

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0005-9889

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

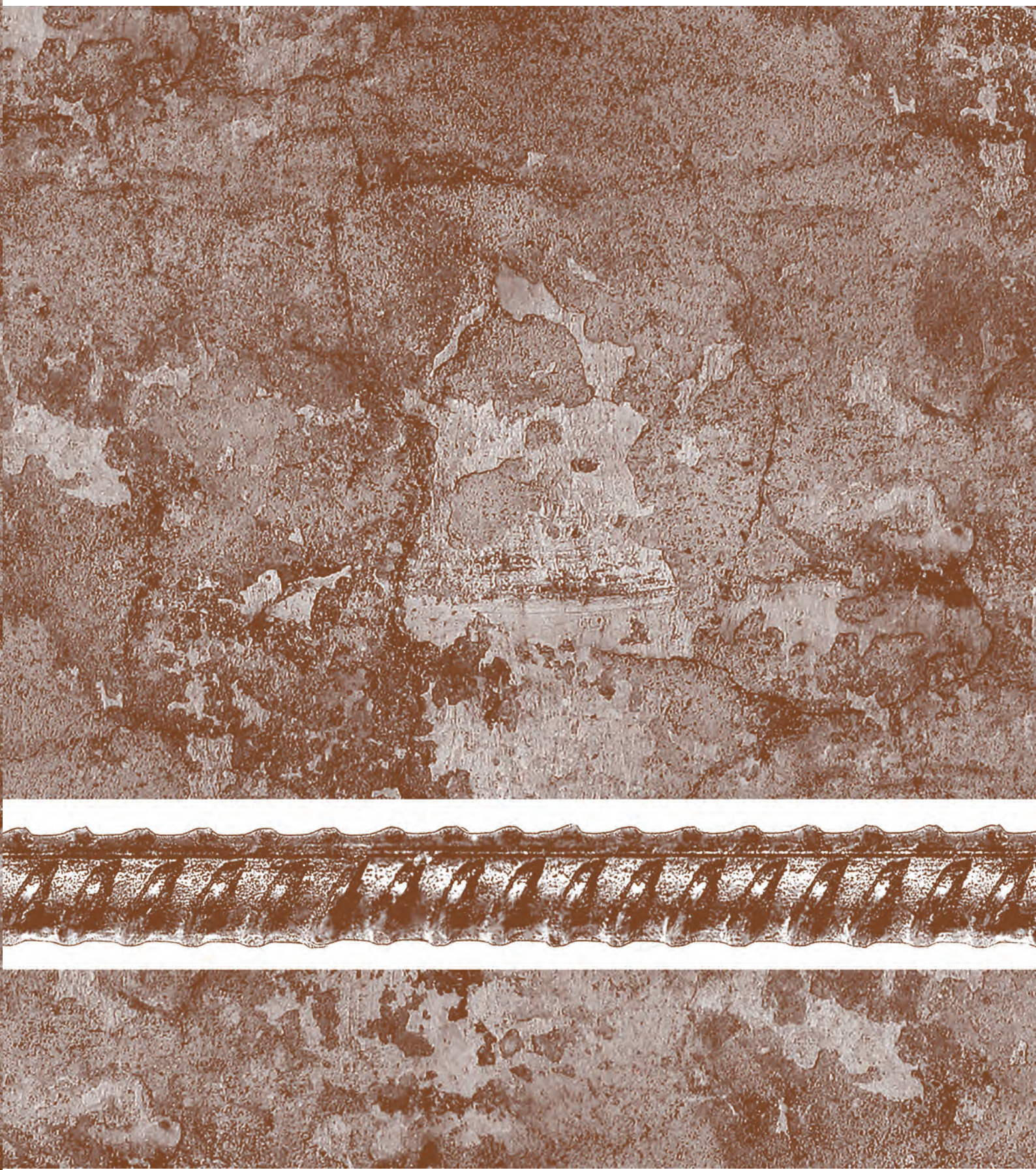
3

605

2021

WWW.RIFSM.RU

ИЗДАЕТСЯ С 1955 ГОДА



100+ TECHNO BUILD

VIII Международный
строительный форум
и выставка

forum-100.ru

ДИАЛОГ РЕГИОНОВ

5-7 октября 2021
Екатеринбург

Учредитель: Ассоциация «Железобетон»
Адрес: 109428, г. Москва, Рязанский просп., д. 22, корп. 2
Издатель: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»
Адрес: 125319, г. Москва, ул. Черняховского, д. 9, корп. 1, кв. 1
 Зарегистрирован в Министерстве печати и информации РФ
 Рег. ПИ № ФС 77-76959 от 09.10.2019
 ISSN 0005-9889 (Print)

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Издается с 1955 г.

3 (605)
май—июнь 2021

М.М. КОЗЕЛКОВ, А.В. ЛУГОВОЙ

Мониторинг нормативной базы в области проектирования и конструирования

механических стыковых соединений высокой заводской готовности для сборных бетонных и железобетонных конструкций зданий

3

С.Н. ЛЕОНОВИЧ, Д.А. ЛИТВИНОВСКИЙ, Н.А. БУДРЕВИЧ

Оценка стойкости бетона к воздействию высокой температуры на основе ГОСТ 29167–2020

14

А.И. САГАЙДАК

Стандарт на метод акустико-эмиссионного контроля бетонных и железобетонных изделий и монолитных конструкций

19

ЗЫОНГ ТХАНЬ КУЙ, Е.В. КОРОЛЕВ, А.С. ИНОЗЕМЦЕВ

Комплексное модифицирование легких бетонов на полых микросферах для технологии 3D-печати

25

В Геленджике состоялась встреча специалистов цементной и бетонной отраслей (Информация)

30

М.Р. НУРТДИНОВ, В.Г. СОЛОВЬЕВ, А.Ф. БУРЬЯНОВ

Применение композиционной фибры в тяжелых бетонах.

33

В.И. МЕЛИХОВ, Б.С. СОКОЛОВ

Проектирование бетонных и железобетонных безнапорных труб

40

Редакционная коллегия

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

АРХИПКИН А.А., зам. главного редактора, Ассоциация «Железобетон» (Москва)

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

ГУСЕВ Б.В., д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технологии», РУТ/МИИТ (Москва)

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

КУЗЕВАНОВ Д.В., канд. техн. наук, директор НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (Москва)

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

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

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

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

РАХМАНОВ В.А., канд. техн. наук, Российский Союз строителей (Москва)

СТЕПАНОВА В.Ф., д-р техн. наук, заведующая лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (Москва)

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

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

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

ФАЛИКМАН В.Р., канд. хим. наук, д-р материаловедения, руководитель Центра научно-технического сопровождения сложных объектов строительства, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (Москва)

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

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: Россия, 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3
Тел.: (499) 976-22-08, (499) 976-20-36
E-mail: mail@rifsm.ru
http://azhb.ru/ **http://www.rifsm.ru**

Founder of the journal:

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

Publisher: «STROYMATERIALY»

Advertising-Publishing Firm, OOO

Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,
 Moscow, 125319, 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)

BETON I ZHELEZOBETON

Published since 1955

3 (605)
May—June'2021

M.M. KOZELKOV, A.V. LUGOVOY

**Monitoring of the Regulatory Framework in the Field of Design and Construction of Mechanical Butt Joints
 of High Factory Readiness for Precast Concrete and Reinforced Concrete Structures of Buildings. 3**

S.N. LEONOVICH, D.A. LITVINOVSKY, N.A. BUDREVICH

Assessment of Concrete Resistance to High Temperature Based on State Standard 29167–2020 14

A.I. SAGAIKAK

**Standard for the Method of Acoustic-Emission Control of Concrete and Reinforced Concrete Products
 and Monolithic Structures. 19**

DUONG THANH QUI, E.V. KOROLEV, A.S. INOZEMCEV

Complex Modification of Light Concretes on Hollow Microspheres for 3D Printing Technology. 25

A meeting of specialists from the cement and concrete industry took place in Gelendzhik (Information). 30

M.R. NURTDINOV, V.G. SOLOVIEV, A.F. BURYANOV

The Use of Composite Fibers in Heavy Concrete. 33

V.I. MELIKHOV, B.S. SOKOLOV

Design of Concrete and Reinforced Concrete Pressure-Free Pipes. 40

Editorial team:

ZVEZDOV A.I., Editor-in-Chief, Doctor of Sciences (Engineering), Deputy Director General for Research, Research Center «Stroitel'stvo» JSC (Moscow)

ARKHIPKIN A.A., Deputy Editor-in-Chief, Structural Concrete Association (Moscow)

GRANOV V.V., Doctor of Sciences (Engineering), Deputy Director General – Scientific Supervisor, «TsNIPromzdaniy» JSC (Moscow)

GUSEV B.V., Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Building Materials and Technologies Department, Russian University of Transport (MIIT) (Moscow)

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

KUZEVANOV D.V., Candidate of Sciences (Engineering), Director of the Scientific Research Institute for Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (Moscow)

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

MOROZOV V.I., Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Reinforced Concrete and Stone Structures Department, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (St. Petersburg)

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

NESEVETAEV G.V., Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Construction Technology Department, Don State Technical University (Rostov-on-Don)

RAKHMANOV V.A., Candidate of Sciences (Engineering), Russian Union of Builders (Moscow)

STEPANOVA V.F., Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Laboratory for Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, of the Scientific Research Institute for Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (Moscow)

TAMRAZIAN A.G., Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Reinforced Concrete and Stone Structures Department, Moscow State University of Civil Engineering (Moscow)

TRAVUSH V.I., Doctor of Sciences (Engineering), Chief Designer, Deputy Director General for Research, «GORPROEKT» CJSC, Vice-President of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow)

USHEROV-MARSHAK A.V., Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv State Technical University of Construction and Architecture (Ukraine)

FALIKMAN V.R., Candidate of Sciences (Chemistry), Doctor of Materials Science, Head Center for scientific and technical assistance at complex facilities construction in the Scientific Research Institute for Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (Moscow)

KHOZIN V.G., Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Building Materials, Products and Structures Technology Department, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan)

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: 9/3 Dmitrovskoye Hwy,
 127434, Moscow, Russian Federation

Tel.: (499) 976-22-08, (499) 976-20-36

E-mail: mail@rifsm.ru

http://azhb.ru/ **http://www.rifsm.ru**

УДК 624:66.013.51

М.М. КОЗЕЛКОВ, канд. техн. наук, руководитель центра (centr22@mail.ru),
А.В. ЛУГОВОЙ, заместитель руководителя центра (centr22@mail.ru)

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева (НИИЖБ), АО «НИЦ «Строительство», Центр № 22 проектирования и экспертизы (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6, к. 5)

Мониторинг нормативной базы в области проектирования и конструирования механических стыковых соединений высокой заводской готовности для сборных бетонных и железобетонных конструкций зданий

Приведены результаты анализа и мониторинга нормативно-технических документов (НТД) в области проектирования и конструирования механических стыковых соединений высокой заводской готовности для сборных бетонных и железобетонных конструкций зданий. Рассмотрены нормативные документы, регламентирующие требования в области проектирования и конструирования механических стыковых соединений высокой заводской готовности, включая анализ имеющихся как в нашей стране, так и за рубежом нормативно-методических и технических документов. Проанализированы недостатки нормативных документов: повторяющиеся технические требования, ссылки на отмененные НТД, противоречия в различных стандартах требований к конструкциям. Сформированы предложения по целесообразности выполнения дополнительных научных поисковых работ в виде НИР и НИОКР, а также предложения по актуализации действующих и разработке недостающих СП и стандартов в системе НТД.

Ключевые слова: стыковые соединения, конструктивная система здания, каркасная конструктивная система здания, бескаркасная конструктивная система здания, сборно-монолитные конструкции.

Для цитирования: Козелков М.М., Луговой А.В. Мониторинг нормативной базы в области проектирования и конструирования механических стыковых соединений высокой заводской готовности для сборных бетонных и железобетонных конструкций зданий // *Бетон и железобетон*. 2021. № 3 (605). С. 3–11.

M.M. KOZELKOV, Candidate of Sciences (Engineering), Head of the Center (centr22@mail.ru),
A.V. LUGOVOY, Deputy Head of the Center (centr22@mail.ru)

Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (NIIZHB), JSC Research Center of Construction,
Center No. 22 for design and expertise (6, 2nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Monitoring of the Regulatory Framework in the Field of Design and Construction of Mechanical Butt Joints of High Factory Readiness for Precast Concrete and Reinforced Concrete Structures of Buildings

The results of the analysis and monitoring of normative and technical documents (NTD) in the field of design and construction of mechanical butt joints of high factory readiness for precast concrete and reinforced concrete structures of buildings are presented. The normative documents regulating the requirements in the field of design and detailing of mechanical butt joints of high factory readiness, including an analysis of the regulatory, methodological and technical documents available both in our country and abroad, are considered. The shortcomings of regulatory documents are analyzed: repeated technical requirements, references to canceled NTDs, contradictions in various standards of requirements for structures. Proposals were formed on the feasibility of performing additional scientific research work in the form of RW and R&DW, as well as proposals for updating existing and developing missing BS and standards in the NTD system.

Keywords: butt joints, structural system of building, frame structural system of building, frameless structural system of building, prefabricated monolithic structures.

For citation: Kozelkov M.M., Lugovoy A.V. Monitoring of the regulatory framework in the field of design and construction of mechanical butt joints of high factory readiness for precast concrete and reinforced concrete structures of buildings. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 3 (605), pp. 3–11. (In Russian).

В 2020 г. специалистами Центра № 22 была выполнена научно-исследовательская работа «Мониторинг нормативной базы в области проектирования и конструирования механических стыковых соединений высокой заводской готовности для сборных бетонных и железобетонных конструкций зданий». Объектом проведенного исследования является ком-

плекс российских и зарубежных нормативно-технических документов в области проектирования и конструирования механических стыковых соединений высокой заводской готовности для сборных бетонных и железобетонных конструкций зданий.

Понятие «механические стыковые соединения высокой заводской готовности» следует рассматривать

для сборных конструкций как совокупность соединительных деталей в узлах сопряжения конструктивных элементов на строительной площадке, позволяющую выполнять сборку конструкций с минимальными дополнительными затратами труда, что, в свою очередь, обеспечивает высокий темп возведения зданий и всепогодность строительства. При этом элементы соединительных деталей выполняются в заводских условиях при изготовлении сборных конструкций, входят в состав этих конструкций и являются их неотъемлемой частью.

Технические решения механических стыковых соединений высокой заводской готовности для сборных бетонных и железобетонных конструкций зданий являются неотъемлемой частью типового проектирования, важнейшей составляющей строительной отрасли.

Опыт проектирования и конструирования сборного домостроения в последнее время сталкивается с отсутствием или недостаточностью указаний и методик по учету особенностей проектирования бескаркасных и каркасных сборных и сборно-монолитных конструктивных систем в части расчета стыковых соединений, учета их прочности и жесткости.

Существующая нормативная база для проектирования сборных жилых домов отстает от развития технологий, применяемых в последнее время в домах из сборного железобетона, и ряд вопросов, связанных с расчетом зданий, использованием новых закладных деталей, а также прочие актуальные современные вопросы в них не освещены.

Анализ отечественной нормативной базы включал в себя своды правил и пособия к ним, анализ ГОСТов, рекомендаций по проектированию.

Все рассмотренные документы содержат основные положения и указания по проектированию конструктивных систем и их элементов, по расчету и конструированию, по разработке расчетных моделей.

Однако в указанных нормах и документах нет детальных указаний по проектированию высокотехнологичных стыковых соединений, в том числе высокой заводской готовности, отдельных элементов конструктивных систем. Нет указаний и методик по учету особенностей проектирования бескаркасных и каркасных сборных и сборно-монолитных конструктивных систем в части расчета стыковых соединений, учета их прочности и жесткости [1–7].

Наряду с нормативными документами были рассмотрены многочисленные типовые серии сборных зданий для массового строительства.

На сегодняшний день, несмотря на новые материалы и технологии, большая часть технических решений данных серий вполне актуальна и применяется

инженерами при разработке новых проектов, при условии привязки решений к современным реалиям, нормам и правилам, и прохождении соответствующей экспертизы решений. Поэтому большинство серий на сегодняшний день требуют безусловной актуализации (корректировки и переработки), несмотря на огромный объем работ, если:

- технические решения вошли в противоречие с федеральными законами, иными нормативными правовыми актами Российской Федерации, целями и принципами национальной стандартизации, а следовательно, не удовлетворяют современным экономическим, социальным или иным потребностям страны, в том числе не соответствуют достигнутому уровню развития науки и техники;

- содержание серийной типовой документации не обеспечивает соблюдения требований принятого технического регламента;

- содержание противоречит содержанию вновь разработанного нормативного документа Российской Федерации или утвержденного свода правил.

Как отдельный вид документации рассмотрена документация на строительные системы с использованием сборно-монолитных каркасов. В этих системах разработаны и применяются стыки конструктивных элементов, позволяющие максимально возможно сократить затраты трудовых ресурсов на монтаж элементов на строительной площадке.

Такие системы представлены следующими разработками [8–15]:

- серия Б1.020.1-7 – разработана БелНИИС (Беларусь) с участием в исследованиях НИИЖБ, ЦНИИСК, МИСИ, ЦНИИЭПжилища и др.; конструкции и конструктивная система защищены рядом патентов как на территории Белоруссии, так и Российской Федерации;

- система «АРКОС» – разновидность серии Б1.020.1-7 (разработана в Белоруссии) [7];

- система «СМКД» («Чебоксарская серия» – сборно-монолитное каркасное домостроение) на основе французской системы «Saret» – конструктивная схема с продольными и поперечными ригелями;

- система «КУБ» – каркас рамно-связевый и связевый с безбалочными бескапитальными перекрытиями; разрабатывалась совместно институтами МНИИТЭП и ГипроНИИ РАН;

- система «Каскад» – каркасная система, разработана ООО «Проектно-конструкторское бюро Томской домостроительной компании» (ПКБ ТДСК), г. Томск;

- система «КУПАСС» – каркасная система, разработана ООО «Проектно-конструкторское бюро Томской домостроительной компании» (ПКБ ТДСК), г. Томск для применения в сейсмически опасных зонах;

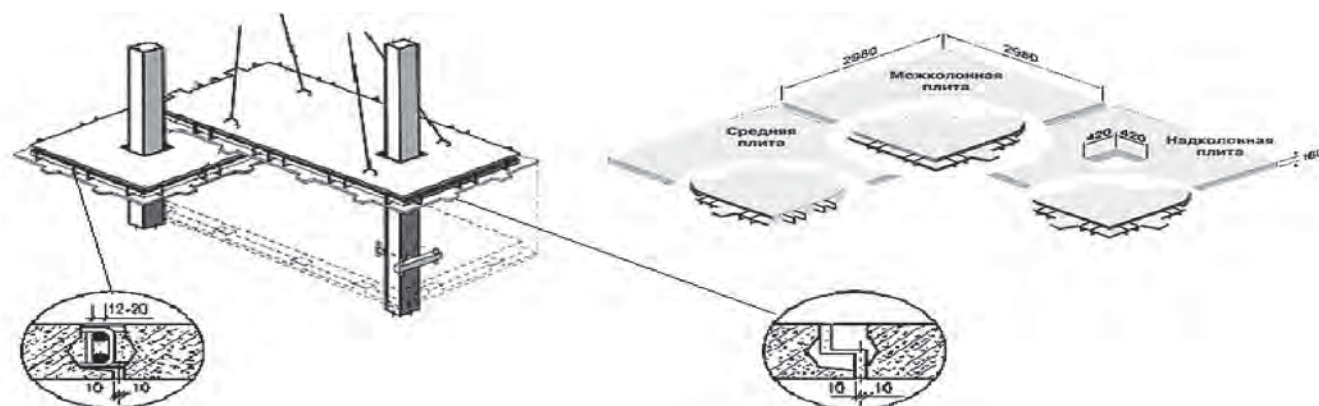


Рис. 1. Схема безригельного каркаса «КУБ»

Fig. 1. Scheme of a bezel-less frame «KUB»

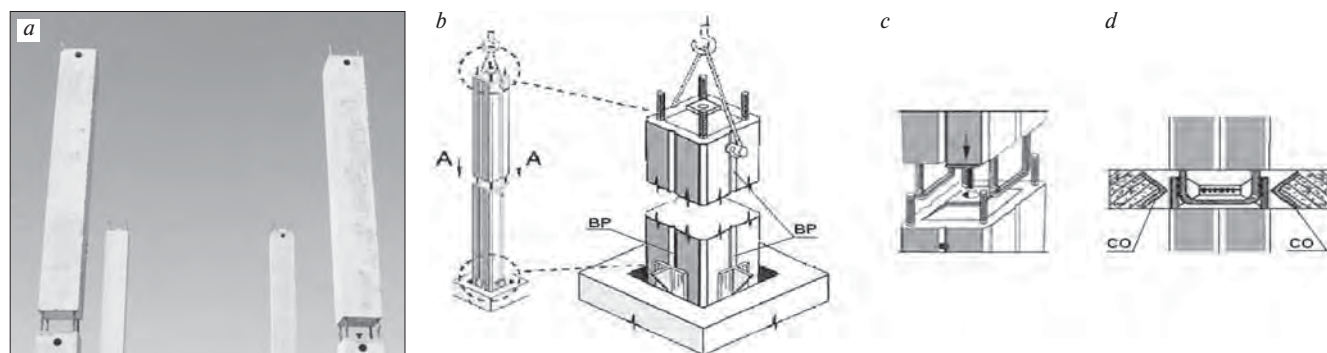


Рис. 2. Колонны и стыки колонн безригельного каркаса системы «КУБ-2,5»: а – общий вид монтажа колонны; б – верхний и нижний узлы колонны в момент монтажа; с – монтаж колонны на колонну; д – узел сопряжения панели и колонны. BP – вертикальная риска; CO – стальная обечайка

Fig. 2. Columns and column joints of the girder-free frame of the «KUB-2.5» system: a – general view of the column installation; b – upper and lower nodes of the column at the time of installation; c – installation of a column on a column; d – panel and column interface. BP – vertical risk; CO – steel shell

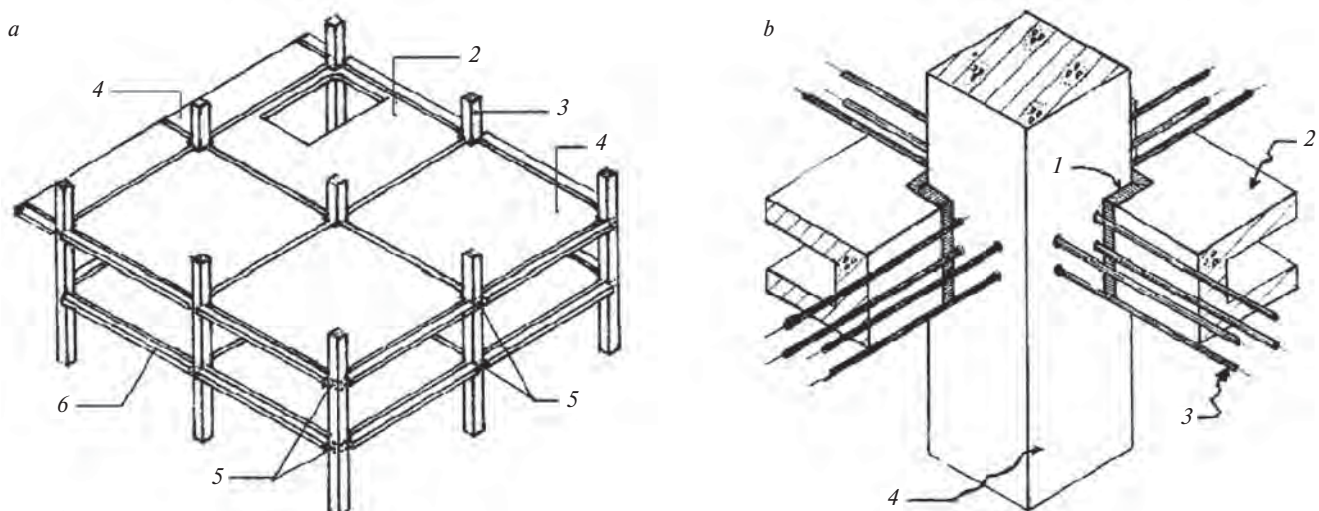


Рис. 3. Несущий каркас системы «КПНС» с натяжением рабочей арматуры в построечных условиях для многоэтажных гражданских зданий; а – принципиальная конструкция каркаса: 1 – консольное перекрытие; 2 – перекрытие с отверстием для лестницы; 3 – колонна; 4 – типовое перекрытие; 5 – натягаемая канатная арматура; 6 – фасадная распорка; б – конструкция узла примыкания плит перекрытия к колонне: 1 – контактный шов; 2 – плита; 3 – канат К-7, скрытый в теле монолитного ригеля; 4 – колонна

Fig. 3. The supporting frame of the KPNS system with tensioning of the working reinforcement in construction conditions for multi-storey civil buildings; a – the basic structure of the frame: 1 – cantilever overlap; 2 – overlap with a hole for the stairs; 3 – column; 4 – typical overlap; 5 – tensioned rope fittings; 6 – front strut; b – construction of the junction of floor slabs to the column: 1 – contact seam; 2 – plate; 3 – rope K-7, hidden in the body of a monolithic girder; 4 – column

– система «КПНС» – каркасная система с предварительно-напряженной арматурой в скрытых ригелях, образуемых в построечных условиях.

