,38
5	Вода	174
Расход рециклингового тонкодисперсного порошка 25 %		
1	Цемент	140,5
2	Рециклинговый тонкодисперсный порошок	46,8
3	Песок	1030,2
4	Химическая добавка «ЦЕНТРИПОР ТФМ 411Р»	0,38
5	Вода	174

Таблица 3
Table 3

Реологические свойства растворных смесей
Rheological properties of mortar mixtures

№	Составы растворных смесей	Погружение конуса, см	Марка по подвижности раствора, Пк	Средняя плотность, кг/м ³
1	Контрольный раствор на портландцементе	8,5	Пк3	1978
2	Раствор с замещением 10 % портландцемента на рециклинговый тонкодисперсный порошок с удельной поверхностью 4500 см ² /г	9,0	Пк3	1987
3	Раствор с замещением 15 % портландцемента на рециклинговый тонкодисперсный порошок с удельной поверхностью 4500 см ² /г	9,5	Пк3	1990
4	Раствор с замещением 25 % портландцемента на рециклинговый тонкодисперсный порошок с удельной поверхностью 4500 см ² /г	9,0	Пк3	1990

Таблица 4
Table 4

Маркировка образцов растворов при проведении испытаний
Marking of mortar samples during testing

№	Составы растворов	Маркировка образцов		
		Возраст 1 сут	Возраст 7 сут	Возраст 28 сут
1	Контрольный раствор на портландцементе	K1	K7	K28

Продолжение таблицы 4

2	Раствор с замещением 10 % портландцемента на рециклинговый тонкодисперсный порошок с удельной поверхностью 4500 см ² /г	45/10-1	45/10-7	45/10-28
3	Раствор с замещением 15 % портландцемента на рециклинговый тонкодисперсный порошок с удельной поверхностью 4500 см ² /г	45/15-1	45/15-7	45/15-28
4	Раствор с замещением 25 % портландцемента на рециклинговый тонкодисперсный порошок с удельной поверхностью 4500 см ² /г	45/25-1	45/25-7	45/25-28

Таблица 5
Table 5

Результаты определения предела прочности на сжатие образцов раствора
Results of determination of the compressive strength of mortar samples

№	Состав раствора	Возраст раствора, сут	Маркировка образцов	Рабочая площадь сечения образца, см ²	Разрушающая нагрузка, Р, кН	Предел прочности на сжатие, R, кгс/см ²	Среднее значение прочности, R, кгс/см ²
1	Контрольный раствор на портландцементе	1	K1-1 K1-2 K1-3	49,98	12,0 12,0 11,5	24,0 24,0 23,0	23,7
2	Контрольный раствор на портландцементе	7	K7-1 K7-2 K7-3	49,98	43,8 42,2 43,6	87,6 84,4 87,2	86,4
3	Контрольный раствор на портландцементе	28	K28-1 K28-2 K28-3	49,98	62,1 62,0 67,1	124,3 124,1 134,3	127,6
4	Раствор с замещением 10 % портландцемента на рециклинговый порошок	1	45/10-1-1 45/10-1-2 45/10-1-3	49,98	13,2 14,7 13,1	26,4 29,4 26,2	27,3
5	Раствор с замещением 10 % портландцемента на рециклинговый порошок	7	45/10-7-1 45/10-7-2 45/10-7-3	49,98	38,5 39,4 40,4	77,0 78,8 80,8	78,9
6	Раствор с замещением 10 % портландцемента на рециклинговый порошок	28	45/10-28-1 45/10-28-2 45/10-28-3	49,98	64,6 63,9 69,4	129,3 127,9 138,9	132,0
7	Раствор с замещением 15 % портландцемента на рециклинговый порошок	1	45/15-1-1 45/15-1-2 45/15-1-3	49,98	13,1 13,0 13,9	26,2 26,0 27,8	26,7
8	Раствор с замещением 15 % портландцемента на рециклинговый порошок	7	45/15-7-1 45/15-7-2 45/15-7-3	49,98	38,6 38,2 41,7	77,2 76,4 83,4	79,0
9	Раствор с замещением 15 % портландцемента на рециклинговый порошок	28	45/15-28-1 45/15-28-2 45/15-28-3	49,98	50,3 59,4 63,9	100,6 118,9 127,9	115,8
10	Раствор с замещением 25 % портландцемента на рециклинговый порошок	1	45/25-1-1 45/25-1-2 45/25-1-3	49,98	9,3 9,5 8,5	18,6 19,0 17,0	18,2
11	Раствор с замещением 25 % портландцемента на рециклинговый порошок	7	45/25-7-1 45/25-7-2 45/25-7-3	49,98	27,2 28,6 31,8	54,4 57,2 63,6	58,4
12	Раствор с замещением 25 % портландцемента на рециклинговый порошок	28	45/25-28-1 45/25-28-2 45/25-28-3	49,98	49,7 53,1 48,5	99,4 106,2 97,0	100,9

Таблица 6
Table 6

Результаты определения средней плотности образцов раствора
Results of determination of the average density of mortar samples

№	Состав раствора	Возраст раствора, сут	Маркировка образцов	Объем образца, V, см ³	Масса образца, m, г	Плотность образца P, кг/м ³	Среднее значение плотности, P, кг/м ³
1	Контрольный раствор на портландцементе	1	K1-1 K1-2 K1-3	353,4	710 710 706	2009 2009 1998	2005
2	Контрольный раствор на портландцементе	7	K7-1 K7-2 K7-3	353,4	700 711 701	1980 2012 1984	1992
3	Контрольный раствор на портландцементе	28	K28-1 K28-2 K28-3	353,4	687 687 685	1944 1944 1938	1942
4	Раствор с замещением 10 % портландцемента на рециклинговый порошок	1	45/10-1-1 45/10-1-2 45/10-1-3	353,4	713 700 703	2018 1981 1989	1996
5	Раствор с замещением 10 % портландцемента на рециклинговый порошок	7	45/10-7-1 45/10-7-2 45/10-7-3	353,4	683 692 698	1933 1958 1975	1955
6	Раствор с замещением 10 % портландцемента на рециклинговый порошок	28	45/10-28-1 45/10-28-2 45/10-28-3	353,4	670 668 684	1896 1890 1935	1907
7	Раствор с замещением 15 % портландцемента на рециклинговый порошок	1	45/15-1-1 45/15-1-2 45/15-1-3	353,4	707 721 720	2001 2040 2037	2026
8	Раствор с замещением 15 % портландцемента на рециклинговый порошок	7	45/15-7-1 45/15-7-2 45/15-7-3	353,4	686 699 688	1941 1978 1947	1955
9	Раствор с замещением 15 % портландцемента на рециклинговый порошок	28	45/15-28-1 45/15-28-2 45/15-28-3	353,4	680 684 681	1924 1935 1927	1929
10	Раствор с замещением 25 % портландцемента на рециклинговый порошок	1	45/25-1-1 45/25-1-2 45/25-1-3	353,4	714 726 710	2020 2054 2009	2028
11	Раствор с замещением 25 % портландцемента на рециклинговый порошок	7	45/25-7-1 45/25-7-2 45/25-7-3	353,4	703 698 707	1989 1975 2001	1988
12	Раствор с замещением 25 % портландцемента на рециклинговый порошок	28	45/25-28-1 45/25-28-2 45/25-28-3	353,4	674 681 691	1907 1927 1955	1930

Таблица 7
 Table 7

Результаты определения водопоглощения образцов раствора
Results of determination of water absorption of mortar samples