Представленные в этих системах стыки (колонна-ригель, вертикальные стыки между панелями) являются стыками высокой заводской готовности, однако важной составляющей таких стыков служит бетон омоноличивания контактных поверхностей и деталей, обеспечивающий необходимую жесткость сопряжения.

Рассмотрим подробнее эти системы.

Система «КУБ».

Модификации: «КУБ-1», «КУБ-2», «КУБ-2М», «КУБ-МК2», «КУБ-2,5» и «КУБ-3».

Система предназначена для жилых, общественных и промышленных зданий, возводимых как в обычных условиях, так и в районах с сейсмикой до 8–9 баллов в различных климатических поясах.

Конструктивная система безригельного каркаса имеет два несущих элемента: колонна и панель перекрытия.

Плоские панели перекрытия – заводского изготовления. Плиты делятся на надколонные, межколонные и средние. При установке панелей арматурные выпуски торцов совмещаются таким образом, что образуется петля, куда вставляется, а затем привязывается арматура (рис. 1).

Колонны приняты сечением 400×400 мм. В уровне перекрытий колонны имеют обнаженную арматуру (рис. 2).

Стык колонн предусматривает принудительный монтаж, при котором фиксирующий стержень нижнего торца верхней колонны должен войти в патрубок верхнего торца нижней колонны. При этом не требуется установки опалубки, не предусматривается сварки арматуры, сокращается построечная трудоемкость.

Узел сопряжения двух основных элементов – панели и колонны разработан с использованием закладной детали – стальной обечайки, соединенной с арматурными каркасами, располагающимися в теле панели. Бетон в данном узле работает в условиях всестороннего обжатия, вследствие этого происходит его самоупрочнение. Решение узла дало возможность избежать ванной сварки в стыке колонн. В узле присутствуют только монтажные швы.

Монтаж конструкций, составляющих безригельный каркас в целом, ведется в следующем порядке: сначала устанавливаются, выверяются колонны и замоноличиваются в стаканах фундаментов; затем на проектную отметку устанавливаются надколонные панели и привариваются к арматуре колонн; после этого межколонные и средние панели монтируются

«насухо» при помощи бетонных монтажных столиков, предусмотренных конструкцией панелей; стыки между панелями бетонируются.

Система «КПНС».

Все элементы каркаса этой системы – плиты перекрытий, бортовые элементы и колонны объединены друг с другом в процессе монтажа только за счет трения и усилия обжатия монолитным ригелем.

При монтаже каркаса сначала устанавливают колонны. Колонны высотой на 2–3 этажа в уровне дисков перекрытий имеют сквозные отверстия в направлениях створов колонн для пропуска сквозной канатной арматуры в теле скрытого монолитного ригеля (рис. 3).

Пространство между колоннами и плитами заделывают высокопрочным раствором.

На всю ширину и длину здания (в двух направлениях) протягивают сквозную канатную арматуру с концами, выпущенными за наружные ряды колонн.

На одном конце канатов (на кромке перекрытия) закреплены (обжаты) анкера, а на другом – размещены захваты натяжного домкрата.

После набора раствором заделки требуемой прочности производят натяжение свободных канатов на остов диска перекрытия, образованный сборными плитами перекрытий и пересекающими их колоннами.

После завершения натяжения производят инъецирование полимерцементным раствором отверстий с канатами в колоннах, под низ плит (под зазоры, образовавшиеся в створах колонн) подвешивают опалубку и укладывают монолитный бетон скрытого ригеля.

Система «АРКОС».

Каркас АРКОС, сохраняя принципиальное решение каркаса серии Б1.020.1-7, является его развитием и отличается армированием межплитных швов, конструкцией сквозных проемов в дисках перекрытий, конструкциями бессварных вертикальных диафрагм жесткости и, что немаловажно, применением контактно-винтовых стыков в сборных колоннах (рис. 4).

Система «Каскад».

Пространственная конструктивная схема здания представляет собой сборно-монолитный железобетонный связевый каркас с продольными и поперечными диафрагмами жесткости, колоннами, ригелями и железобетонными дисками перекрытий.

Колонны каркаса выполняются преимущественно высотой на два и три этажа. Сопряжение сборных элементов смежных колонн выполняется посред-



Рис. 4. Новые конструкции стыков колонн повышенной несущей способности с винтовыми соединениями в каркасе «АРКОС» [16]
Fig. 4. New designs of joints of columns with increased bearing capacity with screw connections in the «ARKOS» frame [16]

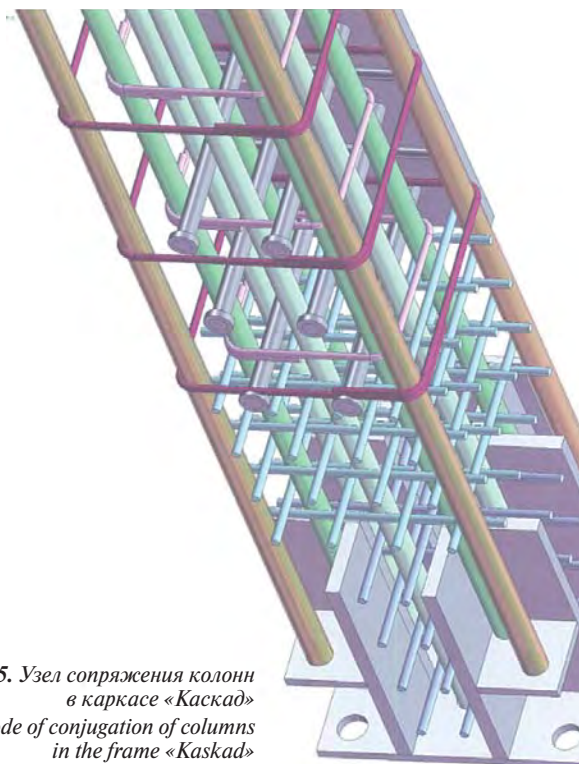


Рис. 5. Узел сопряжения колонн в каркасе «Каскад»
Fig. 5. Node of conjugation of columns in the frame «Kaskad»

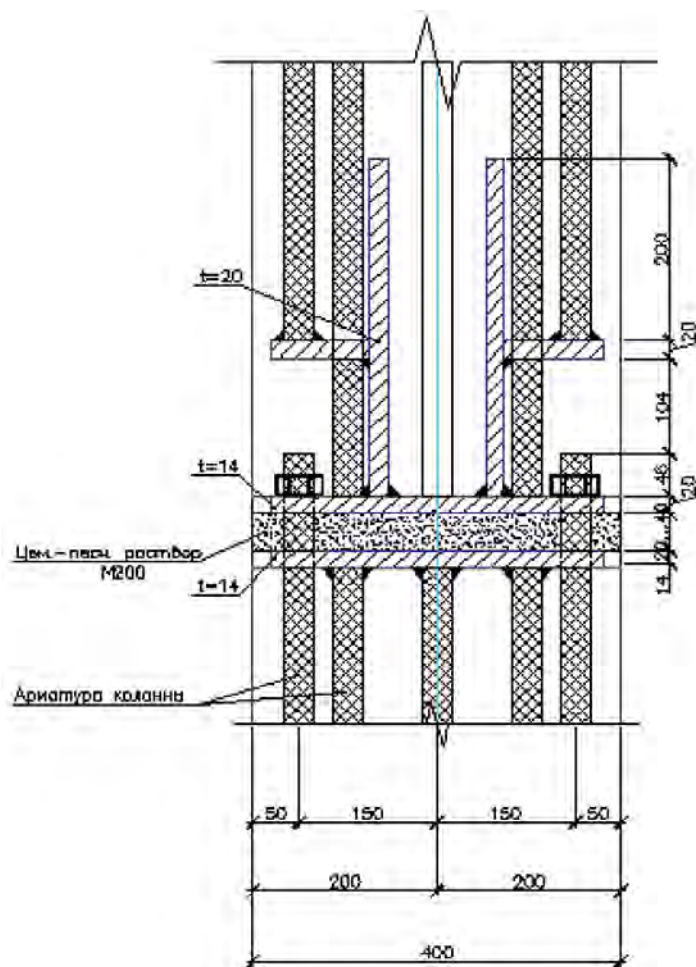
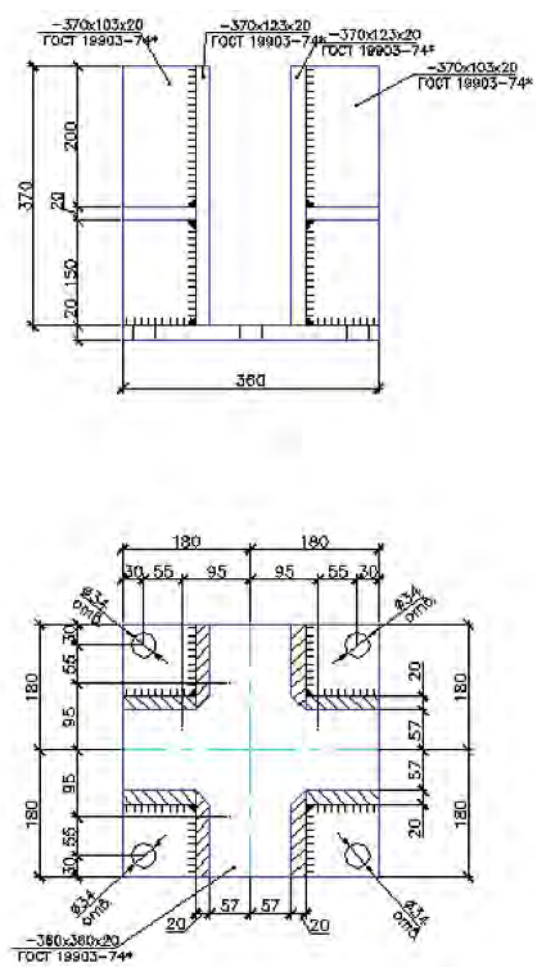


Рис. 6. Стальная закладная деталь опорного узла колонны в каркасе «Каскад»
Fig. 6. Steel embedded part of the column support node in the «Kaskad» frame



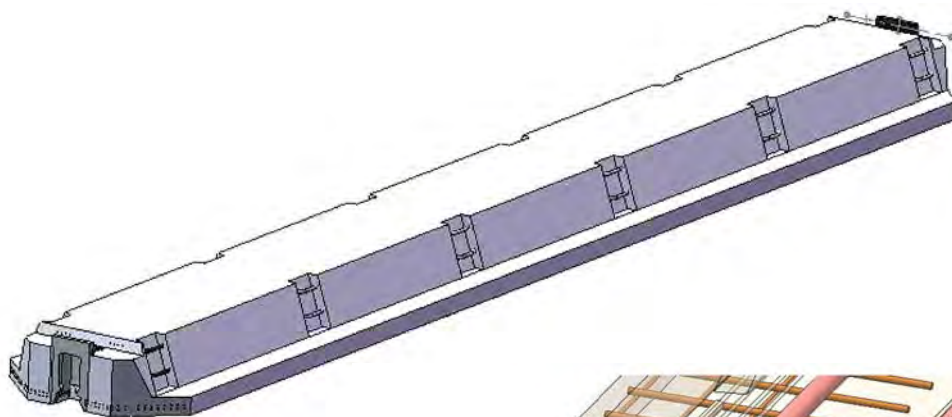


Рис. 7. Ригель в каркасе «Каскад»
Fig. 7. Crossbar in the «Kaskad» frame

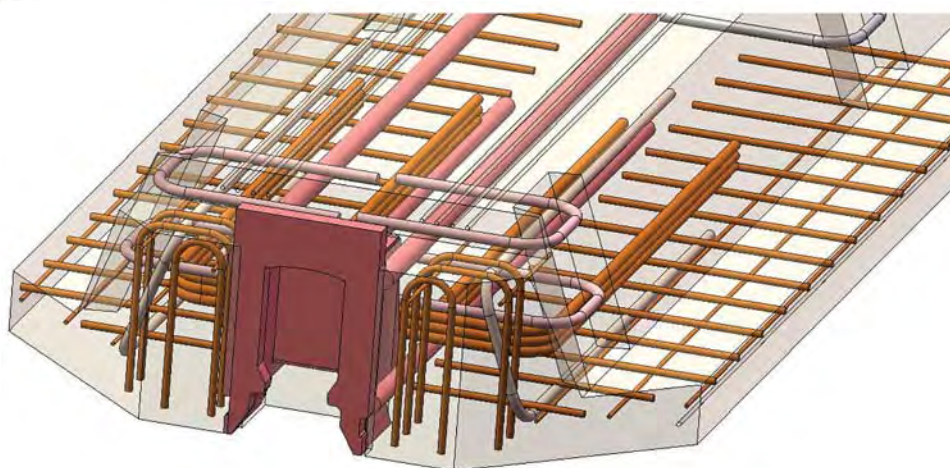


Рис. 8. Опорный узел ригеля в каркасе «Каскад»
Fig. 8. Supporting node of the transom in the frame «Kaskad»



Рис. 9. Схема узла сопряжения ригеля с колонной
Fig. 9. Diagram of the crossbar-column interface

ством контактного стыка через высокомарочный раствор, армированный арматурной сеткой, между металлическими пластинами в торцах колонн с дополнительным болтовым соединением угловых рабочих продольных стержней колонны нижнего уровня с металлической базой колонны верхнего уровня (рис. 5, 6). После монтажа стык омоноличивается мелкозернистым бетоном или высокомарочным раствором на расширяющихся вяжущих. Зона стыка располагается в зоне минимальных моментов. Каскад аналогичен узлу каркаса «АРКОС».

В уровне дисков перекрытий – ригелей в колоннах заложены специальные закладные детали для сопряжения с элементами ригелей.

Сборные ригели (рис. 7, 8, 9) представляют собой элементы с поперечным сечением таврового профиля высотой 300 и 450 мм с полкой понизу толщиной 100 и 250 мм соответственно для опирания плит перекрытия. Узел опирания ригеля на колонну устраивается путем сопряжения закладной опорной детали ригеля с закладной деталью в теле колонны. Далее узел омоноличивается мелкозернистым бетоном на расширяющихся вяжущих.

Серия Б1.020.1-7 и система «СМКД».

Каркас данной системы состоит из традиционных сборных колонн и многпустотных плит, объединенных в единую пространственную несущую систему моно-

Предложения по разработке новых документов, актуализации, и дополнению существующих НТД
Proposals for the development of new documents, updating, and supplementing existing regulatory and technical documentation

Наименование мероприятия	Нормативный документ, рекомендации, темы НИР (НИОКР)	Результаты работ
Разработка свода правил	СП «Типовые конструктивные системы зданий. Основные положения»	Новый свод правил
Разработка свода правил	СП «Сборно-монолитные здания с применением сборных конструктивных элементов колонн, плит перекрытий, выполняемых по типовым сериям»	Новый свод правил
Разработка свода правил	СП «Правила проектирования узлов сопряжения смежных сборных и сборно-монолитных элементов»	Новый свод правил
Актуализация	«Рекомендации по проектированию и выполнению контактных стыков с обрывом арматуры в железобетонных колоннах многоэтажных зданий» (НИИЖБ, 1985 г.)	Актуализация рекомендаций с учетом современных требований НТД
НИОКР	Исследование работы «штепсельных» стыков в крупнопанельных конструктивных системах зданий с разработкой предложений по выполнению расчетов и правил конструирования	Результаты работы являются основой для разработки свода правил по проектированию узлов сопряжения смежных сборных и сборно-монолитных элементов и для актуализации рекомендации по проектированию и выполнению контактных стыков с обрывом арматуры в железобетонных колоннах многоэтажных зданий
Дополнение к сводам правил	1. СП 335.1325800.2017 «Крупнопанельные конструктивные системы» 2. СП 355.1325800.2017 «Конструкции каркасные железобетонные сборные одноэтажных зданий производственного назначения» 3. СП 356.1325800.2017 «Конструкции каркасные железобетонные сборные многоэтажных зданий» 4. СП 337.1325800.2017 «Конструкции железобетонные сборно-монолитные»	Разработка разделов, отражающих особенности проектирования в сейсмических районах

литными железобетонными несущими и связевыми ригелями. Ригеля в ортогональных направлениях пропущены через специально оставленные в колоннах сквозные проемы.

Стыковое соединение колонн – «вилочное» или «штепсельное». Для этого использованы стальные стержни продольной арматуры, выступающие сверху из колонн нижнего этажа, которые входят в гнезда у торцов вышестоящих колонн.

Рассмотренные конструктивные сборно-монолитные системы, равно как и похожие каркасы, являются достаточно перспективными, однако имеют и ряд узких мест, требуют соответствующей корректировки и расчетно-теоретических обоснований в соответствии с актуальными требованиями нормативных документов. Для эффективного внедрения сборно-монолитных каркасных систем необходимо разработать рекомендации по проектированию данных каркасов, учитывающие новые методики расчетов и конструирования, а также технологии производства. К примеру, в существующих нормах отсутствуют способы определения жесткости узлов сопряжения конструктивных элементов. Открытым остается вопрос рас-

чета на устойчивость против прогрессирующего обрушения таких систем, что также должно найти свое отражение в сводах правил. В продолжение темы требуется разработка свода правил по проектированию узлов сопряжения смежных элементов (колонна-колонна, колонна-ригель, ригель-перекрытие). В рамках разработки данных правил следует учесть опыт исследований, проведенных разработчиками подобных систем, а также включить в план работу по дополнительным исследованиям частей сборно-монолитных каркасов.

Среди зарубежных практик были рассмотрены такие конструктивные сборные и сборно-монолитные системы, как: система «Contiframe» (Великобритания), «PPB-Saret» (Франция), «Tempo-System», «DELTA» [13–18]. Эти системы различаются конструкцией крепления ригелей к колоннам, типами разрезы колонн и решениями по их сопряжению, конструкциями самих ригелей. Изучение зарубежных систем с возможностью перенятия опыта вполне рационально. Однако эти системы разработаны на иных принципах, с другими методами расчета, критериями и коэффициентами. Прямое применение ре-

шений не гарантирует безопасности проектируемых и реализуемых конструкций. Необходимо тщательно изучить последствия применения методов расчета и применения зарубежных нормативов и лишь на этой основе вводить полезные элементы в отечественные нормативно-технические документы.

В итоге, по мнению авторов, на сегодняшний день актуальная картина требуемых нормативно-технических документов (своды правил), относящаяся к области стыков сборных элементов, представляется следующей:

1. Типовые конструктивные системы зданий. Основные положения.

2. Сборно-монолитные здания с применением сборных конструктивных элементов колонн, плит перекрытий, выполняемых по типовым сериям.

3. Правила проектирования узлов сопряжения смежных сборных и сборно-монолитных элементов.

Важной частью разработки нормативно-технических документов являются исследовательские работы.

По мнению авторов, актуальным на сегодняшний день является исследование работы «вилочных» («штепсельных») стыков в крупнопанельных конструктивных системах зданий, а также параллельная актуализация работы таких стыков в колоннах каркасных зданий.

Также необходимо актуализировать «Рекомендации по проектированию и выполнению контактных стыков с обрывом арматуры в железобетонных колоннах многоэтажных зданий» (разработано НИИЖБ, 1985 г.).

К настоящему времени разработаны такие своды правил, как «Крупнопанельные конструктивные системы», «Конструкции каркасные железобетонные сборные одноэтажных зданий производственного назначения», «Конструкции каркасные железобетонные сборные многоэтажных зданий», «Конструкции железобетонные сборно-монолитные» (таблица). В этой части следует обратить внимание, что требуются также аналогичные своды правил с областью применения для сейсмических районов.

Список литературы

1. СП 335.1325800.2017 «Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования». М., 2017.
2. СП 337.1325800.2017 «Конструкции железобетонные сборно-монолитные. Правила проектирования». М., 2017.
3. СП 355.1325800.2017 «Конструкции каркасные железобетонные сборные одноэтажных зданий производственного назначения. Правила проектирования». М., 2017.
4. СП 356.1325800.2017 «Конструкции каркасные железобетонные сборные многоэтажных зданий. Правила проектирования». М., 2017.
5. Рекомендации по проектированию и выполнению контактных стыков с обрывом арматуры в железобетонных колоннах многоэтажных зданий. М., НИИЖБ, 1985.
6. Рекомендации по расчету каркасов многоэтажных зданий с учетом податливости узловых сопряжений сборных железобетонных конструкций. М.: ЦНИИПромзданий, 2002.
7. Мордич А.И., Галкин С.Л., Петров В.Н. Каркас домостроительной системы «АРКОС». Надежность и безопасность // *Бетон и железобетон*. 2013. № 2. С. 27–31.
8. Типовые строительные конструкции, изделия и узлы. Серия Б1.020.1-7. Сборно-монолитная каркасная система МВБ-1 с плоскими перекрытиями для зданий различного назначения. БелНИИС. Минск: Минсктиппроект, 1999.

References

1. Code of Rules 335.1325800.2017 Large-panel structural systems. Design rules". Moscow. 2017. (In Russian).
2. Code of Rules 337.1325800.2017 "Reinforced concrete precast-monolithic structures. Design rules". Moscow. 2017. (In Russian).
3. Code of Rules 355.1325800.2017 "Frame structures of reinforced concrete prefabricated one-storey buildings for industrial purposes. Design rules". Moscow. 2017. (In Russian).
4. Code of Rules 356.1325800.2017 "Prefabricated reinforced concrete frame structures for multi-storey buildings. Design rules". Moscow. 2017. (In Russian).
5. Recommendations for the design and implementation of contact joints with breakage of reinforcement in reinforced concrete columns of multi-storey buildings. Moscow: NIIZhB. 1985. (In Russian).
6. Recommendations for the calculation of the frames of multi-storey buildings, taking into account the flexibility of nodal junctions of prefabricated reinforced concrete structures. Moscow: TsNIIPromzdaniy, 2002. (In Russian).
7. Mordich A.I., Galkin S.L., Petrov V.N. Frame of the house-building system "ARKOS". Reliability and safety. *Beton i zhelezobeton*. [Concrete and reinforced concrete]. 2013. No. 2, pp. 27–31. (In Russian).
8. Typical building structures, products and assemblies. Series B1.020.1-7. Prefabricated monolithic frame system MVB-1 with flat ceilings for buildings for various purposes. BelNIIS. Minsk: Minsktipproekt. 1999. (In Russian).

9. Мордич А.И., Вигдорчик Р.И., Белевич В.Н., Залесов А.С. Новая универсальная каркасная система многоэтажных зданий // *Бетон и железобетон*. 1999. № 1. С. 2–4.
10. Отчет о научно-исследовательской работе: «Эффективные конструктивные системы многоэтажных жилых домов и общественных зданий (12–25 этажей) для условий строительства в Москве и городах Московской области, наиболее полно удовлетворяющие современным маркетинговым требованиям». БелНИИС. 2002.
11. Ханджи В.В. Расчет многоэтажных зданий со связевым каркасом. М.: Стройиздат, 1977. 187 с.
12. Дыховичный Ю.А., Максименко В.А. Сборный железобетонный унифицированный каркас. М.: Стройиздат, 1985. 206 с.
13. Juvas K., Pousi O. Tempo – A new frame system for concrete elements // *Nordisk Betong*. 1990. No. 1, pp. 10–12.
14. Bausysteme mit gittertragern. fachgruppe betonbauteile mit gittertragern im BDB. Bonn. 1998. 40 p.
15. Schwerm D., Jaurini G., Deskensysteme aus betonfertigteilen. Informationsstelle beton-bauteile. Bonn. 1997. 37 pp.
16. Компания «Deltatek OY», Janti, Fin. Сборно-моноклитный каркас «Delta». Проспект компании. 1998. 6 с.
17. Spirol Int. Ltd. Corefloor Extrusion Systems. London. Berlin, Bautech. 1997.
18. Weber H., Bredenbals B., Hullman H. bauelemente mit gittertragern. institut fur industrialisierung des buens. Hannover. 1996. 24 p.
9. Mordich A.I., Vigdorichik R.I., Belevich V.N., Zalesov A.S. New universal frame system of multi-storey buildings *Beton i zhelezobeton*. [Concrete and reinforced concrete]. 1999. No. 1, pp. 2–4. (In Russian).
10. Research report: “Effective structural systems of multi-storey residential buildings and public buildings (12–25 floors) for construction conditions in Moscow and the cities of the Moscow region, which most fully meet modern marketing requirements.” BelNIIS. 2002. (In Russian).
11. Khandzhi V.V. Raschet mnogoetazhnykh zdaniy so svyazevym karkasom [Calculation of multi-storey buildings with a braced frame]. Moscow: Stroyizdat. 1977. 187 p.
12. Dykhovichny Yu.A., Maksimenko V.A. Sbornyy zhelezobetonnyy unifitsirovanny karkas [Prefabricated reinforced concrete unified frame]. Moscow: Stroyizdat. 1985. 206 p.
13. Juvas K., Pousi O. Tempo – A new frame system for concrete elements. *Nordisk Betong*. 1990. No. 1, pp. 10–12.
14. Bausysteme mit gittertragern. fachgruppe betonbauteile mit gittertragern im BDB. Bonn. 1998. 40 p.
15. Schwerm D., Jaurini G., Deskensysteme aus betonfertigteilen. Informationsstelle beton-bauteile. Bonn. 1997. 37 pp.
16. Deltatek OY, Janti, Fin., Delta prefabricated monolithic frame. Company prospectus. 1998. 6 p.
17. Spirol Int. Ltd. Corefloor Extrusion Systems. London. Berlin, Bautech. 1997.
18. Weber H., Bredenbals B., Hullman H. bauelemente mit gittertragern. institut fur industrialisierung des buens. Hannover. 1996. 24 p.