№	Состав раствора	Возраст раствора, сут	Маркировка образцов	Масса водонасыщенного образца, m_w , г	Масса высушенного образца, m_c , г	Водопоглощение отдельного образца по массе, W_o , %	Среднее значение водопоглощения серии образцов W_{cp} , %
1	Контрольный раствор на портландцементе	1	K1-1 K1-2 K1-3	714 699 713	636 621 635	12,3 12,6 12,3	12,4
2	Контрольный раствор на портландцементе	7	K7-1 K7-2 K7-3	718 714 719	645 639 644	11,3 11,7 11,6	11,6
3	Контрольный раствор на портландцементе	28	K28-1 K28-2 K28-3	717 717 717	642 642 641	11,7 11,7 11,9	11,7
4	Раствор с замещением 10 % портландцемента на рециклинговый порошок	1	45/10-1-1 45/10-1-2 45/10-1-3	703 714 706	627 635 630	12,1 12,4 12,1	12,2
5	Раствор с замещением 10 % портландцемента на рециклинговый порошок	7	45/10-7-1 45/10-7-2 45/10-7-3	718 723 711	640 647 637	12,2 11,7 11,6	11,9
6	Раствор с замещением 10 % портландцемента на рециклинговый порошок	28	45/10-28-1 45/10-28-2 45/10-28-3	705 701 720	633 630 650	11,4 11,3 10,8	11,1
7	Раствор с замещением 15 % портландцемента на рециклинговый порошок	1	45/15-1-1 45/15-1-2 45/15-1-3	720 732 737	642 654 657	12,1 11,9 12,2	12,1
8	Раствор с замещением 15 % портландцемента на рециклинговый порошок	7	45/15-7-1 45/15-7-2 45/15-7-3	713 733 718	640 660 643	11,4 11,1 11,7	11,4
9	Раствор с замещением 15 % портландцемента на рециклинговый порошок	28	45/15-28-1 45/15-28-2 45/15-28-3	717 722 718	645 650 650	11,2 11,1 10,5	10,9
10	Раствор с замещением 25 % портландцемента на рециклинговый порошок	1	45/25-1-1 45/25-1-2 45/25-1-3	723 717 723	643 637 640	12,4 12,6 13,0	12,7
11	Раствор с замещением 25 % портландцемента на рециклинговый порошок	7	45/25-7-1 45/25-7-2 45/25-7-3	721 720 718	644 642 642	12,0 12,1 11,8	12,0
12	Раствор с замещением 25 % портландцемента на рециклинговый порошок	28	45/25-28-1 45/25-28-2 45/25-28-3	713 722 731	642 650 660	11,1 11,1 10,8	11,0

Таблица 8
Table 8

Сравнительный анализ прочности контрольного раствора на сжатие к прочности растворов с рециклинговым тонкодисперсным порошком
Comparative analysis of the compressive strength of the control mortar to the strength of mortars with recycled fine powder

№	Состав раствора	Маркировка образцов	Среднее значение прочности серии образцов раствора на сжатие в сутках и % прочности растворов с рециклинговым тонкодисперсным порошком к прочности контрольного раствора, R, кгс/см ²					
			1	%	7	%	28	%
1	Контрольный раствор на портландцементе	K1 K7 K28	23,7	100	86,4	100	127,6	100
2	Раствор с замещением 10 % портландцемента на рециклинговый порошок	45/10-1 45/10-7 45/10-28	27,3	115	78,9	91,3	132,0	103
3	Раствор с замещением 15 % портландцемента на рециклинговый порошок	45/15-1 45/15-7 45/15-28	26,7	113	79,0	91,4	115,8	90,7
4	Раствор с замещением 25 % портландцемента на рециклинговый порошок	45/25-1 45/25-7 45/25-28	18,2	76,8	58,4	67,6	100,9	79,1

Таблица 9
Table 9

Сравнительный анализ средней плотности контрольного раствора к средней плотности растворов с рециклинговым тонкодисперсным порошком
Comparative analysis of the average density of the control mortar to the average density of mortars with recycled fine powder

№	Состав раствора	Маркировка образцов	Значение средней плотности образцов раствора в сутках и % средней плотности растворов с рециклинговым тонкодисперсным порошком к средней плотности контрольного раствора, P, кг/м ³					
			1	%	7	%	28	%
1	Контрольный раствор на портландцементе	K1 K7 K28	2005	100	1992	100	1942	100
2	Раствор с замещением 10 % портландцемента на рециклинговый порошок	45/10-1 45/10-7 45/10-28	1996	99,6	1955	98,1	1907	98,2
3	Раствор с замещением 15 % портландцемента на рециклинговый порошок	45/15-1 45/15-7 45/15-28	2026	101	1955	98,1	1929	99,3
4	Раствор с замещением 25 % портландцемента на рециклинговый порошок	45/25-1 45/25-7 45/25-28	2028	101	1988	99,8	1930	99,4

Таблица 10
Table 10

Сравнительный анализ водопоглощения контрольного раствора к водопоглощениям растворов с рециклинговым тонкодисперсным порошком
Comparative analysis of the water absorption of the control mortar to the water absorption of mortars with recycled fine powder

№	Состав раствора	Маркировка образцов	Водопоглощение образцов раствора в сутках и % водопоглощения растворов с рециклинговым тонкодисперсным порошком к водопоглощению контрольного раствора, W, %					
			1	%	7	%	28	%
1	Контрольный раствор на портландцементе	K1 K7 K28	12,4	100	11,6	100	11,7	100
2	Раствор с замещением 10 % портландцемента на рециклинговый порошок	45/10-1 45/10-7 45/10-28	12,2	98,4	11,9	103	11,1	94,9
3	Раствор с замещением 15 % портландцемента на рециклинговый порошок	45/15-1 45/15-7 45/15-28	12,1	97,6	11,4	98,3	10,9	93,2
4	Раствор с замещением 25 % портландцемента на рециклинговый порошок	45/25-1 45/25-7 45/25-28	12,7	102	12,0	103	11,0	94,0