ISSN 0005-9889

Не забудьте оформить подписку на второе полугодие 2021 г.

Подписку как на бумажную, так и на электронную версию можно оформить через редакцию.

Для этого необходимо прислать заявку в произвольной форме на эл. почту: mail@rifsm.ru

В заявке надо указать название организации (для выставления счета), юридический и почтовый адреса, телефон и контактное лицо.

На почте подписку можно оформить:



По объединенному каталогу «Пресса России»

ИНДЕКС 85502

Дорогие читатели!

Журнал «Бетон и железобетон» начинает публикацию новостей из профильных международных организаций.

В текущем номере мы представляем обзор, подготовленный Секретариатом Международного союза экспертов и лабораторий в области испытаний строительных материалов, систем и конструкций – РИЛЕМ (Dr. Daniela Ciancio, <mailto:rim@ext.rilem.org>)

НОВОСТИ RILEM**Message from the RILEM President, Prof. Ravindra Gettu**

RILEM is an organization that has been endeavouring for about 75 years to bring together researchers and experts in construction materials, structures and systems. It is based in Paris, France, with a membership that extends across the globe.

RILEM has about 40 technical committees, open to all its members, that work on state-of-the-art reports, recommendations and other documents that consolidate recent developments. The documents are available, mostly for free, on our website www.rilem.net.

In addition to our well-known *Materials and Structures Journal*, we have *RILEM Technical Letters*, the RILEM Open Access journal devoted to disseminating breakthrough and up-to-date contributions in the field of construction materials science. It is published as a Diamond Open

Access journal available online free of charge.

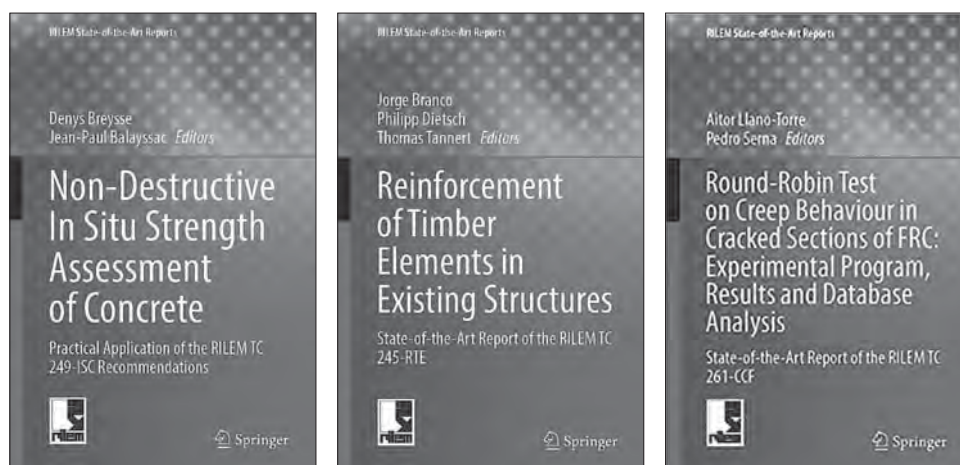
After an enduring partnership with the *Russian International Academy of Engineering* (IAE), RILEM started its partnership with the *Russian Association of Structural Concrete* in 2020. We are very proud of this association and look forward to a fruitful and active alliance in the coming years. We have to acknowledge our Regional Convener for East Europe and Central Asia, Prof. Slava Falikman, who has put in a lot of effort in promoting RILEM in Russia and other countries over the years. We plan to have a regular contribution in the technical magazine *Concrete and reinforced concrete* of the National Association «Structural Concrete», to keep Russian researchers and practitioners updated with the RILEM events, publications and news. This is the first RILEM update. We hope you enjoy it!

RILEM Monthly webinars: ROC&TOK

The Webinar Series ROC&TOK – *RILEM Online Conferences & Transfer of Knowledge* – launched last year by the RILEM Educational Activities Committee (EAC), continues in 2021 to offer **free online monthly webinars**. Designed to give information about how to communicate better and teach subjects related to the activities of RILEM and its technical committees, these webinars take place on the first Thursday of each month, except for January and August, at

2 pm UTC (GMT+0). Each webinar is scheduled with a 30-min presentation followed by a 30-min Q&A session. The calendar of the events and the link to the registration page can be found on the RILEM website www.rilem.net/agenda. Have you missed the previous webinars? You can watch them FOR FREE on our RILEM YouTube Channel! <http://youtube.rilem.net>

NEW RILEM STARS



The RILEM State-of-the-Art Reports (STARs) constitute a critical appraisal of current knowledge on a specific research subject. They often identify gaps in knowledge, thereby contributing to the development of strategies and scenarios for future research. RILEM is proud to announce the recent publication of three new STARs:

- *Non-destructive in situ strength assessment of concrete – Practical Application of the RILEM TC 249-ISC Recommendations*; Edited by Denys Breysse, Jean-Paul Balayssac.
- *Reinforcement of existing timber elements and structures – State-of-the-art report of the RILEM Technical Committee 245-RTE*; Edited by Jorge Branco, Philipp Dietsch, Thomas Tannert.
- *Round-Robin Test on Creep Behaviour in Cracked Sections of FRC: Experimental Program, Results and Database Analysis – State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 261-CCF*; Edited by Aitor Llano-Torre, Pedro Serna.

You can purchase the hardcopy or e-book on the Springer website: bit.ly/3fmlC6y. RILEM members are entitled to enjoy a 20% discount when they purchase all Springer e-books, including RILEM STARs. An unedited electronic version of these STAR is also available for FREE to everyone here: bit.ly/3filwLS.

RILEM Membership fees for under-35s



In Dec 2020, the former Student and Affiliate RILEM membership categories have been merged into the new YOUNG membership, dedicated to: 1) students holding a Bachelor degree and enrolled in any post-graduate educational program (Diploma, Master or PhD), 2) young research scientists and 3) engineers at the early stage of their career, **all under the age of 35!** The fees for YOUNG members are only 25 EURO/year! Furthermore, for many countries from East Europe and Central Asia an extra special discount of

40% applies. This means only 15 EURO/year! Learn more about the benefits of becoming a Young RILEM member here: <https://www.rilem.net/article/membership-32>.

УДК 666.974.2

С.Н. ЛЕОНОВИЧ¹, д-р техн. наук, профессор, иностранный академик РААСН (leonovichsn@tut.by);
Д.А. ЛИТВИНОВСКИЙ² (7200743@gmail.com);
Н.А. БУДРЕВИЧ¹ (nellibudrevich@yandex.by)

¹ Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр. Независимости, 65)

² ООО «ИнжСпецСтройПроект» (220076, г. Минск, ул. П. Мстиславца, 22)

Оценка стойкости бетона к воздействию высокой температуры на основе ГОСТ 29167–2020

На основе анализа экспериментальных исследований предложены критерии хрупкости для высокопрочного бетона при высокой температуре и рекомендованы их пороговые значения, которые определяются по разработанной методике для бетона при $t=20^\circ\text{C}$. Критерии хрупкости для высокопрочного бетона при высокой температуре для эксплуатируемых конструкций определяются на основе зависимости модуля упругости E и критического коэффициента интенсивности напряжения K_{IC} от поверхностной твердости H . На основании полученных экспериментальных данных предложено значение поверхностной твердости (при $t=20^\circ\text{C}$) высокопрочного бетона $H>450$ МПа, при нагреве которого будет происходить хрупкое разрушение.

Ключевые слова: высокопрочный бетон, хрупкость, трещиностойкость, предел прочности, вязкость разрушения, стойкость.

Для цитирования: Леонович С.Н., Литвиновский Д.А., Будревич Н.А. Оценка стойкости бетона к воздействию высокой температуры на основе ГОСТ 29167–2020 // Бетон и железобетон. 2021. № 3 (605). С. 14–18.

S.N. LEONOVICH¹, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Foreign Academician of RAACS, (leonovichsn@tut.by);
D.A. LITVINOVSKIY², (7200743@gmail.com); N.A. BUDREVICH¹, (nellibudrevich@yandex.by)

¹ Belarusian National Technical University (65, Prospekt Nezavisimosti, 220013, Minsk, Belarus)

² "InzhSpetsStroyProekt" (22, P. Mstislavets Street, 220076, Minsk,)

Assessment of Concrete Resistance to High Temperature Based on State Standard 29167–2020

On the basis of the analysis of experimental studies, brittleness criteria for high-strength concrete at high temperatures are proposed and their threshold values are recommended, which are determined by the developed method for concrete at $t=20^\circ\text{C}$. The brittleness criteria for high-strength concrete at high temperature for operational structures are determined on the basis of the dependence of the elastic modulus E and the critical stress intensity coefficient K_{IC} on the surface hardness H . On the basis of the experimental data obtained, the value of the surface hardness (at $t=20^\circ\text{C}$) of high-strength concrete $H>450$ MPa is proposed, when heated, brittle fracture will occur.

Keywords: high-strength concrete, brittleness, crack resistance, ultimate strength, fracture toughness, durability.

For citation: Leonovich S.N., Litvinovsky D.A., Budrevich N.A. Assessment of concrete resistance to high temperature based on State Standard 29167–2020. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 3 (605), pp. 14–18. (In Russian).

Воздействие высокой температуры на высокопрочный бетон приводит к появлению хрупкого разрушения взрывного характера, которое необходимо прогнозировать и регулировать [1–5].

Для анализа хрупкости бетонов обычной прочности в настоящее время используют формулу В.В. Жукова для расчета хрупкого разрушения F :

$$F = \frac{\alpha_F \alpha_{bt} \beta}{K_{IC} \lambda_k} \cdot \frac{E_c \rho_0 W_3}{n_p}, \quad (1)$$

где α_F – коэффициент пропорциональности: $\alpha_F = 1,16 \cdot 10^{-2} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{5/2} \cdot \text{кг}^{-1}$; α_{bt} – коэффициент температурной деформации расширения бетона, $^\circ\text{C}^{-1}$; λ_k – коэффициент теплопроводности бетона, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; β – коэффициент изменения модуля упругости бе-

тона при нагреве; E – модуль упругости бетона при нормальных условиях, МПа; ρ_0 – плотность бетона в сухом состоянии, $\text{кг}/\text{м}^3$; n_p – общая пористость бетона, %; K_{IC} – критический коэффициент интенсивности напряжения, $\text{МН}/\text{м}^{3/2}$; W_3 – объемная эксплуатационная влажность бетона, $\text{м}^3/\text{м}^3$; $\square$ – текущие значения Д.А. Литвиновского, С.Н. Леоновича; $\triangle$ – параметры Жукова В.В. [6, 7].

Критерий хрупкости F на основе текущих (для температуры 20; 100; 200; 300; 400; 500; 600; 700°C) значений K_{IC} , E , ρ_0 , W_3 , n_p , полученных авторами экспериментально, графически представлен на рис. 1 [1].

На основе анализа экспериментальных исследований предложены критерии хрупкости для высокопрочного бетона при влиянии высокой температуры и

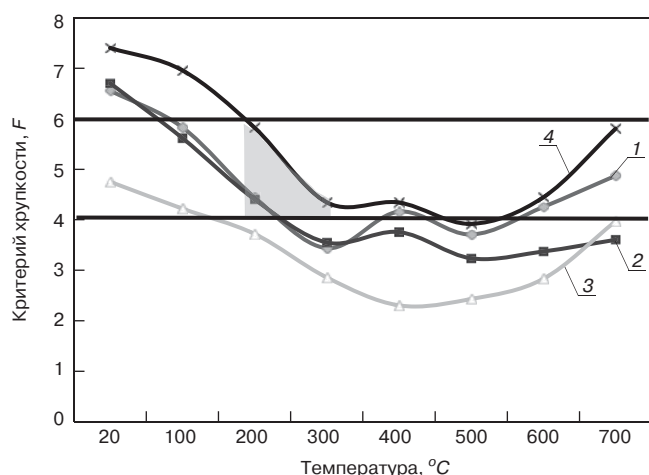


Рис. 1. Значения критерия хрупкости F для серий бетонных образцов 1, 2, 3, 4 [1, 6, 7]

Fig. 1. Values of the fragility criterion F for series of concrete samples 1, 2, 3, 4 [1, 6, 7]

рекомендованы их пороговые значения (табл. 1), которые определяются по разработанной методике для бетона при $t=20^\circ\text{C}$.

Значения критериев коэффициента интенсивности напряжения K_{IC} , энергия разрушения, критическая длина трещины определяются по формулам (2, 3, 4):

$$K_{IC} = \frac{F_c}{b \cdot h^{3/2}} \left[183 \cdot \left(\frac{a}{h} \right)^{1/2} - 430 \cdot \left(\frac{a}{h} \right)^{3/2} + 3445 \cdot \left(\frac{a}{h} \right)^{5/2} - 11076 \cdot \left(\frac{a}{h} \right)^{7/2} + 12967 \cdot \left(\frac{a}{h} \right)^{9/2} \right]; \quad (2)$$

$$G_i = \frac{K_{IC}^2}{E}; \quad (3)$$

$$l_c = \frac{G_i E}{f_{ctm}^2}; \quad (4)$$

где F_c – нагрузка, при которой происходит разрушение образца; E – модуль упругости; f_{ctm} – прочность бетона при растяжении.

Для эксплуатируемых конструкций разработана специальная комплексная многопараметричная ме-

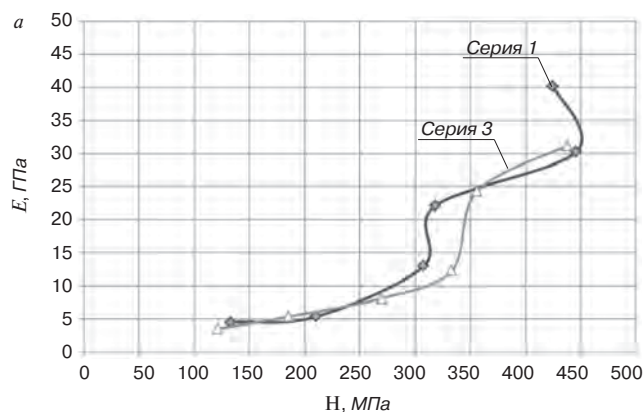


Рис. 2. Зависимость модуля упругости E (а) и критического коэффициента интенсивности напряжения K_{IC} (б) от поверхностной твердости H

Fig. 2. Dependence of the modulus of elasticity E (a) and critical stress intensity factor K_{IC} on the surface hardness H (b)

Таблица 1
Table 1
Рекомендуемые значения критериев хрупкости при нормальной температуре (при $t=20^\circ\text{C}$)
Recommended values for brittleness criteria at normal temperature (at $t=20^\circ\text{C}$)

K_{IC} , МН/М ^{3/2}	G_i , Н/м	l_{ch} , м
>0,8	>14	≈0,03

тодика на основе испытания бетона методом упругого отскока (прибор ИМ-1Б). Прибор ИГМ-1Б внедрен автором на базе НИЛ ПГС БНТУ с лабораторией контактно-динамических методов контроля Института прикладной физики НАН Беларуси и внесен в реестр средств измерений.

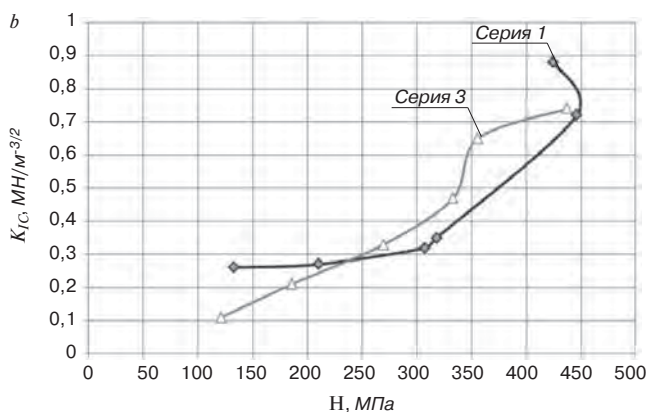
Критерии хрупкости для высокопрочного бетона при высокой температуре для эксплуатируемых конструкций определяются на основе зависимости E и K_{IC} от поверхностной твердости H (рис. 2) [1, 6, 7].

На основании полученных экспериментальных данных предложено значение поверхностной твердости (при $t=20^\circ\text{C}$) высокопрочного бетона $H > 450$ МПа, при нагреве которого будет происходить хрупкое разрушение.

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований высокопрочного сталефибробетона, подвергнутого высокотемпературному нагреву. Дисперсное армирование в экспериментальных исследованиях существенно повлияло только на коэффициент интенсивности напряжений при поперечном сдвиге.

Критерии хрупкости высокопрочного бетона при высокой температуре для эксплуатируемых конструкций определяются на основе зависимости E и K_{IC} от поверхностной твердости H (рис. 3) [6, 7].

Разработанный межгосударственный стандарт ГОСТ 29167–2020 «Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении» распространяется



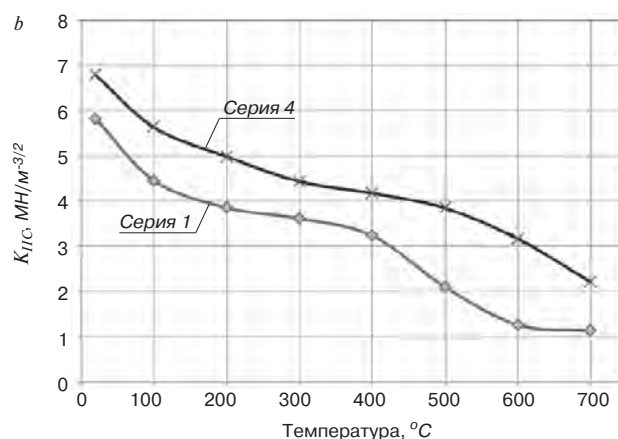
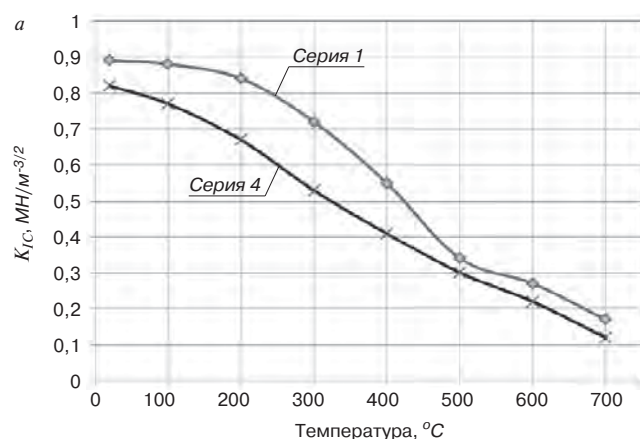


Рис. 3. Изменение коэффициентов интенсивности напряжений при нормальном отрыве K_{IC} (a) и поперечном сдвиге K_{IIC} (b) высокопрочного бетона (серия 1) и сталефибробетона (серия 4)

Fig. 3. Change in stress intensity factors at normal separation K_{IC} (a) and transverse shear K_{IIC} (b) of high-strength concrete (series 1) and steel fiber reinforced concrete (series 4)

на бетоны всех видов, применяемых в строительстве, и устанавливает методы их испытаний для определения силовых и энергетических характеристик трещиностойкости при статическом кратковременном нагружении.

Устанавливаются методы определения характеристик трещиностойкости путем равновесных и неравновесных механических испытаний.

Равновесные испытания на стадии локального деформирования образца характеризуются обеспечением адекватности изменения внешних сил внутренним усилиям сопротивления материала с соответствующим статическим развитием магистральной трещины.

Неравновесные испытания характеризуются потерей устойчивости процесса деформирования образца в момент локализации деформации по достижении максимальной нагрузки, с соответствующим динамическим развитием магистральной трещины.

Для определения характеристик трещиностойкости испытывают образцы с начальным надрезом. При равновесных испытаниях записывают диаграмму $F-V$; при неравновесных испытаниях фиксируют значение F_c^* .

Допускается проведение равновесных испытаний с фиксацией текущих размеров развивающейся магистральной трещины (a_{ij}) и соответствующих значений прикладываемой нагрузки (F_{ij}).

По результатам испытаний определяют следующие основные силовые – в терминах коэффициентов интенсивности напряжений (K), энергетические – в терминах удельных энергозатрат (G) и джейн-интеграла (J) характеристики трещиностойкости: K_c , K_c^* , K_F , G_F , G_F^* , G_{ce} , J_F , χ_F^c .

Новым в актуальной редакции ГОСТ 29167–91 является то, что определяемые по настоящему стандарту характеристики трещиностойкости (наряду с

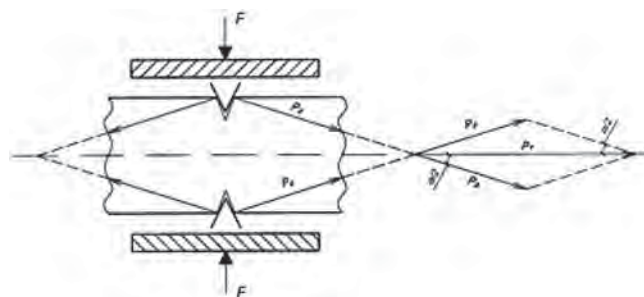


Рис. 4. Схема нагружения образца для расчета

Fig. 4. Sample loading scheme for calculating

другими характеристиками механических свойств) применяют для оценки стойкости к воздействию высокой температуры, используя силовые критерии механики разрушения – коэффициенты интенсивности напряжений при нормальном отрыве K_{IC} .

Предлагаемый подход состоит в следующем:

1. Определяется K_{IC} бетона призмы по равновесной схеме.
2. Полученные в процессе равновесных исследований две половинки призмы надрезаются посередине и испытываются по неравновесной схеме (рис. 4) с расчетом K_{IC} [8–10].
3. Полученные при испытаниях четыре кубика размером $100 \times 100 \times 100$ мм надрезаются с двух сторон. В результате испытаний на нормальный отрыв получаем четыре значения K_{IC} .
4. Полученные при фрагментации четырех кубов восемь бетонных пластин $100 \times 100 \times 50$ мм испытываются по схеме (рис. 5); производится расчет восьми значений K_{IC} [8–10].

Внесение в ГОСТ 29167–2020 метода отрыва со скалыванием (рис. 6) позволяет определять коэффициент интенсивности напряжений при нормальном отрыве бетона эксплуатируемых конструкций.

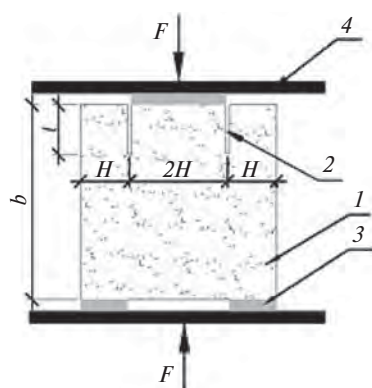


Рис. 5. Испытания на поперечный сдвиг

Fig. 5. Lateral shear tests

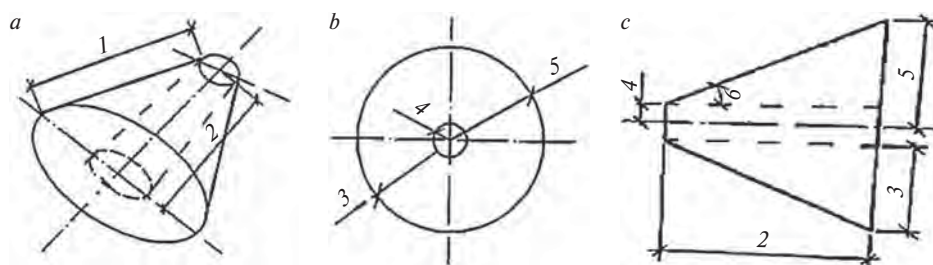


Рис. 6. Схема усеченного конуса вырыва: а – в аксонометрии; б – вид спереди; с – вид сбоку; 1 – длина образующей конуса разрушения l; 2 – длина шпура h; 3 – разность между максимальным радиусом конуса разрушения и радиусом шпура R; 4 – радиус шпура r₀; 5 – максимальный радиус конуса разрушения r_{max}; 6 – угол между образующей конуса разрушения и стороной шпура α.

Fig. 6. Scheme of the truncated cone of tear-out: a – in perspective view; b – front view; c – side view; 1 – length of the generatrix of the fracture cone l; 2 – borehole length h; 3 – the difference between the maximum radius of the fracture cone and the radius of the borehole R; 4 – borehole radius r₀; 5 – maximum radius of the fracture cone r_{max}; 6 – the angle between the generatrix of the fracture cone and the side of the borehole α.

Таблица 2
Table 2
Значения поправочного коэффициента Y(l,b)
Values of the correction factor Y(l,b)

l/b	H		
	0,037	0,025	0,012
0,1	1,2	1,1	1,07
0,2	1,26	0,99	0,9
0,3	1,3	0,95	0,76
0,4	1,32	0,95	0,65

$$K_{IC} = \frac{F_c}{b(h-2\alpha_{cr})} \cdot \frac{(\cos \frac{\alpha}{2} - f \sin \frac{\alpha}{2})}{(\cos \frac{\alpha}{2} + f \sin \frac{\alpha}{2})} \cdot \sqrt{\frac{2\pi k d_{max}}{(1+\nu)(1-2\nu)}}, \quad (5)$$

где F_c – разрушающая нагрузка, МН; b – ширина образца, м; h – высота образца, м; a – глубина надреза (паза), м; α – угол клиновидного паза, град; f – коэффициент трения между поверхностями паза и клина; π – математическая константа, равная 3,14; d_{max} – максимальный размер заполнителя, м, при $d_{max} \geq 0,02$ м, $k=1,2$; ν – коэффициент Пуассона.

$$K_{IC} = \frac{F_c}{2tH} \sqrt{l \cdot Y(l,b)}, \quad (6)$$

где F_c – нагрузка, при которой происходит разрушение, МН; t – толщина изделия, м; H – ширина плеча изделия, м; l – глубина надреза, м; $Y(l,b)$ – поправочный коэффициент (определяется по табл. 2).