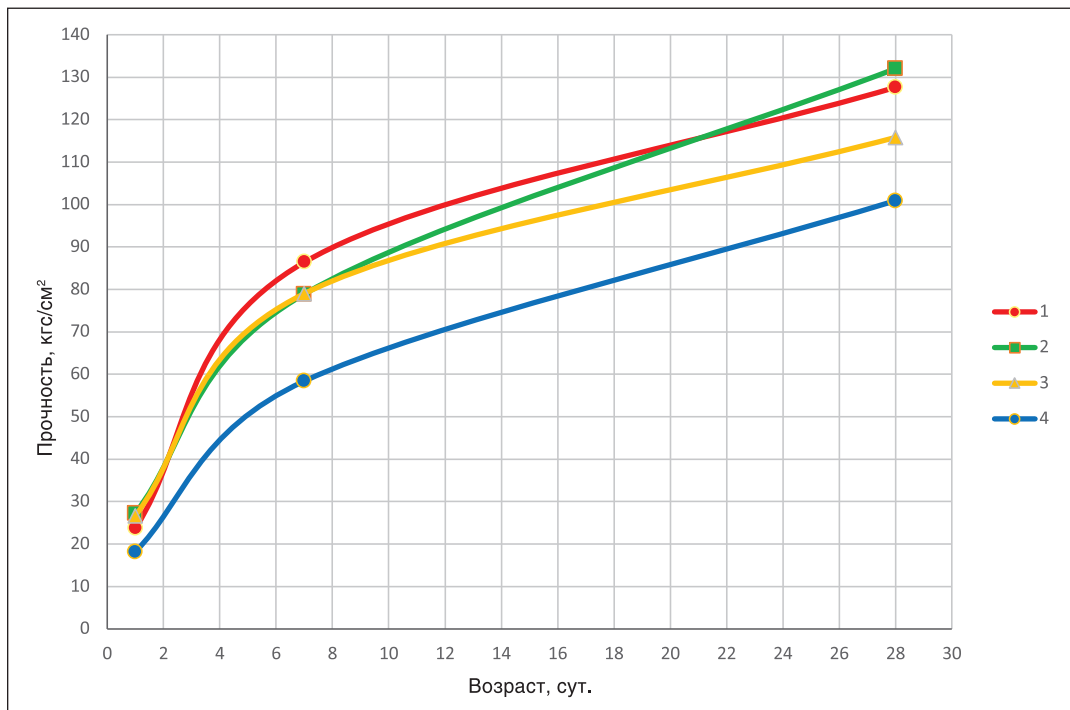


Рис. 3. График набора прочности контрольного раствора и растворов с замещением 10, 15 и 25 % портландцемента на рециклинговый тонкодисперсный порошок с удельной поверхностью 4500 см²/г: 1 – контрольный раствор; 2 – раствор с замещением 10 % портландцемента на рециклинговый тонкодисперсный порошок; 3 – раствор с замещением 15 % портландцемента на рециклинговый тонкодисперсный порошок; 4 – раствор с замещением 25 % портландцемента на рециклинговый тонкодисперсный порошок

Fig. 3. Graph of strength gain of the control mortar and mortars with the substitution of 10, 15 and 25 % Portland cement for recycled fine powder with a specific surface area of 4500 cm²/g: 1 – control mortar; 2 – mortar with the substitution of 10 % Portland cement for recycled fine powder; 3 – mortar with replacement of 15 % Portland cement with recycled fine powder; 4 – mortar with replacement of 25 % portland cement with recycled fine powder

Выводы

1. Прочность раствора с замещением части портландцемента на 10 % рециклинговым (вторичным) тонкодисперсным порошком с удельной поверхностью $4500 \text{ см}^2/\text{г}$ в возрасте 1 суток составляет 115 % от прочности контрольного раствора на портландцементе, в возрасте 7 суток – 91,3 %, в возрасте 28 суток – 103 % от прочности контрольного раствора на портландцементе.

2. Плотности этих растворов для всех возрастов практически идентичны плотности контрольных растворов и составляют 98,1–99,6 % от плотности контрольных растворов.

3. Водопоглощение этих растворов для 1 суток составляет 98,4 % от водопоглощения контрольных образцов, для 7 суток – 103 %, для 28 суток – 94,9 %.

4. Анализ полученных результатов проведенных экспериментальных исследований показывает, что тонкодисперсный рециклинговый бетонный порошок с удельной поверхностью $4500 \text{ см}^2/\text{г}$ может применяться в качестве минеральной добавки (наполнителя) для производства строительных растворов наравне с используемыми в настоящее время в строительной индустрии страны добавками. При замене 10 % цемента рециклинговым (вторичным) тонкодисперсным порошком с удельной поверхностью $4500 \text{ см}^2/\text{г}$ прочность строительных растворов марок М100–М150 не снижается. Плотность и пористость строительных растворов с замещением 10 % цемента рециклинговым (вторичным) тонкодисперсным порошком с удельной поверхностью $4500 \text{ см}^2/\text{г}$ тождественна аналогичным показателям контрольных растворов.

5. В настоящее время в Российской Федерации документы, нормирующие требования к рециклинговым бетонным материалам, практически отсутствуют. Для широкого применения в строительной отрасли рециклинговых бетонных материалов необходимо проведение комплекса экспериментальных работ с разработкой нового ГОСТа, что позволит усовершенствовать процессы утилизации бетонных, железобетонных конструкций и изделий с завершённым сроком эксплуатации для получения качественного и готового к применению строительного материала. Энергетические затраты на производство рециклинговых (вторичных) бетонных материалов в разы меньше, чем затраты на природные материалы. Небольшая цена и простота получения создают широкую сферу для применения рециклинговых (вторичных) бетонных материалов. Помимо этого, их применение существенно снижает техногенную нагрузку на природную среду, а его нейтральность при использовании не загрязняет окружающую среду.

6. Использование рециклинговых бетонных материалов (тонкодисперсных порошков, щебня и песка) приобретает особую актуальность в связи с необходимостью восстановления разрушенных зданий и

сооружений в новых субъектах Российской Федерации и осуществлении реновации жилищного фонда в городе Москве. Одним из наиболее рациональных путей утилизации образующихся при этом отходов с экологической и экономической точки зрения является их рециклирование с получением вторичных материалов (щебня, песка и тонкодисперсных порошков) и с последующим применением их в качестве заполнителей и минеральных добавок (наполнителей) для производства бетонов, а также растворов общестроительного назначения.

Список литературы

1. Kikuchi M. Application of Recycled Concrete for Structural Concrete. Experimental Study on the Quality of Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete / M. Kikuchi, Y. Dosho, M. Narikawa, Y. Ohshima, A. Koyama, T. Miura. Proceeding of Fourth CAKMET / ACUCI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology, Tokushima. Japan, 1998, pp. 1073–1101.

2. Donovan Christine T. Recycling of construction waste. The new solutions of old problems / Ch. T. Donovan. Resour. Recycl. 1991, no. 8, pp. 146–155.

3. EN 206-1 «БЕТОН. Часть 1: Общие технические требования, Производство и контроль качества».

4. Федеральный закон № 89-ФЗ от 24 июня 1998 года «Об отходах производства и потребления» с изменениями, внесенными Федеральным законом от 28 июля 2012 г. № 128-ФЗ.

5. Распоряжение 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».

6. Указ Президента Российской Федерации № 176 от 19 апреля 2017 г. «Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года».

7. ГОСТ 25192-2012. Бетоны. Классификация и общие технические требования. 2013.

8. ГОСТ 32495-2013. Щебень, песок и песчано-щебеночные смеси из дробленого бетона и железобетона. Технические условия. 2015.

9. ГОСТ Р 56020-2014. Бережливое производство. Основные положения и словарь. 2015.

10. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. 2015.

11. ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия. 2021.

12. СП 82-101-98. Приготовление и применение растворов строительных. 1998.

13. ГОСТ Р 58767-2019. Растворы строительные. Методы испытаний по контрольным образцам. 2022.

14. ГОСТ Р 58766-2019. Растворы строительные. Общие технические условия. 2022.

References

1. Kikuchi M. Application of Recycled Concrete for Structural Concrete. Experimental Study on the Quality of Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete / M. Kikuchi, Y. Dosho, M. Narikawa, Y. Ohshima, A. Koyama, T. Miura. Proceeding of Fourth CAKMET / ACUCI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology, Tokushima. Japan, 1998, pp. 1073–1101.
2. Donavan Christine T. Recycling of construction waste. The new solutions of old problems / Ch. T. Donavan. Resour. Recycl. 1991, no. 8, pp. 146–155.
3. EN 206-1 “CONCRETE. Part 1: Specification, performance, production and conformity”.
4. Federal Law No. 89-FZ of June 24, 1998 “On Production and Consumption Waste” as amended by Federal Law No. 128-FZ of July 28, 2012 (in Russian).
5. Decree of the Government of the Russian Federation No. 868-r dated May 10, 2016, “Strategy for the development of the construction materials industry for the period up to 2020 and further prospects up to 2030” (in Russian).
6. Decree of the President of the Russian Federation No. 176 dated April 19, 2017 “Strategy of environmental safety of the Russian Federation for the period up to 2025” (in Russian).
7. State Standard 25192-2012. Concretes. Classification and general technical requirements. 2013 (in Russian).
8. State Standard 32495-2013. Aggregates, fines and its mixtures made from recycled reinforced and non-reinforced concrete. Specifications. 2015 (in Russian).
9. State Standard R 56020-2014. Lean production. Fundamentals and vocabulary. 2015 (in Russian).
10. State Standard 8736-2014. Sand for construction works. Specifications. 2015 (in Russian).
11. State Standard 31108-2020 Common cements. Specifications. 2021 (in Russian).
12. SP 82-101-98. Manufacturing and usage of solutions in construction industry. 1998 (in Russian).
13. State Standard R 58767-2019. Mortars. Test methods using reference specimens. 2022 (in Russian).
14. State Standard R 58766-2019. Mortars. General specifications. 2022 (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, NIIZHB 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, NIIZHB 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, NIIZHB 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, NIIZHB 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, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Указатель статей, опубликованных в журнале «Бетон и железобетон», 2022 год