Список литературы

1. Леонович С.Н., Литвиновский Д.А. Вязкость разрушения высокопрочного бетона после воздействия высокой температуры // *Строительные материалы*. 2017. № 11. С. 12–17.

$$K_{IC} = \frac{3P[\cos^2(90-\alpha) - \sin^2(90-\alpha)]}{2\pi h^2(1 + \frac{r_0}{r_0 + h \cdot \tan \alpha})} \cdot \sqrt{2\pi l} \left[\frac{0,8}{(\frac{R}{l})^3} + 0,7 \right], \quad (7)$$

где P – усилие вырыва, МН; α – угол между образующей конуса разрушения и стороной шпура, $\alpha = \arctg(\frac{R}{h})$.

Преимуществом предложенной процедуры испытаний является то, что на одной бетонной призме (не на образцах-близнецах) (рис. 6) могут быть получены: K_{IC} в результате равновесных испытаний призмы 100×100×400 мм на трехточечный изгиб; два значения K_{IC} при раскалывании двух половинок призмы 100×100×200 мм; четыре значения K_{IC} при испытании четырех кубов 100×100×100 мм с боковыми надрезами при сжатии, инициируя нормальный отрыв, и восемь значений K_{IC} , инициируя в бетонных пластинах 100×100×50 мм поперечный сдвиг. При этом сравнивается одно значение K_{IC} равновесных испытаний с двумя и четырьмя значениями K_{IC} по двум различным методикам неравновесных испытаний, и все это производится буквально на одном образце бетона, что также исключает погрешность от использования образцов-близнецов.

Восемь значений K_{IC} , полученных после испытания четырех кубов с боковыми надрезами восьми пластин размерами 100×100×50 мм, сделав в которых прямые надрезы и испытав по схеме рис. 5 при сжатии, являются хорошей статистической основой для достоверной оценки коэффициента интенсивности напряжений при поперечном сдвиге, а также надежной базой для обоснования соотношения $\frac{K_{IC}}{K_{IC}}$.

References

1. Leonovich S.N., Litvinovsky D.A. Fracture toughness of high-strength concrete after exposure to high temperature. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 11, pp. 12–17. (In Russian).

2. Леонович С.Н., Литвиновский Д.А. Свойства конструкционного бетона после пожара // *Судебная экспертиза Беларуси*. 2017. № 2 (5). С. 51–57.
3. Леонович С.Н., Литвиновский Д.А. Трещиностойкость высокопрочного бетона после воздействия высоких температур. В сборнике: *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году*. Москва. 2018. С. 301–310.
4. Леонович С.Н., Зверев В.Ф., Литвиновский Д.А. Критерии хрупкого разрушения высокопрочного бетона. Механика разрушения строительных материалов и конструкций: Материалы VIII Академических чтений РААСН. Казань. 2014. С. 169–173.
5. Литвиновский, Д.А., Леонович С.Н. Критерии хрупкости высокопрочного конструкционного бетона при воздействии высоких температур: конструкции изготавливаемые и эксплуатируемые. *Технология строительства и реконструкции: Сб. трудов БНТУ*. Минск, 2017. С. 293–301.
6. Леонович С.Н., Литвиновский Д.А., Ким Л.В. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при воздействии высоких температур. Владивосток: Дальневост. федер. ун-т, 2015. 148 с.
7. Литвиновский Д.А., Леонович С.Н. и др. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях: в 2 ч. / под ред. Леоновича С.Н. Минск, 2016. Ч. 1. Гл. 1. С. 12–160.
8. Патент ВУ 16193 Способ определения критического коэффициента интенсивности напряжения высокопрочного бетона / Леонович С.Н., Литвиновский Д.А. Оpubл. 30.08.2012.
9. Патент ВУ 16194 Способ определения критического коэффициента интенсивности напряжения высокопрочного бетона / С.Н. Леонович, Д.А. Литвиновский. Оpubл. 30.08.2012.
10. Патент ВУ 19170 Способ определения критического коэффициента интенсивности напряжения высокопрочного бетона / С.Н. Леонович, Д.А. Литвиновский. Оpubл. 30.06.2015.
2. Leonovich S.N., Litvinovsky D.A. Properties of structural concrete after fire. *Sudebnaya ekspertiza Belarusi*. 2017. No. 2 (5), pp. 51–57. (In Russian).
3. Leonovich S.N., Litvinovsky D.A. Crack resistance of high-strength concrete after exposure to high temperatures. In the collection: *Fundamental, exploratory and applied research of the RAASN on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2017*. Moscow. 2018, pp. 301–310. (In Russian).
4. Leonovich S.N., Zverev V.F., Litvinovsky D.A. Brittle Fracture criteria for high-strength concrete. *Fracture Mechanics of Building Materials and Structures: Materials of the VIII Academic Readings of the RAASN*. Kazan. 2014, pp. 169–173. (In Russian).
5. Litvinovsky, D.A., Leonovich S.N. Criteria for the brittleness of high-strength structural concrete when exposed to high temperatures: constructions manufactured and operated. *Construction and reconstruction technology: Proceedings of the BNTU*. Minsk. 2017, pp. 293–301. (In Russian).
6. Leonovich S.N., Litvinovsky D.A., Kim L.V. Prochnost', treshchinostoykost' i dolgovechnost' konstruktionnogo betona pri vozddeystvii vysokikh temperature [Strength, crack resistance and durability of structural concrete when exposed to high temperatures]. Vladivostok: Far Eastern Federal University, 2015. 148 p.
7. Litvinovsky D.A., Leonovich S.N. and other. Prochnost', treshchinostoykost' i dolgovechnost' konstruktionnogo betona pri temperaturnykh i korrozionnykh vozddeystviyakh: v 2 ch. / pod red. Leonovicha S.N. [Strength, crack resistance and durability of structural concrete under temperature and corrosive effects: in 2 parts. Ed. by Leonovich S.N.]. Minsk. 2016. Part 1. Ch. 1, pp. 12–160.
8. Patent BY 16193. Sposob opredeleniya kriticheskogo koeffitsienta intensivnosti napryazheniya vysokoprochnogo betona [The method of determining the critical stress intensity factor of high strength concrete]. Leonovich S.N., Litvinovsky D.A. Declared 30.03.2010. Published 30.08.2012. (In Russian).
9. Patent BY 16194. Sposob opredeleniya kriticheskogo koeffitsienta intensivnosti napryazheniya vysokoprochnogo betona [The method of determining the critical stress intensity factor of high strength concrete]. Leonovich S.N., Litvinovsky D.A. Declared 30.03.2010. Published 30.08.2012. (In Russian).
10. Patent BY 19170. Sposob opredeleniya kriticheskogo koeffitsienta intensivnosti napryazheniya vysokoprochnogo betona [The method of determining the critical stress intensity factor of high strength concrete]. Leonovich S.N., Litvinovsky D.A. Published 30.06.2015. (In Russian).

УДК 624.146.2

А.И. САГАЙДАК, канд. техн. наук (sagaidak-niizhb@mail.ru)

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

Стандарт на метод акустико-эмиссионного контроля бетонных и железобетонных изделий и монолитных конструкций

Рассмотрен новый государственный стандарт ГОСТ Р «Бетоны. Метод акустико-эмиссионного контроля», который устанавливает методы контроля бетонных и железобетонных изделий и монолитных конструкций с целью оценки повреждений и ранней диагностики образования и развития эксплуатационных (силовых) трещин методом акустической эмиссии (АЭ). В отличие от традиционных методов неразрушающего контроля и технической диагностики метод АЭ не требует сканирования поверхности объекта для поиска дефектов: источником информации является сам дефект. Повреждения выявляются задолго до наступления предельного состояния, что позволяет планировать превентивные меры по недопущению аварийных ситуаций.

Ключевые слова: бетон, железобетон, монолитные конструкции, трещины, разрушение бетона, акустическая эмиссия, дефекты.

Для цитирования: Сагайдак А.И. Стандарт на метод акустико-эмиссионного контроля бетонных и железобетонных изделий и монолитных конструкций // *Бетон и железобетон*. 2021. № 3 (605). С. 19–24.

A.I. SAGAIK, Candidate of Sciences (Engineering)
Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (NIIZHB), JSC Research Center of Construction
(6, 2nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Standard for the Method of Acoustic-Emission Control of Concrete and Reinforced Concrete Products and Monolithic Structures

The new state standard GOST R "Concretes. Acoustic emission control method", which establishes methods for monitoring concrete and reinforced concrete products and monolithic structures in order to assess damage and early diagnosis of the formation and development of operational (power) cracks by acoustic emission (AE) method, is considered. Unlike traditional methods of non-destructive control and technical diagnostics, the AE method does not require scanning the surface of an object to search for defects, the source of information is the defect itself. Damages are detected long before the onset of the limit state, which makes it possible to plan preventive measures for preventing accidents.

Keywords: concrete, reinforced concrete, monolithic structures, cracks, concrete destruction, acoustic emission, defects.

For citation: Sagaidak A.I. Standard for the method of acoustic-emission control of concrete and reinforced concrete products and monolithic structures. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 3 (605), pp. 19–24. (In Russian).

В 2021 г. разработан ГОСТ Р «Бетоны. Метод акустико-эмиссионного контроля». Стандарт устанавливает методы контроля бетонных и железобетонных изделий и монолитных конструкций с целью оценки повреждений и ранней диагностики образования и развития эксплуатационных (силовых) трещин методом акустической эмиссии (АЭ). При разработке стандарта использовались зарубежные нормативные документы [1–3].

ГОСТ Р «Бетоны. Метод акустико-эмиссионного контроля» может применяться при экспертной оценке качества бетонных и железобетонных изделий и проведении диагностики и мониторинга монолитных конструкций.

В отличие от традиционных методов неразрушающего контроля и технической диагностики метод

АЭ [4–10] не требует сканирования поверхности объекта для поиска дефектов: источником информации является сам дефект. Повреждения выявляются задолго до наступления предельного состояния, что позволяет планировать превентивные меры по недопущению аварийных ситуаций.

Стандарт содержит описание системы для проведения АЭ контроля в бетонных и железобетонных конструкциях. Система включает в себя преобразователи АЭ, электронные блоки для усиления и обработки сигналов АЭ, а также электронно-вычислительные блоки обработки и хранения данных. Акустико-эмиссионная система должна осуществлять измерение/вычисление таких параметров: амплитуда сигнала АЭ, энергия события АЭ, время нарастания сигнала АЭ, длительность сигнала АЭ,

число выбросов АЭ, средняя частота импульса АЭ. На рис. 1 приведен сигнал АЭ и обозначены его основные параметры.

Перед проведением испытаний измеряют уровень шума, выбирают порог регистрации аппаратуры, измеряют скорость распространения акустических волн. Преобразователи АЭ устанавливаются на конструкцию через контактную среду и фиксируются с помощью струбцин или магнитных держателей. Магнитные держатели устанавливаются на заранее приклеенные металлические пластины. Для бетонных конструкций допускается установка преобразователей на волноводы, закрепленные на поверхность конструкции (поверхностные волноводы) или помещенные в бетон (глубинные волноводы). Для АЭ контроля бетонных и железобетонных конструкций рекомендуется использовать преобразователи АЭ, приведенные в приложении А.

Классификация развивающихся трещин в конструкциях

Классификацию развивающихся трещин выполняют при ступенчатом нагружении конструкции. В ходе испытания регистрируют RA -значения и среднюю частоту импульса АЭ (AF):

$$RA\text{-значение} = \frac{RT}{A_{\max}}, \quad (1)$$

где RT – время нарастания сигнала АЭ, мкс; $A_{\max}$ – амплитуда АЭ, В.

Средняя частота импульса АЭ AF , кГц, вычисляется по формуле:

$$AF = \frac{C}{T_d}, \quad (2)$$

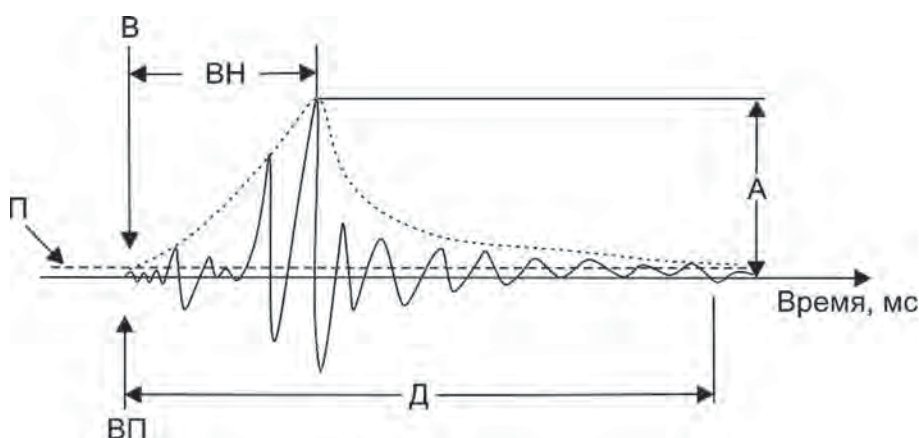


Рис. 1. Параметры импульса АЭ: П – пороговый уровень; В – вступление Р волны; ВП – время прихода; ВН – время нарастания сигнала АЭ; Д – длительность сигнала АЭ; А – амплитуда сигнала АЭ

Fig. 1. Parameters of the AE signal: П – threshold level; В – is the arrival of the P wave; ВП – arrival time; ВН – is the rise time of the AE signal; Д – is the duration of the AE signal; А – amplitude of the AE signal

где AF – средняя частота импульса АЭ, кГц; C – число выбросов сигнала АЭ; T_d – длительность сигнала АЭ, мкс.

По численным значениям параметров RA и RF производят классификацию развивающихся трещин (рис. 2).

Оценка повреждений в железобетонных балках

Оценку повреждений выполняют при циклическом нагружении конструкции. Повреждения балок оценивают с помощью коэффициента нагрузки L и коэффициента разгрузки CR .

Коэффициент нагрузки L вычисляется по формуле:

$$L = \frac{L_o}{L_p}, \quad (3)$$

где L – коэффициент нагрузки; L_o – величина нагрузки при появлении АЭ в последующем цикле нагружения; L_p – предыдущая максимальная нагрузка.

Коэффициент разгрузки CR вычисляется по формуле:

$$CR = \frac{A_u}{A_l}, \quad (4)$$

где CR – коэффициент разгрузки; A_u – суммарная АЭ при снятии нагрузки; A_l – суммарная АЭ цикла нагружения, выдержки под нагрузкой и снятия нагрузки.

Допускается вычисление коэффициента разгрузки CR по формуле:

$$CR = \frac{A_u}{A_l}, \quad (5)$$

где CR – коэффициент разгрузки; A_u – суммарная АЭ при снятии нагрузки; A_l – суммарная АЭ при приложении нагрузки. **Примечание.** АЭ определяют по числу импульсов АЭ. Появление АЭ под нагрузкой определяют как момент, когда это происходит при непрерывном наблюдении импульсов АЭ с пиковой амплитудой на 5 дБ выше АЭ порогового уровня.

По численным значениям коэффициентов L и CR проводят оценку степени повреждения (рис. 3).

Стандарт имеет три приложения. В приложении «А» даются рекомендации по выбору типов преобразователей.

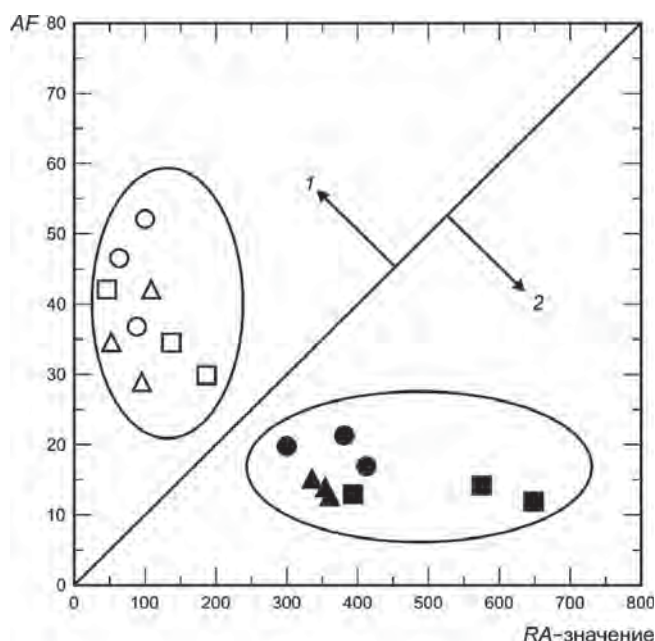


Рис. 2. Классификация трещин по АЭ параметрам: 1 – область, соответствующая трещинам растяжения; 2 – область, соответствующая трещинам сдвига и иным типам трещин; ○ – для преобразователя АЭ с резонансной частотой 60 кГц; □ – для преобразователя АЭ с резонансной частотой 15 кГц; △ – для преобразователя АЭ с резонансной частотой 150 кГц; ● – для преобразователя АЭ с резонансной частотой 60 кГц; ■ – для преобразователя АЭ с резонансной частотой 15 кГц; ▲ – для преобразователя АЭ с резонансной частотой 150 кГц

Fig. 2. Classification of cracks by AE parameters: 1 – area corresponding to tensile cracks; 2 – area corresponding to shear cracks and other types of cracks; ○ – for the AE transducer with a resonant frequency of 60 kHz; □ – for the AE transducer with a resonant frequency of 15 kHz; △ – for the AE transducer with a resonant frequency of 150 kHz; ● – for the AE transducer with a resonant frequency of 60 kHz; ■ – for the AE transducer with a resonant frequency of 15 kHz; ▲ – for the AE transducer with a resonant frequency of 150 kHz

Для лабораторных измерений АЭ в образцах небольших размеров, например 100×200 мм, рекомендуются преобразователи АЭ с резонансной частотой 150 кГц; для лабораторных измерений АЭ в образцах размеров, например, 1000×1000×1000 мм рекомендуются преобразователи АЭ с резонансной частотой 60 кГц. Для массивных и сильно поврежденных конструкций допускается использовать акселерометры с резонансной частотой менее 20 кГц.

Приложение «Б» содержит результаты испытания шарнирно опертой железобетонной балки на трехточечный изгиб. Сосредоточенная сила прикладывалась в середине пролета балки. Сечение балки 150×200(н)×1500 мм. Рабочий пролет балки 1350 мм. Балка изготавливалась из бетона по прочности на сжатие В90. Балка армировалась тремя арматурными стержнями диаметром 14 мм в нижнем сечении, двумя арматурными стержнями диаметром 10 мм в среднем сечении и двумя арматурными стержнями диаметром 14 мм в верхнем сечении. Режим приложения нагрузки к балке ступенчатый (рис. 4).



Рис. 3. Оценка степени повреждения железобетонных балок на основании коэффициента нагрузки L и коэффициента разгрузки CR

Fig. 3. Assessment of the degree of damage to reinforced concrete beams based on the load factors L and the unloading factor CR

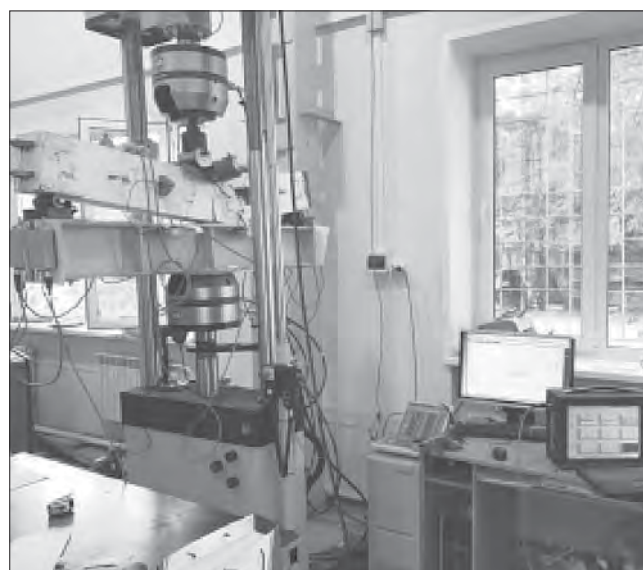


Рис. 4. Испытание железобетонной балки
Fig. 4. Test of a reinforced concrete beam

Нагрузку к балке прикладывали при помощи разрывной машины INSTRON 8802. Нагружение проводили циклически увеличивающейся нагрузкой с чередованием следующих стадий: нагрузка, выдержка при нагрузке, разгрузка, выдержка при разгрузке. Длительность интервалов нагружения и разгрузки составляла 40 с, а длительность выдержек – 300 с. По окончании каждого этапа нагружения на поверхности балки отмечались трещины, а также фиксировалась величина их раскрытия.

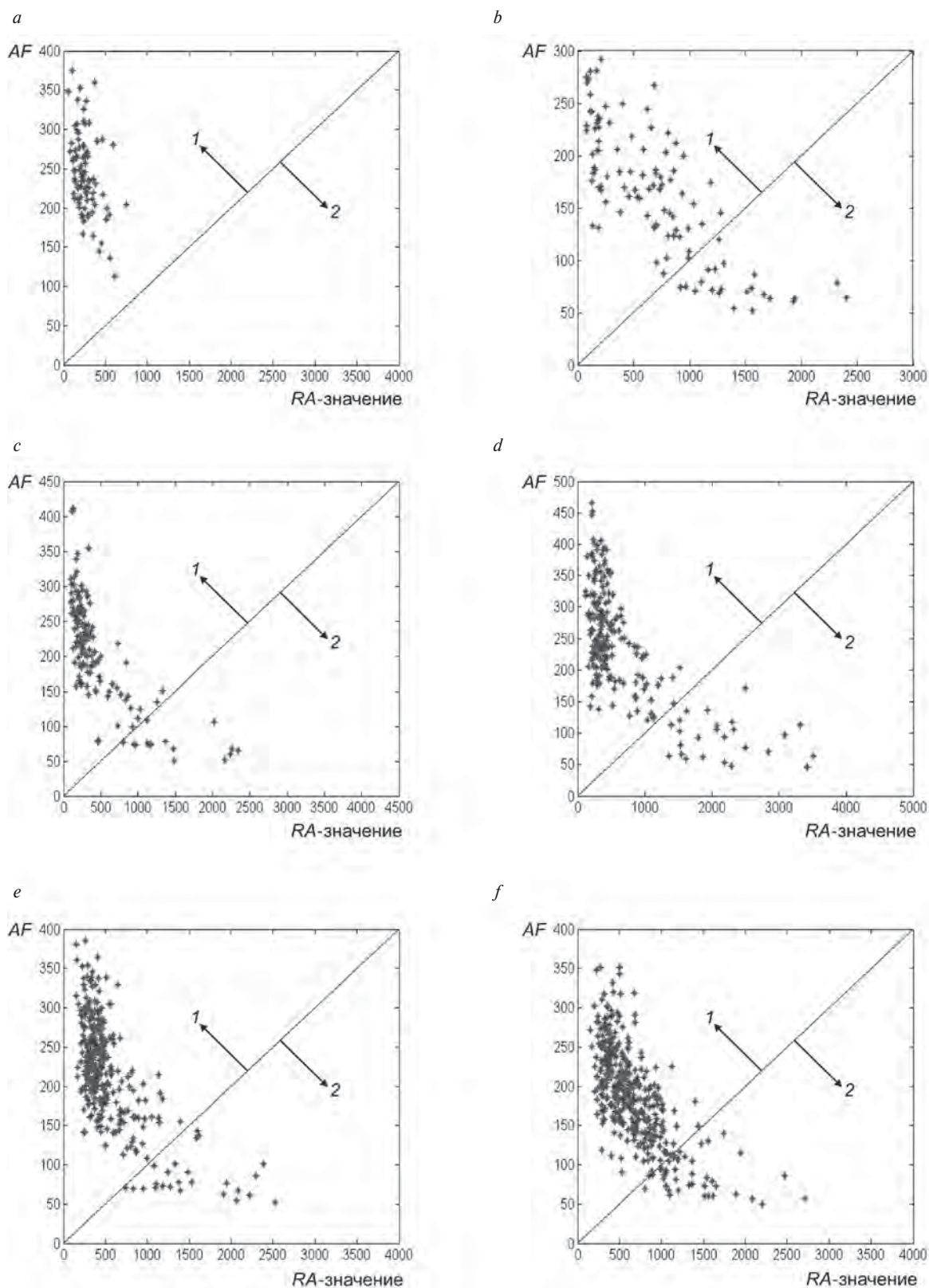


Рис. 5. Классификации активных трещин методом АЭ: 1 – область, соответствующая трещинам растяжения; 2 – область, соответствующая трещинам сдвига и иным типам трещин; а – нагрузка 15 кН; б – нагрузка 30 кН; с – нагрузка 45 кН; д – нагрузка 60 кН; е – нагрузка 75 кН; ф – нагрузка 85 кН

Fig. 5. Classification of active cracks by the AE method: 1 – area corresponding to tensile cracks; 2 – area corresponding to shear cracks and other types of cracks; а – load 15 kN; б – load 30 kN; с – load 45 kN; д – load 60 kN; е – load 75 kN; ф – load 85 kN

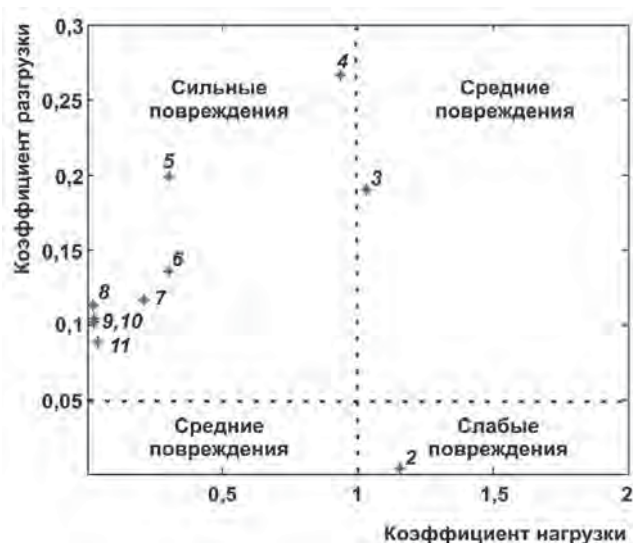


Рис. 6. Оценка степени повреждения железобетонной балки: 1 — нагрузка 15 кН; 2 — нагрузка 30 кН; 3 — нагрузка 45 кН; 4 — нагрузка 60 кН; 5 — нагрузка 75 кН; 6 — нагрузка 85 кН; 7 — нагрузка 95 кН; 8 — нагрузка 105 кН; 9 — нагрузка 115 кН; 10 — нагрузка 125 кН; 11 — нагрузка 135 кН

Fig. 6. Assessment of the degree of damage to a reinforced concrete beam: 1 — load 15 kN; 2 — load 30 kN; 3 — load 45 kN; 4 — load 60 kN; 5 — load 75 kN; 6 — load 85 kN; 7 — load 95 kN; 8 — load 105 kN; 9 — load 115 kN; 10 — load 125 kN; 11 — load 135 kN

Для измерения АЭ использовалась двенадцатиканальная АЭ система с преобразователями АЭ с рабочей полосой частот 30–300 кГц. Порог был установлен 40 дБ. Этот порог позволил устранить фоновый шум и зафиксировать АЭ при трещинообразовании. Преобразователи АЭ крепились с двух сторон на боковые поверхности балки с помощью магнитных держателей. Для создания акустического контакта между датчиком АЭ и бетоном конструкции применялся литол. Нагрузка прикладывалась ступенчато. На каждой ступени нагружения проводились измерения прогиба балки, длины и ширины раскрытия трещин, фиксировалось положение трещины. АЭ аппаратурой регистрировались параметры сигналов АЭ:

- RT — время нарастания сигнала АЭ, мкс;
- $A_{\max}$ — амплитуда сигнала АЭ, В;
- C — число выбросов сигнала АЭ;
- T_d — длительность сигнала АЭ, мкс.

По формулам (1) и (2) вычисляются AF и RA -значение путем усреднения данных параметров для выборки из 50 или более импульсов. Каждое значение наносят на диаграмму для классификации (рис. 5).

На рис. 5, а–f приведена классификация активных трещин для данной балки. Из рис. 5, а следует, что активные трещины относятся к трещинам растяжения. Для данной нагрузки (15 кН) в балке было зафиксировано две трещины в середине пролета балки с шириной раскрытия 0,1 мм в растянутой зоне бетона.

На следующем этапе нагружения, рис. 5, б, активные трещины классифицируются как трещины растя-

жения и трещины сдвига. На этом этапе в растянутой зоне бетона появилась новая трещина, длины существующих трещин увеличились.

Появление на диаграмме трещин сдвига визуальным контролем подтверждено не было. Только на следующем этапе нагрузки вблизи опоры образовалась видимая трещина небольшой длины. Наклонная трещина визуально была зафиксирована только при нагрузке 60 кН, рис. 5, d. Это указывает на то, что метод АЭ позволяет обнаружить дефект задолго до видимого его проявления. На рис. 5, e, f показана классификация активных трещин при дальнейшем увеличении нагрузки.

В приложении «В» приведены результаты испытания шарнирно опертой железобетонной балки на трехточечный изгиб. Сосредоточенная сила прикладывалась в середине пролета балки. Сечение балки $150 \times 200(h) \times 1500$ мм. Рабочий пролет балки 1350 мм. Балка изготавливалась из бетона по прочности на сжатие В60. Балка армировалась двумя арматурными стержнями диаметром 14 мм в нижнем сечении, двумя арматурными стержнями диаметром 10 мм в среднем и верхнем сечениях. Для измерения АЭ использовалась описанная выше АЭ система. Режим приложения нагрузки к балке был ступенчатый, с разгрузкой и повторным нагружением на каждой ступени. Выдержка под нагрузкой проводилась 10–15 мин. Балку доводили до разрушения. В процессе нагружения и выдержки под нагрузкой проводили измерения прогиба образца, длины и ширины раскрытия трещин, а также регистрацию параметров сигналов АЭ. Для каждого цикла определялись такие параметры: L_o , L_p , A_u , A_t или A_l в соответствии с формулами (3) и (4).

По формулам (3) и (4) проводят расчет коэффициента нагрузки и коэффициента разгрузки для каждого цикла. В случае использования многоканальной системы расчет проводится для самого активного канала.

На рис. 6 показан график оценки степени повреждения в железобетонной балке. Повреждения характеризуются как слабые, средние, сильные. Степень повреждения балки устанавливалась по ширине раскрытия трещин, суммарной длине трещин на этапе нагружения, наличию наклонных трещин, разрушению сжатого бетона, появлению сквозных трещин.

Принималось, что слабые повреждения соответствуют трещине с шириной раскрытия 0,1–0,2 мм; средние повреждения соответствуют трещине с шириной раскрытия 0,25–0,3 мм и/или появлению горизонтальных и/или наклонных трещин; сильные повреждения соответствуют трещине с шириной раскрытия более 0,3 мм. Сильные повреждения характеризуются также разрушением сжатой зоны бетона и появлением сквозной трещины.

Список литературы / References

1. ISO 16836-2019 Non-destructive testing – Acoustic emission testing. Measurement method for acoustic emission signals in concrete. 2019. 9 p.
2. ISO 16837-2019 Non-destructive testing – Acoustic emission testing. Test method for damage qualification of reinforced concrete beams. 2019. 5 p.
3. ISO 16838-2019 Non-destructive testing – Acoustic emission testing. Test method for classification of active cracks in concrete structure. 2019. 5 p.
4. Grosse C. U., Ohtsu M. Acoustic emission testing. Berlin: Springer. 2008. 403 p.
5. Ohtsu M., Uchida M., Okamoto T., Yuyama S. Damage assessment of reinforced concrete beams qualified by acoustic emission // *ACI Structural Journal*. 2002. Vol. 99. Iss. 4, pp. 411–417.
6. Бардаков В.В., Сагайдак А.И., Елизаров С.В. Акустическая эмиссия перестроенных железобетонных балок // *Контроль. Диагностика*. 2019. № 9 (255). С. 4–12. <https://doi.org/10.14489/td.2019.09.pp.004-012>.
6. Bardakov V.V., Sagaydak A.I., Elizarov S.V. Acoustic emission behaviour of over-reinforced concrete beams. *Kontrol'. Diagnostika*. 2019. No. 9, pp. 4–12. DOI: <https://doi.org/10.14489/td.2019.09.pp.004-012>. (In Russian)
7. Сагайдак А.И. Перспективные направления применения метода акустической эмиссии в строительстве // *Строительные материалы*. 2018. № 11. С. 3–7. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-3-7>
7. Sagaidak A.I. Promising directions of application of acoustic emission method in construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 11, pp. 3–7. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-3-7>. (In Russian).
8. Сагайдак А.И., Бардаков В.В., Елизаров С.В., Иванов В.И. Стандарты по контролю технического состояния железобетонных конструкций методом акустической эмиссии // *Контроль. Диагностика*. 2020. № 6. С. 32–39.
8. Sagaidak A.I., Bardakov V.V., Elizarov S.V., Ivanov V.I. Standards for the control of the technical condition of reinforced concrete structures by the method of acoustic emission. *Control'. Diagnostika*. 2020. No. 6, pp. 32–39. (In Russian).
9. Бардаков В.В., Сагайдак А.И. Прогнозирование прочности бетона в процессе его твердения при помощи метода акустической эмиссии // *Дефектоскопия*. 2017. № 6. С. 40–47.
9. Bardakov V.V., Sagaidak A.I. Forecasting the strength of concrete during its hardening using the method of acoustic emission. *Defektoskopiya*. 2017. No. 6, pp. 40–47. (In Russian).
10. Сагайдак А.И. Опыт применения метода акустической эмиссии для оценки состояния строительных конструкций // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2014. № 9. С. 71–80.
10. Sagaidak A.I. Experience of using the method of acoustic emission for assessing the state of building structures. *Vestnik NITs Stroitel'stvo*. 2014. No. 9, pp. 71–80. (In Russian).

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

«Проектирование оснований, фундаментов и подземных сооружений»

Учебное и практическое пособие под редакцией чл.-корр. РААСН, д-ра техн. наук, проф. Р. А. Мангушева



Авторы: д-р техн. наук Р.А. Мангушев, канд. техн. наук А.И. Осокин, канд. техн. наук В.В. Конюшков, канд. техн. наук И.П. Дьяконов, канд. техн. наук С.В. Ланько.

Пособие выпущено под грифом рекомендации Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН).

Данное пособие является дополнением к ранее изданным базовым учебникам «Механика грунтов» (2019) и «Основания и фундаменты» (2020). Авторы д-ра техн. наук, проф. Р.А. Мангушев и И.И. Сахаров.

Разработанное пособие является не только учебным изданием, но и практическим руководством для инженеров-строителей, так как охватывает вопросы проектирования основных типов оснований, фундаментов и подземных частей гражданских зданий и сооружений. Особое внимание уделено расчетам различного типа фундаментов, изготовленным по современным отечественным и зарубежным технологиям, а также конструктивным и технологическим методам устройства котлованов. Учтены особенности устройства фундаментов высотных зданий, влияния технологических осадок, рассмотрены численные методы, используемые при геотехнических расчетах. Особенностью книги является наличие большого количества расчетных примеров по различным типам оснований и фундаментов.

Издание рекомендовано для использования при подготовке бакалавров и специалистов.

УДК 691.327.3

ЗЫОНГ ТХАНЬ КУЙ¹, канд. техн. наук;Е.В. КОРОЛЕВ², д-р техн. наук, проректор по учебно-методической работе (prorector.umn@spbgasu.ru);А.С. ИНОЗЕМЦЕВ³, канд. техн. наук (inozemcevAS@mgsu.ru)¹ Вьетнамский институт строительных материалов (Вьетнам, г. Ханой, ул. Тхань Хуан, 235)² Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
(190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4)³ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Комплексное модифицирование легких бетонов на полых микросферах для технологии 3D-печати

С развитием технологии 3D-печати в строительстве все большую актуальность приобретают разработки эффективных строительных материалов с заданными эксплуатационными свойствами для экструзионного формования. В статье представлены результаты исследования влияния двух рецептурных факторов на свойства легких бетонов на полых микросферах посредством математического планирования эксперимента. Получены экспериментально-статистические модели, описывающие зависимость изменения подвижности бетонной смеси, средней плотности, прочности при изгибе, при сжатии и деформаций усадки легкого бетона от содержания раствора суперабсорбирующего полимера (САП), обеспечивающего гидратацию портландцемента в неблагоприятных условиях твердения, и дисперсно-армирующей добавки – полипропиленовой фибры. Установлены оптимальные диапазоны содержания фибры и САП, которые составляют (в %): $X_{\text{Ф}} \in [1,19; 1,38]$ и $X_{\text{САП}} \in [0,81; 1,25]$ соответственно. Состав легкого бетона на полых микросферах, содержащий 1,25% фибры и 1,25% САП, имеет наилучшие физико-механические свойства.

Ключевые слова: легкий бетон, конструкционный легкий бетон, полые микросферы, суперабсорбирующий полимер, полипропиленовая фибра, 3D-печать.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-1394.2020.8.

Для цитирования: Зыонг Тхань Куй, Королев Е.В., Иноземцев А.С. Комплексное модифицирование легких бетонов на полых микросферах для технологии 3D-печати // Бетон и железобетон. 2021. № 3 (605). С. 25–29.

DUONG THANH QUI¹, Candidate of Sciences (Engineering);E.V. KOROLEV², Doctor of Sciences (Engineering), Vice-Rector for educational and methodological work, (prorector.umn@spbgasu.ru);A.S. INOZEMCEV³, Candidate of Sciences (Engineering), (inozemcevAS@mgsu.ru)¹ Vietnam Institute for Building Materials (235, Thanh Xuan, Hanoi City, Vietnam)² Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4, Vtoraya Krasnoarmeiskaya Street, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation)³ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (26, Yaroslavskoye Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Complex Modification of Light Concretes on Hollow Microspheres for 3D Printing Technology

With the development of 3D printing technology in construction, the development of effective building materials with specified performance properties for extrusion molding is becoming increasingly relevant. The article presents the results of the study of the influence of two prescription factors on the properties of light concretes on hollow microspheres by means of mathematical planning of the experiment. Experimental and statistical models describing the dependences of changes in the mobility of the concrete mixture, average density, bending strength, compression and shrinkage deformations of light concrete on the content of a solution of superabsorbing polymer (SAP), which provides hydration of Portland cement under unfavorable hardening conditions, and a dispersed reinforcing additive-polypropylene fiber, are obtained. The optimal ranges of fiber and SAP content were established, which are (in %): $C_F \in [1.19; 1.38]$ and $C_{\text{SAP}} \in [0.81; 1.25]$, respectively. The composition of light concrete on hollow microspheres, containing 1.25% fiber and 1.25% SAP, has the best physical and mechanical properties.

Keywords: lightweight concrete, structural lightweight concrete, hollow microspheres, superabsorbing polymer, polypropylene fiber, 3D printing.

The work was executed under support of the Grant of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists – Candidates of Sciences MK-1394.2020.8.

For citation: Duong Thanh Qui, Korolev E.V., Inozemcev A.S. Complex modification of light concretes on hollow microspheres for 3D printing technology. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 3 (605), pp. 25–29. (In Russian).

Технология 3D-печати в строительстве обладает высокими перспективами, что вызывает немалый интерес исследователей во всем мире [1–3]. Возможность ускорения процесса строительства и повышения эффективности при этом (за счет снижения вовлеченности ручного труда) требует обширного теоретического и экспериментального изучения различных аспектов этого направления. Важнейшую роль в эффективности этой технологии играют строительные материалы, поэтому особое внимание необходимо уделять разработке рецептуры «строительных чернил», в частности бетонов [2].

В [4] показано, что бетоны для 3D-печати требуют специальных решений для обеспечения требуемых свойств экструдированного материала. Так, применение суперабсорбирующих полимеров (САП) в цементных композитах характеризуется как положительным, так и отрицательным влиянием [5]. С одной стороны, использование САП как носителя запаса воды для обеспечения гидратации вяжущего оправдано положительным эффектом от снижения усадки. С другой – гранулированный полимерный компонент не только требует предварительного насыщения (до 30 мин) для обеспечения достаточной подвижности смеси, что усложняет технологию производства бетона, но и выступает в структуре композита источником дополнительных пор, способствуя снижению механических свойств. При этом важнейшее значение для повышения эффективности САП имеет кинетика десорбции, когда миграция воды в достаточном количестве осуществляется из резервного фонда полиакрилатов в формирующийся цементный камень, а не наоборот. Факторами, влияющими на эти процессы, являются особенности сшивки полимера, форма и размер его гранул, а также свойства сорбата [6].

Основным преимуществом применения растворов САП по сравнению с гранулированными частицами для использования в цементных композитах [4] яв-

ляется возможность подбора соотношения исходных компонентов, которые должны обеспечить полимеризацию в требуемый период времени. Это позволяет САП, находящемуся в виде водной дисперсной системы, не оказывать существенного влияния на подвижность цементных смесей, а обеспечить абсорбирующее действие с технологической задержкой по времени. Исходя из этого важнейшим является установление влияния концентрации компонентов на скорость полимеризации, которую можно оценить по изменению сил внутреннего трения (вязкости).

Наряду с этим эффективным способом улучшения механических свойств бетонов является использование дисперсно-армирующих добавок [7–10]. Для легких бетонов на полых микросферах [11, 12] также показана эффективность применения фибры с целью повышения прочности при сжатии и снижения деформаций при статическом нагружении.

Таким образом, эффективными добавками для получения легких бетонов на полых микросферах, в том числе для технологии 3D-печати, является как раствор суперабсорбирующей добавки, так и дисперсно-армирующая добавка – полипропиленовая фибра. Реализуя различный механизм влияния на структуру и свойства композита, эти добавки обеспечивают возможность повышения сопротивляемости материала внешним воздействиям эксплуатационной среды.

Особый интерес представляет совместное действие указанных добавок на свойства легких бетонов на полых микросферах. Для исследования влияния раствора САП и полипропиленовой фибры в работе спланирован и реализован двухфакторный композиционный (ротатальный) эксперимент с квадратичной моделью. В качестве факторов выбраны: X_{Φ} – количество полипропиленового волокна и $X_{\text{САП}}$ – количество акрилатной части раствора САП по отношению к расходу портландцемента. Основные

Параметры экспериментально-статистических моделей вида

$$Y = A_0 + A_1 X_{\Phi} + A_2 X_{\text{САП}} + A_{12} X_{\Phi} X_{\text{САП}} + A_{11} X_{\Phi}^2 + A_{22} X_{\text{САП}}^2$$

Parameters of experimental and statistical models of type

$$Y = A_0 + A_1 X_{\Phi} + A_2 X_{\text{САП}} + A_{12} X_{\Phi} X_{\text{САП}} + A_{11} X_{\Phi}^2 + A_{22} X_{\text{САП}}^2$$

Контролируемое свойство	Параметры модели					
	A_0	A_1	A_2	A_{12}	A_{11}	A_{22}
Подвижность	195,8	-4,16	-1,81	–	-2,12	-2,87
Средняя плотность*	1454	-3,14	–	–	-10,7	-7,65
Прочность при изгибе*	5,64	0,98	0,09	-0,11	0,06	0,13
Прочность при сжатии*	45,5	3,06	–	–	1,99	–
Деформация†	0,58	-0,011	-0,009	-0,019	-0,05	-0,055
Деформация‡	0,42	-0,037	-0,034	-0,048	-0,1	-0,09

Примечания: * – твердение образцов осуществлялось при ТВО; † – твердение образцов осуществлялось в неблагоприятных условиях; ‡ – твердение образцов осуществлялось в нормальных условиях.

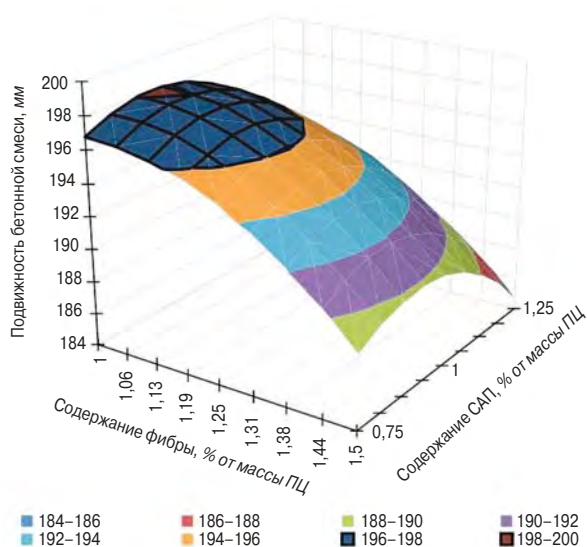


Рис. 1. Влияние содержания фибры и САП на подвижность бетонной смеси

Fig. 1. Effect of fiber and SAP content on the mobility of the concrete mix

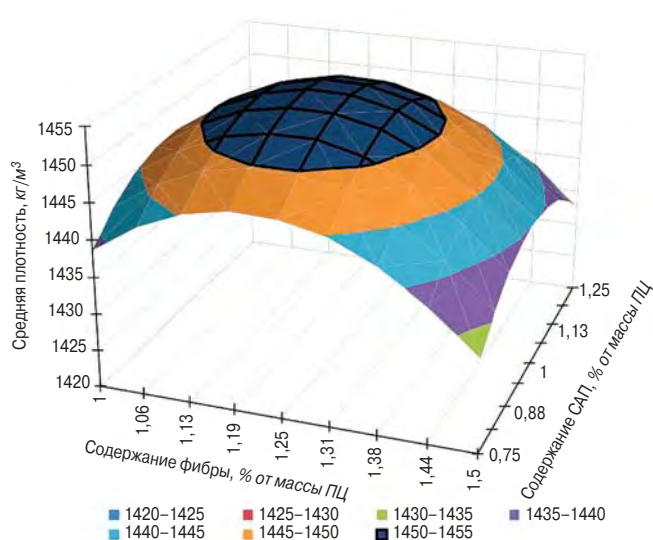


Рис. 2. Влияние содержания фибры и САП на среднюю плотность бетона

Fig. 2. Effect of fiber and SAP content on the average density of concrete

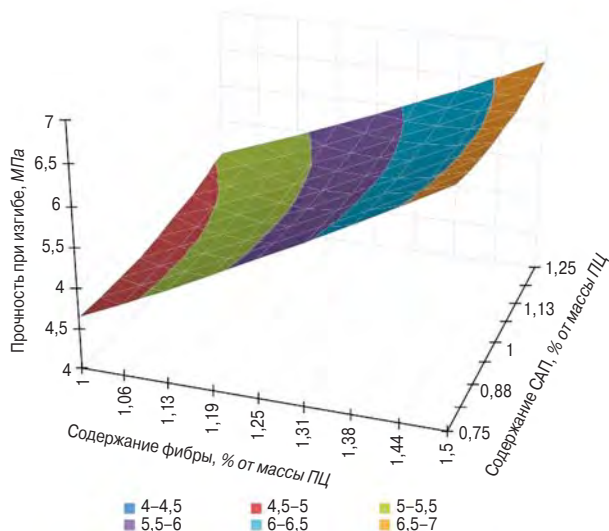


Рис. 3. Влияние содержания фибры и САП на прочность при изгибе

Fig. 3. Effect of fiber and SAP content on flexural strength

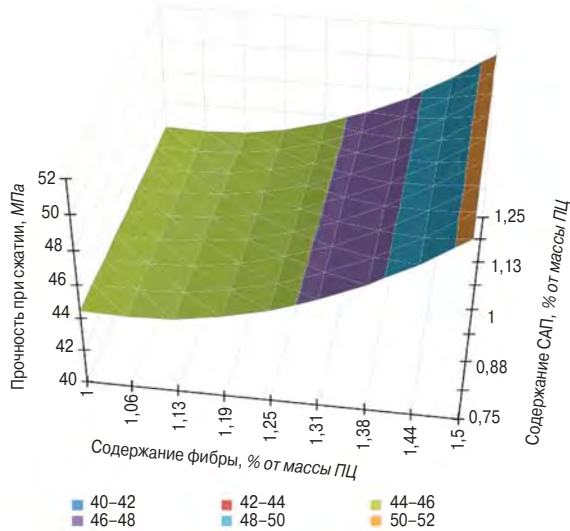


Рис. 4. Влияние содержания фибры и САП на прочность при сжатии

Fig. 4. Effect of fiber and SAP content on compressive strength

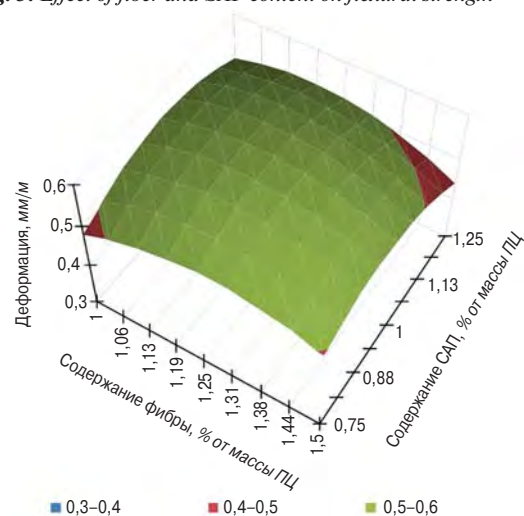


Рис. 5. Влияние содержания фибры и САП на деформации усадки легкого бетона в неблагоприятных условиях

Fig. 5. Influence of fiber and SAP content on shrinkage deformations of light concrete under unfavorable conditions

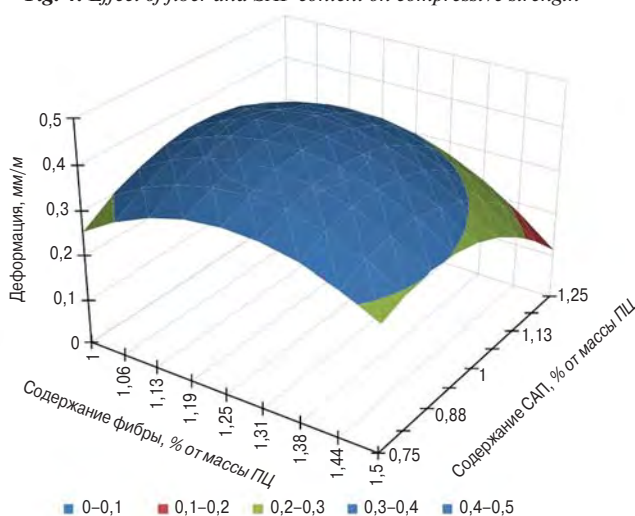


Рис. 6. Влияние содержания фибры и САП на деформации усадки легкого бетона в нормальных условиях

Fig. 6. Effect of fiber and SAP content on shrinkage deformations of light concrete under normal conditions

уровни факторов X_{Φ} и $X_{\text{САП}}$ – 1,25 и 1% соответственно, а интервал варьирования – 0,25% для каждого из факторов; в качестве откликов (Y_i) выбраны: подвижность бетонной смеси; средняя плотность; прочность при сжатии, при изгибе и деформации усадки бетона.