Автор	Наименование статьи	Страницы
№ 1 (609)		
Малюк В.В., Малюк В.Д., Леонович С.Н.	Анализ результатов обследования железобетонных конструкций портовых сооружений (о. Сахалин, 1927–2018 гг.)	3–9
Зенин С.А., Кудяков К.Л., Кудинов О.В.	Оценка влияния бетонов на заполнителях по ГОСТ 32703–2014 на прочностные и деформативные свойства изгибаемых железобетонных конструкций	10–16
Ремнев В.В.	Возможности применения грунтобетонов для изготовления фундаментных и дорожных плит	17–20
Баранник Н.В., Котов С.В., Потапова Е.С., Малахин С.С.	Определение химического состава компонентов бетона методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой	22–30
Титов М.Ю., Кузнецова И.С., Бейлина М.И., Шабалин В.А.	Применение отходов металлургической промышленности для получения жаростойких бетонов	31–35
Беппаев З.У., Аствацатурова Л.Х., Колодяжный С.А., Вернигора С.А., Лопатинский В.В.	Определение физико-технических характеристик рециклингового щебня из боя керамического кирпича с выявлением перспектив его применения в качестве заполнителей для бетонов	36–42
Ремнев В.В.	Эффективный бетон повышенной термостойкости для теплозащитных покрытий стартовых сооружений ракетно-космических комплексов	43–47
№ 2 (610)		
Бедарев В.В., Бедарев Н.В., Бедарев А.В.	Применение золы ТЭС для получения высокопрочных бетонов и снижения расхода цемента	3–7
Кузнецова И.С., Рябченкова В.Г., Акопян Д.В.	Огнестойкость плитных конструкций из фибробетона с добавкой стеклопластиковой макрофибры	10–19
Снежков Д.Ю., Леонович С.Н., Будревич Н.А.	Методика испытаний буронабивных свай сейсмоакустическим и ультразвуковым методами	20–24
Солнцев В.А., Жадобин П.А., Харитонов Л.П.	Исследование водопоглощения бетона, находящегося в воде под давлением, с целью оценки балластирующих свойств бетонного покрытия морских трубопроводов	25–29
Малюк В.В., Малюк В.Д., Леонович С.Н.	Совершенствование методов проектирования и технологии бетонных работ (на примере о. Сахалин)	30–34
Зенин С.А., Болгов А.Н., Сокуров А.З, Кудинов О.В.	Прочность на продавливание плоских плит перекрытий в зонах опирания на торцы стен	35–40
Ремнев В.В.	Возможность применения монолитных пенобетонов в системах аварийного торможения воздушных судов	41–44
№ 3 (611)		
Травуш В.И., Кузеванов Д.В., Каприелов С.С., Волков Ю.С.	Бетон как экологический фактор снижения углеродного следа в среде обитания	10–14
Ремнев В.В.	Возможность применения в бетонах строительных материалов повторного использования	20–22
Жоробаев С.С., Кузнецова И.С.	Эффективный способ конвективного прогрева монолитных железобетонных конструкций при зимнем бетонировании	23–29
Леонович С.Н., Шалый Е.Е., Литвиновский Д.А., Степанова А.В., Журавская А.В., Малюк В.В.	Влияние карбонизации на диффузионность хлоридов в бетоне: анализ эксперимента и применение в расчете	30–40
Садовская Е.А., Леонович С.Н.	Коэффициенты перехода для нанофибробетона	41–48