По результатам проведенных исследований получены экспериментально-статистические модели, параметры которых приведены в таблице, а их графические интерпретации – на рис. 1–6.

Анализ таблицы, рис. 1 и 2 показывает, что пропиленовое волокно и САП оказывают только самостоятельное влияние на подвижность бетонной смеси и среднюю плотность бетона: значение коэффициента $A_{12}=0$. Причем влияние фактора X_{Φ} более значительно по сравнению с $X_{\text{САП}}$ (в экспериментально-статистической модели для подвижности бетонной смеси соотношение $A_1/A_2=2,3$). Указанное хорошо совпадает с ранее полученными результатами и демонстрирует, что подвижность бетонной смеси и средняя плотность бетона являются экстенсивными свойствами материала [13].

На рис. 3 и 4 представлены зависимости предела прочности при изгибе и сжатии легкого бетона на полых микросферах от содержания фибры и САП. Установлено, что использование раствора САП «Реновир-гидрогель» в количестве 0,75–1,25% и фибры в количестве 1,19–1,5% от массы портландцемента обеспечивает получение бетона прочности свыше 45 МПа соответственно; предел прочности при изгибе составляет 5,4–6,8 МПа.

Анализ коэффициентов указанных экспериментально-статистических моделей (см. таблицу) подтверждает ранее полученные результаты: САП и волокно положительно влияют на прочность бетона. Однако влияние указанных факторов различно. Не установлено совместного влияния добавок на прочность при сжатии ($A_{12}=0$), а влияние САП не оказывает статистически значимого влияния. При этом относительная весомость влияния содержания волокон на прочность при сжатии более значима по сравнению с влиянием на прочность при изгибе.

Установлено, что указанные факторы на прочность при изгибе оказывают совместное влияние – коэффициент $|A_{12}|>0$. При этом абсолютное значение $A_{12}<0$, что указывает на антогонистическое влияние

указанных факторов. Причиной такого эффекта может являться снижение площади контакта волокон в связи со структурированием САП в структуре материала. Выявление механизма такого негативного совместного влияния требует дополнительных исследований.

Согласно теоретическим и экспериментальным данным других исследователей, САП и фибра оказывают положительное влияние на снижение усадочных деформаций бетона. Анализ параметров модели (см. таблицу) показывает, что совместное использование САП и фибры более эффективно, чем добавление их по отдельности. Об это свидетельствует сопоставление значений коэффициентов A_1 и A_2 со значениями коэффициента A_{12} : $|A_{12}|>|A_1|$ и $|A_{12}|>|A_2|$.

В нормальных условиях (рис. 6) деформация усадки легкого бетона на полых микросферах значительно ниже, чем в неблагоприятных. Отметим, что коэффициенты A_1 и A_2 для составов, твердевших в нормальных условиях, в три раза больше, чем для составов, твердевших в неблагоприятных условиях. Это также показывает эффективность САП и фибры для уменьшения деформации усадки как в нормальных, так и в низовлажностных условиях твердения бетона.

В результате анализа полученных зависимостей (см. таблицу) путем последовательного сужения диапазона варьирования управляющих факторов, обеспечивающих выполнение граничных значений свойств, установлено оптимальное содержание фибры и САП, которые составляют (в %): $X_{\Phi} \in I[1,19; 1,38]$ и $X_{\text{САП}} \in I[0,81; 1,25]$ соответственно. Состав, содержащий 1,25% фибры и 1,25% САП, имеет максимальные значения физико-механических свойств.

Таким образом, с использованием экспериментально-статистических моделей выполнен анализ влияния исследуемых рецептурных факторов на свойства легких бетонов на полых микросферах. Выявлено синергетическое и антогонистическое совместное влияние рассмотренных факторов на различные свойства, а также установлено оптимальное содержание полипропиленовой фибры и суперабсорбирующего полимера, позволяющее обеспечить достижение наилучшего сочетания физико-механических свойств.

Список литературы

1. Демиденко А.К., Кулибаба А.В., Иванов М.Ф. Перспективы применения 3D-печати в строительном комплексе Российской Федерации // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2017. № 12 (63). С. 71–96.

References

1. Demidenko A.K., Kulibaba A.V., Ivanov M.F. Prospects for the use of 3D printing in the construction complex of the Russian Federation. *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij*. 2017. No. 12 (63), pp. 71–96. (In Russian).

2. Xiao J., Ji G., Zhang Y., Duan Z., Du S. Large-scale 3D printing concrete technology: Current status and future opportunities // *Cement and Concrete Composites*. 2021. Vol. 122. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104115>
3. Mohan M.K., Rahul A.V., Tittelboom K.V. Extrusion-based concrete 3D printing from a material perspective: A state-of-the-art review // *Cement and Concrete Composites*. 2020. Vol. 155. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103855>
4. Королев Е.В., Зыонг Т.К., Иноземцев А.С. Способ обеспечения внутреннего ухода за гидратацией цемента в составах для 3D-печати // *Вестник МГСУ*. 2020. Т. 15. № 6. С. 834–846.
5. Ma S., Huang C., Baah P., Nantung T., Lu N. The influence of water-to-cement ratio and superabsorbent polymers (SAPs) on solid-like behaviors of fresh cement pastes // *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 275. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122160>
6. Попов Д.Ю. Повышение эффективности текстиль-бетона. Дисс. ... канд. техн. наук. Белгород. БГТУ. 2018. 179 с.
7. Смирнова О.М., Андреева Е.В. Свойства тяжелого бетона, дисперсно-армированного синтетическим микроволокном // *Строительные материалы*. 2016. № 11. С. 17–20.
8. Патент РФ 2734485. Сырьевая смесь для легкого фибробетона / Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Пухаренко О.Ю., Фролов Н.В. Заявл. 21.10.2019. Опубл. 19.10.2020.
9. Fedorova N., Kolchunov V., Tuyen Vu N., Iliushchenko T. Determination of stiffness parameters of reinforced concrete structures using the decomposition method for calculating their survivability. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1030 (1). P. 012078.
10. Ключев А.В., Ключев С.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В. Мелкозернистый фибробетон, армированный полипропиленовым волокном // *Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова*. 2014. № 4. С. 67–72.
11. Doung Q.T., Korolev E., Inozemtcev A. Selection of reinforcing fiber for high-strength lightweight concrete for 3D-printing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. P. 012007.
12. Duong T.Q., Vu N.T., Inozemtcev A.S., Korolev E.V. Possibilities and limitations of high-strength lightweight fiber-reinforced concrete structures // *Journal of Physics: Conference Series. Collection of Materials of the International Scientific Conference MMSA-2019*. 2019. P. 012067.
13. Налимов В.В., Голикова Т.И. Логические основания планирования эксперимента. М.: Металлургия, 1981. 150 с.
2. Xiao J., Ji G., Zhang Y., Duan Z., Du S. Large-scale 3D printing concrete technology: Current status and future opportunities. *Cement and Concrete Composites*. 2021. Vol. 122. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104115>
3. Mohan M.K., Rahul A.V., Tittelboom K.V. Extrusion-based concrete 3D printing from a material perspective: A state-of-the-art review. *Cement and Concrete Composites*. 2020. Vol. 155. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103855>
4. Korolev E. V., Zuong T. K., Inozemtsev A. S. A method for providing internal care for the hydration of cement in compositions for 3D printing. *Vestnik MGSU*. 2020. Vol. 15. No. 6, pp. 834–846. (In Russian).
5. Ma S., Huang C., Baah P., Nantung T., Lu N. The influence of water-to-cement ratio and superabsorbent polymers (SAPs) on solid-like behaviors of fresh cement pastes. *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 275. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122160>
6. Popov D. Yu. Improving the efficiency of textile concrete. Cand. Diss. (Engineering). Belgorod. 2018. 179 p. (In Russian).
7. Smirnova O. M., Andreeva E. V. Properties of heavy concrete dispersed-reinforced with synthetic microfibre. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 11, pp. 17–20. (In Russian).
8. Patent RF 2734485. Сырьевая смесь для легкого фибробетона [Raw material mixture for light fiber concrete]. Pukharenko Yu.V., Panteleev D.A., Pukharenko O.Yu., Frolov N.V. Declared 21.10.2019. Published 19.10.2020.
9. Fedorova N., Kolchunov V., Tuyen Vu N., Iliushchenko T. Determination of stiffness parameters of reinforced concrete structures using the decomposition method for calculating their survivability. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1030 (1). P. 012078.
10. Klyuev A.V., Klyuev S. V., Netrebenko A.V., Durachenko A.V. Fine-grained fiber reinforced concrete with polypropylene fiber. *Vestnik BGTU im. V.G.Shuhova*. 2014. No. 4, pp. 67–72.
11. Doung Q.T., Korolev E., Inozemtcev A. Selection of reinforcing fiber for high-strength lightweight concrete for 3D-printing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. P. 012007.
12. Duong T.Q., Vu N.T., Inozemtcev A.S., Korolev E.V. Possibilities and limitations of high-strength lightweight fiber-reinforced concrete structures. *Journal of Physics: Conference Series. Collection of Materials of the International Scientific Conference MMSA-2019*. 2019. P. 012067.
13. Nalimov V.V., Golikova T.I. Logicheskie osnovaniya planirovaniya jeksperimenta [Logical bases of experiment planning]. M.: Metallurgiya, 1981. 150 p.

В Геленджике состоялась встреча специалистов цементной и бетонной отраслей

A Meeting of Specialists from the Cement and Concrete Industry Took Place in Gelendzhik

27–28 мая 2021 г. в Геленджике состоялась II конференция RUCEM «Открытый диалог цементников, производителей строительной химии и бетонов», организаторами которой традиционно выступают интернет-журнал о цементах RUCEM.RU и ГК «ПОЛИПЛАСТ» при информационной поддержке отраслевых СМИ и Национальной ассоциации «Союз производителей бетона».

On May 27–28, 2021, Gelendzhik hosted the II RUCEM Conference «Open Dialogue of Cement Makers, Manufacturers of Construction Chemicals and Concretes», which is traditionally organized by the online magazine about cement RUCEM.ru and «GK POLYPLAST» JSC with the information support of the industry media and the National Association «Union of Concrete Manufacturers».



Заместитель директора по развитию СЗФО «ВЫБОР-СПб» Е.Е. Любомирова и главный редактор RUCEM.RU Ю.А. Ерокин

В конференции приняли участие более сорока специалистов – представителей цементных и бетонных производств, компаний по производству химических добавок. Было заслушано восемь пленарных докладов.

Во вступительной части директор Национальной ассоциации «Союз производителей бетона» **Д.Е. Пожаров** вручил свидетельства о членстве четырем новым участникам: АО «Бетоныч», ООО «Аспект-С», ПАО «Пигмент» и ООО «Современные строительные технологии».

Основной темой выступления Д.Е. Пожарова стал анализ проблемных вопросов производителей бетонной продукции. В основном это высокая конкуренция, демпинг, борьба с фальсификатом, невысокая квалификация специалистов. Были предложены новые меры по оптимизации и увеличению эффективности работы бетонных предприятий.

Директор по развитию ООО «Полипласт Новомосковск» **И.В. Степанюга** представила результаты проведенного исследования по применению добавок компании: Полипласт П-1, Линамикс СП-180, Полипласт ПК на цементах разных производителей. Она отметила, что по-прежнему основным



Слева направо: директор Национальной ассоциации «Союз производителей бетона» Д.Е. Пожаров, руководитель блока развития ООО «Аспект-С» А.Ю. Козлов, директор ООО «ССТ» Е.В. Вострухов, начальник отдела контроля качества АО «Бетоныч» Д.В. Шинкарев, исполнительный секретарь «Союза производителей бетона» О.В. Сухарев, ведущий инженер-технолог ПАО «Пигмент» В.А. Петров, главный редактор RUCEM.RU Ю.А. Ерокин



Директор по развитию «Полипласт Новомосковск» И.В. Степанова



Технический эксперт по России «ХайдельбергЦемент Рус» С.В. Мошкова



Генеральный директор НИИ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ» А.Л. Гольденберг

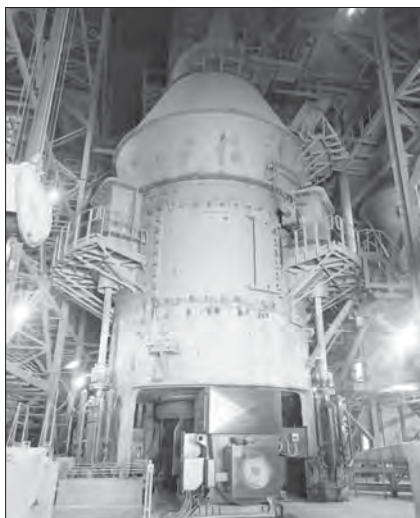


Доцент кафедры «Технологии строительных материалов и метрологии» СПбГАСУ В.Д. Староверов

в процессе производства бетонов остается грамотно подобранный состав бетонной смеси. Для контроля водоотделения, переразжижения, в/ц отношения, сохраняемости бетонной смеси при смене поставщика цемента или добавки необходимо проводить комплекс испытаний оптимизации составов, а также усиливать входной контроль поставляемого цемента и добавки.

Большой интерес участников вызвало выступление **С.В. Мошковой**, технического эксперта по России «ХайдельбергЦемент Рус», об опыте применения и перспективах использования портландцемента со шлаком типа ЦЕМ II/B в бетонном производстве. Одной из основных задач всех производственных компаний в настоящее время является уменьшение выбросов углекислого газа, улучшение экологической ситуации. Следуя этой концепции, «ХайдельбергЦемент» ежегодно увеличивает долю выпуска добавочного цемента или цемента с низким клинкер-фактором, что уже привело к снижению более чем на 15% выбросов CO_2 в сравнении с 2019 г. Как показали проведенные исследования, бетоны на основе цемента ЦЕМ II/B-Ш 42,5 Н классов прочности В30 и В50 показывают высокую прочность на 28-е сут твердения; сохраняемость удобоукладываемости бетонных смесей на основе этого вида цемента возможно регулировать подбором подходящего пластификатора; бетон на основе цемента ЦЕМ II/B-Ш 42,5 Н прошел 300 циклов попеременного замораживания/оттаивания (F1300) и может быть рекомендован к использованию в бетонных технологиях.





Вопросы нормирования, оценки соответствия и декларирования подробно рассмотрели в своих выступлениях генеральный директор НИЛ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ» **А.Л. Гольденберг** и доцент кафедры ТСМИМ Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета **В.Д. Староверов**. Также был проведен небезы-interесный сравнительный анализ процедуры оценки соответствия в европейских странах и США.

Итогом пленарного заседания стало активное обсуждение освещенных вопросов. Камнем преткновения по-прежнему остается вопрос взаимодействия поставщиков цемента и производителей бетонов, стабильность свойств поставляемых цемента, а также взаимодействие технологов заводов со специалистами производителей добавок.

Во второй день конференции состоялась производственная экскурсия на ОАО «Верхнебаканский цементный завод». На сегодняшний день завод является одним из градообразующих предприятий. Основной рынок сбыта приходится на Краснодарский край, Ростовскую область и Ставрополье.

История предприятия началась еще в 1882 г., когда по указу государя императора Александра III был построен первый цементный завод в районе г. Новороссийска под названием «Общество Черноморского цементного производства».

В 2014 г. на заводе была проведена масштабная реконструкция. В настоящее время производительность составляет 2 млн т/г. На новой технологической линии цемент выпускается по сухому способу. Ассортимент представлен марками ЦЕМ I 42,5; ЦЕМ II 2 42,5 и др.

На предприятии установлена самая крупная и производительная сырьевая мельница одновременной сушки и помола в России; вращающаяся печь длиной 65 м с четырехступенчатым теплообменником; действует самое современное программное обеспечение по контролю производства. Завод имеет собственный подъездной железнодорожный путь и подъездную автодорогу, примыкающую к федеральной трассе Краснодар–Новороссийск. Отгрузки производятся ж/д транспортом, автотранспортом, а также в мешках. Уникальное по составу мергелесодержащее сырье, которое дает отличный высококачественный строительный материал – цемент, с первых же лет обратило на себя внимание не только российских потребителей, но и зарубежных покупателей.

Благодарим организаторов и участников конференции и надеемся на встречу в следующем году.

Т. Абакумова
Фото автора и М.Н. Радинова

УДК 666.972.7

М.Р. НУРТДИНОВ¹, инженер (nikerunner@yandex.ru);
В.Г. СОЛОВЬЕВ², канд. техн. наук (s_vadim_g@mail.ru),
А.Ф. БУРЬЯНОВ², д-р техн. наук (rga-service@mail.ru)

¹ ООО «ВЕЛЕССТРОЙ» (г. Москва, ул. 2-я Тверская-Ямская, 10)

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Применение композиционной фибры в тяжелых бетонах

Разработаны оптимальные составы фибробетона со стеклопластиковой композитной фиброй по прочности при сжатии классов В20, В40 и В60. Их комплексные исследования показывают, что на основе бетонных смесей со средней плотностью 2320–2360 кг/м³, воздухововлечением 2,5–3,5% и удобоукладываемостью (осадкой) 21–22 см можно получить бетон со следующими свойствами: средняя прочность при сжатии – 28; 54,7 и 83,3 МПа; прочность на растяжение при изгибе – 3,5; 4,4 и 5,6 МПа; прочность при растяжении – 2,92; 5,78 и 6,92 МПа; призматическая прочность при сжатии – 20,1; 40,4 и 60,4 МПа; модуль упругости – 35393; 46146 и 51366 МПа; Коэффициент Пуассона – 0,17; 0,18 и 0,18 соответственно. Введение стеклопластиковой композитной фибры в бетонные смеси в количестве 0,5; 1,5 и 2,5 об. % незначительно снижает среднюю плотность смеси – на 7–72 кг/м³, увеличивает содержание воздуха в смесях на 0,1–0,6%, снижает осадку на 3–8 см, практически не влияя на прочность при сжатии. Получены данные о прочности на растяжении при изгибе в момент образования трещин, а также об остаточном сопротивлении растяжению при изгибе, соответствующем раскрытию трещин в диапазоне 0,5–3,5 мм. Форма поверхности волокон была определяющим фактором, влияющим на момент вырыва из матрицы бетона. Выявлены три основных типа механизма деформации. Определены характеристики прочности стеклопластиковой композитной фибры. В целом результаты показывают, что стеклопластиковую композитную фибру возможно выпускать массово со свойствами, допускающими ее широкое применение.

Ключевые слова: стеклопластиковая композитная фибра, фибробетон, бетонная смесь, адгезия, устойчивость.

Для цитирования: Нуртдинов М.Р., Соловьев В.Г., Бурьянов А.Ф. Применение композиционной фибры в тяжелых бетонах // Бетон и железобетон. 2021. № 3 (605). С. 33–39.

M.R. NURTDINOV¹, Engineer (nikerunner@yandex.ru);
V.G. SOLOVIEV², Candidate of Sciences (Engineering) (s_vadim_g@mail.ru),
A.F. BURYANOV², Doctor of Sciences (Engineering)

¹ “VELESSTROY” LLC (10, 2-ya Tverskaya-Yamskaya Street, Moscow, Russian Federation)

² National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

The Use of Composite Fibers in Heavy Concrete

The optimum compositions of fiber-reinforced concrete with glass-polymer composite fiber of compressive strength classes B20, B40 and B60 have been developed. Their complex studies demonstrate that based on concrete mixtures with an average density of 2320–2360 kg/m³, air entrainment of 2.5–3.5%, and workability (slump) of 21–22 cm, the concrete with the following properties can be obtained: average compressive strength of concrete – 28, 54.7 and 83.3 MPa; the average bending tensile strength – 3.5, 4.4 and 5.6 MPa; the breaking strength – 2.92, 5.78 and 6.92 MPa; prismatic strength – 20.1, 40.4 and 60.4 MPa; modulus of elasticity – 35393, 46146 and 51366 MPa; Poisson's ratio – 0.17, 0.18 and 0.18, respectively. The addition of glass-polymer composite fiber into concrete mixtures in an amount of 0.5, 1.5 and 2.5% vol. slightly reduces the average density of the mixture by 7–72 kg/m³, increases the air content of mixtures by 0.1–0.6%, reduces slump by 3–8 cm, and has little influence on the compressive strength. The data on the ultimate bending tensile strength at the moment of crack formation, as well as residual bending tensile strength corresponding to the crack opening in the range 0.5–3.5 mm, were obtained. The shape of a single fiber surface was the determining factor when it broke out of concrete matrix. Three main types of deformation mechanism were identified. The characteristics of fiber-reinforced concrete durability were determined. Overall, the results indicate that fiber-reinforced concrete can be produced with properties that are suitable for wide application.

Keywords: glass-polymer composite fiber, fiber-reinforced concrete, performance, adhesion, sustainability.

For citation: Nurtudinov M.R., Soloviev V.G., Buryanov A.F. The use of composite fibers in heavy concrete. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 3 (605), pp. 33–39. (In Russian).

В современной технологии фибробетонов в качестве высокомодульных дисперсно-армирующих компонентов, повышающих прочностные и деформационные свойства, используют стальную фибру различных геометрических размеров, а также стек-

лянные и базальтовые волокна. Каждый из применяемых армирующих компонентов имеет свои недостатки: стальная фибра кроме значительной массы и склонности к комкованию также изменяет теплофизические свойства бетона [1, 2], а стеклянные и



Рис. 1. Стеклопластиковая фибра
Fig. 1. Fiberglass fiber

базальтовые волокна ломаются при перемешивании смеси и частично растворяются при взаимодействии с бетонной матрицей [3, 4]. В связи с этим разрабатываемые в последние годы различные виды композитной фибры – стеклопластиковой и углепластиковой вызывают значительный интерес и требуют подробного изучения [5–7].

Стеклопластиковую композитную фибру (рис. 1) получают методом пултрузии – протяжки стеклянных нитей через фильеру, нагретую до определенной температуры, при которой осуществляется полимеризация матрицы [8–11]. Длина фибры составляет 40 мм, толщина 0,7–0,9 мм, геометрический фактор 45–60, плотность 1,54 г/см³, модуль упругости поряд-

ка 50 ГПа (определенный на образцах арматуры диаметром 4 мм, изготовленных из тех же материалов и по той же технологии).

Результаты испытаний данных видов фибры в бетонах практически не приведены в периодических научных изданиях в связи со сравнительно недавним промышленным освоением выпуска данного вида композитных материалов. Однако даже отдельные исследования позволяют сказать, что при применении композитной стеклопластиковой фибры проявляются эффекты, присущие как высокомодульной фибре, так и синтетическим низкомолекулярным видам [12–15]. Ряд отличий стеклопластиковой фибры от стальной – низкая плотность и теплопроводность, отсутствие комкования при изготовлении бетонной смеси и коррозионная стойкость к различным средам – определяет широкие возможности для ее эффективного применения при производстве фибробетонных изделий и конструкций.

Принципиально неизученным остается механизм взаимодействия композитной фибры с бетонной матрицей, а также влияние различных видов добавок на эффективность адгезии композитной фибры с матрицей [16, 17]; не установлено также влияние композитной фибры на эксплуатационные, физико-механические и деформационные свойства тяжелых бетонов.

Для определения оптимального содержания композитной стеклопластиковой фибры были проведены испытания, при которых в составы тяжелых бетонов классов по прочности при сжатии В20–В60 добавляли фибру в количестве 0,5; 1,5 и 2,5% по объему. Выбор

Таблица 1
Table 1

Свойства бетонных смесей и бетонов с композитной фиброй
Properties of concrete mixes and concrete with composite fiber

Класс бетона	В20			В40			В60		
Процент фибры, %	0,5	1,5	2,5	0,5	1,5	2,5	0,5	1,5	2,5
Плотность смеси, кг/м ³	2380	2371	2367	2389	2329	2317	2370	2348	2345
Воздухововлечение, %	3	3,1	3,2	3,1	3,35	3,7	3,6	3,6	3,8
Осадка конуса, см	21	18	13	22	19	15	22	19	15

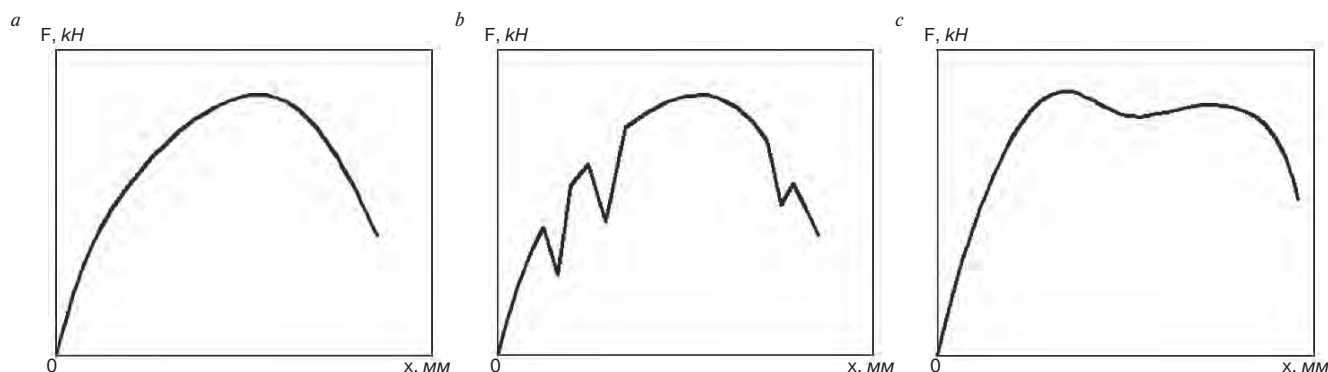


Рис. 2. Типовые диаграммы вырыва стеклопластиковой фибры из бетонной матрицы
Fig. 2. Typical diagrams of fiberglass fiber pull-out from a concrete matrix

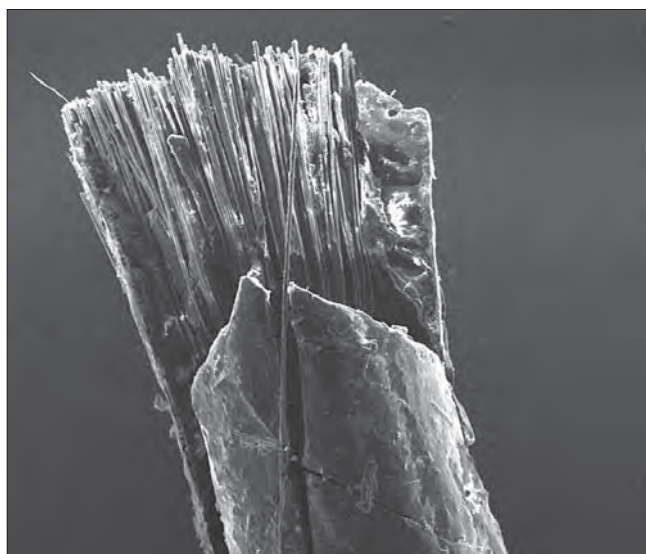


Рис. 3. Концевая часть композитной фибры
Fig. 3. End part of composite fiber

тяжелых бетонов классов по прочности при сжатии В20–В60 обусловлен модулем упругости композитной фибры, который превышает модуль упругости именно этих бетонов, широко применяемых в строительстве. При проведении испытаний, результаты которых представлены в табл. 1, для каждого состава бетонной смеси определяли плотность, воздуховлечение и удобоукладываемость.

На основании проведенных испытаний установлено, что введение стеклопластиковой фибры в бетоны классов по прочности при сжатии В20–В60 в количестве 0,5; 1,5 и 2,5% по объему:

- незначительно снижает среднюю плотность смеси – на 7–72 кг/м³;
- повышает воздуховлечение смесей на 0,1–0,6%;
- снижает удобоукладываемость (осадку конуса) на 3–8 см;

Результаты испытаний указывают на незначительное влияние стеклопластиковой композитной фибры на свойства бетонных смесей, а также на ее высокую технологичность при введении в бетонную смесь.

Исследование сцепления стеклопластиковой композитной фибры с бетонной матрицей

Эффективность заделки фибры в бетонную матрицу определяли на образцах из мелкозернистого бетона классов по прочности при сжатии В20, В40 и В60, в которые заделывали отдельные образцы фибры. В большинстве случаев после окончания испытания фиксировали деформирование верхнего полимерного слоя фибры, и только в отдельных случаях происходило разрушение части фибры, заделанной в бетон, например появлялись трещины, скалывание краев, а у бетонного куба – вырыв материала в зоне установки фибры. Наиболее вероятная причина подобных раз-

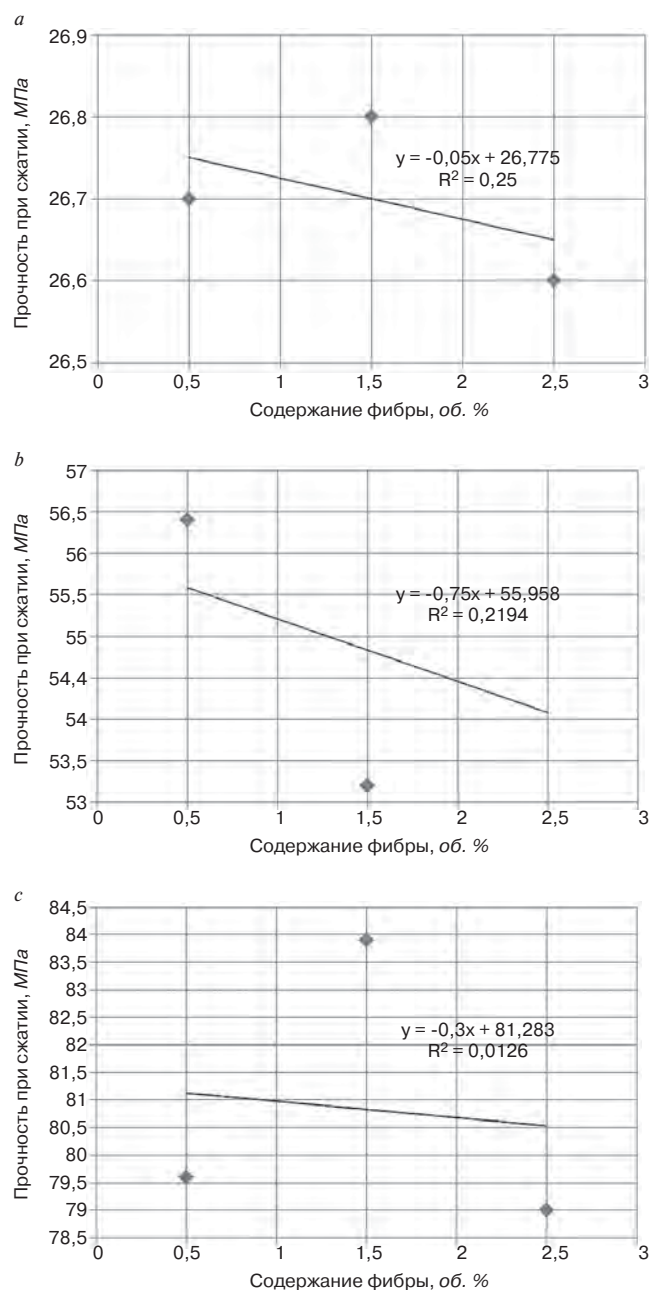


Рис. 4. Зависимость прочности при сжатии бетона класса В20 (а); В40 (б) и В60 (с) от объемного содержания фибры
Fig. 4. Dependence of the compressive strength of concrete of class В20 (а); В40 (б) on the volume content of the fiber

рушений – неравномерность толщины фибры по длине. При небольшой длине утолщенной части фибры происходило разрушение по фибре, скол края. Если длина утолщенной зоны фибры превышала половину глубины заделки, то кусок бетона вырывался в виде конуса или наблюдалось полное разрушение бетонного образца. Общее количество аномальных разрушений образцов в серии не превышало 15%.

Анализ результатов испытаний образцов всех серий позволил установить основные типы разрушений при вырыве фибры из бетона, диаграммы которых приведены на рис. 2.

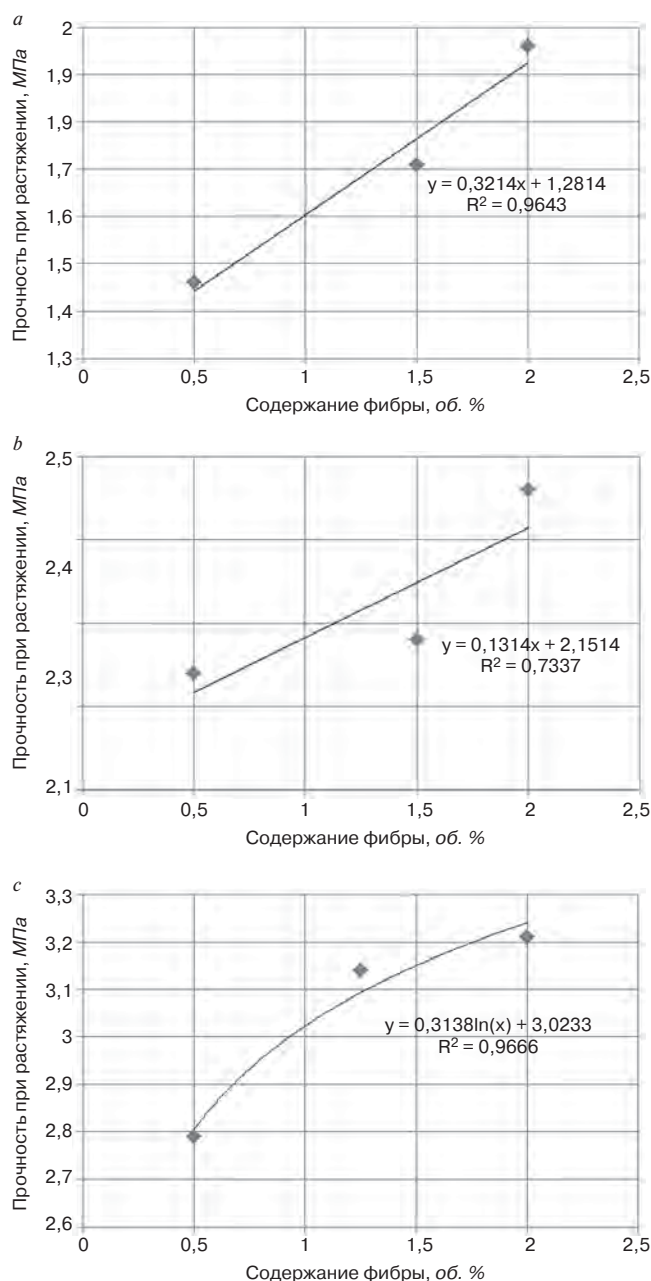


Рис. 5. Зависимость прочности при растяжении бетона класса B20 (a), B40 (b) и B60 (c) от объемного содержания фибры

Fig. 5. The dependence of the tensile strength of concrete of class B20 (a), B40 (b) and B60 (c) on the volume content of the fiber

На рис. 2, а усилие вырыва развивается равномерно и, достигнув пиковой точки, идет на спад из-за увеличивающегося проскальзывания фибры за счет снижения площади сцепления ее поверхности с бетоном. На рис. 2, b возрастание и снижение нагрузки происходит скачкообразно. Провалы в графике объясняются локальными разрушениями выпуклых частей полимерной смолы на поверхности фибры с бетоном, что приводит к ее частичному проскальзыванию. На рис. 2, c приведен третий тип диаграммы, в которой после первого проскальзывания наблюдается площадка с постоянной нагрузкой порядка 80% от

максимального значения и возрастающими деформациями. Причиной такого развития напряжений и деформаций является размер фибры, имеющей расширяющуюся часть ближе к концу (рис. 3). При такой форме, несмотря на снижение площади трения фибры в ходе ее выкалывания из бетонной матрицы, происходит ее обжатие в теле бетона, что в итоге повышает максимальную нагрузку при вырыве. Во всех сериях образцов были зафиксированы все три типа графиков, что указывает на то, что форма поверхности отдельной фибры является определяющей при ее вырыве из бетона, а модификации бетонной матрицы приводят к изменению численных параметров. Вид бетона или его модификация не оказывают влияния на характер и вид диаграмм нагрузка–деформация, а изменяют только численные значения максимальной нагрузки при вырыве.

Прочностные и деформативные свойства бетонов со стеклопластиковой композитной фиброй

Результаты экспериментальных исследований по влиянию композитной стеклопластиковой фибры на прочность при сжатии бетонов классов B20, B40 и B60 приведены на рис. 4. На основании проведенного анализа установлено, что прочность при сжатии бетонов с композитной неметаллической фиброй при ее содержании от 0,5 до 2,5% по объему изменяется незначительно (коэффициент линейного уравнения, определяющий влияние содержания фибры на прочность бетонов классов B20–B60, изменяется в пределах от -0,05 до -0,75).

Анализ результатов экспериментальных исследований по влиянию композитной стеклопластиковой фибры на прочность при растяжении бетонов классов B20, B40 и B60 приведен на рис. 5.

На основании проведенных расчетов установлено, что для фибробетонов классов при сжатии B20, B40 и B60 класс по остаточной прочности на растяжение при изгибе реализуется один и тот же – $B_{fbt}1с$. Полученные результаты обусловлены особенностями работы композитной стеклопластиковой фибры в бетоне при воздействии изгибающих нагрузок. Так, максимальная нагрузка, воспринимаемая фибробетоном, фиксируется в момент образования трещины, и к моменту ее раскрытия до 0,05 мм фибра начинает воспринимать напряжения, возникающие в материале. Таким образом, эффективность композитной стеклопластиковой фибры, определяемая по значению остаточной прочности, проявляется практически на одном уровне независимо от класса бетонной матрицы. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Для определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона бетонов с

Таблица 2
Table 2

Расчет остаточного класса по прочности фибробетонов различных составов
Calculation of the residual strength class of fiber-reinforced concrete of various compositions

№ п/п	Шифр образца	$F_{0,5}$, кН	$R_{F0,5}$, МПа	$F_{2,5}$, кН	$R_{F2,5}$, МПа	$S_{F0,5m}$	$S_{F2,5m}$	$V_{0,5m}$	$V_{2,5m}$	$R_{fbt,n}$	$R_{fb3,n}$	$R_{fb3,n}/R_{fbt,n}$	Класс по остаточной прочности
1	B20-1	1,4	1	1,31	0,94	0,1	0,08	0,09	0,07	1	1	1	$B_{fbt}1c$
2	B20-2	1,24	0,94*	1,13	0,86*								
3	B20-3	1,85	1,37	1,45	1,07								
4	B20-4	1,54	1,17	1,49	1,14								
5	B20-5	1,45	1,14	1,66	1,31								
6	B20-6	1,39	0,95	1,49	1,02								
1	B40-1	1,33	1,07	1,25	1,01	0,05	0,15	0,05	0,13	1	0,9	0,9	$B_{fbt}1c$
2	B40-2	1,03	0,81*	1,3	0,24*								
3	B40-3	1,47	1,2	1,75	1,43								
4	B40-4	1,5	1,14	1,52	1,16								
5	B40-5	1,56	1,14	1,44	1,05								
6	B40-6	1,32	0,9	1,37	0,94								
1	B60-1	2,27	1,96	2,17	1,88	0,21	0,28	0,13	0,16	1,3	1,3	1	$B_{fbt}1c$
2	B60-2	1,58	1,37	2,33	2,03								
3	B60-3	2,16	1,48	1,95	1,34								
4	B60-4	1,86	1,61	2,1	1,81								
5	B60-5	2,17	1,73	2,05	1,64								
6	B60-6	1,5	1,18*	0,49	0,38*								

Примечание. * Данные исключены из расчета.

Таблица 3
Table 3

Результаты испытаний фибробетонов по определению призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона
Results of tests of fiber-reinforced concrete to determine prismatic strength, modulus of elasticity and Poisson's ratio

№ п/п	Шифр образца	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Разрушающая нагрузка, кН	Призмная прочность, МПа
1	B20-1	32638,62	0,18	206,55	19,78
2	B20-2	39471,57	0,18	221,84	20,95
3	B20-3	32685,22	0,17	205,61	19,38
4	B20-4	41129,05	0,16	203,1	18,5
5	B20-5	32496,6	0,16	207,54	19,37
6	B20-6	33936,63	0,17	217,98	20,36
Среднее		35392,95	0,17	-----	20,1
1	B40-1	41949	0,18	436,74	42,2
2	B40-2	44365,26	0,17	412,11	38,25
3	B40-3	52024,07	0,19	430,66	40,15
4	B40-4	46467,84	0,19	415,46	39,18
5	B40-5	47246,97	0,18	436,41	39,81
6	B40-6	44822	0,17	419,65	39,34
Среднее		46145,86	0,18	-----	40,4
1	B60-1	51964,36	0,17	616,37	56,64
2	B60-2	47167,81	0,17	617,54	57,93
3	B60-3	51445,04	0,18	627,63	60,45
4	B60-4	52566,32	0,2	627,13	60,57
5	B60-5	56940,84	0,18	625,05	58,76
6	B60-6	48113,47	0,2	640,64	61,73
Среднее		51366,31	0,18	-----	60,4

композитной стеклопластиковой фиброй оптимальных составов были изготовлены образцы размером 100×100×400 мм – 18 шт. (по шесть образцов для каждого состава). Результаты испытаний приведены в табл. 3.

По результатам проведенных испытаний установлены характеристики фибробетонов классов по прочности при сжатии В20, В40 и В60 с композитной стеклопластиковой фиброй:

- призмная прочность – 20,1; 40,4 и 60,4 МПа;
- модуль упругости – 35393; 46146 и 51366 МПа;
- коэффициент Пуассона – 0,17; 0,18 и 0,18 соответственно.

В результате проведенных исследований установлено, что стеклопластиковая фибра работает в раз-

личных бетонных матрицах как высокомодульный упрочняющий дисперсно-армированный компонент и повышает прочностные, деформативные и эксплуатационные свойства бетона. Результаты проведенных исследований указывают на возможность широкого применения стеклопластиковой фибры, а ряд ее отличительных особенностей – низкая плотность и теплопроводность, отсутствие комкования при изготовлении бетонной смеси и коррозионная стойкость к различным средам – определяет дополнительные возможности ее эффективного применения при производстве фибробетонных изделий и конструкций как для гражданского, так и для промышленного строительства.

Список литературы

1. Дроф В.А., Красновский Р.О., Султыгова П.С., Капустин Д.Е. Экспериментальное определение теплофизических свойств сталефибробетона // *Вестник гражданских инженеров*. 2019. № 1 (72). С. 120–124.
2. Умнякова Н.П., Потапова Г.А., Потапова Е.Д., Султыгова П.С. Исследование теплозащитных качеств сталефибробетона // *Строительство и реконструкция*. 2018. № 3. С. 105–111.
3. Буршина Н.А. Химическая устойчивость стекол в цементной среде. *Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова*. 1–3 мая 2015 г. Белгород. С. 47–53.
4. Ельшаева Д.М. Исследование коррозионной стойкости базальтовой фибры в среде гидратирующегося цемента // *Научные исследования и инновации*. 2021. № 4. С. 48–52.
5. Rangelov M., Nassiri S., Haselbach L., Englund K. Using carbon fiber composites for reinforcing pervious concrete. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 126, pp. 875–885. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.035>
6. El-Nemr A., Ahmed E.A., Barris C., Benmokrane B. Bond-dependent coefficient of glass- and carbon-FRP bars in normal- and high-strength concretes. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 113, pp. 77–89. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2016.03.005
7. Хотеев Е.А. О перспективах применения в России стеклопластиковых армирующих элементов на основе европейского опыта // *Транспортное строительство*. 2015. № 1. С. 10–13.
8. Сорокин А.Е., Сагомонова В.А., Петрова А.П., Соловьянчик Л.В. Технологии получения полимерных композиционных материалов на основе термопластичной матрицы (обзор) // *Труды ВИАМ*. 2021. № 3 (97). С. 78–86.
9. Колосова А.С. и др. Современные методы получения полимерных композиционных материа-

References

1. Drof V.A., Krasnovsky R.O., Sultygova P.S., Kapustin D.E. Experimental determination of thermophysical properties of steel fiber reinforced concrete. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2019. No. 1 (72), pp. 120–124. (In Russian).
2. Umnyakova N.P., Potapova G.A., Potapova E.D., Sultygova P.S. Investigation of heat-shielding qualities of steel fiber reinforced concrete. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2018. No. 3, pp. 105–111. (In Russian).
3. Burshina N.A. Chemical resistance of glasses in a cement environment. *International Scientific and Technical Conference of Young Scientists BSTU named after V.G. Shukhov*. May 1–3, 2015. Belgorod, pp. 47–53. (In Russian).
4. Elshaeva D. M. Investigation of the corrosion resistance of basalt fiber in the environment of hydrating cement. *Nauchnyye issledovaniya i innovatsii*. 2021. No. 4, pp. 48–52. (In Russian).
5. Rangelov M., Nassiri S., Haselbach L., Englund K. Using carbon fiber composites for reinforcing pervious concrete. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 126, pp. 875–885. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.035>
6. El-Nemr A., Ahmed E.A., Barris C., Benmokrane B. Bond-dependent coefficient of glass- and carbon-FRP bars in normal- and high-strength concretes. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 113, pp. 77–89. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.005
7. Khoteev E.A. On the prospects for the use in Russia of fiberglass reinforcing elements based on European experience. *Transportnoe stroitel'stvo*. 2015. No. 1, pp. 10–13. (In Russian).
8. Sorokin A.E., Sagomonova V.A., Petrova A.P., Solovyanchik L.V. Technologies for obtaining polymer composite materials based on a thermoplastic matrix (review). *Trudi VIAM*. 2021. No. 3 (97), pp. 78–86. (In Russian).
9. Kolosova A.S. and other Modern methods of obtaining polymer composite materials and products from

- лов и изделий из них // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. № 8. С. 123–129.
10. Павловский К.А., Серкова Е.А., Мельников Д.А., Гуняева А.Г. Производство изделий из полимерных композиционных материалов методом пултрузии для гражданских отраслей промышленности // *Вопросы материаловедения*. 2017. № 4 (92). С. 81–89. DOI: 10.22349/1994-6716-2017-92-4-81-89.
 11. Ненашкина П.А., Гусев А.Л. Применение современных композиционных материалов при создании высокотехнологичного производства // *Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте (ИИТМА-2020): Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции с онлайн-участием*. 07–10 декабря 2020 г. Кемерово. С. 339–342.
 12. Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Ильин Д.А. Исследование особенности работы бетонных конструкций с комбинированным армированием (арматурой композитной полимерной и неметаллической фиброй) // *Academia. Архитектура и строительство*. 2017. № 1. С. 124–128. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-osobennosti-raboty-betonnyh-konstruktsiy-s-kombinirovannym-armirovaniem-armaturoy-kompozitnoy-polimernoy-i>
 13. Рябченкова В.Г. и др. Исследование бетонных конструкций, армированных фиброй композитной полимерной и арматурой композитной полимерной (АКП), на воздействие пожара. Отчет о НИР/ НИОКР. М.: НИЦ «Строительство», 2019. 370 с.
 14. Дудов Д.О., Михайлов Д.А. Фибробетон. Фибра: виды материалов и их классификация. *Сборник Международной научно-практической конференции «Наука и образование: сохраняя прошлое, создаем будущее»*. 2019. С. 49–52.
 15. Панкратьева У.В., Кудяков К.Л. Опыт применения стекловолокна и стеклокомпозитов для армирования бетонных конструкций // *Избранные доклады 65-й юбилейной Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых: Сборник докладов*. 25 апреля 2019 г. Томск. С. 90–92.
 16. Ключев С.В. К вопросу фибрового армирования // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2018. № 3–4 (230–231). С. 42–47.
 17. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Исследование процесса деформирования бетона, армированного низко модульной фиброй. *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2019 г.: Сборник научных трудов РААСН*. М.: АСВ, 2020. С. 358–366.
 - them. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2018. No. 8, pp. 123–129. (In Russian).
 10. Pavlovsky K.A., Serkova E.A., Melnikov D.A., Gunyaeva A.G. Production of products from polymer composite materials by pultrusion for civilian industries. *Voprosy materialovedeniya*. 2017. No. 4 (92), pp. 81–89. DOI: 10.22349 / 1994-6716-2017-92-4-81-89
 11. Nenashkina P.A., Gusev A.L. The use of modern composite materials in the creation of high-tech production. *Innovations in information technologies, mechanical engineering and vehicles (IITMA-2020): a collection of materials of the IV International scientific-practical conference with online participation*. December 7–10, 2020. Kemerovo, pp. 339–342. (In Russian).
 12. Stepanova V.F., Buchkin A.V., Ilyin D.A. Investigation of the peculiarities of the work of concrete structures with combined reinforcement (reinforcement composite polymer and non-metallic fiber). *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2017. No. 1, pp. 124–128. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-osobennosti-raboty-betonnyh-konstruktsiy-s-kombinirovannym-armirovaniem-armaturoy-kompozitnoy-polimernoy-i>
 13. Ryabchenkova V.G. and others. Investigation of concrete structures, reinforced with polymer composite fiber and polymer composite reinforcement (ACP), on the effect of fire. Report on Scientific research work. Moscow: Research Center "Stroitel'stvo". 2019. 370 p.
 14. Dudov D.O., Mikhailov D.A. Fiber concrete. Fiber: types of materials and their classification. *Collection of the International Scientific and Practical Conference "Science and Education: preserving the past, creating the future"*. 2019, pp. 49–52. (In Russian).
 15. Pankratieva U.V., Kudakov K.L. Experience of using fiberglass and glass composites for reinforcing concrete structures. *Selected reports of the 65th Anniversary University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists: Collection of reports*. April 25, 2019. Tomsk, pp. 90–92. (In Russian).
 16. Klyuev S.V. On the issue of fiber reinforcement. *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka*. 2018. No. 3–4 (230–231), pp. 42–47. (In Russian).
 17. Pukharensko Yu.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Investigation of the process of deformation of concrete reinforced with low-modulus fiber. *Fundamental, exploratory and applied research of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences on the scientific support of the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2019: Collection of scientific papers of the RAACS*. Moscow: ASV. 2020, pp. 358–366. (In Russian).