№ 4–5 (612–613)		
Звездов А.И., Кузеванов Д.В., Волков Ю.С.	Профессор А.А. Гвоздев. К 125-летию со дня рождения	3–6
Фаликман В.Р., Сиротин П.Н.	Современные методы оценки реакционной способности заполнителей	15–24
Резаев Р.О., Дмитриев А.А., Чернявский Д.В.	Применение вероятностных подходов для построения моделей «состав–свойство». Часть I (Теория)	25–37
Строцкий В.Н., Савин В.И., Полетаев В.В.	Деформационные характеристики легкого бетона на гранулированной пеностеклокерамике	38–45
Садовская Е.А., Леонович С.Н.	Сравнительный анализ расчета коэффициента интенсивности напряжений по результатам равновесных и неравновесных испытаний	46–51
Снежков Д.Ю., Леонович С.Н., Будревич Н.А., Miao Jijun	Оценка качества буронабивных свай сейсмоакустическим и межскважинным ультразвуковым методами	52–59
Черныгов Е.А.	Исследование работы с бетоном трехпроволочных канатов	60–65
Мухамедиев Т.А., Майоров С.А.	Учет работы сжатой композитной полимерной арматуры при расчете прочности сжатых элементов по деформационной модели	66–71
Болгов А.Н., Сокуров А.З., Невский А.В.	О разработке нового свода правил СП 513.1325800 «Анкерные крепления к бетону. Правила проектирования»	72–75
№ 6 (614)		
Фаликман В.Р., Анцибор А.В.	Развитие методов контроля прочности бетонов и растворов в новом ГОСТ Р 70307–2022 «Бетоны мелкозернистые и растворы строительные. Методы определения прочности в тонкостенных и тонкослойных конструкциях»	3–7
Кузнецова И.С., Рябченкова В.Г., Рязина Ю.С.	Новый государственный стандарт на методы испытаний бетонов при температурных воздействиях	8–11
Резаев Р.О., Дмитриев А.А., Чернявский Д.В.	Применение вероятностных подходов для построения моделей «состав–свойство». Ч. II (Практика)	12–24
Дьячков В.В., Слышенков С.О.	Оценка соответствия свойств арматурного проката техническим требованиям проекта АЭС «Эль-Дабаа»	25–32
Титов М.Ю., Титова Л.А., Бейлина М.И.	Применение промышленных отходов для получения расширяющих компонентов	33–37
Леонович С.Н., Шалый Е.Е., Литвиновский Д.А., Степанова А.В., Малюк В.В., Колодей А.В.	Алгоритмы надежности для расчета-прогноза долговечности железобетона при хлоридной агрессии: анализ методологии и приложений	40–50

Научно-технический журнал
Бетон и железобетон
Вып. 1 (615) 2023

Редактор выпуска Починина Н.Е.
Компьютерная верстка Болдырев В.
Дата выхода в свет 30.03.2023
Формат 60x88 1/8

Бумага мелованная. Офсетная печать.

Тираж 300 экз. Заказ № 230984

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии
ООО «Андоба пресс», elena@andoba.ru



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

Мы – команда единомышленников, способных реализовать сложнейшие инженерные проекты.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ

ИЗЫСКАНИЯ

СТРОИТЕЛЬСТВО

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

УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР

АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



ниц строительство
научно-исследовательский центр



С 1927 ГОДА

95
ЛЕТ

повысить квалификацию специалистов и экспертов

пройти обучение в аспирантуре

подготовить диссертацию в докторантуре

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

Учебный центр
АО «НИЦ «Строительство»
приглашает вас:

г. Москва,
2-я Институтская ул., д. 6

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

www.cstroy.ru

motorina@cstroy.ru | smirnova@cstroy.ru





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

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



Преподавательский состав
Учебного центра

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

ФОРМЫ ПОДГОТОВКИ ДИССЕРТАЦИИ В АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



Обучение в аспирантуре,
докторантуре

Прикрепление для
подготовки диссертации без
освоения образовательных
программ



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

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



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

Защита диссертаций проводится по следующим научным специальностям:

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

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

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

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

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

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

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

Журнал распространяется на конференциях, выставках, форумах строительной отрасли. Подробная информация на сайте vestnik.cstroy.ru.

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

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

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

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

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

Выпускающий редактор – Починина Наталья

e-mail: pochininane@cstroy.ru



100+ TECHNO BUILD

X Международный
строительный форум
и выставка

3-6 ОКТЯБРЯ 2023
ЕКАТЕРИНБУРГ

forum-100.ru