УДК 624.012.3.(35)

В.И. МЕЛИХОВ¹, канд. техн. наук, заместитель генерального директора по научной работе (V.Melikhov@vniizhbeton.ru); Б.С. СОКОЛОВ², канд. техн. наук, заведующий лабораторией тонкостенных и пространственных конструкций (moo-shell@mail.ru)

¹ ООО «Институт ВНИИЖЕЛЗЕБЕТОН» (111141, г. Москва, ул. Плеханова, 7)

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

Проектирование бетонных и железобетонных безнапорных труб

Методическое пособие «Расчет и конструирование бетонных и железобетонных безнапорных труб» разработано в развитие положений СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01–2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения», устанавливающего общие требования к расчету и конструированию железобетонных конструкций, и СП 35.13330.2011 «СНиП 2.05.03–84* Мосты и трубы» в части расчета и конструирования бетонных и железобетонных безнапорных труб, используемых в наружных подземных сетях водоотвода и канализации. Пособие содержит рекомендации по расчету и конструированию безнапорных бетонных и железобетонных ненапряженных труб с круглым отверстием, учитывающие их конструктивные особенности и условия эксплуатации в безнапорных трубопроводах, монтируемых открытым (траншейным) способом и закрытым (бестраншейным) методом микротоннелирования. Изложенные в пособии теоретические положения, инженерные методики и рекомендации иллюстрируются рядом подробных примеров определения нагрузок на трубы и внутренних усилий в конструкции, конструирования и расчета бетонных и железобетонных труб по предельным состояниям.

Ключевые слова: бетонные трубы, железобетонные трубы, безнапорные трубы, расчет по прочности, расчет по образованию трещин, конструирование.

Для цитирования: Мелихов В.И., Соколов Б.С. Проектирование бетонных и железобетонных безнапорных труб // Бетон и железобетон. 2021. № 3 (605). С. 40–44.

V.I. MELIKHOV¹, Candidate of Science (Engineering), Deputy General Director for Research (V.Melikhov@vniizhbeton.ru); B.S. SOKOLOV², Candidate of Science (Engineering), Head of the Laboratory for Thin-Walled and Spatial Structures (moo-shell@mail.ru)

¹ «Institute VNIIZhelezobeton» LLC (7, Plekhanova Street, 111141, Moscow, Russian Federation)

² Research, Design and Technological Institute for Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, "Research and Development Center "Stroitel'stvo" AO (6, 2nd Institut'skaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Design of Concrete and Reinforced Concrete Pressure-Free Pipes

The methodological manual "Calculation and Construction of Concrete and Reinforced Concrete Pressure-free Pipes" is developed in the development of the provisions of SP 63.13330.2018 "SNiP 52-01–2003 Concrete and Reinforced Concrete Structures. Basic Provisions", which establishes general requirements for the calculation and design of reinforced concrete structures, and SP 35.13330.2011 "SNiP 2.05.03–84* Bridges and Pipes" in terms of the calculation and design of concrete and reinforced concrete non-pressure pipes used in outdoor underground drainage and sewerage networks. The manual contains recommendations for the calculation and design of non-pressure concrete and reinforced concrete non-stressed pipes with a round hole, taking into account their design features and operating conditions in non-pressure pipelines mounted by the open (trench) method and closed (trenchless) microtunneling method. The theoretical provisions, engineering methods and recommendations set out in the manual are illustrated by a number of detailed examples of determining the loads on pipes and internal forces in the structure, designing and calculating concrete and reinforced concrete pipes according to the limit states.

Keywords: concrete pipes, reinforced concrete pipes, pressure-free pipes, strength calculation, crack formation calculation, designing.

For citation: Melikhov V.I., Sokolov B.S. Design of concrete and reinforced concrete pressure-free pipes. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 3 (605), pp. 40–44. (In Russian).

В строительных нормах СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01–2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» и СП 35.13330.2011 «СНиП 2.05.03–84* Мосты и трубы», в развитие положений которых разработано пособие «Расчет и конструирование бетонных и железобетонных безнапорных труб», установлены общие требования к расчету и конструированию железобетонных конструкций без конкретных указаний в части расчета и конструиро-

вания бетонных и железобетонных безнапорных труб, используемых в наружных подземных сетях водоотвода и канализации. Между тем экспериментальные исследования и опыт эксплуатации трубопроводов показывают, что работа таких труб при силовых воздействиях, испытываемых ими в грунте, имеет свои особенности, требующие учета при проектировании. В основополагающих работах Г.К. Клейна [1, 2] даны теоретические положения расчета труб подземных

трубопроводов. Методы расчета и конструирования бетонных и железобетонных труб, основанные на результатах исследований, опыте проектирования и промышленного производства, приведены с различной степенью детальности в ряде работ [3–7], однако инженерной практикой востребован обобщающий методический документ по проектированию труб для безнапорных трубопроводов в различных условиях эксплуатации.

Пособие распространяется на проектирование бетонных и железобетонных труб с круглым отверстием, предназначенных для строительства трубопроводов, транспортирующих самотеком бытовые и производственные жидкости, атмосферные, сточные и подземные воды, неагрессивные к бетону и стальной арматуре. При проектировании бетонных и железобетонных труб, предназначенных для эксплуатации в условиях воздействия агрессивной среды, должны предусматриваться дополнительные мероприятия в соответствии с требованиями норм и стандартов по антикоррозионной защите конструкций.

В пособии рассматриваются бетонные и железобетонные трубы для открытой укладки в траншею, а также железобетонные трубы для микротоннелирования – бестраншейного способа прокладки подземных трубопроводов, основанного на проталкивании (продавливании) за проходческим комплексом железобетонных труб с цилиндрической наружной поверхностью.

Технические требования к бетонным безнапорным трубам содержит ГОСТ 20054–2016 «Трубы бетонные безнапорные. Технические условия»; к железобетонным трубам для открытой укладки – ГОСТ 6482–2011 «Трубы железобетонные безнапорные. Технические условия»; к железобетонным трубам для микротоннелирования – ГОСТ Р 58323–2018 «Трубы железобетонные для бестраншейной прокладки инженерных сетей. Технические условия». В пособии приведены конструктивно-технические решения бетонных и железобетонных труб и их геометрические параметры.

Пособие содержит следующие рекомендации по назначению физико-механических характеристик материалов для труб:

- для изготовления труб следует применять тяжелый или мелкозернистый бетон классов по прочности на сжатие не ниже В30;
- для бетонных труб рекомендуется применять бетоны классов по прочности на осевое растяжение в проектном возрасте не ниже В_т 3,2;
- при изготовлении железобетонных труб, укладываемых в траншеи, следует применять бетоны классов по прочности при сжатии не менее В30 и марок по водонепроницаемости W4–W8;
- при изготовлении железобетонных труб для микротоннелирования следует применять бетоны клас-

сов по прочности на сжатие не менее В40 и марок по водонепроницаемости не ниже W8;

- для армирования железобетонных труб используются ненапряженные одинарные или двойные цилиндрические спиральные каркасы, состоящие из стальных проволочных спиралей и продольных разделительных стержней, свариваемых друг с другом. В качестве спиральной арматуры используется проволока периодического профиля диаметром 3–5 мм класса В_р-I, отвечающая требованиям ГОСТ 6727–80, и диаметром 6–10 мм класса А400, отвечающая требованиям ГОСТ 5781–82, или классов А500 и А600 по ГОСТ 34028–2016. Допускается применение проволоки гладкого профиля класса В500 по ГОСТ 6727. Для продольного армирования стальных каркасов рекомендуется использовать стержневую арматуру классов А400 и А500 по ГОСТ 34028. Допускается применение стержней гладкого профиля диаметром 6–8 мм из сталей класса А240 по ГОСТ 34028 или ГОСТ 5781;
- для труб с полимерной футеровочной облицовкой на внутренней поверхности чехлы футеровки следует изготавливать из полиэтилена низкого давления (ПЭ) по ГОСТ 16338–85 или полипропилена (ПП) по ГОСТ 26996–86. Футеровочные чехлы свариваются из листов толщиной не менее 3 мм с анкерующими элементами для крепления чехла в бетоне.

Общие рекомендации пособия по выполнению расчета бетонных и железобетонных труб соответствуют требованиям норм и заключаются в следующем.

Расчеты выполняются по предельным состояниям I и II групп. Расчет сечений железобетонных труб следует производить на основе нелинейной деформационной модели или на основе предельных усилий. Расчеты труб выполняются с использованием трехлинейной диаграммы деформирования бетона на действие эквивалентной нагрузки, приложенной по образующей, применяемой при испытании труб методом нагружения (ГОСТ 20054–2016; ГОСТ 6482–2011).

Расчет и конструирование бетонных труб для заданной глубины заложения сводится к подбору толщины t ее стенки в цилиндрической части и класса бетона на осевое растяжение B_t или при заданной толщине стенки t – к подбору класса бетона B_t с проверкой прочности трубы.

Расчет и конструирование железобетонной трубы при заданной глубине ее заложения и толщине цилиндрической части сводится, как правило, к подбору рабочей спиральной и продольной арматуры с проверкой величины раскрытия трещин в бетоне при контрольной нагрузке.

Расчетная методика, изложенная в пособии, позволяет проектировать бетонные и железобетонные трубы с учетом фактических геологических условий строительного объекта и заданных условий их укладки.

Важнейшим вопросом при проектировании трубопроводов является сбор и определение нагрузок на трубы.

В пособии приведена классификация и методика определения нагрузок на трубы для трех основных способов их открытой укладки: в траншею, в насыпь и в прорезь на различные типы оснований, в том числе ниже уровня грунтовых вод. Грунты засыпки и грунты оснований трубопроводов условно разделены на четыре группы (I–IV), для каждой из которых приведены соответствующие деформационные характеристики.

Нагрузки, действующие на трубы, подразделяются на постоянные и временные. К постоянным нагрузкам относятся собственный вес трубы и давление грунта засыпки (вертикальное и горизонтальное).

Временные нагрузки подразделяются на нагрузки длительного и кратковременного действия. К временным нагрузкам длительного действия относятся гидростатическое давление грунтовых вод и вес транспортируемой жидкости. К кратковременным нагрузкам относятся давление, передающееся через грунт от подвижной нагрузки нерегулярного движения автомобильного транспорта максимального класса АК11 под нагрузку Н11 (вертикальное и горизонтальное), и вертикальное давление, передающееся через грунт от равномерно-распределенной нагрузки на поверхности 5 кН/м^2 (в местах, где движение транспорта невозможно). Следует отметить, что трубы не рассчитывают на временные нагрузки длительного действия от регулярного движения автотранспорта, так как согласно п. 6.7.1 СП 32.13330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения» пересечения самотечными (безнапорными) канализационными подземными трубопроводами из любых материалов (кроме чугунных труб) автомобильных дорог любых категорий должны устраиваться в футлярах, например, железобетонных.

В пособии приведены расчетные формулы для определения нагрузки от собственного веса круглой трубы и трубы с подошвой в зависимости от геометрических размеров поперечного сечения и удельного веса материала.

Нагрузка от вертикального и горизонтального давлений грунта засыпки на трубы зависит от способа их укладки. При строительстве трубопроводов открытым способом применяют следующие методы укладки труб: в траншею или в насыпь на грунтовое непрофилированное, или профилированное, или железобетонное основание, а также в прорезь на песчаную подушку. В пособии приведены характеристики грунтов засыпки труб по группам грунта. Даны рекомендации по степени послойного уплотнения грунта в пазах траншеи; рекомендации по назначению ширины дна и крутизны откосов траншеи. Приведены расчетные формулы для определения вертикального

и горизонтального давлений в зависимости от условий укладки труб, высоты засыпки трубы грунтом, диаметра трубы и др.

Нагрузка от гидростатического давления грунтовых вод представляет собой равнодействующую от равномерного давления, равного напору воды над трубой, и давления, вызывающего всплытие. В пособии приведена расчетная зависимость величины нагрузки от гидростатического давления грунтовых вод от внешнего диаметра трубы.

Нагрузка от давления транспортируемой жидкости представляет собой равнодействующую давления на внутреннюю поверхность трубы и зависит от уровня наполнения трубопровода и внешнего диаметра трубы. В пособии представлена расчетная зависимость для вертикальной нагрузки от атмосферных сточных и бытовых канализационных вод.

Нагрузка от автомобильного транспорта представлена передающимися через грунт засыпки на трубы горизонтальным и вертикальным давлениями от временных подвижных нагрузок на поверхности земли. Максимальная допускаемая в расчетах труб нагрузка от автомобильного транспорта – класса АК11 (Н11). Давление от транспортных колесных средств класса АК11 (Н11) рассчитывается согласно рекомендациям СП 35.13330.2018 в зависимости от глубины засыпки грунта над верхом трубы. В пособии представлены расчетные формулы и табличные данные для вычисления равнодействующих расчетной вертикальной и горизонтальной нагрузок от воздействия транспортных средств в зависимости от величин соответствующих давлений, внешнего диаметра трубы, вида грунта основания трубопровода и степени уплотнения грунта засыпки. Для трубопроводов, прокладываемых в местах, где движение транспорта исключено, в качестве временной нагрузки на поверхности земли принимают равномерно-распределенную нагрузку интенсивностью 5 кН/м^2 .

Для упрощения расчетов и сопоставления расчетных нагрузок с фактической несущей способностью труб, полученной при их испытании нагружением по ГОСТ 8829–2018, каждая равнодействующая из вертикальных и горизонтальных нормативных (или расчетных) нагрузок Q_i приводится к эквивалентной линейной нагрузке, а их совместное действие – к вертикальной эквивалентной линейной нормативной нагрузке $P_{\text{ЭКВ}}$ или расчетной $P_{\text{ЭКВ}}^*$.

Внутренние усилия (изгибающие моменты) в продольных сечениях стенки трубы от действия вертикальных и горизонтальных нагрузок определяют как для кольцевых изгибаемых элементов, находящихся в условиях плоской деформации. Для практических целей рекомендуется выполнять статический расчет труб с использованием эквивалентной вертикальной линей-

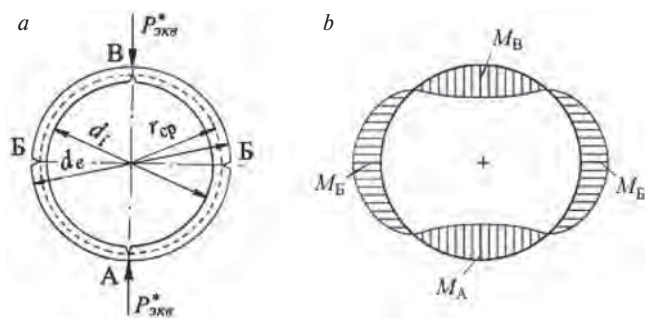


Рис. 1. Расчетная схема и эпюра изгибающих моментов в поперечном сечении стенки трубы: а – схема действия нагрузки P^* ; б – эпюра изгибающих моментов

Calculation scheme and the bending moments diagram in the cross-section of the pipe wall: а – scheme of the load P^* action; б – diagram of the bending moments

ной нагрузки P^* , действующей на трубу в верхней точке В (шелыга) и в нижней точке А (лоток) в противоположном направлении в качестве реакции отпора (рис., а). При этом допускается не учитывать горизонтальные нагрузки, частично разгружающие трубу.

Максимальный изгибающий момент в вертикальном диаметрально сечении единичной длины (рис., б) составит:

$$M_A = M_B = 0,318 \cdot P^* \cdot r_{cp};$$

в горизонтальном диаметрально сечении:

$$M_B = 0,182 \cdot P^* \cdot r_{cp},$$

где r_{cp} – радиус срединной поверхности трубы.

При расчете железобетонных труб по первой группе предельных состояний (при проверке прочности) в отсутствие воздействия агрессивных сред следует учитывать перераспределение изгибающего момента в стенке трубы на уровне вертикального и горизонтального диаметров:

$$M'_A = M'_B = M_B = 0,25 \cdot P^* \cdot r_{cp} \cdot b.$$

В случае воздействия средне- и сильноагрессивной среды расчетные изгибающие моменты принимаются без учета их перераспределения.

Расчет бетонных труб по первой группе предельных состояний выполняется как изгибаемого бетонного элемента из условия:

$$M_{max} \leq M_{ult} = \gamma_{bl} R_{bt} W,$$

где M_{max} – максимальный изгибающий момент, возникающий в лотке или шелыге трубы при наиболее неблагоприятном сочетании расчетных значений внешних нагрузок; $\gamma_{bl} = 0,9$ – коэффициент условий работы для бетонных конструкций; R_{bt} – расчетное сопротивление бетона растяжению; W – момент сопротивления прямоугольного продольного сечения трубы, в качестве которого допускается использовать упругопластический момент сопротивления сечения $W_{pl} = \frac{bt^2}{3,5}$.

В расчете прочности продольного сечения стенки железобетонной трубы как изгибаемого железобетонного элемента должно обеспечиваться условие:

$$M_{max} \leq M_{ult}$$

где M_{ult} – предельный расчетный изгибающий момент, который может быть воспринят продольным сечением стенки трубы, рассчитываемый для труб с одинарным или двойным каркасом в соответствии с требованиями СП 63.13330.2018.

Расчет железобетонных труб по второй группе предельных состояний сводится к проверке трещинообразования и ширины раскрытия трещин по методике СП 63.13330.2018 с учетом специфики труб, заключающейся в криволинейности их поперечного сечения. В формулу для расчета ширины раскрытия трещины вводится коэффициент, зависящий от диаметра трубы, существенно снижающий расчетную ширину раскрытия трещин для труб малого диаметра.

Принято, что предельно допустимая ширина раскрытия трещин $a_{crc,ult}$ не должна превышать значений:

- 0,2 мм для труб, укладываемых открытым способом (кроме укладываемых в насыпях);
- 0,3 мм для труб, укладываемых в насыпях;
- 0,1 мм для труб, монтируемых микротоннелированием.

В пособии приведены подробные рекомендации по расчету и конструированию армирования железобетонных труб с одинарным и двойным спиральным каркасом для открытой укладки.

Для расчета железобетонных труб, монтируемых методом микротоннелирования (закрытой проходкой), в пособии приведена методика определения нагрузок вертикального и горизонтального давлений грунта в соответствии с рекомендациями СП 102.13330.2012 «СНиП 2.06.09–84 Туннели гидротехнические», а также методика определения продольных усилий в поперечных кольцевых сечениях стенки трубы. Расчет кольцевых сечений производят на действие продольных усилий, передающихся на трубы при их проталкивании за проходческим комплексом по условно прямолинейному или криволинейному участку тоннеля (СТО НОСТРОЙ 2.17.66–2012 «Освоение подземного пространства. Коллекторы и тоннели канализационные. Требования к проектированию, строительству, контролю качества и приемке работ»). В пособии приведены необходимые данные для выполнения расчета: коэффициенты снижения усилия продавливания для различных грунтов, коэффициенты трения и адгезии материала трубы с грунтом и т. д. Приведены рекомендации по выполнению расчета труб на прямолинейных и криволинейных участках трубопроводов.

Бетонные и железобетонные трубы с плоской подошвой, используемые при открытой укладке трубопроводов, более эффективны по сравнению с трубами, имеющими цилиндрическую опорную наружную поверхность, так как подвергаются существенно меньшим эквивалентным нагрузкам и не требуют тру-

доемкого устройства профилированного основания. Такие трубы проектируют с одинарным спиральным каркасом или с несколько более экономичным овоидальным каркасом. В пособии приведены рекомендации по конструированию труб с плоской подошвой.

Трубы с внутренней полимерной облицовкой используются в трубопроводах, транспортирующих агрессивные жидкости, например хозяйственно-бытовые канализационные. В расчете прочности труб с полимерным чехлом изгибающий момент в горизонтальном диаметральной сечении должен определяться с учетом наличия и типа облицовки. Этот момент не должен превышать момента трещинообразования бетона с учетом его упругопластической работы.

Изложенные в пособии методики иллюстрируются подробными примерами расчета:

1. Расчет бетонной трубы диаметром условного прохода $d_i=600$ мм с плоской подошвой, укладываемой в траншею с высотой засыпки $H=2,2$ м суглинком (группа Г-III).

2. Расчет железобетонной трубы для открытой укладки диаметром условного прохода $d_i=600$ мм без подошвы с толщиной цилиндрической части $t=65$ мм, 3-й группы по несущей способности, армированной одинарным спиральным каркасом. Труба для трубопровода, транспортирующего слабоагрессивные жидкости, укладывается на грунтовое (супесь, группа Г-III) профилированное основание с углом охвата $2\alpha^\circ=90^\circ$.

3. Расчет железобетонной трубы с подошвой диаметром условного прохода $d_i=2000$ мм с толщиной стенки в цилиндрической части $t=200$ мм, 3-й группы по несущей способности, армированной двойным спиральным каркасом, для трубопровода, транспортирующего слабоагрессивные жидкости. Труба укладывается на утрамбованный грунт (супесь, группа Г-III) выше уровня грунтовых вод.

4. Расчет железобетонной трубы для микротоннелирования внутренним диаметром $d_i=1500$ мм типа Т (рядовая), монтируемой в трубопроводе на глубине $H=8$ м с использованием бентонитового раствора, закачиваемого в затрубное пространство. Трубопровод для транспортирования слабоагрессивных жидкостей прокладывается в грунтах с коэффициентом крепости $f=0,2$. Максимальное расстояние между домкратными шахтами не превышает 150 м.

5. Расчет бетонной трубы с внутренней полимерной облицовкой диаметром условного прохода $d_i=800$ мм с плоской подошвой, укладываемой в траншею с высотой засыпки $H=4$ м суглинком (группа Г-III). Труба укладывается на утрамбованный грунт для безнапорного трубопровода ливневой канализации, расположенного выше уровня грунтовых вод. В качестве полимерной облицовки используются по-

липропиленовые листы толщиной $t_{\text{л}}=4$ мм с анкерами типа V-LOCK высотой $t_a=13$ мм.

Во всех представленных примерах выполнено уточнение геометрических параметров трубы; выполнен расчет нагрузок на трубу; определены расчетные усилия, а также контрольные испытательные нагрузки. В примерах расчета бетонных труб в результате выполненных расчетов определен минимальный класс бетона по прочности на растяжение. В примерах расчета железобетонных труб в результате выполненных расчетов подобрано спиральное и продольное армирование, проведена проверка величины раскрытия трещин.

Список литературы

1. Клейн Г.К. Расчет труб, уложенных в земле. М.: Госстройиздат, 1957. 195 с.
2. Клейн Г.К. Расчет подземных трубопроводов. М.: Стройиздат, 1969. 240 с.
3. Попов А.Н. Бетонные и железобетонные трубы. М.: Стройиздат, 1973. 269 с.
4. Виноградов С.В. Расчет подземных трубопроводов на внешние нагрузки. М.: Стройиздат, 1980. 135 с.
5. Сенкевич Т.П., Рагольский С.З., Померанец В.Н. Железобетонные трубы / Под ред. С.З. Рагольского. М.: Стройиздат, 1989. 272 с.
6. Лисов В.М. Дорожные водопропускные трубы. М.: «ТИМР», 1998. 140 с.
7. Пособие по проектированию водоотводных и дренажных систем. М.: ФАУ ФЦС. 2019. https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp35_2019.pdf

References

1. Klein G.K. Raschet trub, ulozhennyh v zemle [Calculation of pipes laid in the ground]. Moscow: Gosstroyizdat. 1957. 195 p.
2. Klein G.K. Raschet podzemnyh truboprovodov [Calculation of underground pipelines]. Moscow: Stroyizdat. 1969. 240 p.
3. Popov A.N. Betonnye i zhelezobetonnye truby [Concrete and reinforced concrete pipes]. Moscow: Stroyizdat. 1973. 269 p.
4. Vinogradov S.V. Raschet podzemnyh truboprovodov na vneshnie nagruzki [Calculation of underground pipelines for external loads]. Moscow: Stroyizdat. 1980. 135 p.
5. Senkevich T.P., Ragolsky S.Z., Pomeranets V.N. Zhelezobetonnye truby [Reinforced concrete pipes]. Moscow: Stroyizdat. 1989. 272 p.
6. Lisov V.M. Dorozhnye vodopropusknye truby [Road culverts]. Moscow: «TIMR». 1998. 140 p.
7. Posobie po proektirovaniyu vodootvodnyh i drenaznyh system [Manual for the design of water drainage and drainage systems]. Moscow: FAU FCS. 2019. https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp35_2019.pdf (In Russian).

Требования к подготовке научно-технической статьи

Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера (до пяти журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Жилищное строительство» для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНиПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.
2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.
3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.
4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние **2-3 года** в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.
2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние пять лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

Технические требования к предоставляемым материалам

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc или *.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) предоставляется отдельными файлами и должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.cdr, *.ai, *.eps соответственно. Все шрифты в кривых. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 85 мм по ширине, цветовая модель **Grayscale** .

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом не менее 100 слов на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы», ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»[®] был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf

