

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0005-9889

# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

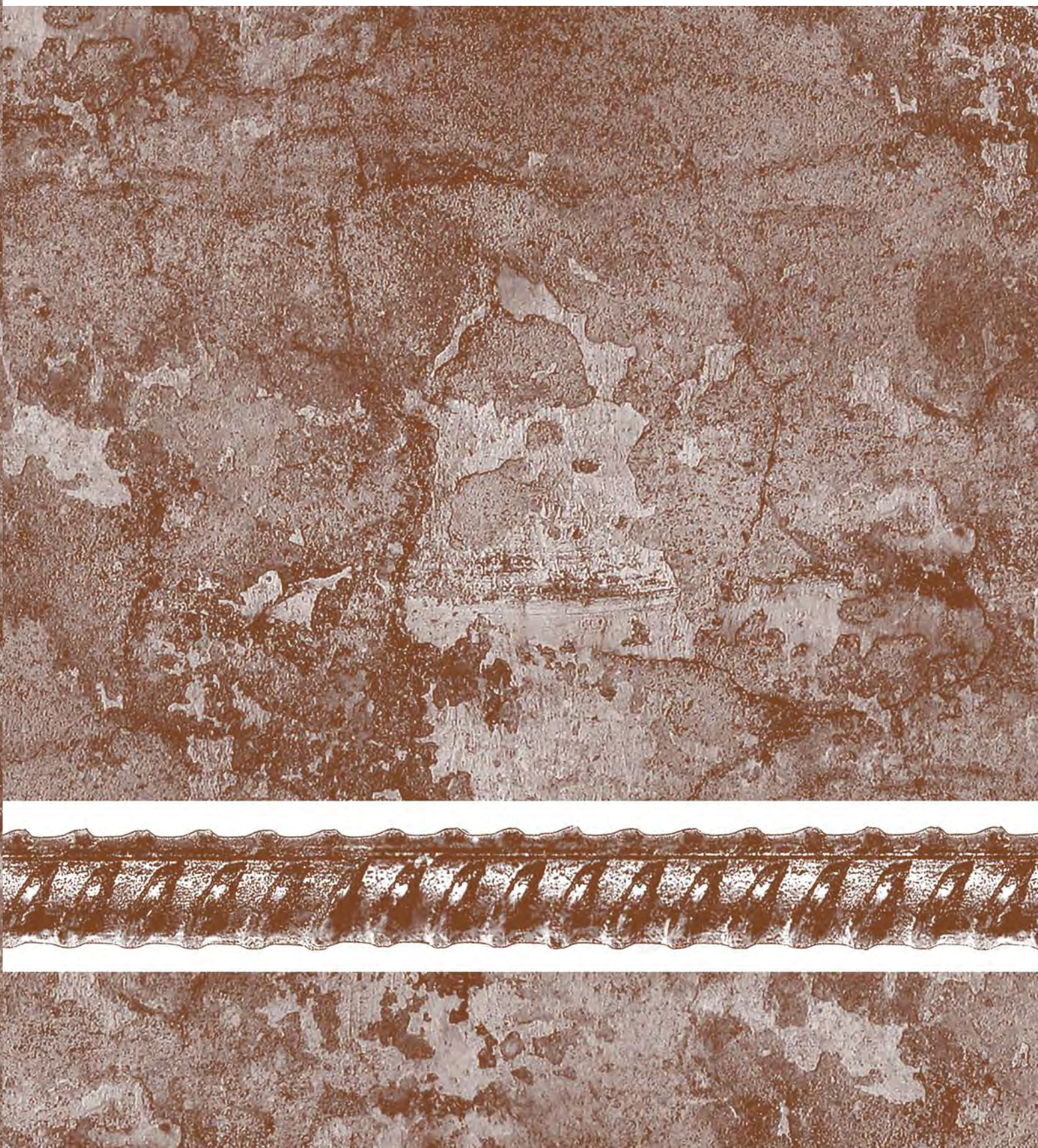
5-6

607-608

2021

WWW.RIFSM.RU

ИЗДАЕТСЯ С 1955 ГОДА



# !!! Не забудьте подписаться !!!

## на журнал «БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН»



www.rifsm.ru

ISSN 0005-9889

Индекс **85502**

по объединенному каталогу «Пресса России» <https://www.pressa-rf.ru>

На электронную версию можно подписаться

- через редакцию, прислав заявку на e-mail [rifsm@mail.ru](mailto:rifsm@mail.ru)  
[oorifsm@mail.ru](mailto:oorifsm@mail.ru)
- на сайтах наших партнеров: [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)  
[www.delpress.ru](http://www.delpress.ru)  
[www.ivis.ru](http://www.ivis.ru)  
[www.rucont.ru](http://www.rucont.ru)



Реквизиты **ООО РИФ "СТРОЙМАТЕРИАЛЫ"**

Р/счет **40702810238320101351** К/счет **30101810400000000225**

Банк: **ПАО СБЕРБАНК**

в **Г. МОСКВА** ИНН **7702023918** КПП **771401001** БИК: **044525225**

Поставщик	<b>ООО РИФ "СТРОЙМАТЕРИАЛЫ"</b>	К реестру №
адрес	<b>125319, Москва г., Черняховского ул., дом 9, корп. 1, кв. 1</b>	
телефон	<b>(499) 976-22-08</b>	
Грузополучатель	Акцептован	Дата получения
адрес		
Плательщик		

СЧЕТ № **Счет 240/ПБиЖ-red**

Подписка на журнал "Бетон и железобетон" на 2022 г (выходит 6 номеров за год)	компл	1	8'400.00	-	8'400.00	8'400.00
почтовые услуги	компл	1	1'200.00	-	1'200.00	1'200.00

Всего к оплате: **9'600.00**

Девять тысяч шестьсот рублей 00 копеек

М.П.

НДС не облагается

Выписал

Абакумова Т.А.



Для оплаты данного счета: заполните бланк (название организации, адрес, поставьте дату и передайте счет в вашу бухгалтерию).

В платежном поручении нужно указать «Оплата по счету 240/ПБиЖ-red от (ваша дата)»

**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)  
 Основан: Институт НИИЖБ Госстроя СССР и ВНИИЖелезобетон Минстройматериалов СССР

# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Издается с 1955 г.

**5–6 (607–608)  
 сентябрь—декабрь 2021**

И.С. КУЗНЕЦОВА, В.Г. РЯБЧЕНКОВА, С.П. МИЮСОВ, В.В. ФОМИН <b>Дом Советов — за или против?</b> . . . . .	<b>3</b>
Йост Вальравен <b>Комбинированный способ защиты и усиления железобетонных конструкций для продления их срока службы: ICCP-SS</b> . . . . .	<b>13</b>
В.В. БЕДАРЕВ, Н.В. БЕДАРЕВ, А.В. БЕДАРЕВ <b>Разъяснения принципиальных аспектов разрушения бетона в контактном слое на основе базовых положений общей теории сцепления и анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне</b> . . . . .	<b>16</b>
В.В. ДЬЯЧКОВ, В.Д. ТЕРИН, С.Б. ШУМИЛОВ, Е.В. ЧИНОКАЛОВ <b>Оптимизация химического состава свариваемой арматуры класса А500С по ГОСТ 34028–2016</b> . . . . .	<b>25</b>
И.С. КУЗНЕЦОВА, В.Ф. СТЕПАНОВА, А.В. БУЧКИН, С.П. МИЮСОВ, Д.В. АКОПЯН <b>Исследования поведения бетонных плит с арматурой композитной полимерной при пожаре</b> . . . . .	<b>32</b>
А.Н. БОЛГОВ, С.И. ИВАНОВ, А.З. СОКУРОВ, А.В. НЕВСКИЙ <b>Практическая методика расчета прочности узлов сопряжения железобетонных колонн и плит из бетонов разных классов по прочности</b> . . . . .	<b>38</b>
В.В. БЕЛОВ <b>Оптимизация зернового состава и влажности сырьевой смеси в технологии гиперпрессованного бетонного кирпича</b> . . . . .	<b>44</b>
В.В. РЕМНЁВ <b>Возможности применения грунтобетонов для изготовления фундаментных и дорожных плит</b> . . . . .	<b>48</b>
А.И. САГАЙДАК, Е.С. БОРОВКОВА <b>Отечественные нормативные документы по применению метода акустической эмиссии в строительстве. Перспективы дальнейшей стандартизации</b> . . . . .	<b>52</b>
С.А. ЗЕНИН, Р.Ш. ШАРИПОВ, О.В. КУДИНОВ <b>Исследование работы штепсельных стыков в крупнопанельных конструктивных системах зданий</b> . . . . .	<b>60</b>
В.В. МАЛЮК, В.Д. МАЛЮК, С.Н. ЛЕОНОВИЧ <b>Методика обследования железобетонных конструкций портовых сооружений (о. Сахалин)</b> . . . . .	<b>67</b>
<b>Указатель статей, опубликованных в журнале «БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН» в 2021 г.</b> . . . . .	<b>75</b>

## 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 государственной технической 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 государственной технической 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)

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

# BETON I ZHELEZOBETON

Published since 1955

**5-6 (607-608)  
 September—December'2021**

I.S. KUZNETSOVA, V.G. RYABCHENKOVA, S.P. MIUSOV, V.V. FOMIN <b>House of Soviets – for or Against?</b> . . . . .	<b>3</b>
Joost Walraven <b>Synthesized Intervention Method to Prolong Service Life of Reinforced Concrete Structures: ICCP-SS</b> . . . . .	<b>13</b>
V.V. BEDAREV, N.V. BEDAREV, A.V. BEDAREV <b>Explanations of the Principal Aspects of Concrete Destruction in the Contact Layer Based on the Basic Provisions of the General Theory of Adhesion and Anchoring of Periodic Profile Reinforcement in Concrete</b> . . . . .	<b>16</b>
V.V. DYACHKOV, V.D. TERIN, S.B. SHUMILOV, E.V. CHINOKALOV <b>Optimization of the Chemical Composition of the Welded Reinforcement of Grade A500W According to GOST 34028–2016</b> . . . . .	<b>25</b>
I.S. KUZNETSOVA, V.F. STEPANOVA, A.V. BUCHKIN, S.P. MIUSOV, D.V. AKOPYAN <b>Studies of the Behavior of Concrete Slabs with Composite Polymer Reinforcement in Case of Fire</b> . . . . .	<b>32</b>
A.N. BOLGOV, S.I. IVANOV, A.Z. SOKUROV, A.V. NEVSKII <b>Practical Method for Calculating the Strength of Reinforced Concrete Columns and Slabs Joints Made of Concrete of Different Strength Grades</b> . . . . .	<b>38</b>
V.V. BELOV <b>Optimization of Grain Composition and Moisture Content of the Raw Mix in the Technology of Hyper-Pressed Concrete Bricks</b> . . . . .	<b>44</b>
V.V. REMNEV <b>Possibilities of Using Soil-Concrete for the Manufacture of Foundation and Road Slabs</b> . . . . .	<b>48</b>
A.I. SAGAYDAK, E.S. BOROVKOVA <b>Domestic Regulatory Documents on the Application of the Acoustic Emission Method in Construction. Prospects for Further Standardization</b> . . . . .	<b>52</b>
S.A. ZENIN, R.Sh. SHARIPOV, O.V. KUDINOV <b>Research of Plug Connections in Large-Panel Structural Systems of Buildings</b> . . . . .	<b>60</b>
V.V. MALYUK, V.D. MALYUK, S.N. LEONOVICH <b>Methods of Inspection of Reinforced Concrete Structures of Port Installations (Sakhalin Island)</b> . . . . .	<b>67</b>

**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)
- GRANYOV 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)
- NESVETAEV 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)
- FALKIMAN 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 624.012.45

И.С. КУЗНЕЦОВА<sup>1</sup>, канд. техн. наук (1747139@mail.ru),  
В.Г. РЯБЧЕНКОВА<sup>1</sup>, заместитель заведующей лабораторией (1747139@mail.ru),  
С.П. МИУСОВ<sup>1</sup>, мл. науч. сотрудник (spmiusov@mail.ru);  
В.В. ФОМИН<sup>2</sup>, заместитель генерального директора (fominvladimir@list.ru)

<sup>1</sup> Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона – НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6)  
<sup>2</sup> АО «Корпорация развития Калининградской области» (236023, г. Калининград, ул. Красная, 63А)

## Дом Советов – за или против?

Приведены обобщенные результаты обследования здания Дома Советов (г. Калининград) – уникального «долгостроя», строительство которого было начато в 1970 г. Обосновано ограниченно работоспособное состояние здания с элементами аварийности. Причины дефектов и повреждений обусловлены низким качеством строительно-монтажных работ, отсутствием консервации объекта и длительными воздействиями морского климата на строительные конструкции; вандальными действиями из-за отсутствия охраны объекта; повреждениями конструкций вследствие попыток проведения реконструкции объекта промежуточными собственниками с нарушением требований строительных норм.

**Ключевые слова:** строительные конструкции, комплексное обследование, Дом Советов, техническое состояние, ограниченная работоспособность, дефекты и повреждения.

**Для цитирования:** Кузнецова И.С., Рябченкова В.Г., Миусов С.П., Фомин В.В. Дом Советов – за или против? // Бетон и железобетон. 2021. № 5–6 (607–608). С. 3–12.

I.S. KUZNETSOVA<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (1747139@mail.ru),

V.G. RYABCHENKOVA<sup>1</sup>, Deputy head of laboratory (1747139@mail.ru),

S.P. MIUSOV<sup>1</sup>, Junior Researcher; V.V. FOMIN<sup>2</sup>, Deputy General Director (fominvladimir@list.ru)

<sup>1</sup> Research, Design and Technological Institute of 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)

<sup>2</sup> “Corporation for the Development of the Kaliningrad Region” JSC (63A, Krasnaya Street, Kaliningrad, 236023, Russian Federation)

### House of Soviets – for or Against?

The article summarizes the results of the survey of the building of the House of Soviets - a unique long-term construction with the start of building in 1970. The limited operable condition of the building with accident elements is justified. The causes of defects and damages are due to the low quality of construction and installation work, lack of conservation, long-term climatic effects of the marine climate on building structures; vandal actions due to the lack of security of the facility; damage to structures due to attempts to reconstruct the facility by intermediate owners in violation of building standards.

**Keywords:** building structures, comprehensive examination, House of Soviets, technical condition, emergency, limited operability, defects and damages.

**For citation:** Kuznetsova I.S., Ryabchenkova V.G., Miusov S.P., Fomin V.V. House of Soviets – for or against? *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 5–6 (607–608), pp. 3–12. (In Russian).

Калининград – самый западный областной центр и морской порт Российской Федерации, «маленькая Германия» на российских просторах или кусочек России в сердце Европы, город весьма притягательный для туристов всего мира. Несмотря на непоправимый урон, нанесенный городу в период Великой Отечественной войны (бомбежки англичан полностью уничтожили старую центральную часть города на острове Канта), некоторые островки исторического прошлого все-таки остались в современном Калининграде и создают его неповторимый колорит.

Калининградцы бережно хранят в памяти историю своего города и неизменно на открытках и сувенир-

ных магнитиках изображается Королевский замок, которого уже давно нет (он был окончательно уничтожен в 1968 г.), по соседству с руинами которого возвышается местная достопримечательность и антидостопримечательность (мнения калининградцев расходятся) – Дом Советов (рис. 1) [1].

История здания Дома Советов является своеобразным ностальгическим символом советской эпохи с уникальной историей «долгостроя», строительство которого было начато еще в 1970 г. [2].

Проект Дома Советов разработан коллективом ЦНИИЭП зрелищных и спортивных зданий и сооружений им. Б.С. Мезенцева, мастерской № 2 (архи-



Рис. 1. Здание Дома Советов в г. Калининграде  
Fig. 1. Building of the House of Soviets in Kaliningrad

текторы Ю.А. Моторин, Ю.Л. Шварцбрейм, Л.В. Мисожников, Г.А. Кучер) [2]. С архитектурной точки зрения здание Дома Советов является монументальным образцом эпохи советского конструктивизма и доминантой центра города на пересечении улицы Шевченко и Ленинского проспекта, на берегу реки Преголи.

По первоначальному замыслу, Дом Советов должен был представлять собой 28-этажное здание, состоящее из двух высотных прямоугольных башен, облицованных рельефными панелями и объединенных в двух уровнях крытыми переходами. Площадь перед зданием планировалось благоустроить: разместить на ней фонтаны, цветники и даже концертный зал под открытым небом. Здание предназначалось для администрации Калининградского обкома КПСС и облисполкома.

Поскольку в период возведения здания выяснилось, что грунты в этой части города нестабильные, в проект были внесены изменения и вместо 28-этажного здание стало 21-этажным.

Возведение объекта осуществлялось строительной организацией СМУ-4 объединения «Калининградстрой». Срок ввода в эксплуатацию – IV квартал 1988 г. Строили Дом Советов всем миром: фанеру завозили из Финляндии, дерево-алюминиевые

окна – из Подмоскovie, алюминиевые витражи – из Воронежа, металлоконструкции – из Белоруссии, облицовочный камень доломит – из Эстонии и т. п.

Во второй половине 80-х гг., когда здание было готово на 95% (по сведениям участников строительства), начались проблемы с финансированием стройки, и к 1991 г. строительные работы были приостановлены без консервации и охраны объекта. Несколько десятилетий доступ в Дом Советов был свободным, в здании царствовали вандализм, разруха, сборища неформалов и любителей граффити, дискотеки, разжигались костры, а верхние этажи и кровли использовались в качестве смотровых площадок с прекрасным видом на город. Здание ветшало, подвергаясь воздействию морского климата в условиях отсутствия консервации.

В период 1990–2000-х гг. приватизированное здание Дома Советов неоднократно переходило от собственника к собственнику, в результате чего в здании неоднократно производились локальные реконструкции, но соответствующая проектная документация и сам проект Дома Советов со временем были утрачены полностью.

С июня 2019 г. собственником здания является ООО «ДС» – структура, относящаяся к действующему руководству г. Калининграда. Стремясь исправить сложившуюся неблагоприятную ситуацию с архитектурным обликом центральной площади Калининграда, современное руководство города поставило задачу реанимации Дома Советов, планируя размещение в нем администрации города.

Такой достаточно длинный ракурс в историю Дома Советов необходим для осмысления причин его текущего технического состояния [3].

В конце 2019 г. по инициативе руководства города был объявлен конкурс на выполнение работ по комплексному обследованию строительных конструкций и инженерных коммуникаций здания Дома Советов на предмет определения его технического состояния и возможности осуществления реконструкции. В январе–марте 2020 г. специалистами акционерного общества «Научно-исследовательский центр «Строительство» (г. Москва) по результатам электронных торгов было проведено комплексное обследование технического состояния строительных конструкций и инженерных коммуникаций здания Дома Советов.

Перед экспертами был поставлен широкий спектр задач, включая исследование свойств грунтов, геодезические работы с применением 3D-сканирования, выполнение поверочных расчетов с учетом фактических свойств строительных материалов, обследование состояния строительных конструкций с выявлением дефектов и повреждений, восстановление

архитектурных чертежей, анализ соответствия здания требованиям современных градостроительных норм, разработку рекомендаций по восстановлению здания с экономической оценкой затрат.

По результатам проведенного обследования в соответствии с ГОСТ 31937–2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» была определена категория ограниченно-работоспособного технического состояния строительных конструкций здания Дома Советов с элементами аварийности. В существующем техническом состоянии здание признано непригодным для дальнейшей безопасной эксплуатации и не отвечающим требованиям ст. 7 и 8 Федерального закона № 384-ФЗ по механической и пожарной безопасности [4, 5]. В строительных конструкциях выявлены множественные дефекты и повреждения, снижающие их несущую способность, имеются аварийные конструкции, требуется проведение противоаварийных мероприятий и восстановительных работ в значительных объемах. Экономически обосновано, что стоимость работ по реконструкции и приведению Дома Советов в работоспособное состояние превышает в разы стоимость разборки и возведения нового аналогичного здания.

По результатам обследования возникла дилемма: что делать с Домом Советов? Разбирать или проводить дорогостоящую реконструкцию?

Для формирования какого-либо мнения и принятия однозначного решения далее приводятся выдержки из многотомных отчетов по результатам комплексного обследования [6].

Конструктивные решения 21-этажного здания Дома Советов запроектированы с большим запасом прочности и устойчивости, были рассчитаны, как говорят, на века. Здание было запроектировано по типу сталинских высоток: сталежелезобетонный каркас с применением стальных жестких профилей с монолитной армированной обетонировкой, жестким сопряжением и замоноличиванием узлов.

Фундаментом здания служит мощная монолитная железобетонная плита по свайному основанию (1148 свай) [2], на которой устроен 7-этажный стилобат с развитой подземной частью осевыми размерами в плане 67,2×72,6 м. На стилобате возведены две симметричные 14-этажные башни каркасного типа осевыми размерами в плане 12×48 м. Высота здания 71,5 м от нулевой отметки уровня земли.

Каркас стилобатной части предусмотрен из сталежелезобетонных колонн двутаврового (толщина металла 30–40 мм) и крестообразного (толщина металла 20 мм) сечений по индивидуальным проектным решениям, сборных железобетонных перекрытий по стальным и сборным железобетонным балкам.

Каркасы двух башен выполнены в сборном железобетоне по типовой серии ИИ-04. Восемь наружных сталежелезобетонных колонн стилобата являются опорами консольных участков башен. В уровне шестого технического этажа стилобата предусмотрен мощный обвязочный пояс из металлоконструкций ферм и балок-стенок из толстолистового металла (30–40 мм) на высоту этажа, а также обвязочных балок по периметру стилобата, жестко сопряженных с наружными фасадными колоннами стилобата.

В конструктивной схеме здания предусмотрены четыре ядра жесткости, симметрично расположенные в зонах лестнично-лифтовых узлов (ЛЛУ) и шахт лифтов (ШЛ) от подвала на всю высоту здания, выполненные в монолитном железобетоне с армированием жесткими вертикальными и наклонными металлическими элементами, стержневой арматурой и горизонтальными балками швеллерного и двутаврового сечений [6].

Приступая к обследованию, на первом этапе эксперты столкнулись с проблемой полной утраты проектной и исполнительной документации [7]. Ее поиски в Московском центральном архиве и во всевозможных архивах г. Калининграда были безрезультатными. По утверждению участников строительства, непосредственно передававших документацию, вся проектная и исполнительная документация с описью была передана в архив города после приостановления строительства, но по неизвестным причинам оказалась полностью утраченной.

На момент обследования рулонные кровли и водостоки здания Дома Советов пришли в полную эксплуатационную непригодность, остекление на фасадах было повреждено или отсутствовало, что способствовало проникновению атмосферной влаги и осадков внутрь здания и периодическому замачиванию конструкций практически круглогодично в сочетании с циклическим сезонным процессом замораживания-оттаивания в условиях влажного морского климата Калининграда.

В результате вандальных действий в период «простоя» здания утрачена внутренняя отделка практически всех помещений, частично сохранились фрагменты плиточного пола, облицовки стен, балконов и колонн стилобатной части. От ранее смонтированных внутренних коммуникаций и инженерных систем остались только фрагменты труб и проводок. Оборудование шахт лифтов находится в нерабочем состоянии либо утрачено по причине вандальных действий. Шахты лифтов завалены мусором в уровнях подвала и первого этажа стилобата. Заполнение дверных проемов и витражей утрачено. Остекление оконных проемов и балконов либо отсутствует, либо имеет 100% физический износ.



**Рис. 2.** Облицовка колонны подвала в осях 4/Б пустотелым кирпичом  
**Fig. 2.** Facing the basement column in axes 4/B with hollow brick



**Рис. 3.** Центральная колонна подвала омоноличена рыхлым бетоном с включениями строительного мусора  
**Fig. 3.** The central column of the basement is cast with loose concrete with inclusions of construction debris



**Рис. 4.** Состояние металла колонны подвала в осях 4/Б после вскрытия кирпичной облицовки  
**Fig. 4.** The state of the metal of the basement column in the 4/B axes after opening the brick cladding

В ходе обследования здания определены основные причины возникновения дефектов и повреждений в строительных конструкциях Дома Советов [9–12]:

- низкое качество строительно-монтажных работ и примененных строительных материалов и изделий, вероятно, по причине слабого инспекционного контроля качества СМР в период строительства;
- длительные воздействия морского климата на строительные конструкции вследствие отсутствия консервации объекта;
- вандальные действия из-за отсутствия консервации и охраны объекта;
- последствия попыток проведения реконструкции объекта промежуточными собственниками с нарушением требований строительных норм.

Низкое качество строительно-монтажных работ и примененных строительных изделий обусловило следующие дефекты монтажа несущих конструкций [8].

Металлические колонны каркаса стилобата не имеют обетонировки, кроме фасадных колонн и двух колонн подземной части. Обетонировка остальных колонн либо отсутствует, либо выполнена некачественно. Стальные колонны каркаса крестообразного сечения либо заложены кирпичной кладкой из пустотелого и силикатного кирпича (рис. 2), либо заделаны некачественным бетоном или цементно-песчаным раствором с включениями строительного мусора и пустотами, либо не имеют отделки (рис. 3). При вскрытии



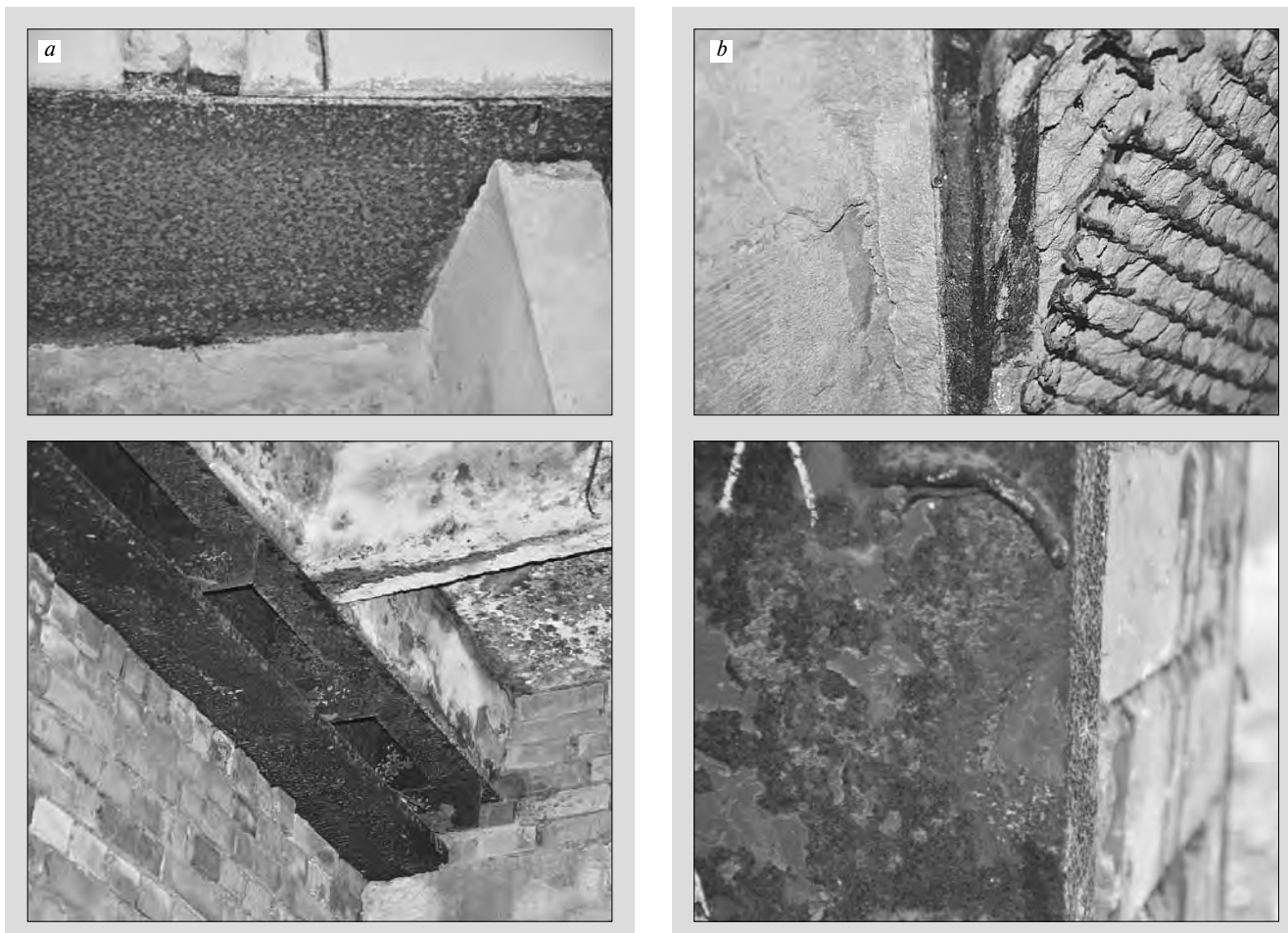
**Рис. 5.** Стенки двутавровых колонн заложены кирпичной кладкой, металл полок подвергается сплошной язвенной коррозии  
**Fig. 5.** The walls of the I-beams are laid with brickwork, the metal of the shelves is subject to continuous pitting corrosion



**Рис. 6.** Характерная закладка кирпичами стенки балки (а) и узла сопряжения балок с колонной (b)  
**Fig. 6.** Typical brick laying of the beam wall (a) and the junction of the beams with the column (b)







**Рис. 7.** Язвенная коррозия балки (а) и двутавровой колонны (b) в подвальной части стилобата  
**Fig. 7.** Pitting corrosion of a beam (a) and an I-beam (b) in the basement of the stylobate

кирпичной облицовки на поверхности металла крестообразных колонн наблюдалась язвенная и питтинговая коррозия, местами переходящая в слоистую, металлические поверхности колонн влажные (рис. 4), так как пустотелый кирпич удерживает атмосферную влагу от длительного воздействия протечек.

Стенки двутавровых колонн заложены кирпичной кладкой, металл полок подвергается сплошной язвенной коррозии (рис. 5).

Обетонировка металлических балок каркаса стилобата повсеместно отсутствует. Аналогично колоннам, стенки металлических двутавровых балок (рис. 6, а) и узлы сопряжения балок с колоннами (рис. 6, b) заложены пустотелым кирпичом либо не имеют отделки. Некоторые узлы оштукатурены раствором, что имитирует обетонировку. В стенках некоторых балок вырезаны непроjektные отверстия для пропуска временной электрической проводки.

Длительные климатические воздействия внесли свой вклад в существующее состояние строительных конструкций Дома Советов.

Практически во всех помещениях и на всех этажах строительные конструкции находились длительный

период во влажном состоянии в сухой сезон года и в мокром состоянии во влажный сезон. Целостность гидроизоляционного покрытия кровель повсеместно повреждена, кровли балконов заросли деревьями и кустарником.

Закладка стенок металлоконструкций колонн и балок, а также узлов их сопряжения пустотелым кирпичом, хорошо впитывающим и удерживающим влагу при свободном проникновении воды с кровли и отсутствии заполнения оконных проемов, способствовала интенсивному развитию процессов коррозии металла в условиях влажного морского климата. Практически повсеместно металлические поверхности конструкций, как наружные, так и под кирпичной обделкой, имеют значительные коррозионные повреждения вследствие мокрой и влажной атмосферной коррозии с образованием конденсата на поверхности металла. Степень коррозионного повреждения металла под увлажненной кирпичной кладкой больше, чем на открытых участках металлических поверхностей. При этом в металлоконструкциях и узлах их сопряжения присутствуют все виды коррозии: сплошная язвенная и питтинговая, местами пе-



**Рис. 8.** Отсутствие приварки закладных деталей ребристых плит с закладными деталями ригелей вследствие их смещения. Малая ширина зоны опирания плит на ригели  
**Fig. 8.** Lack of welding of embedded parts of ribbed plates with embedded parts of girders due to their displacement. Small width of the bearing zone of the slabs on the girders



**Рис. 9.** Повреждения целостности многопустотных плит в зонах проходок коммуникаций  
**Fig. 9.** Damage to the integrity of hollow-core slabs in the communication penetration zones



**Рис. 10.** Поперечные сквозные трещины и недопустимый прогиб плиты перекрытия  
**Fig. 10.** Transverse through cracks and unacceptable deflection of the floor slab

реходящие в слоистую коррозию (рис. 7, а). Металл сердечников большинства колонн в зоне вскрытий кирпичной кладки находился в обильно увлажненном состоянии (рис. 7, b).

Металлоконструкции и металлические элементы узлов сопряжений не имеют огнезащитной покраски, что делает их уязвимыми к пожару и не соответствует требованиям пожарной безопасности Федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

В ходе геодезической съемки выявлены смещения и отсутствие приварки закладных деталей плит к ригелям, смещения опорных зон плит перекрытия с полок ригелей (рис. 8), превышающие строительные допуски, что свидетельствует о неудовлетворительном качестве монтажа конструкций каркаса, не обеспечи-

вает жесткость диска перекрытия, снижает функцию перекрытий как плоских диафрагм жесткости.

Опасные дефекты, грозящие внезапным обрушением, выявлены в опорных зонах сборных многопустотных плит перекрытий на первом и втором этажах стилобата: зоны опирания некоторых плит составляют 20–30 мм при длине сварного шва закладных деталей 10–15 мм.

Повсеместно на всех этажах здания наблюдаются дефекты в сборных железобетонных конструкциях [13] следующего характера:

- механические сколы граней ригелей и плит перекрытия;
- сквозные продольные, поперечные и косые трещины в сборных плитах перекрытий;
- оголение и коррозия арматуры плит;



**Рис. 11.** Аварийные участки перекрытий с разрушениями балок и плит  
**Fig. 11.** Emergency floor areas with destruction of beams and slabs





**Рис. 12.** Характерное состояние металла балок балконов третьего (а) и четвертого этажей (b)  
**Fig. 12.** Typical state of the metal of the beams of the balconies of the 3rd (a) and 4th (b) floors

– множественные сквозные отверстия в полках ребристых плит и фрагментарное разрушение плит в местах прокладки коммуникаций (рис. 9);

– уклоны и перепады отметок нижних поверхностей смежных плит перекрытий, превышающие допуски;

– недопустимые прогибы плит (рис. 10);

– узлы опирания плит на металлические балки выполнены через металлические уголки, не имеющие ребер жесткости и подверженные сплошной язвенной коррозии;

– на аварийных участках перекрытий коррозия и разрушение бетона сборных балок, обрушение нижних поясов многопустотных плит перекрытий (рис. 11);

– недостаточная толщина защитного слоя бетона сборных плит перекрытий и балок, приведшая к его раннему разрушению, оголению и коррозии арматуры (рис. 10, 12), что связано с применением некачественных железобетонных изделий заводского изготовления.

Особого внимания заслуживают аварийные участки конструкций балконов и подземной части стилобата, ферм покрытия над стилобатом. Металлоконструкции балконов подвержены язвенной и питтинговой коррозии сечения на 50% (рис. 12), наблюдаются повреждения целостности сварных швов, некачественно выполненные узлы сопряжения металлоконструкций с подрезами соединительных элементов, коррозия металла ферм покрытия над центральным конференц-залом (рис. 12, b; 13).



**Рис. 13.** Характерное состояние металла фермы покрытия центральной части стилобата

**Fig. 13.** Typical state of the metal of the truss covering the central part of the stylobate

Повсеместно наблюдается неудовлетворительное качество сварных соединений элементов металлоконструкций и узлов их сопряжения с колоннами и плитами: недостаточная высота катетов сварных швов, наплывы и цепочки пор, сужения швов и асимметрия катетов, неравномерная чешуйчатость швов, а также недостаточная длина сварных швов, недопустимые зазоры и подрезы соединяемых элементов. Сварные швы также подвержены поверхностной и язвенной коррозии на глубину до 500 мкм.

Неквалифицированные попытки реконструкций объекта некоторыми собственниками оставили разрушительные последствия в конструкциях: в подвальной части три мощные, параллельно расположенные, монолитные диафрагмы жесткости имеют сквозные вертикальные трещины на всю высоту этажа вследствие пробивки отверстий для ввода коммуникаций (рис. 14). При этом перерезаны профили жесткого армирования диафрагм (рис. 15). Также разрушена часть плит



**Рис. 14.** Сквозные вертикальные трещины в диафрагмах жесткости в зоне ввода коммуникаций

**Fig. 14.** Through vertical cracks in stiffening diaphragms in the area of entry of communications



**Рис. 15.** В диафрагме перерезан жесткий профиль

**Fig. 15.** A rigid profile is cut in the diaphragm



**Рис. 16.** Разрушение плиты перекрытия в зоне прокладки труб

**Fig. 16.** Destruction of the floor slab in the area of pipe laying

перекрытия шестого этажа стилобата в местах прокладки труб (рис. 16).

Далее возможно продолжение перечисления всех видов дефектов, выявленных в здании Дома Советов. Проще этот объект охарактеризовать как наглядное учебное пособие для студентов вузов, в котором представлены все возможные виды дефектов и повреждений, или своеобразной «энциклопедией дефектов».

Следует отметить, что в здании Дома Советов осталось множество недоступных для обследования мест без частичной разборки элементов конструкций (разборка конструкций не входила в техническое задание экспертов) и по этой причине возможно наличие скрытых дефектов, которые могут усугубить техническое состояние здания.

Оценка категории технического состояния здания Дома Советов произведена с учетом результатов обследования и поверочных расчетов строительных конструкций, выполненных на основе пространствен-

ной модели [14]. При этом учитывались фактические значения прочностных характеристик материалов, наличие дефектов и повреждений.

Анализ результатов поверочных расчетов позволил утверждать, что конструктивные решения в комбинировании металлических и сборных ж/б элементов, принятые при проектировании высотного для 70-х гг. здания Дома Советов, имели значительный запас ресурса по несущей способности и устойчивости конструкций. Именно этот ресурс позволил сохраниться зданию в устойчивом состоянии до настоящего времени при отсутствии мероприятий по консервации и должному уходу за объектом в течение длительного периода времени (около 30 лет). Однако в настоящее время большинство конструкций стилобата находятся в состоянии, близком к предельному. Значительная часть конструкций требует усиления или замены. В существующем техническом состоянии здания возможен прогрессирующий характер обрушения пролетов в пределах «грузовых площадей» этих элементов.

*Отсутствие в настоящий момент эксплуатационных нагрузок в здании Дома Советов является основным фактором безопасности от чрезвычайных ситуаций, а результаты проведенного комплексного обследования и расчетного обоснования выявили необходимость выполнения противоаварийных и восстановительных мероприятий для большинства конструкций.*

Все вышеперечисленные результаты и доводы неминуемо приводят к заключению о рекомендации сноса здания ввиду его состояния.

Выполненные укрупненные расчеты сметной стоимости СМР для определения экономической целесообразности выбора одного из двух альтернативных вариантов приведения здания в работоспособное состояние: путем сноса и строительства нового здания с аналогичными параметрами или путем его реконструкции показали большую затратность финансовых средств на восстановление здания путем его реконструкции. Реконструкция здания в 3–4 раза дороже его сноса и нового строительства.

Разработанный перечень мероприятий и последовательность их при реконструкции показали, что для Дома Советов реконструкция будет довольно долгим процессом, который может затянуться на десятилетия в силу объективных причин [15].

Приступая к обследованию, эксперты были уверены, что восстановить можно любое здание. Но освидетельствованное техническое состояние Дома Советов привело в недоумение, каким образом можно «испортить» монументальный проект высотного здания эпохи советского конструктивизма столь низким качеством строительства.

В заключение необходимо отметить, что любое здание, будь то памятник истории, архитектуры или рядовое здание, в первую очередь должно обеспечивать безопасность жизнедеятельности людей во всех ее проявлениях. На страже этой безопасности стоят строительные нормы. Следует также отметить тот факт, что конструктивная схема здания Дома

Советов не удовлетворяет современным требованиям строительных норм в части обеспечения доступа, безопасного передвижения, жизнедеятельности и эвакуации малоподвижных категорий населения (инвалидов) согласно ст. 15 Федерального закона от 24.11.1995 № 181-ФЗ «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации».

## References

### Список литературы

1. Дроздова А. Снести или сделать памятником? // Газета «Новый караван», Калининград. <https://o-kallipiga.livejournal.com/5154.html>
2. Арбузов В. Живой Кёнигсберг: Как возник Дом Советов // Информационно-аналитический портал Калининграда. <https://kgd.ru/news/livekenig/item/16421-zhivoj-kyonigsberg-specialnyj-proekt-kaliningradru-kak-voznik-dom-sovetov>
3. Соломонов В.В., Кузнецова И.С. Особенности экспертизы зданий и сооружений в современных условиях // *Бетон и железобетон*. 2002. № 4 (517). С. 7–8.
4. Соломонов В.В., Милованов А.Ф., Кузнецова И.С. Высотные здания: проблемы безопасности // *Строительный эксперт*. 2006. № 21 (232).
5. Кузнецова И.С., Рябченкова В.Г. Противопожарные нормы – основа пожарной безопасности зданий и сооружений // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 1. С. 38–41.
6. Заключение по комплексному обследованию технического состояния административного здания, расположенного по адресу: г. Калининград, Ленинский проспект, д. 81а. Инв. №3/31908426164-2020/НИЦ, АО «НИЦ «Строительство, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. Москва, 2020.
7. Гроздов В.Т. Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений. СПб.: ВИТУ, 1998. 203 с.
8. Исследование влияния качества изготовления, монтажа и эксплуатации железобетонных конструкций на их несущую способность: Сборник научных трудов НИИЖБ Госстроя СССР. М., 1986. 99 с.

1. Drozdova A. To demolish or make a monument? // *Gazeta «Noviy caravan»*, Kaliningrad. <https://o-kallipiga.livejournal.com/5154.html> (In Russian).
2. Living Koenigsberg: How the House of Soviets came into being // Information and analytical portal of Kaliningrad. <https://kgd.ru/news/livekenig/item/16421-zhivoj-kyonigsberg-specialnyj-proekt-kaliningradru-kak-voznik-dom-sovetov> (In Russian).
3. Solomonov V.V., Kuznetsova I.S. Features of the examination of buildings and structures in modern conditions. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 2002. No. 4 (517), pp. 7–8. (In Russian).
4. Solomonov V.V., Milovanov A.F., Kuznetsova I.S. High-rise buildings: security problems. *Stroitel'nyy ekspert*. 2006. No. 21 (232).
5. Kuznetsova I.S., Ryabchenkova V.G. Fire safety standards are the basis for fire safety of buildings and structures. *Promishlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017. No. 1, pp. 38–41. (In Russian).
6. Conclusion on a comprehensive survey of the technical condition of the administrative building located at the address: Kaliningrad, Leninsky Prospect, 81a. Inv. No. 3/31908426164-2020/NIC, JSC Scientific Research Center Construction, NIIZhB named after A.A. Gvozdev. Moscow, 2020. (In Russian).
7. Grozdov V.T. Tekhnicheskoye obsledovaniye stroitel'nykh konstruksiy zdaniy i sooruzheniy [Technical inspection of building structures of buildings and structures]. SPb.: VITU. 1998. 203 p.
8. Investigation of the influence of the quality of manufacture, installation and operation of reinforced concrete structures on their bearing capacity. Collection of scientific works of the NIIZhB Gosstroy of the USSR. Moscow. 1986. 99 p.
9. Grozdov V.T. Metody tekhnicheskogo obsledovaniya, defekty i usileniye zhelezobetonnykh i kamennykh konstruksiy [Technical inspection methods, defects and reinforcement of reinforced concrete and stone structures]. Leningrad: LVVISU. 1986. 68 p.
10. Grozdov V.T. Defekty konstruksiy krupnopanel'nykh zdaniy, snizhayushchiye nesushchuyu sposobnost' zdaniy, i ikh ustraneniye [Defects in structures of large-panel buildings that reduce the bearing capac-

9. Гроздов В.Т. Методы технического обследования, дефекты и усиление железобетонных и каменных конструкций. Л.: ЛВВИСУ. 1986. 68 с.
10. Гроздов В.Т. Дефекты конструкций крупнопанельных зданий, снижающие несущую способность зданий, и их устранение. СПб.: ВВИСУ, 1993. 96 с.
11. Гроздов В.Т. Дефекты каменных зданий и методы их устранения. СПб.: ВВИСУ, 1994. 146 с.
12. Физдель И.А. Дефекты в конструкциях, сооружениях и методы их устранения. М.: Стройиздат, 1987. 336 с.
13. Гроздов В.Т. Дефекты стыков колонн в каркасах серии ИИ-04 и 1.020-1 и влияние их на несущую способность колонн // *Известия вузов: Строительство*. 1991. № 10. С. 3.
14. Гроздов В.Т. Поверочные расчеты элементов строительных конструкций при техническом обследовании зданий и сооружений. СПб.: ВВИСУ, 1994. 88 с.
15. Гроздов В.Т. Вопросы строительства зданий после длительного перерыва в производстве строительно-монтажных работ. СПб.: ВИСИ, 1995. 56 с.
16. Grozdov V.T. Defekty kamennykh zdaniy i metody ikh ustraneniya [Defects of stone buildings and methods of their elimination]. SPb.: VVISU. 1993. 96 p.
17. Grozdov V.T. Defekty kamennykh zdaniy i metody ikh ustraneniya [Defects of stone buildings and methods of their elimination]. SPb.: VVISU. 1994. 146 p.
18. Fizdel' I.A. Defekty v konstruksiyakh, sooruzheniyakh i metody ikh ustraneniya. [Defects in structures, structures and methods for their elimination] Moscow: Stroyizdat, 1987. 336 p.
19. Grozdov V.T. Defects of column joints in frames of the series II-04 i 1.020-1 and their influence on the bearing capacity of the columns. *Izvestiya vuzov: Stroitel'stvo*. 1991. No. 10. p. 3. (In Russian).
20. Grozdov V.T. Poverochnyye raschety elementov stroitel'nykh konstruksiy pri tekhnicheskom obsledovanii zdaniy i sooruzheniy. [Verification calculations of building structure elements during technical inspection of buildings and structures]. SPb.: VVISU. 1994. 88 p.
21. Grozdov V.T. Voprosy stroitel'stva zdaniy posle dlitel'nogo pereryva v proizvodstve stroitel'no-montazhnykh rabot [Building construction issues after a long break in construction and installation work]. SPb.: VISI. 1995. 56 p.

**СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

**Книга «Теоретические основы белизны и окрашивания керамики и портландцемента»**

Авторы – Зубехин А.П., Яценко Н.Д., Голованова С.П.

В книге представлены теоретические основы белизны и окрашивания керамических строительных материалов и белого портландцемента (БПЦ) с позиции теории цветности силикатных материалов в зависимости от их фазово-минерального состава, структуры, содержания хромофоров Fe, Mn и Ti, условий обжига и охлаждения (окислительных или восстановительных).

Установлены закономерности зависимости белизны, цвета и особенности окрашивания как пигментов, так и твердых растворов бесцветных фаз ионами-хромофорами от структуры, изовалентного или гетеровалентного изоморфизма, образования окрашивающих кластеров. Разработаны эффективные способы управления белизной и декоративными свойствами строительных керамических материалов (фарфора, фаянса, облицовочной плитки, кирпича) и белого портландцемента.



**Книга «Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий»**

Авторы – Балакшин Ю.Э., Терехов В.А.

Описано производство и применение стеновых материалов методом вибропрессования из цементно-песчаных бетонов. Рассмотрена существующая и перспективная номенклатура изделий и их свойства. Даны характеристики сырьевым материалам – песку, щебню, вяжущим и химическим добавкам и рекомендации по подбору состава бетонной смеси. Подробно представлена технология производства цементно-песчаных вибропрессованных стеновых изделий. Особое внимание уделено технологическому контролю на производстве и техническому контролю и обслуживанию оборудования. Книга предназначена для организации производственного-технического обучения на предприятии, будет полезна инженерно-техническому персоналу и широкому кругу специалистов.



**Тел.: (499) 976-22-08, 976-20-36**

**E-mail: mail@rifsm.ru**

## Дорогие читатели!

По соглашению с Секретариатом Международной федерации по конструкционному бетону *fib* ([www.fib-international.org](http://www.fib-international.org)) редколлекцией официального журнала *fib* «Structural Concrete» («Конструкционный бетон») и издательством Wiley (<https://www.wiley.com/>) редакция открывает в журнале «Бетон и железобетон» серию публикаций «SHORT PROJECT PAPERS» («Короткие статьи о проектах») на русском языке.

*fib* «Structural Concrete» является одним из ведущих зарубежных отраслевых изданий. Журнал выпускается издательством Ernst&Sohn (Wiley Group), индексируется WoS и Scopus и имеет импакт-фактор 3.131. ISSN: 1464-4177 (печатная версия); 1751–7648 (online).

Журнал публикует высококачественные рецензируемые статьи, посвященные проектированию, возведению, эксплуатационным характеристикам, оценке, техническому обслуживанию, усилению и сносу железобетонных конструкций, а также освещает более широкие проблемы, например оценку воздействия железобетона на окружающую среду. Почти половина публикуемых в журнале работ связана с практическими задачами, такими как способы производства строительных работ и анализ конкретных проектов; другая половина включает в себя результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Значительная часть публикаций связана с создаваемым *fib* Модельным кодексом проектирования железобетонных конструкций.

Каждый выпуск «Structural Concrete» включает также ежеквартальный информационный бюллетень *fib* «*fib-news*», в котором содержится актуальная информация от секретариата *fib* и последние новости о событиях в *fib*, его членах и новых публикациях.

Начиная с 2018 г. журнал публикует новый тип статей для поддержки строителей-практиков и содействия их работе — «SHORT PROJECT PAPERS». Они предназначены для описания значимых уже реализованных проектов или проектов, находящихся на стадии разработки. Размер таких статей ограничен четырьмя страницами. Для их рецензирования по сравнению с обычными статьями используется упрощенный процесс.

В 2007 г. издательство John Wiley&Sons («Джон Уайли и сыновья» <https://www.wiley.com/>) отметило двухсотлетие своего существования. На протяжении всех двухсот лет оно тесно связано с развитием и эволюцией науки, формированием глобального общества. Сегодня John Wiley&Sons снабжает своей продукцией читателей во всем мире. В центре интересов корпорации издание научных, технических и медицинских журналов, энциклопедий, книг, а также онлайн-продукция и услуги. Компания выпускает учебную, научную, научно-популярную литературу и беллетристику. В ее структуры входят различные издательства и торговые дома не только в США, но и Канаде, Европе, Азии, Австралии.

Редакция журнала «Structural Concrete» заинтересована в публикации статей российских авторов о наиболее интересных реализованных в России проектах, уникальных зданиях и сооружениях, теоретических и экспериментальных исследованиях, направленных на совершенствование норм проектирования в развитие *fib* Model Code 2010.

Предложения и пожелания о подготовке таких публикаций просьба направлять в адрес Национальной группы *fib*.

Руководитель Национальной группы *fib*  
Почетный пожизненный член *fib*  
**В.Р. Фаликман**  
[vfalikman@yandex.ru](mailto:vfalikman@yandex.ru)

Йост Вальравен, факультет гражданского строительства ([jcwalraven@hotmail.com](mailto:jcwalraven@hotmail.com))  
<https://orcid.org/0000-0003-3243-8878>

Делфтский технологический университет (PO Box 5, 2600 AA Delft, The Netherlands)

## Комбинированный способ защиты и усиления железобетонных конструкций для продления их срока службы: ICCP-SS

Оригинальная статья: *Synthesized intervention method to prolong service life of reinforced concrete structures: ICCP-SS. Structural Concrete. 2021. Vol. 22, pp. 590–592. <https://doi.org/10.1002/suco.202000261>*

Joost Walraven, Faculty of Civil Engineering ([jcwalraven@hotmail.com](mailto:jcwalraven@hotmail.com))  
<https://orcid.org/0000-0003-3243-8878>  
Delft University of Technology (PO Box 5, 2600 AA Delft, The Netherlands)

**Synthesized intervention method to prolong service life of reinforced concrete structures: ICCP-SS**

Original paper: *Synthesized intervention method to prolong service life of reinforced concrete structures: ICCP-SS. Structural Concrete. 2021. Vol. 22, pp. 590–592. <https://doi.org/10.1002/suco.202000261>*

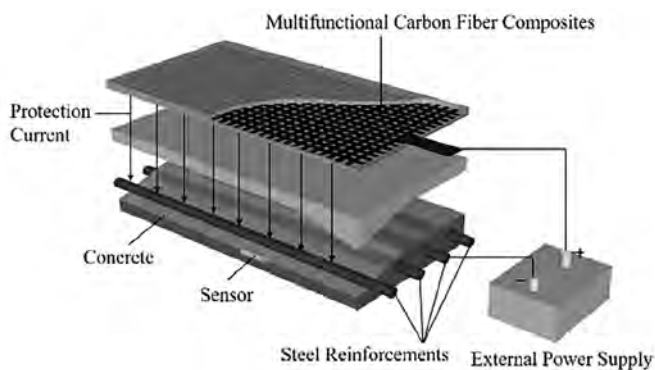


Рис. 1. Схематическое изображение подаваемого тока система катодная защита – усиление конструкции (ICCP-SS)

Fig. 1. Schematic representation of the impressed current cathodic protection-structural strengthening (ICCP-SS) system

Достоверному определению окончания срока службы конструкций в настоящее время уделяется большое внимание. В совершенствование моделей диффузии хлоридов, карбонизации, воздействия замораживания и оттаивания и щелочной реакции заполнителя вкладываются значительные усилия.

Однако не менее важным является вопрос продления срока службы существующих конструкций, которые подвержены износу и уже потеряли часть своей несущей способности из-за коррозии арматурной стали. В таком случае конструкция может быть усилена внешним армированием с применением композитных полимерных материалов, армированных волокном (FRP). Кроме того, процесс коррозии может быть остановлен с помощью защитных мер, таких как катодная защита. Большой интерес для исследователей представляет вопрос объединения усиления и катодной защиты в одной системе. Это возможно реализовать в случае, когда упрочняющий материал, обычно представляющий собой углепластик (CFRP), приклеенный к бетону адгезивом (эпоксидной смолой), мог бы одновременно использоваться в системе катодной защиты в качестве анода. Исследовательская группа, возглавляемая проф. Джи-Хуа Чжу из Шэньчжэньского университета в Китае, показала, что это реалистичный и очень перспективный вариант. Исследователи разработали комбинированный метод защиты и усиления, называемый ICCP-SS, где ICCP означает катодную защиту наложенным током, а SS – усиление конструкции.

### Основы ICCP-SS

Для усиления бетонных конструкций часто используют внешнее армирование композитными материалами. Они состоят из большого количества непрерывных ориентированных волокон, обычно



Рис. 2. Установка катодной системы приложенного тока система защиты и усиления конструкций (ICCP-SS) опор авто-страды Гуанчжоу–Шэньчжэнь

Fig. 2. Installation of impressed current cathodic protection-structural strengthening (ICCP-SS) system on piers of the Guangzhou-Shenzhen highway

встроенных в полимерную матрицу. Углепластики (CFRP) являются перспективными материалами, выполняющими двойную функцию: с одной стороны, они характеризуются высокой прочностью, малым весом и хорошей долговечностью, поэтому подходят для усиления. С другой стороны, они обладают электропроводящими свойствами, поэтому одновременно могут функционировать как анод в системе катодной защиты. Углеродное волокно существенно дешевле, чем титан, типичный материал для ICCP. На рис. 1 схематически представлена система ICCP-SS. Показана часть обычной железобетонной балки со стальными арматурными стержнями внизу. В верхней части композит из углеродного волокна соединяется с бетоном, чтобы усилить бетонный элемент и в то же время действовать в качестве анода в системе защиты (рис. 1).

Если слой углепластика будет прикреплен к бетону традиционным способом с помощью эпоксидной смолы, система будет функционировать плохо, поскольку сочетание углепластика и эпоксидной смолы не обладает проводимостью, что препятствует прохождению тока к арматуре через бетон. Однако в исследовании [1] в качестве альтернативы FRP – эпоксидной смолы представили адгезив на основе цементного вяжущего для снижения затрат и повышения долговечности. По сравнению с традицион-



ной эпоксидной смолой цементный раствор обладает собственными выгодными характеристиками, такими как хорошая электропроводность, высокая долговечность, простота монтажа, высокая огнестойкость и простая обратимость, т. е. возможность отменить ремонт без ущерба для первоначальной конструкции.

Кроме того, химические, физические и механические свойства цементных адгезивов совместимы со свойствами бетонной основы. Путем встраивания сетки из углеродной ткани в цементный раствор получается цементный композит, армированный углеродной тканью (C-FRCM), который в гораздо большей степени способен выполнять преследуемую двойную функцию усиления и защиты.

### Исследование

Эффективность ICCP существенно зависит от выбора анода, который определяет электропроводность и скорость расходования, обусловленную рядом экологических и эксплуатационных факторов. Поэтому выбор наиболее подходящего материала анода и применение надлежащего тока будут в значительной степени способствовать предотвращению или минимизации повреждений анода, таких как его чрезмерный расход или потеря сцепления с бетоном.

Испытания колонн с корродированной арматурной сталью, защищенных системой ICCP-SS, показали, что система успешно работала как в отношении ее защитной функции, так и в отношении функции усиления [2–4].

Функциональность углепластикового анода была исследована в модельной системе ICCP с электродом, состоящим из 3% раствора NaCl, раствора NaOH и моделируемой поровой жидкости. С одной стороны, углепластик мог стабильно работать во всех трех растворах, и электрохимические характеристики существенно не снижались в течение 50 дней поляризации, когда приложенный ток достигал  $6,15 \text{ A/m}^2$ .

### Список литературы / References

1. Triantafyllou T.C., Papanicolaou C.G., Zissimopoulos P., Laourdekis T. Concrete confinement with textile-reinforced mortar jackets. *Aci Structural Journal*. 2006. Vol. 103(1):28.
2. Su M.N., Wei L.L., Zhu J.H., Ueda T., Guo G.P., Xing F. Combined impressed current cathodic protection and FRCM strengthening for corrosion-prone concrete structures. *Journal of Composites for Construction*. 2019. Vol. 23(4):04019021. DOI: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000949
3. Zhu J.H., Su M.N., Huang J.Y., Ueda T., Xing F. The ICCP-SS technique for retrofitting reinforced concrete compressive members subjected to corrosion. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 167, pp. 669–679. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.096
4. Zhu J.H., Chen P., Su M.N., Pei C., Xing F. Recycling of carbon fibre reinforced plastics by electrically driven heterogeneous catalytic degradation of epoxy resin. *Green Chemistry*. 2019. Vol. 21 (7), pp. 1635–1647. <https://doi.org/10.1039/C8GC03672A>

С другой стороны, результаты испытаний углепластика после поляризации показали, что его прочность при растяжении уменьшается с увеличением плотности заряда в моделируемой системе ICCP-SS. На основе этих первых испытаний был сделан вывод, что система ICCP-SS способна восстановить несущую способность конструкции, ранее сниженную коррозионной арматуры.

Применение ICCP-SS требует значительного количества углепластика. В интересах обеспечения устойчивого развития данного направления важно также предусмотреть вопрос утилизации отходов из углепластика. При исследовании деградации углепластикового анода выяснилось, что основным механизмом является разрушение полимерной матрицы. Это наблюдение приводит к новому методу переработки использованных композитов из углепластика, который позволяет восстанавливать волокно при атмосферном давлении и комнатной температуре.

Следовательно, новое изобретение эффективно справляется с уменьшением отходов углепластика за счет повторного использования его при производстве композитов из углепластика, стоимость которых намного ниже, чем у новых композитов, в то время как механические свойства одинаковы.

### Опытное применение

Система ICCP-SS была установлена в одном из доков Китайской транспортной компании и на шоссе Гуанчжоу–Шэньчжэнь в провинции Гуандун, Китай (рис. 2). После вмешательства расчетная скорость коррозии была снижена с  $6,5 \text{ мкм/г}$  до менее  $1,4 \text{ мкм/г}$ , в то время как несущая способность опор и балок одновременно увеличивалась на 30–40%. Функционирование системы ICCP-SS в этой практической среде контролируется во времени путем регистрации плотности тока коррозии и проверок (визуальных, ультразвуковых, акустических).

УДК 666.98

В.В. БЕДАРЕВ, канд. техн. наук (ooo-rigul@mail.ru), Н.В. БЕДАРЕВ, инженер, А.В. БЕДАРЕВ, инженер  
ООО «Ригул» (654080, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 99-318)

## Разъяснения принципиальных аспектов разрушения бетона в контактном слое на основе базовых положений общей теории сцепления и анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне

Представлено теоретическое обоснование изменения характера разрушения бетона контактного слоя в зоне анкеровки в зависимости от геометрических параметров периодического профиля арматуры в соответствии с базовыми положениями общей теории сцепления и анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне (ОТС). Приведен анализ результатов экспериментальных исследований, подтверждающих изменение характера и последовательности разрушения бетона в зоне анкеровки при изменении шага поперечных ребер кольцевого периодического профиля формы 1ф по ГОСТ 34028–2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия». Доказана возможность повышения сейсмостойкости железобетонных конструкций согласно ОТС при изменении геометрических размеров профиля и последовательности разрушения бетона в контактном слое. Приведено сравнение свойств арматуры с периодическими профилями по ГОСТ 34028–2016 и арматуры с профилем, соответствующим базовым положениям ОТС, и возможность снижения металлоемкости железобетона за счет включения в работу на растяжение поперечных ребер профиля.

**Ключевые слова:** характеристика профиля, прочность бетона, арматура, сейсмические воздействия, шаг поперечных ребер, высота ребра, ширина ребра, деформации втягивания.

**Для цитирования:** Бедарев В.В., Бедарев Н.В. Бедарев А.В. Разъяснения принципиальных аспектов разрушения бетона в контактном слое на основе базовых положений общей теории сцепления и анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне // *Бетон и железобетон*. 2021. № 5–6 (607–608). С. 16–24.

V.V. BEDAREV, Candidate of Sciences (Engineering) (ooo-rigul@mail.ru), N.V. BEDAREV, Engineer, A.V. BEDAREV, Engineer  
“Rigul” LLC (99-318, Kirova Street, Novokuznetsk, 654080, Russian Federation)

### Explanations of the Principal Aspects of Concrete Destruction in the Contact Layer Based on the Basic Provisions of the General Theory of Adhesion and Anchoring of Periodic Profile Reinforcement in Concrete

The theoretical substantiation of the change in the nature of concrete destruction of the contact layer in the anchoring zone depending on the geometric parameters of the periodic profile of the reinforcement in accordance with the basic provisions of the general theory of adhesion and anchoring of the reinforcement of the periodic profile in concrete (GTA) is presented. The analysis of the results of experimental studies confirming the change in the nature and sequence of concrete destruction in the anchoring zone when changing the pitch of the transverse ribs of the circular periodic profile of the form 1f according to GOST 34028–2016 “Reinforcing bars for reinforced concrete structures. Technical conditions” is made. The possibility of increasing the seismic resistance of reinforced concrete structures according to the GTA is proved when changing the geometric dimensions of the profile and the sequence of concrete destruction in the contact layer. The comparison of the properties of reinforcement with periodic profiles according to GOST 34028–2016 and reinforcement with a profile corresponding to the basic provisions of the GTA and the possibility of reducing the metal consumption of reinforced concrete due to including the transverse ribs of the profile in the stretching work is given.

**Keywords:** profile characteristics, concrete strength, reinforcement, seismic impacts, transverse rib pitch, rib height, rib width, retraction deformations.

**For citation:** Bedarev V.V., Bedarev N.V., Bedarev A.V. Explanations of the principal aspects of concrete destruction in the contact layer based on the basic provisions of the general theory of adhesion and anchoring of periodic profile reinforcement in concrete. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 5–6 (607–608), pp. 16–24. (In Russian).

Форма и геометрические параметры периодического профиля арматуры влияют на прочность сцепления и прочность анкеровки ее в бетоне железобетонных конструкций, обеспечивая стойкость последних, в том числе и при чрезвычайных ситуациях – сейсмических

воздействиях, техногенных авариях и катастрофах, террористических атаках. Взаимодействие арматуры периодического профиля с бетоном в рамках создания технической теории сцепления (ТТС) теоретически и экспериментально разрабатывалось в середине XX в.

Однако по объективным причинам расчет и оптимальные геометрические параметры периодического профиля арматуры и их влияние на стойкость железобетонных конструкций при чрезвычайных внешних воздействиях теоретически так и не были определены.

В СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01–2003 (с Изменением № 1)» используется расчетное сопротивление сцепления арматуры с бетоном  $R_{bond}$ , прямо зависящее от расчетного сопротивления бетона растяжению  $R_{bt}$ .

В расчете коэффициентом  $\eta_1$  учитывается влияние вида поверхности, а коэффициентом  $\eta_2$  влияние диаметра арматуры.

Расчет геометрических размеров периодического профиля арматуры обоснован и выполнен в [1, 2], где установлено, что геометрические размеры профиля влияют на характер разрушения анкеровки и стойкость железобетонных конструкций при чрезвычайных внешних воздействиях.

Общая теория сцепления и анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне (ОТС) основывается на двух базовых положениях.

Первое базовое положение – разделение характеров разрушения анкеровки. Экспериментально [3] доказано, что разрушение анкеровки арматуры в бетоне при выдергивании стержней происходит:

- по характеру разрушения «срез» при срезе бетона между поперечными ребрами арматуры;
- по характеру разрушения «раскол» при раскалывании бетонного образца.

В ОТС характер разрушения «срез» рассматривается как два характера разрушения бетона в контактном слое:

- разрушение бетона под рабочими площадками (боковыми поверхностями) поперечных ребер периодического профиля арматуры;
- разрушение бетона при срезе бетона части оснований бетонных опорных цилиндров между поперечными ребрами периодического профиля арматуры.

При разрушении анкеровки по характеру «срез» величина напряжений  $\sigma_s$  в арматуре при выдергивании стержней из бетона находится в зависимости от величины относительной площади смятия поперечных ребер периодического профиля  $f_R$ .

При разрушении анкеровки по характеру «раскол» величина напряжений  $\sigma_s$  в арматуре при выдергивании стержней из бетона не зависит от величины относительной площади смятия поперечных ребер  $f_R$  периодического профиля, а также от формы периодического профиля арматуры.

Второе базовое положение определяет напряженно-деформированное состояние бетонных опор-

ных цилиндров и характер разрушения бетона между поперечными ребрами арматуры периодического профиля.

В [4] показано, что взаимодействие между арматурой периодического профиля и бетоном происходит по опорным кольцевым площадкам поперечных выступов (ребер) арматуры, где между бетоном и арматурой возникают нормальные напряжения.

При характере разрушения «срез» в предельной стадии сцепление или контакт арматуры с бетоном сохраняются только по рабочим площадкам [4] (боковым поверхностям) поперечных ребер, а прочность анкеровки обеспечивается прочностью бетона под рабочими площадками (боковыми поверхностями) поперечных ребер и/или сопротивлением срезу бетона части оснований бетонных опорных цилиндров.

При достаточном поперечном армировании зоны анкеровки [1, 2]:

$$A_{sw} = \frac{R_s}{R_{sw}} \left( 2 \cdot A_s - \frac{d \cdot \sin \beta \cdot c \cdot R_{bt}}{4,5263 \cdot (1 + 0,4278 \cdot \log f_R) \cdot R_b} \right) \quad (1)$$

в зависимости от размеров шага поперечных ребер периодического профиля возможно разрушение бетона контактного слоя как в результате среза бетона оснований бетонных опорных цилиндров, так и в результате разрушения бетона под рабочими площадками (боковыми поверхностями) поперечных ребер.

Последовательность разрушения контактного слоя бетона определяется размерами шага поперечных ребер периодического профиля арматуры.

Рассмотрим взаимодействие арматуры и контактного слоя бетона в соответствии с базовыми положениями [1, 2] с учетом поперечного деформирования стержня при различных геометрических размерах периодического профиля арматуры, представленных на рис. 1, и влияние размеров профиля на стойкость железобетонных конструкций при сейсмических и других чрезвычайных воздействиях.

Для геометрических параметров периодического профиля арматуры на рис. 1,  $a$  – шаг  $t$  поперечных ребер, высота  $h$ , ширина в верхней  $b$  части, призматическая прочность бетона  $R_b$  и сопротивление бетона срезу  $R_{cp}$  находятся в следующих соотношениях:

$$B_A = \frac{t-b}{h} \leq B_B - 4 = \frac{R_b}{R_{cp}} = \frac{R_b}{0,7 \cdot \sqrt{R_b \cdot R_{bt}}}; \quad t \leq \frac{R_b}{R_{cp}} \cdot h + b. \quad (2)$$

При указанных геометрических параметрах периодического профиля арматуры напряжения в бетоне опорного цилиндра под рабочей площадкой (боковой поверхностью) поперечного ребра (линия  $a-\delta$ ) не до-

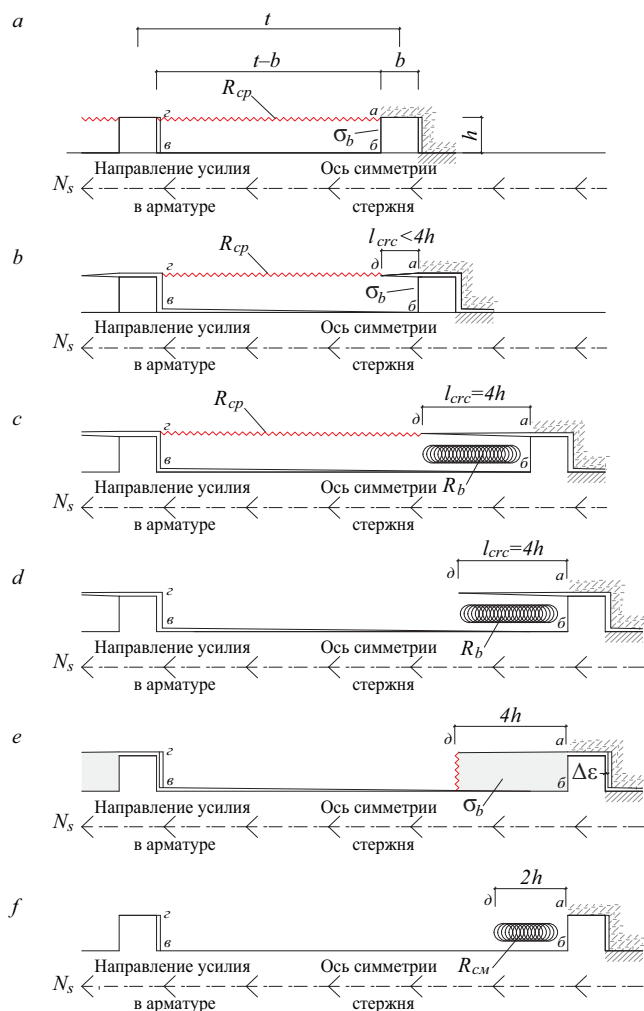


Рис. 1. Изменение характера разрушения бетона контактного слоя при увеличении шага поперечных ребер периодического профиля арматуры

Fig. 1. Changing the nature of the concrete destruction of the contact layer when increasing the pitch of the transverse ribs of the periodic profile of the reinforcement

стигают предельных значений прочности бетона при сжатии  $\sigma_b < R_b$ .

Трещины от угла рабочей площадки (боковой поверхности) поперечного ребра не образуются. Однако, в результате поперечных деформаций стержня арматуры, деформации растяжения бетона у угла рабочей площадки поперечного ребра (точка  $a$ ) могут быть близки к предельным  $\varepsilon_{br,0} \leq 0,0001$ .

Разрушение анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне происходит вследствие среза бетона основания бетонного опорного цилиндра по линии  $a-\zeta$ .

В результате среза бетона основания бетонного опорного цилиндра между поперечными ребрами происходит полное нарушение взаимной связи контактного слоя и бетонной оболочки, а анкеровка арматуры периодического профиля в бетоне разрушается полностью.

Такой характер разрушения анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне, например, при сейсмическом воздействии или другой чрезвычайной ситуации, приводит к тому, что после максимального внешнего воздействия происходит обрушение железобетонной конструкции.

Если же после максимального внешнего воздействия, одновременно не произошло разрушения железобетонной конструкции, то разрушение железобетонной конструкции обязательно произойдет в результате последующего воздействия афтершоков, даже и меньшей интенсивности.

Геометрические параметры периодического профиля арматуры, представленные на рис. 1,  $b$  – шаг  $t$  поперечных ребер, высота  $h$  и ширина в верхней  $b$  части, призменная прочность бетона  $R_b$  и сопротивление бетона срезу  $R_{cp}$  находятся в соотношениях:

$$B_B = \frac{R_b}{R_{cp}} + 4 = \frac{R_b}{0,7 \cdot \sqrt{R_b \cdot R_{bt}}} + 4 > B_A =$$

$$= \frac{t-b}{h} > B_B - 4 = \frac{R_b}{R_{cp}} = \frac{R_b}{0,7 \cdot \sqrt{R_b \cdot R_{bt}}};$$

$$\left( \frac{R_b}{R_{cp}} + 4 \right) \cdot h + b > t > \frac{R_b}{R_{cp}} \cdot h + b. \quad (3)$$

При данных геометрических параметрах периодического профиля арматуры напряжения в бетоне опорного цилиндра под рабочей площадкой (боковой поверхностью) поперечного ребра (линия  $a-b$ ) не достигают предельных значений прочности бетона при сжатии  $\sigma_b < R_b$ .

Однако происходит образование и развитие трещины от угла рабочей площадки (боковой поверхности) поперечного ребра. Длина трещины не превышает  $l_{crc} < 4h$ .

Разрушение анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне происходит вследствие среза бетона части основания бетонного опорного цилиндра по линии  $\delta-\zeta$ .

В результате среза бетона части основания бетонного опорного цилиндра (линия  $\delta-\zeta$ ) между поперечными ребрами анкеровка арматуры периодического профиля в бетоне разрушается полностью.

Такой характер разрушения анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне, например, при сейсмическом воздействии или другой чрезвычайной ситуации, также приводит к тому, что если после максимального внешнего воздействия, не произошло разрушения железобетонной конструкции, то разрушение железобетонной конструкции обязательно произойдет в результате последующего воздействия афтершоков, даже и при меньшей их интенсивности.

По сравнению с предыдущим случаем (рис. 1,  $a$ ), величина внешнего воздействия для разрушения анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне

будет превышать аналогичное значение внешнего воздействия пропорционально значениям характеристики профиля арматуры  $B_A = \frac{t-b}{h}$ .

Геометрические параметры периодического профиля арматуры на рис. 1,  $c$  – шаг  $t$  поперечных ребер, высота  $h$  и ширина в верхней  $b$  части, призматическая прочность бетона  $R_b$  и сопротивление бетона срезу  $R_{cp}$  находятся в следующих соотношениях [5]:

$$B_A = \frac{t-b}{h} = B_B = \frac{R_b}{R_{cp}} + 4 = \frac{R_b}{0,7 \cdot \sqrt{R_b \cdot R_{bt}}} + 4;$$

$$t = \left( \frac{R_b}{R_{cp}} + 4 \right) \cdot h + b. \quad (4)$$

При данных геометрических параметрах периодического профиля арматуры напряжения в бетоне опорного цилиндра под рабочей площадкой (боковой поверхностью) поперечного ребра (линия  $a-b$ ) достигают предельных значений прочности бетона при сжатии  $\sigma_b = R_b$ .

В результате поперечных деформаций арматуры происходит образование и развитие трещины от угла рабочей площадки (боковой поверхности) поперечного ребра. Длина трещины составляет  $l_{crc} = 4h$ .

Одновременно напряжения в бетоне части основания (линия  $\partial-z$ ) бетонного опорного цилиндра достигают предела прочности при срезе  $R_{cp}$ .

Представленный на рис. 1,  $c$  характер разрушения анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне при равенстве характеристики профиля  $B_A$  и характеристики прочности бетона  $B_B$  между поперечными ребрами  $B_A = B_B$  соответствует прочности анкеровки при максимальном внешнем воздействии.

Однако срез бетона части основания бетонного опорного цилиндра приводит к тем же последствиям, что и в предыдущих двух случаях.

На основании равенства характеристики профиля  $B_A$  и характеристики прочности бетона  $B_B$  производится расчет геометрических параметров периодического профиля арматуры для железобетонных конструкций, исходя из предельных значений прочности бетона контактного слоя между поперечными ребрами.

Геометрические параметры периодического профиля арматуры на рис. 1,  $d$  – шаг  $t$  поперечных ребер, высота  $h$  и ширина в верхней  $b$  части, призматическая прочность бетона  $R_b$  и сопротивление бетона срезу  $R_{cp}$  находятся в следующих соотношениях [6, 7]:

$$B_A = \frac{t-b}{h} > B_B = \frac{R_b}{R_{cp}} + 4 = \frac{R_b}{0,7 \cdot \sqrt{R_b \cdot R_{bt}}} + 4;$$

$$t > \left( \frac{R_b}{R_{cp}} + 4 \right) \cdot h + b. \quad (5)$$

Геометрические параметры периодического профиля арматуры, представленные на рис. 1,  $d$ , таковы, что при разрушении анкеровки напряжения в бетоне опорного цилиндра под рабочей площадкой (боковой поверхностью) поперечного ребра (линия  $a-b$ ) достигают предельных значений прочности бетона при сжатии  $R_b$ .

Напряжения же в бетоне части основания (линия  $\partial-z$ ) бетонного опорного цилиндра не достигают предела прочности при срезе  $R_{cp}$ .

В результате происходит частичное разрушение анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне – разрушение бетона только под рабочей площадкой (боковой поверхностью) поперечного ребра (линия  $a-b$ ).

Частичное разрушение анкеровки следует рассматривать как разрушение анкеровки при проектном землетрясении (ПЗ) согласно СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\* (с Изменением № 1)». Напряжения в арматуре соответствуют пределу текучести, а в бетоне под рабочей площадкой поперечного ребра – пределу прочности при сжатии.

При частичном разрушении контактного слоя, т. е. при разрушении бетона под рабочей площадкой (боковой поверхностью) поперечного ребра (линия  $a-b$ ) анкеровка арматуры периодического профиля в бетоне сохраняется и обеспечивается сопротивлением срезу бетона части основания бетонного опорного цилиндра (линия  $\partial-z$ ).

Разрушение бетона под рабочей площадкой (боковой поверхностью) поперечного ребра (линия  $a-b$ ) сопровождается уплотнением разрушенной структуры с одновременным увеличением деформаций  $\Delta \varepsilon$  свободного конца стержня арматуры относительно бетона (рис. 1,  $e$ ).

Принципиально важным является сохранение анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне в результате только частичного разрушения контактного слоя бетона и предотвращения прогрессирующего обрушения железобетонной конструкции после внешнего, например сейсмического, воздействия максимальной интенсивности, и особенно при последующих афтершоках по сравнению с разрушениями анкеровки, представленными на рис. 1,  $a, b$ .

Для полного разрушения анкеровки, т. е. среза бетона части основания бетонного опорного цилиндра (линия  $\partial-z$ ), необходимо внешнее воздействие большей интенсивности, чем для разрушения бетона под рабочей площадкой (боковой поверхностью) поперечного ребра (линия  $a-b$ ).

Напряжения в уплотненном бетоне разрушенной части основания бетонного опорного цилиндра при

полном разрушении анкеровки могут превышать предельные значения прочности бетона при сжатии  $\sigma_b > R_b$ .

Изменением размера периодического профиля между точками  $d$  и  $z$  или изменением шага  $t$  или характеристики профиля  $B_A$  можно регулировать величину внешнего разрушающего воздействия при расчете железобетонных конструкций для районов с различной сейсмической активностью и в зависимости от важности объектов в инфраструктуре региона.

Полное разрушение анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне следует рассматривать как разрушение анкеровки при максимальном расчетном землетрясении (МРЗ) согласно СП 14.13330.2018.

Геометрические параметры периодического профиля арматуры на рис. 1,  $f$  – шаг  $t$  поперечных ребер, высота  $h$  и ширина в верхней  $b$  части, призматическая прочность бетона  $R_b$  и сопротивление бетона срезу  $R_{cp}$  находятся в следующих соотношениях [6, 7]:

$$B_A = \frac{t-b}{h} > B_B = \frac{R_{cm}}{R_{cp}} + 2 = \frac{R_{cm}}{0,7 \cdot \sqrt{R_{bp} \cdot R_{bt}}} + 2;$$

$$t > \left( \frac{R_{cm}}{R_{cp}} + 2 \right) \cdot h + b. \quad (6)$$

Смятие бетона опорного цилиндра под рабочей площадкой (боковой поверхностью) поперечного ребра (линия  $a-b$ ) характерно для стадии предварительного обжатия при изготовлении предварительно напряженных железобетонных конструкций.

В модели «арматура – контактный слой – бетонная оболочка» [8] «стесненность» в контактном слое создается поперечными деформациями стержня арматуры при передаче предварительного напряжения и сдерживающим влиянием бетонной оболочки за пределами контактного слоя.

Геометрические параметры периодического профиля арматуры, представленного на рис. 1,  $f$ , показывают, что при разрушении анкеровки напряжения в бетоне опорного цилиндра под рабочей площадкой (боковой поверхностью) поперечного ребра (линия  $a-b$ ) достигают предельных значений прочности бетона  $R_{cm}$ .

Теоретически глубина разрушения бетона при смятии определена в [2] и составляет около двух высот поперечного ребра периодического профиля арматуры, или  $2h$ .

Среза бетона части основания бетонного опорного цилиндра (линия  $d-z$ ) после разрушения бетона под рабочей площадкой (боковой поверхностью) поперечного ребра (линия  $a-b$ ) не происходит.

Из представленных на рис. 1 вариантов разрушения анкеровки арматуры периодического про-

филя в бетоне при внешних воздействиях, возникающих в результате чрезвычайных ситуаций, предпочтительным является вариант на рис. 1,  $d$ , когда геометрические параметры периодического профиля арматуры в виде характеристики  $B_A = \frac{t-b}{h}$  превышают значение характеристики прочности бетона  $B_B = \frac{R_b}{R_{cp}} + 4 = \frac{R_b}{0,7 \cdot \sqrt{R_{bp} \cdot R_{bt}}} + 4$  между поперечными ребрами профиля.

Шаг  $t$  поперечных ребер периодического профиля арматуры обеспечивает разрушение бетонного слоя под рабочей площадкой (боковой поверхностью) поперечного ребра (линия  $a-b$ ) без разрушения бетона части основания бетонного опорного цилиндра в результате среза.

Характеристика профиля  $B_A$  показывает, что в сейсмически опасных районах арматура периодического профиля эффективна при применении в тех классах бетона, для которых выполняется условие  $B_A > B_B$ , т. е. характеристика профиля арматуры  $B_A$  должна быть, безусловно, больше характеристики прочности бетона  $B_B$  между поперечными ребрами профиля арматуры.

В [9] представлены результаты экспериментальных исследований прочности и деформативности сцепления арматуры различного периодического профиля с бетоном по ГОСТ 34028–2016.

Наибольший интерес представляют результаты измерений деформаций вытягивания стержней, полученные при испытаниях железобетонных балок, армированных арматурой диаметром 20 мм кольцевого периодического профиля формы 1ф с различным шагом поперечных ребер – «частым» при  $t=8,1$  мм и «редким» при  $t=14,8$  мм.

Графически деформации вытягивания арматуры железобетонных балок Б1-5; Б1-6 и Б2-13; Б2-14 представлены на рис. 2.

Графики деформаций вытягивания арматуры железобетонных балок Б1-5 и Б1-6 показывают, что деформации развивались пропорционально приложенной внешней нагрузке вплоть до разрушения анкеровки арматуры в бетоне.

Разрушение анкеровки и вытягивание арматуры с шагом поперечных ребер  $t=8,1$  мм из бетона произошли после приложения максимальной нагрузки в результате интенсивного развития деформаций вытягивания до 2–3,5 мм.

Такое развитие деформаций вытягивания арматуры из бетона указывает на полное разрушение анкеровки арматуры и совпадает с характером разрушения анкеровки в результате среза бетона оснований бетонных опорных цилиндров рассмотренным на рис. 1,  $a$  при значениях:

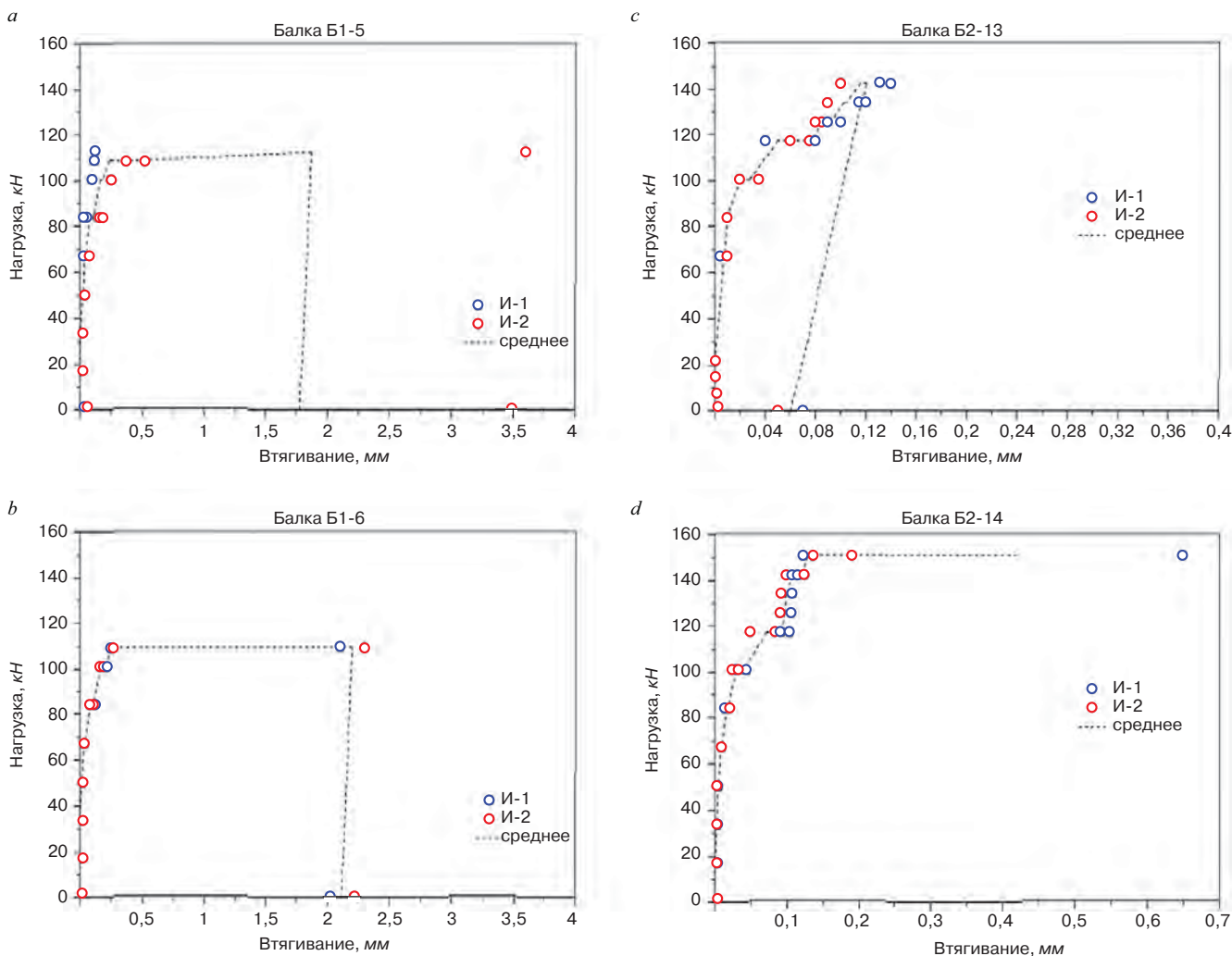


Рис. 2. Графики деформаций втягивания арматуры периодического профиля диаметром 20 мм кольцевого периодического профиля формы 1f при  $t=8,1$  мм (рис. а, б, соответствуют рис. 4.41 и 4.42 – нумерация согласно [9]) и  $t=14,8$  мм (рис. с, д, соответствуют рис. 4.49 и 4.50 – нумерация согласно [9])

Fig. 2. Graphs of the deformations of the retraction of the reinforcement of the periodic profile with a diameter of 20 mm of the annular periodic profile of the form 1f at  $t=8,1$  mm (Fig. a, b) and  $t=14,8$  mm (Fig. c, d)

$$B_A = \frac{t-b}{h} \leq B_B - 4 = \frac{R_b}{R_{cp}} = \frac{R_b}{0,7 \cdot \sqrt{R_b \cdot R_{bt}}};$$

$$t \leq \frac{R_b}{R_{cp}} \cdot h + b. \quad (7)$$

Графики деформаций втягивания арматуры с шагом поперечных ребер  $t=14,8$  мм железобетонных балок Б2-13 и Б2-14 принципиально отличаются от аналогичных графиков деформаций втягивания арматуры железобетонных балок Б1-5 и Б1-6.

Первое отличие заключается в том, что на графиках деформаций втягивания арматуры с шагом поперечных ребер  $t=14,8$  мм железобетонных балок Б2-13 и Б2-14 при внешней нагрузке около 120 кН имеется участок приращения деформаций втягивания величиной, равной или превышающей величину суммарных деформаций втягивания арматуры, достигнутых при предыдущих этапах нагружения.

Величина приращения деформаций втягивания и их последующая стабилизация позволяют утверждать о частичном разрушении бетона контактного слоя в зоне анкеровки арматуры периодического профиля.

Ввиду того, что полное разрушение анкеровки произошло после приложения нагрузки, значительно превышающей нагрузку, при которой отмечено приращение деформаций, можно также утверждать, что приращение деформаций свидетельствует о разрушении бетона контактного слоя под рабочей площадкой (боковой поверхностью) поперечного ребра арматуры, без среза бетона части основания бетонного опорного цилиндра.

Второе отличие состоит в том, что после стабилизации деформаций втягивания на указанном участке увеличение деформаций втягивания арматуры происходит пропорционально последующему увеличе-

нии внешней нагрузки, аналогично увеличению деформаций на ранних этапах нагружения.

Т. е. на графиках имеется две выраженные зоны, в которых деформации втягивания арматуры развиваются пропорционально приложенной внешней нагрузке, и зона интенсивного приращения деформаций втягивания  $\Delta\varepsilon$  арматуры при нагружении или во время выдержки под нагрузкой.

Развитие деформаций втягивания арматуры с шагом поперечных ребер  $t=14,8$  мм совпадает с рассмотренным на рис. 1, *d*, *e* характером разрушения анкеровки при значениях [6, 7]:

$$B_A = \frac{t-b}{h} > B_B = \frac{R_b}{R_{cp}} + 4 = \frac{R_b}{0,7 \cdot \sqrt{R_b \cdot R_{bt}}} + 4; \quad (8)$$

$$t > \left( \frac{R_b}{R_{cp}} + 4 \right) \cdot h + b.$$

Сравнение графиков деформаций втягивания арматуры с шагом поперечных ребер  $t=14,8$  мм железобетонных балок Б2-13 и Б2-14 и графиков деформаций втягивания арматуры железобетонных балок Б1-5 и Б1-6 подтверждает изменение последовательности разрушения бетона контактного слоя в зоне анкеровки при увеличении шага поперечных ребер профиля и необходимость отдельного рассмотрения характеров разрушения в расчетах анкеровки в соответствии с базовыми положениями [1, 2].

Из графика деформаций втягивания арматуры с шагом поперечных ребер  $t=14,8$  мм железобетонных балок Б2-13 и Б2-14 также следует, что в процессе рассматриваемого нагружения разрушение бетона опорного цилиндра под рабочей площадкой (боковой поверхностью) поперечного ребра, сопровождаемое значительным приращением деформаций втягивания  $\Delta\varepsilon$  арматуры, можно рассматривать как разрушение анкеровки при проектном землетрясении (ПЗ) согласно СП 14.13330.2018.

Частичное разрушение анкеровки при проектном землетрясении (ПЗ) предотвращает процесс прогрессирующего обрушения конструкций в результате воздействия афтершоков.

Для полного же разрушения анкеровки вследствие среза бетона части основания бетонного опорного цилиндра необходимо приложение существенно большей по величине внешней нагрузки, как изложено в [1, 2], что следует рассматривать как разрушение анкеровки при максимальном расчетном землетрясении (МРЗ) согласно СП 14.13330.2018.

Необходимо также отметить, что при испытании железобетонных балок Б2-13 и Б2-14 разрушающая нагрузка превышала разрушающую нагрузку, достигнутую при испытании железобетонных балок Б2-15 и Б2-16, армированных арматурой серповид-

ного периодического профиля формы 2ф диаметром 20 мм на 9,85%.

При этом предел текучести  $\sigma_T$  арматуры серповидного периодического профиля формы 2ф по результатам испытания стержней был на 8,1% выше предела текучести  $\sigma_T$  арматуры кольцевого периодического профиля формы 1ф с шагом поперечных ребер  $t=14,8$  мм (с «редким» расположением поперечных ребер).

Согласно данным [9] временное сопротивление  $\sigma_g$  арматуры кольцевого периодического профиля формы 1ф с шагом поперечных ребер  $t=14,8$  мм (с «редким» расположением поперечных ребер) превышает предел текучести  $\sigma_T$  на 30,4%, а арматуры с шагом поперечных ребер  $t=8,1$  мм (с «частым» расположением поперечных ребер) в среднем на 29,03%.

Разрушающая нагрузка, достигнутая при испытании железобетонных балок Б2-13 и Б2-14, превышает нагрузку разрушения бетона контактного слоя под рабочей площадкой поперечного ребра на 21,4% и 28,5% соответственно.

Поэтому можно утверждать, что разрушение анкеровки при срезе бетона в контактном слое арматуры кольцевого периодического профиля формы 1ф с шагом поперечных ребер  $t=14,8$  мм (с «редким» расположением поперечных ребер) происходит при напряжениях выше предела текучести  $\sigma_T$  арматуры, вплоть до временного сопротивления  $\sigma_g$ .

При значениях шага поперечных ребер  $t > \left( \frac{R_b}{R_{cp}} + 4 \right) \cdot h + b$  [6, 7] и заданной длине анкеровки  $l_{an}$  напряжения в арматуре теоретически могут определяться в зависимости от площади поверхности среза:

$$\sigma_s = R_{cp} \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \left[ l_{an} - \frac{l_{an}}{t} \cdot (b + 4 \cdot h) \right] = R_{cp} \cdot \pi \cdot d_1 \cdot l_{an} \cdot \left( 1 - \frac{b + 4 \cdot h}{t} \right) =$$

$$= R_{cp} \cdot \pi \cdot (d + 2 \cdot h) \cdot l_{an} \cdot \left( 1 - \frac{b + 4 \cdot h}{t} \right). \quad (9)$$

Следовательно, увеличение в периодическом профиле арматуры шага поперечных ребер  $t > \left( \frac{R_b}{R_{cp}} + 4 \right) \cdot h + b$ , т. е. до требований [6, 7], и изменение характера разрушения анкеровки в соответствии с базовыми положениями [1, 2] позволит существенно повысить стойкость железобетонных конструкций при чрезвычайных внешних воздействиях и предотвратить их прогрессирующее разрушение.

Результаты исследований [9] также показывают, что относительная площадь смятия поперечных ребер  $f_R$  некорректно отражает анкерующую способность периодического профиля арматуры [1, 2].

Например [9], арматура диаметром 20 мм кольцевого профиля формы 1ф и относительной площадью смятия поперечных ребер  $f_R=0,104$  имеет мень-



шую прочность сцепления, чем прочность сцепления арматуры серповидного профиля с относительной площадью смятия  $f_R=0,076$  и тем более кольцевого профиля с  $f_R=0,057$  (с «редким» расположением поперечных ребер).

Арматура же диаметром 12 мм кольцевого профиля формы 1ф и относительной площадью смятия поперечных ребер  $f_R=0,097$  имеет большую прочность сцепления, чем прочность сцепления арматуры серповидного профиля с относительной площадью смятия  $f_R=0,071$ .

В настоящее время промышленностью выпускается арматура для железобетонных конструкций с тремя основными формами периодического профиля по ГОСТ 34028–2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия».

Арматура с кольцевым профилем формы 1ф имеет максимальную площадь рабочей площадки (боковой поверхности) поперечного ребра.

Арматура с серповидным профилем формы 2ф имеет максимальный предел выносливости при многократно повторных нагрузках вследствие отсутствия концентраторов напряжений в пересечении продольных и поперечных ребер профиля.

Арматура с винтовым профилем позволяет соединять между собой отдельные стержни без сварки в условиях строительной площадки.

При этом поперечные ребра указанных периодических профилей не включаются в работу арматуры при растяжении и составляют 6–7% от массы арматурного стержня.

Арматура периодического профиля формы по [5–7] имеет максимальную площадь рабочей площадки (боковой поверхности) поперечного ребра, как кольцевой профиль формы 1ф, максимальный предел выносливости при многократно повторных нагрузках, как серповидный формы 2ф и позволяет соединять между собой отдельные стержни без сварки, как винтовой профиль.

Т. е. арматура периодического профиля формы по [5–7] объединяет в себе положительные свойства арматуры всех выпускаемых профилей.

Кроме того, поперечные ребра периодического профиля формы по [5–7] полностью включаются в работу арматуры при растяжении, что позволяет снизить массу погонного метра арматурного проката на 6–7%, соответственно снизить металлоемкость железобетонных конструкций и увеличить выпуск арматурного проката в погонных метрах без увеличения производства стали.

### Выводы

1. Арматура для железобетонных конструкций, применяемых в сейсмических опасных районах,

должна иметь периодический профиль с геометрическими размерами, определенными в соответствии с требованиями [1, 2] по формуле [6, 7]:

$$B_A = \frac{t-b}{h} > B_B = \frac{R_b}{R_{cp}} + 4 = \frac{R_b}{0,7 \cdot \sqrt{R_b \cdot R_{bt}}} + 4; \\ t > \left( \frac{R_b}{R_{cp}} + 4 \right) \cdot h + b. \quad (10)$$

2. Теоретически обоснованный в ОТС переход от расчета разрушения анкеровки при срезе оснований бетонных опорных цилиндров к расчету разрушения анкеровки вследствие разрушения бетонных опорных цилиндров под рабочими площадками (боковой поверхностью) поперечных ребер профиля при увеличении шага [1, 2] подтвержден экспериментальными исследованиями [9].

3. Экспериментально доказана [9] теоретически обоснованная в ОТС последовательность разрушения анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне контактного слоя при увеличении шага поперечных ребер [1, 2]:

- разрушение бетона контактного слоя под рабочими площадками (боковыми поверхностями) поперечных ребер;

- разрушение бетона контактного слоя при срезе части оснований бетонных опорных цилиндров повышающая стойкость железобетонных конструкций при чрезвычайных внешних воздействиях – техногенных авариях и катастрофах, террористических атаках и особенно при сейсмических воздействиях и препятствующая прогрессирующему обрушению железобетонных конструкций.

4. Экспериментально подтверждена [9] теоретически обоснованная в ОТС необходимость увеличения шага поперечных ребер периодического профиля арматуры для железобетонных конструкций в соответствии с расчетами [1, 2] и требованиями [5–7].

5. Общая теория сцепления и анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне [1, 2] наиболее точно соответствует действительному напряженно деформированному состоянию модели «арматура – контактный слой – бетонная оболочка» [8] при взаимодействиях: «арматура – бетонная оболочка»; «арматура – контактный слой»; «арматура – контактный слой – бетонная оболочка».

6. Относительная площадь смятия поперечных ребер  $f_R$  некорректно отражает анкерующую способность периодического профиля арматуры [1, 2].

7. Характеристика профиля  $B_A$  [1, 2] в большей степени соответствует показателям анкерующей способности арматуры периодического профиля.

Список литературы

1. Бедарев В.В., Бедарев Н.В., Бедарев А.В. Общая теория сцепления и анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне. Новокузнецк: СибГИУ, 2014. 160 с.
2. Бедарев В.В., Бедарев Н.В., Бедарев А.В. Общая теория сцепления и анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне. Новокузнецк: СибГИУ, 2020. 267 с.
3. Мадатян С.А. Арматура железобетонных конструкций. М.: Воентехлит, 2000. 256 с.
4. Цейтлин С.Ю. О природе сцепления стержневой арматуры с бетоном. В кн.: Сцепление арматуры с бетоном. М.: НИИЖБ, 1971. С. 47–53.
5. Патент РФ 2545235 С1. Арматурный стержень периодического профиля / Бедарев В.В., Бедарев Н.В., Бедарев А.В., Звездов А.И. Заявл. 11.09.2013. Оpubл. 27.03.2015. Бюл. № 9.
6. Патент РФ 2574087 С2. Универсальный арматурный стержень периодического профиля / Бедарев В.В., Бедарев Н.В., Бедарев А.В., Звездов А.И. Заявл. 15.04.2014. Оpubл. 28.12.2015. Бюл. № 29.
7. Патент РФ 2599647 С1. Арматурный стержень периодического профиля / Бедарев В.В., Бедарев Н.В., Бедарев А.В., Звездов А.И. Заявл. 26.05.2015. Оpubл. 19.09.2016. Бюл. № 28.
8. Холмянский М.М. Контакт арматуры с бетоном. М.: Стройиздат, 1981. 184 с.
9. Исследование прочности и деформативности сцепления арматуры различного периодического профиля по ГОСТ 34028–2016 с бетоном. Отчет НИОКР. М.: АО НИЦ «Строительство». 2020. 156 с.

- and anchoring of reinforcement periodic profile in concrete]. Novokuzneck: SibGIU 2014. 160 p.
2. Bedarev V.V., Bedarev N.V., Bedarev A.V. Obschaya teoriya stsepleniya i ankerovki armatury periodicheskogo profilya v betone. [General theory of adhesion and anchoring of reinforcement periodic profile in concrete] Novokuzneck: SibGIU. 2020. 267 p.
3. Madatyan S.A. Armatura zhelezobetonnykh konstrukcij [Reinforcement of reinforced concrete structures]. Moscow: Voentehlit. 2000. 256 p.
4. Tseitlin S.Y. O prirode stsepleniya stержневой armatury s betonom [On the nature of the adhesion of rebar to concrete.]. V kn.: Stseplenie armatury s betonom. Moscow: NIIZhB, 1971, pp. 47–53.
5. Patent RF 2545235 C1. Armaturnyj sterzhen' periodicheskogo profilia [Periodic profile reinforcement bar]. Bedarev V.V., Bedarev N.V., Bedarev A.V., Zvezdov A.I. Declared 11.09.2013. Published 27.03.2015. Bulletin No. 9. (In Russian).
6. Patent RF 2574087 C2. Universal'nyj armaturnyj sterzhen' periodicheskogo profilia [Periodic profile universal reinforcement bar]. Bedarev V.V., Bedarev N.V., Bedarev A.V., Zvezdov A.I. Declared 15.04.2014. Published 28.12.2015. Bulletin No. 29. (In Russian).
7. Patent RF 2599647 C1. Armaturnyj sterzhen' periodicheskogo profilia [Periodic profile reinforcement bar]. Bedarev V.V., Bedarev N.V., Bedarev A.V., Zvezdov A.I. Declared 26.05.2015. Published 19.09.2016. Bulletin No. 28. (In Russian).
8. Holmyanskij M.M. Kontakt armatury s betonom [Reinforcement bar adhesion to concrete]. Moscow: Stroyizdat. 1981. 184 p.
9. Issledovanie prochnosti i deformativnosti stsepleniya armatury razlichnogo periodicheskogo profilya po GOST 34028–2016 s betonom [Research of the strength and deformability of adhesion of reinforcement of various periodic profiles according to GOST 34028–2016 with concrete]. Otchet NIOKR. Moscow: AO NITS Stroitel'stvo. 2020. 156 p.

References

1. Bedarev V.V., Bedarev N.V., Bedarev A.V. Obschaya teoriya stsepleniya i ankerovki armatury periodicheskogo profilya v betone [General theory of adhesion

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Учебное пособие «Промышленное и гражданское строительство. Введение в профессию»

Авторы: Грызлов В.С., Ворожбянов В.Н., Гендлина Ю.Б., Залипаева О.А., Каптюшина А.Г., Медведева Н.В., Петровская А.А., Поварова О.А., Чорная Т.Н.

Научный редактор – д-р техн. наук, проф. В.С. Грызлов  
Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 276 с.

Дана общая характеристика профессии строитель. Приведены сведения из истории развития строительной отрасли. Предложено краткое описание видов строительной продукции, особенностей проектирования строительных объектов, технологии и порядка организации возведения зданий и сооружений; раскрыты вопросы менеджмента в строительстве. Подчеркнута важность строительной науки и цифровизации строительной деятельности. Отдельная глава посвящена особенностям организации инженерно-строительного обучения. Для студентов бакалавриата, начавших обучение по направлению «Строительство». Может быть использовано для профориентационной работы с выпускниками школ.



По вопросам приобретения обращайтесь в издательство «Инфра-Инженерия»

УДК 693.554.6

В.В. ДЬЯЧКОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук (d\_vv@mail.ru), зам. руководителя Центра № 3,  
В.Д. ТЕРИН<sup>1</sup>, канд. техн. наук (terin@bk.ru), руководитель Центра № 3;  
С.Б. ШУМИЛОВ<sup>2</sup> (Sergey.Shumilov@evraz.com), начальник отдела новых продуктов  
технического управления, Е.В. ЧИНОКАЛОВ<sup>2</sup>, канд. техн. наук (Evgeny.Chinokalov@evraz.com),  
главный специалист по технологии технического управления

<sup>1</sup> Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона –  
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» (109428, Москва, ул. 2-я Институтская, 6, к. 5)

<sup>2</sup> АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (654043, г. Новокузнецк, Космическое ш., 16)

## Оптимизация химического состава свариваемой арматуры класса А500С по ГОСТ 34028–2016

Представлены основные положения НИОКР, совместной с АО ЕВРАЗ целью которой является определение возможной оптимизации химического состава арматуры класса А500С по ГОСТ 34028–2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия», что позволит снизить стоимость выпускаемой арматуры без снижения ее нормативных характеристик, в частности свариваемости. Оценку свариваемости арматуры с различным химическим составом выполняли путем испытаний при растяжении, которые в наибольшей степени влияют на механические свойства сварных соединений. Приведены результаты испытаний сварных соединений арматуры диаметром 16–28 мм класса А500С с различными значениями углеродного эквивалента  $C_{эКВ}$  в плавке. Сформулированы предложения по внесению изменений в ГОСТ 34028–2016, касающиеся более дифференцированного подхода к назначению нижней границы углеродного эквивалента  $C_{эКВ}$  арматуры класса А500С диаметром 16–25 мм. Также проведено испытание сварных соединений арматуры диаметром 32 мм класса А500С с различным содержанием углерода в плавке. Результаты показали, что допускаемые увеличения содержания углерода свариваемой арматуры диаметром 32–40 мм до 0,25% в плавке, заложенные в EN 10080 и ISO 6935-2, и до 0,26%, указанные в ГОСТ Р 52544–2006, не снижают прочность сварных соединений на растяжение и не уменьшают технологические характеристики при изгибе. На основании этого даны предложения по внесению изменений в ГОСТ 34028–2016. Результаты проведенных испытаний подтвердили, что имеются достаточные основания для дальнейших исследований по корректировке нижних значений углеродного эквивалента арматуры диаметром 16–25 мм класса А500С и максимального содержания углерода для арматуры диаметром более 32 мм класса А500С других заводов-производителей.

**Ключевые слова:** арматура, свариваемость, содержание углерода, углеродный эквивалент.

**Для цитирования:** Дьячков В.В., Терин В.Д., Шумилов С.Б., Чинокалов Е.В. Оптимизация химического состава свариваемой арматуры класса А500С по ГОСТ 34028–2016 // Бетон и железобетон. 2021. № 5–6 (607–608). С. 25–31.

V.V. DYACHKOV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (d\_vv@mail.ru), V.D. TERIN<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (terin@bk.ru);  
S.B. SHUMILOV<sup>2</sup>, (Sergey.Shumilov@evraz.com), head of the new products of the technical department,  
E.V. CHINOKALOV<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (Evgeny.Chinokalov@evraz.com) Chief technology specialist of the technical department  
<sup>1</sup> Research, Design and Technological institute of Concrete and Reinforced Concrete – NIIZHB named after A.A. Gvozdev  
JSC “Research Center “Stroitel’stvo”, Center No. 3 (6, build. 5, 2-nd Institut’skaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)  
<sup>2</sup> “EVRAZ ZSMC” JSC (16, 654043, Novokuznetsk, highway Kosmicheskoe.)

### Optimization of the Chemical Composition of the Welded Reinforcement of Grade A500W According to GOST 34028–2016

The article presents the main provisions of joint research and development with JSC EVRAZ, the purpose of which is to determine the possible optimization of the chemical composition of reinforcement grade A500W according to GOST 34028–2016, which will reduce the cost of manufactured reinforcement without reducing its standard characteristics, in particular weldability. The weldability of reinforcement with different chemical compositions was evaluated by tensile tests that most significantly affect the mechanical properties of welded joints. The results of tests of welded joints of reinforcement with a diameter of 16–28 mm of grade A500W with different values of the carbon equivalent of  $C_{eqv}$  in the cast are presented. Proposals for amendments to GOST 34028–2016 concerning a more differentiated approach to the assignment of the lower limit of the carbon equivalent of the  $C_{eqv}$  of reinforcement grade A500W with a diameter of 16–25 mm are formulated. The results of tests of welded joints of reinforcement with a diameter of 32 mm of grade A500W with different carbon content in the cast are presented. The test results showed that the permissible increase in the carbon content of the welded reinforcement with a diameter of 32–40 mm to 0.25% in the cast laid down in EN 10080 and ISO 6935-2 and up to 0.26% specified in the canceled GOST R 52544–2006 does not reduce the tensile strength of welded joints and does not reduce the technological characteristics during bending. Based on this, proposals for making changes to GOST 34028–2016 are given. The test results showed that there are sufficient grounds for further research to adjust the lower values of the carbon equivalent of reinforcement with a diameter of 16–25 mm of grade A500W and the maximum carbon content for reinforcement with a diameter of more than 32 mm of grade A500W from other manufacturers.

**Keywords:** reinforcement, weldability, carbon content, carbon equivalent.

**For citation:** Dyachkov V.V., Terin V.D., Shumilov S.B., Chinokalov E.V. Optimization of the chemical composition of the welded reinforcement of grade A500W according to GOST 34028–2016. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 5–6 (607–608), pp. 25–31. (In Russian).

Свариваемость – свойство металлов образовывать при определенных режимах сварки соединения, отвечающее требованиям действующих нормативных документов.

Свариваемость металлов зависит от множества факторов – химического состава стали и способа производства проката, а также комплекса технологических параметров и операций при изготовлении и испытании сварных соединений. При оценке свариваемости металла в основном уделяют внимание химическому составу, в частности содержанию углерода, наличию легирующих добавок, а также минимальному и максимальному значениям углеродного эквивалента, которые гарантируют требуемые показатели механических свойств и отсутствие холодных трещин при сварке. Кроме того, результаты испытаний сварных соединений должны отвечать требованиям соответствующих стандартов [1–15].

По такому же принципу выполняется оценка свариваемости арматурного проката, основные требования для которого заложены в ГОСТ 34028–2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия». Однако, по мнению авторов представленной статьи, требования к свариваемости арматурного проката, заложенные в ГОСТ 34028–2016, можно оптимизировать, тем самым снизив себестоимость выпускаемой продукции без снижения ее нормативных характеристик.

Это основывается на требованиях, заложенных в отмененном ГОСТ Р 52544–2006 «Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия», по сути, первом документе, который предъявлял требования к свариваемости арматурного проката, и результатах последних испытаний сварных образцов арматуры. В ГОСТ Р 52544–2006 для арматуры класса А500С

диаметром 32 мм и более допускалось увеличение в стали массовой доли углерода до 0,26% и углеродного эквивалента  $C_{экв}$  до 0,53% (в готовом прокате до 0,27 и 0,57% соответственно); такие же допущения имеют место в EN 10080 и ISO 6935. Однако в ГОСТ 34028–2016 подобное или уточненное требование отсутствует и арматурный прокат диаметром 32 мм и более классов А400С, А500С и А600С гарантируется как свариваемый одновременным выполнением требований:

- по химическому составу с содержанием углерода в стали не более 0,22% (в готовом прокате не более 0,24%);
- по введению в сталь для проката А500С и А600С легирующих элементов ванадия, ниобия, молибдена;
- по максимальным значениям углеродного эквивалента  $C_{экв}$ ;
- для арматурного проката классов А500С и А600С вместо введения в сталь легирующих элементов допускается гарантировать свариваемость верхними и нижними значениями углеродного эквивалента  $C_{экв}$  в зависимости от диаметра;
- по результатам испытаний образцов сварных соединений арматуры.

Сравнение требований химического состава различных нормативных документов приведено в табл. 1.

В отличие от европейских норм ГОСТ 34028–2016 допускает обеспечивать прочность сварных соединений нижними и верхними значениями углеродного эквивалента, которые составляют для диаметров:

- до 12 мм включительно – 0,26–0,5 (0,52);
- св. 12–18 мм – 0,3–0,5 (0,52);
- 20–28 мм – 0,35–0,5 (0,52);
- 32–40 мм – 0,4–0,5 (0,52).

По результатам ранее проведенных испытаний в Центре № 3 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева арматура диаметром до 28 мм класса А500 с  $C_{экв}=0,29\%$  и диа-

Таблица 1  
Table 1

Сравнение требований к химическому анализу различных нормативных документов  
Comparison of chemical analysis requirements of various standard documents

Массовая доля элементов не более, %							$C_{экв}$
C	Si	Mn	P	S	N	Cu	
EN 10080							
0,22 <sup>1</sup> (0,24)	–	–	0,05 (0,055)	0,05 (0,055)	0,012 (0,014)	0,8 (0,85)	0,5 (0,52)
ISO 6935-2							
0,22 <sup>2</sup> (0,24)	0,6 (0,62)	1,6 (1,62)	0,05 (0,052)	0,05 (0,052)	0,012 (0,014)	–	0,5
ГОСТ 34028–2016							
0,22 (0,24)	0,9 (0,95)	1,6 (1,7)	0,05 (0,055)	0,05 (0,055)	0,012 (0,013)	0,35 (0,35)	0,5 (0,52)
<b>Примечания:</b>							
<sup>1</sup> Допускается превышение максимальных значений углерода на 0,03 мас. % при условии снижения значения углеродного эквивалента на 0,02 мас. %.							
<sup>2</sup> Для арматуры диаметром более 32 мм допускается увеличение содержания углерода (C) до 0,25 (0,27%) при углеродном эквиваленте $C_{экв}$ до 0,55%.							
В скобках указаны значения в готовом прокате.							

метром 32 мм с содержанием углерода до 0,27% в готовом прокате признана свариваемой и поэтому есть все основания для оптимизации этих показателей в нормативных документах.

Для проверки вышеуказанных предположений совместно со специалистами ЕВРАЗ ЗСМК выполнены исследования прочности образцов сварных соединений арматуры класса А500 с различным химическим составом.

Для этого исследования были разбиты на два этапа:

– оценка свариваемости арматурного проката диаметром 14–28 мм класса А500 с различным значением углеродного эквивалента;

– оценка свариваемости арматурного проката диаметром 32 мм и более класса А500 с содержанием углерода 0,23–0,26%.

Оценку свариваемости выполняли путем испытаний при растяжении и изгибе сварных соединений, широко применяющихся в строительстве и в наи-

большей степени влияющих на механические свойства арматуры.

В работе были приняты типы сварных соединений, оказывающие наибольшее влияние на прочность соединений при растяжении и степень разупрочнения арматуры по сравнению с исходными образцами целых стержней; к таким соединениям традиционно относятся типы С1-Ко и С23-Рэ по ГОСТ 14098–2014 «Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры», характеризующиеся большими тепловложениями при сварке. На технологические операции, т. е. изгиб, оказывают влияние сварные соединения, характеризующиеся «ожогами», к таким соединениям относятся К1-Кт и К3-Рп по ГОСТ 14098–2014.

Для оптимизации значений углеродного эквивалента  $C_{ЭКВ}$  на первом этапе работы было изготовлено и испытано 438 образцов сварных соединений арматуры, средние значения временного сопротивления

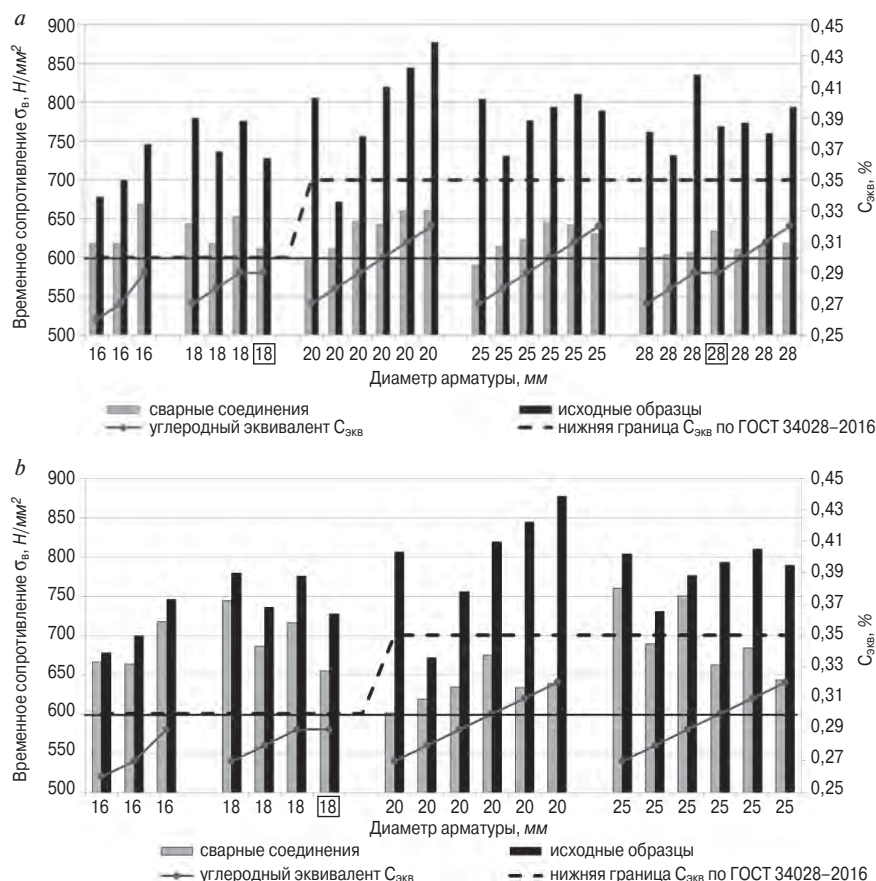
**Таблица 2**  
**Table 2**

**Средние значения временного сопротивления  $\sigma_b$  (Н/мм<sup>2</sup>) сварных соединений арматуры и арматуры в исходном состоянии**

**Average values of ultimate tensile strength  $R_m$  (N/mm<sup>2</sup>) of welded joints of reinforcement and reinforcement in the original state**

Диаметр арматуры, мм	Углеродный эквивалент $C_{ЭКВ}$ , %	Тип сварного соединения				Исходные образцы
		С1-Ко	С23-Рэ	К1-Кт	К3-Рп	
16	0,26	618,1	666,7	680,4	701,9	677,9
	0,27	617,9	663,3	661,7	666,6	699,3
	0,29	668,7	717,4	727,5	740,9	745,9
18	0,27	643,5	744,6	744,6	779,4	779,4
	0,28	618,4	686,5	764,5	768,5	736,1
	0,29	652,6	716,3	745,4	762	776
	0,29 <sup>1</sup>	611,3	654,7	–	–	727,3
20	0,27	595,4	601,7	782,2	718,7	805,9
	0,28	610,8	618,9	663	659,8	671,5
	0,29	646,4	634,4	749,7	754,1	756,1
	0,3	642,6	674,7	805,7	812,6	819,5
	0,31	659,7	633,5	818,9	818,4	844,6
	0,32	661,1	638,5	816	852,8	877,4
25	0,27	590,2	760,6	756,4	748,1	804,2
	0,28	614,2	689,4	694,2	712,2	730,8
	0,29	623,1	750,6	770,8	763,8	776,7
	0,3	646,8	662,3	797,8	796,2	793,6
	0,31	642	684,2	809,5	782,4	810,2
	0,32	630,2	643,5	792,8	804,7	789,4
28	0,27	611,8	–	747,5	741,8	761,7
	0,28	602,9	–	713,9	730,8	731,3
	0,29	606	–	816,4	822,5	835,6
	0,291	633,6	–	–	–	769,0
	0,3	610,2	–	759,2	773,4	773,7
	0,31	615,9	–	755,8	756,4	759,7
	0,32	618,3	–	802,2	773,8	793,7

**Примечание.** <sup>1</sup> Результаты испытаний получены в 2018 г.



**Рис. 1.** Сводный график результатов испытаний сварных соединений арматуры типа: *a* – C1-Ко (контактно-стыковая сварка), □ – результаты испытаний арматуры диаметром 18 и 28 мм с  $C_{экв}=0,29\%$  в 2018 г.; *b* – C23-Рэ (ручная дуговая сварка внахлест), □ – результаты испытаний арматуры диаметром 18 мм с  $C_{экв}=0,29\%$  в 2018 г.  
**Fig. 1.** Summary graph of test results of welded joints of reinforcement type: *a* – C1-Ko (butt welding), □ – test results of reinforcement with a diameter of 18 and 28 mm with  $C_{eqv}=0.29\%$  in 2018; *b* – C23-Pz (manual overlapped arc welding), □ – test results of reinforcement with a diameter of 18 mm with  $C_{eqv}=0.29\%$  in 2018

при растяжении которых представлены в табл. 2. Для сравнения результатов испытаний и оценки степени разупрочнения сварных соединений были испытаны на растяжение по ГОСТ 12004–81 «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение» образцы арматуры в исходном состоянии, результаты которых представлены в табл. 2.

Сводные результаты испытаний сварных соединений арматуры типов C1-Ко и C23-Рэ, наиболее подверженных разупрочнению, представлены на рис. 1.

Результаты испытаний, представленные в табл. 2, показали, что крестообразные сварные соединения типов К1-Кт и К3-Рп, характеризующиеся «ожогами», при испытании на растяжение практически не разупрочнялись и не разрушались, как по арматуре, так и в зоне термического влияния. Испытания на изгиб до угла 60° этих соединений не показали наличия видимых трещин в месте загиба. Наблюдались только отслоения поперечных стержней, что допускается ГОСТ 34028–2016.

В то же время снижение нижней границы значения углеродного эквивалента по ГОСТ 34028–2016 однозначно уменьшает прочность стыковых сварных соединений арматуры по сравнению с исходным металлом. Наибольшим разупрочнением до 27,4% характеризуются стыковые соединения арматуры типов C1-Ко и C23-Рэ диаметром 20, 25 и 28 мм с временным сопротивлением арматуры в исходном состоянии  $\sigma_b \approx 800–850$  Н/мм<sup>2</sup>. При этом разупрочнение уменьшается с уменьшением фактической прочности (степени ТМУ) исходных образцов арматуры и диаметра арматуры (рис. 2, *a*), однако явная зависимость уменьшения степени разупрочнения сварных соединений от увеличения  $C_{экв}$  с 0,27 до 0,32%, в особенности для диаметров 20–28 мм (рис. 2, *b*), отсутствует. Таким образом, повышение прочности арматуры лишь за счет ТМУ, без назначения нижней границы значений  $C_{экв}$ , не гарантирует соответствия прочности требованиям НТД сварных соединений арматуры с временным сопротивлением в исходном состоянии на уровне браковочных значений по ГОСТ 34028–2016.

Характер разрушения образцов сварных соединений типов К1-Со и C23-Рэ был как по арматуре в зоне термического влияния сварки, так и по сварке с образованием шейки пластичности в зоне сварного стыка. Вид разрушения носил случайный характер и не был привязан к значениям углеродного эквивалента  $C_{экв}$ .

Результаты испытаний, полученные на первом этапе работы, позволяют сделать вывод, что подход к назначению нижней границы углеродного эквивалента  $C_{экв}$ , по крайней мере для арматуры диаметром 16–25 мм класса А500С, можно сделать более дифференцированным, чем это представлено в п. 6.1.4.4 ГОСТ 34028–2016.

По результатам проведенных испытаний п. 6.1.4.4 ГОСТ 34028–2016 можно сформулировать следующим образом:

«6.1.4.4. Для проката классов А500С и А600С допускается вместо введения в сталь легирующих элементов V, Nb, Mo гарантировать свариваемость значением углеродного эквивалента  $C_{экв}$ , %, в пределах:

Таблица 3  
Table 3

Средние значения временного сопротивления  $\sigma_b$  (Н/мм<sup>2</sup>) сварных соединений арматуры и арматуры в исходном состоянии  
Average values of ultimate strength  $R_m$  (N/mm<sup>2</sup>) of welded joints of reinforcement and reinforcement in the original state

Диаметр арматуры, мм	Значение углерода (С) в плавке, %	Углеродный эквивалент $C_{экв}$ , %	Тип сварного соединения			Исходные образцы
			С1-Ко	К1-Кт	К3-Рп	
32	0,24	0,42	647,5	718,3	706	720,2
	0,25	0,43	662,5	725,6	705,7	722,9
	0,26	0,45	689,9	721,8	722,7	722,3
	0,21	0,45	702,5	728,8	724,6	725,6

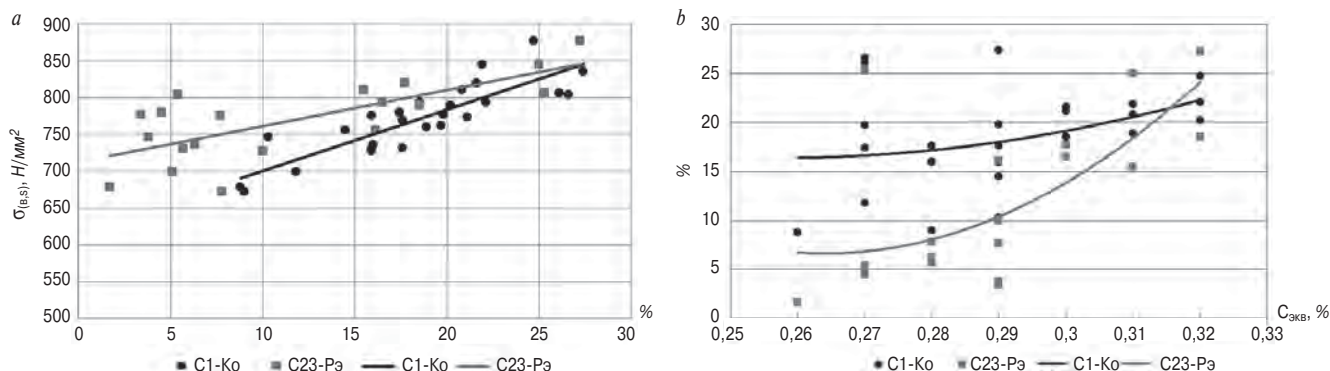


Рис. 2. Степень разупрочнения (в %) образцов сварных соединений арматуры типов С1-Ко и С23-Рэ в зависимости от: а – временного сопротивления исходных образцов; б – значений углеродного эквивалента

Fig. 2. Degree of softening (in %) of specimens of welded joints of reinforcement of types С1-Ко and С23-Рэ, depending on: а – the ultimate strength of the original specimens; б – values of the carbon equivalent

Для проката класса А500С номинальным диаметром, мм:

- до 12 включительно – 0,26–0,5 (0,52);
- свыше 12 » 20 » – 0,29–0,5 (0,52);
- » 22 » 25 » – 0,32 – 0,5 (0,52);
- » 28 » 0,35 – 0,5 (0,52);
- » 32 » 40 » – 0,4 – 0,5 (0,52);

для проката класса А600С номинальным диаметром, мм:

- до 12 включительно – 0,26–0,5 (0,52);
- свыше 12 » 18 » – 0,3–0,5 (0,52);
- » 20 » 28 » – 0,35–0,5 (0,52);
- » 32 » 40 » – 0,4– 0,5 (0,52)».

Вышеуказанные предложения приведены с прицелом на апробацию исследуемых значений углеродного эквивалента и режимов сварки на арматурном прокате других производителей, а также набора статистических данных.

Для оценки свариваемости арматурного проката с содержанием углерода (С) до 0,26% в плавке диаметром 32 мм и более класса А500С на втором этапе работы были изготовлены и испытаны образцы сварных соединений арматуры диаметром 32 мм, а для сравнения результатов испытаний в качестве эталонных образцов были изготовлены и испытаны сварные соединения арматуры диаметром 32 мм класса А500С марки 18Г2С с содержанием углерода в плавке 0,21%. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Анализируя результаты испытаний, можно сделать вывод, что с увеличением содержания углерода (С) в плавке до 0,26% не происходит однозначного снижения прочности сварных соединений арматуры диаметром 32 мм по сравнению с исходным металлом. Сварные соединения типов К3-Рп и К1-Кт при испытании на растяжение практически не разупрочнялись и разрушались в основном по арматуре, пластично. Результаты испытаний этих типов соединений на изгиб до угла 60° соответствуют требованиям ГОСТ 34028–2016.

Сварные соединения типа С1-Ко арматуры 18Г2С с углеродом С=0,21%, принятые в качестве эталона, показали среднее значение  $\sigma_b=702,5$  Н/мм<sup>2</sup>, в то время как соединения из арматуры СтЗГсп с содержанием С=0,24; 0,25 и 0,26% показали среднее значение  $\sigma_b=647,5$ ; 662,5 и 689,9 Н/мм<sup>2</sup> соответственно. Характер разрушения сварных соединений типа С1-Ко арматуры с углеродом С=0,21% в 100% случаев происходил в зоне термического влияния сварки. С повышением содержания углерода стали появляться случаи разрушения по сварке с образованием шейки в зоне стыка, но прямой зависимости характера разрушения образцов и значений углерода не наблюдалось.

Однако из представленных в табл. 3 значений видно, что на прочность стыковых сварных соединений С1-Ко и соответственно степень их разупрочнения повлияла величина углеродного эквивалента  $C_{экв}$ .

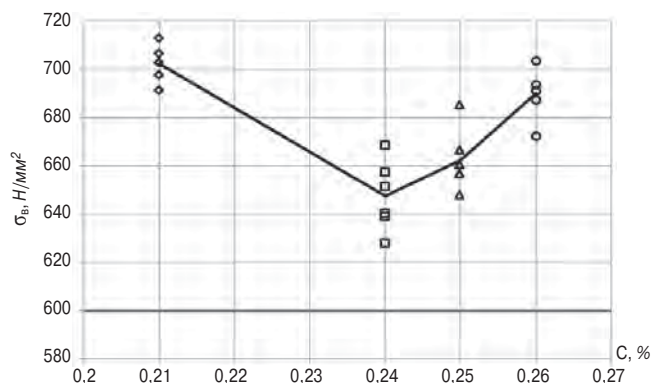


Рис. 3. Средние значения временного сопротивления образцов сварных соединений арматуры типа C1-Ко в зависимости от содержания углерода в плавке

Fig. 3. Average values of the ultimate tensile strength of samples of welded joints of reinforcement type C1-Co, depending on the carbon content in the cast

Временное сопротивление сварных образцов арматуры в зависимости от содержания углерода и значений углеродного эквивалента показаны на рис. 3 и 4 соответственно.

Зависимость временного сопротивления образцов сварных соединений арматуры типа C1-Ко от углеродного эквивалента получила линейный характер, и если ее продолжить до нижней границы значения углеродного эквивалента  $C_{ЭКВ}=0,4\%$  по ГОСТ 34028–2016, то получим временное сопротивление  $\sigma_b=613,8$  Н/мм<sup>2</sup>, что укладывается в требования норм. Верхнюю границу углеродного эквивалента в готовом прокате для исключения образования холодных трещин при сварке необходимо ограничить значением 0,52% в соответствии с ГОСТ 34028–2016.

По результатам выполненных исследований на втором этапе работы можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение содержания углерода до 0,26% в плавке арматуры диаметром 32 мм класса А500С не снижа-

### Список литературы

- Иванайский Е.А., Ишков А.В., Иванайский В.В., Лыткин В.А. Структура и свойства сварных соединений арматуры, микролегированной ванадием // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2019. № 1 (63). С. 256–261.
- Климов Д.Е., Громова Д.В. Обеспечение свариваемости арматурного проката. Оценка требований межгосударственных и российских стандартов // Вестник НИЦ «Строительство». 2020. Вып. 24. С. 54–61. DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-1\(24\)-54-61](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-1(24)-54-61)
- Зборовский Л.А. К вопросу о свариваемости арматуры класса А500С // Научные труды 2-й Всероссийской (Международной) конференции «Бетон и железобетон – пути развития». Т. 5. М.: НИИЖБ, 2005. С. 401–405.
- Слышенков С. О., Дьячков В. В., Зборовский Л. А. О свариваемости арматуры класса А500С // Про-

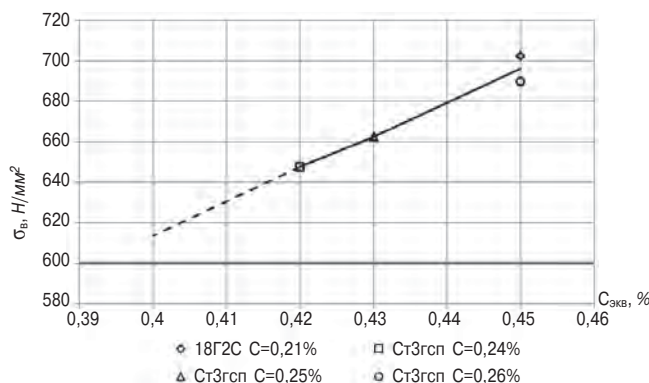


Рис. 4. Зависимость временного сопротивления образцов сварных соединений арматуры типа C1-Ко от углеродного эквивалента  $C_{ЭКВ}$  в плавке

Fig. 4. Dependence of the ultimate strength of samples of welded joints of reinforcement type C1-Co on the carbon equivalent  $C_{eq}$  in the cast

ет прочность сварных соединений на растяжение и уменьшает технологические характеристики при изгибе.

2. Результаты испытаний показали, что на прочность сварных соединений арматуры диаметром 32 мм класса А500С при растяжении оказало значение углеродного эквивалента  $C_{ЭКВ}$ , которое находилось в плавках в пределах от 0,42 до 0,45%.

Для набора статистических данных необходимо продолжить исследования арматуры других заводо-производителей, при этом по результатам выполненных исследований и анализа зарубежной НТД можно дать следующие предложения по внесению изменений в ГОСТ 34028–2016:

В Приложение к табл. 4 ГОСТ 34028–2016 добавить п. 9:

«9. Для проката диаметром 32 мм и более класса А500С допускается увеличение в стали массовой доли углерода до 0,26% (в готовом прокате до 0,27%) со значением углеродного эквивалента  $C_{ЭКВ}$  согласно п. 6.1.4.4».

### References

- Ivanaiskiy E.A., Ishkov A.V., Ivanaiskiy V.V., Lytkin V.A. Structure and properties of welded joints of microalloyed vanadium reinforcement. *Uchenyye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta*. 2019. No. 1 (63), pp. 256–261. (In Russian).
- Klimov D.E., Gromova D.V. Ensuring weldability of reinforcing bars. Assessment of the requirements of interstate and Russian standards. *Vestnik NITS «Stroitel'stvo»*. 2020. Iss. 24, pp. 54–61. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-1\(24\)-54-61](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-1(24)-54-61)
- Zborovskiy L.A. On the issue of weldability of reinforcement class А500С. *Scientific works of the 2nd All-Russian (International) conference "Concrete and reinforced concrete – ways of development"*. 2005. Vol. 5, pp. 401–405. (In Russian).
- Slyshenkov S.O., Dyachkov V.V., Zborovskiy L.A. On the weldability of reinforcement grade А500W.



- мышленное и гражданское строительство. 2017. № 1. С. 78–82.
5. Tamer Moustafa, Waleed Khalifa, M. Raafat El-Koussy, Nahed Abd El-Reheem Optimizing the welding parameters of reinforcing steel bars // *Arabian journal for science and engineering*. 2016. Vol. 41. No. 5, pp. 1699–1711. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13369-015-1929-x>
  6. Degtyarev V.V. Tensile strength of welded splices of QST reinforcing bars // *ACI Materials Journal*. 2007. Vol. 104. Iss. 1, pp. 95–102. DOI: 10.14359/18500
  7. Тихонов И.Н., Гуменюк В.С. Современные требования к сварным стыковым соединениям термомеханически упрочненной арматуры классов прочности 400 и 500 Н/мм<sup>2</sup> // *Бетон и железобетон*. 2012. № 4. С. 6–9.
  8. Тихонов И.Н., Мешков В.З. Стыковые соединения арматуры в монолитном строительстве // *Бетон и железобетон*. 2016. № 1. С. 8–11.
  9. Фридман А.М., Зборовский Л.А., Исаев Г.И. Свариваемость термически упрочненной арматуры // *Бетон и железобетон*. 1982. № 12. С. 12–14.
  10. Левченко Г.В., Вахрушева В.С., Малыш А.Д. и др. Исследование свариваемости арматурного проката классов Bst 500 и A500C // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. 2005. Вып. 10. С. 223–230.
  11. Левченко Г.В., Грицай Т.В., Вахрушева В.С., Малыш А.Д., Кучеренко Н.Г. Сравнительное исследование свариваемости термоупрочненного и горячекатаного арматурного проката. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. науч. тр.* Днепропетровск: ИЧМ НАН Украины, 2007. Вып. 14. С. 194–201.
  12. Домов Д.В., Франтов И.И., Борцов А.Н., Цыба О.О. Критерии оценки свариваемости арматурных сталей // *Металлург*. 2015. № 5. С. 58–62.
  13. Домов Д.В., Франтов И.И., Серегин А.Н., Борцов А.Н., Фофанов А.А., Цыба О.О., Власюк Н.В., Суриков И.Н., Саврасов И.П., Востров М.С. Влияние ванадия на механические и потребительские свойства свариваемой арматурной стали классов прочности A500C и A600C // *Металлург*. 2015. № 10. С. 65–69.
  14. Водовозова Г.С., Копытова Н.В., Мадатян С.А., Климов Д.Е. Универсальная арматурная сталь класса An600C марки 20Г2СФБА // *Черная металлургия: Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2016. № 5. С. 51–56.
  15. Звездов А.И., Саврасов И.П., Снимщиков С.В., Суриков И.Н., Востров М.С., Цыба О.О. Повышение термостойкости и свариваемости арматурного проката класса A500C микролегированием. *Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия*. М., 2016. С. 117–123.
  5. Tamer Moustafa, Waleed Khalifa, M. Raafat El-Koussy, Nahed Abd El-Reheem Optimizing the welding parameters of reinforcing steel bars. *Arabian journal for science and engineering*. 2016. Vol. 41. No. 5, pp. 1699–1711. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13369-015-1929-x>
  6. Degtyarev V.V. Tensile strength of welded splices of QST reinforcing bars. *ACI Materials Journal*. 2007. Vol. 104. Iss. 1, pp. 95–102. DOI: 10.14359/18500
  7. Tikhonov I.N., Gumenyuk V.S. Modern requirements for welded butt joints of thermomechanically hardened reinforcement of strength grade 400 and 500 N/mm<sup>2</sup>. *Beton i Zhelezobeton [Concrete and Reinforced Concrete]*. 2012. No. 4, pp. 6–9. (In Russian).
  8. Tikhonov I.N., Meshkov V.Z. Butt joints of reinforcement in monolithic construction. *Beton i Zhelezobeton [Concrete and Reinforced Concrete]*. 2016. No. 1, pp. 8–11. (In Russian).
  9. Fridman A.M., Zborovskiy L.A., Isaev G.I. Weldability of thermally hardened reinforcement. *Beton i Zhelezobeton [Concrete and Reinforced Concrete]*. 1982. No. 12, pp. 12–14. (In Russian).
  10. Levchenko G.V., Vakhrusheva V.S., Malyshev A.D. et al. Study of weldability of reinforcing bars of grade Bst 500 and A500W. *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy chernoy metallurgii*. 2005. Iss. 10, pp. 223–230. (In Russian).
  11. Levchenko G.V., Gritsay T.V., Vakhrusheva V.S., Malyshev A.D., Kucherenko N.G. Comparative study of weldability of heat-strengthened and hot-rolled reinforcing bars. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy: Collection of scientific papers*. Dnepropetrovsk: IChM NAS of Ukraine. 2007. Iss. 14, pp. 194–201. (In Russian).
  12. Domov D.V., Frantov I.I., Bortsov A.N., Tsyba O.O. Criteria for assessing the weldability of reinforcing steels. *Metallurg*. 2015. No. 5, pp. 58–62 (In Russian).
  13. Domov D.V., Frantov I.I., Seregin A.N., Bortsov A.N., Fofanov A.A., Tsyba O.O., Vlasjuk N.V., Surikov I.N., Savrasov I.P., Vostrov M.S. The influence of vanadium on the mechanical and consumer properties of welded reinforcing steel of strength classes A500C and A600C. *Metallurg*. 2015. No. 10, pp. 65–69. (In Russian).
  14. Vodovozova G.S., Kopytova N.V., Madatyan S.A., Klimov D.E. Universal reinforcing steel of class An600W, grade 20G2SFBA. *Chernaya metallurgiya: byulleten' nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii*. 2016. No. 5, pp. 51–56. (In Russian).
  15. Zvezdov A.I., Savrasov I.P., Snimshchikov S.V., Surikov I.N., Vostrov M.S., Tsyba O.O. Increase of heat resistance and weldability of A500C class reinforcing bars by microalloying. *Modern problems of calculating reinforced concrete structures, buildings and structures for emergency impacts*. Moscow. 2016, pp. 117–123. (In Russian).

УДК 691.714.122

И.С. КУЗНЕЦОВА, канд. техн. наук (1747139@mail.ru),  
 В.Ф. СТЕПАНОВА, д-р техн. наук, профессор, академик МИА (vfstepanova@mail.ru),  
 А.В. БУЧКИН, канд. техн. наук (andibuch@inbox.ru), С.П. МИУСОВ, мл. науч. сотрудник (spmiosov@mail.ru),  
 Д.В. АКОПЯН, ведущий инженер (1747139@mail.ru)

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

## Исследования поведения бетонных плит с арматурой композитной полимерной при пожаре

Приведены особенности поведения бетонных плит со стеклокомпозитной арматурой при пожаре и их отличия от железобетонных конструкций, выявленные на основе огневых испытаний. Обоснована неприменимость стандартных критериев достижения пределов огнестойкости железобетонных конструкций для опытной оценки огнестойкости бетонных конструкций со стеклокомпозитной арматурой.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, арматура композитная полимерная, арматура стеклокомпозитная, огнестойкость, высокотемпературный нагрев, огневые испытания.

**Для цитирования:** Кузнецова И.С., Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Миусов С.П., Акопян Д.В. Исследования поведения бетонных плит с арматурой композитной полимерной при пожаре // *Бетон и железобетон*. 2021. № 5–6 (607–608). С. 32–37.

I.S. KUZNETSOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (1747139@mail.ru),  
 V.F. STEPANOVA, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Academician of IAE (vfstepanova@mail.ru),  
 A.V. BUCHKIN, Candidate of Sciences (Engineering) (andibuch@inbox.ru),  
 S.P. MIUSOV, Junior Researcher (spmiosov@mail.ru), D.V. AKOPYAN, Leading (1747139@mail.ru)

Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev "Research Center of Construction" JSC  
 (6, 2nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

### Studies of the Behavior of Concrete Slabs with Composite Polymer Reinforcement in Case of Fire

The features of the behavior of concrete slabs with glass composite reinforcement in a fire and their differences from reinforced concrete structures identified on the basis of fire tests are presented. The article substantiates the inapplicability of standard criteria for achieving the fire resistance limits of reinforced concrete structures for the experimental assessment of the fire resistance of concrete structures with glass composite reinforcement.

**Keywords:** reinforced concrete structures, composite polymer reinforcement, fiberglass composite reinforcement, fire resistance, high-temperature heating, fire tests.

**For citation:** Kuznetsova I.S., Stepanova V.F., Buchkin A.V., Miusov S.P., Akopyan D.V. Studies of the Behavior of Concrete Slabs with Composite Polymer Reinforcement in Case of Fire. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 5–6 (607–608), pp. 32–37. (In Russian).

Арматура композитная полимерная (АКП) является альтернативой стальной арматуре за счет стойкости к агрессивным средам, низкой теплопроводности, диэлектрических свойств и магнитной инертности [1–4], что обуславливает возможность ее применения в бетонных конструкциях при строительстве:

– дорожных покрытий и ограждений объектов дорожно-транспортной инфраструктуры;

– сооружений высоковольтных линий электропередачи и подстанций;

– емкостей очистных сооружений, отстойников и каналов объектов химпроизводств, токсичных захоронений, водоподготовки и водоочистки, мелиорации;

– береговых ограждений портовых сооружений и морских набережных;

– объектов городских систем канализации и водоотведения;

– укреплений в виде стены в грунте для шахт, тоннелей и метрополитенов;

– фундаментных конструкций и полов;

– пунктов взимания дорожной платы, использующих технологию радиочастотной идентификации, боксов высокоточного научного, медицинского оборудования – магнитно-резонансных томографов.

Сдерживающим фактором применения АКП в гражданском строительстве является неизученность вопросов обеспечения огнестойкости бетонных конструкций с АКП [4–7].

Принципы проектирования и конструирования бетонных конструкций с АКП изложены в СП 295.1325800.2017 «Конструкции бетонные, армиро-

ванные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования», где вопросы пожарной безопасности не рассматриваются. Целенаправленные исследования огнестойкости бетонных конструкций с АКП не проводились или носили частный характер [8–10].

В 2019 г. в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева проведены рекогносцировочные испытания огнестойкости натуральных плитных бетонных конструкций с АКП [11], которым предшествовали исследования изменения прочности на растяжение стеклокомпозитной арматуры (АСК, разновидность АКП) различного качества (от разных производителей) при кратковременном нагреве и в охлажденном состоянии после нагрева в интервале температуры 60–400°C.

Установлена общая тенденция снижения прочности на растяжение АСК с ростом температуры, выявлена нестабильность изменчивости механических свойств от разных производителей. Так, например, при нагреве до 300°C наблюдается снижение прочности на растяжение АСК от 13 до 40% от первоначальной при 20°C [12–15].

Испытания на огнестойкость натуральных плитных бетонных конструкций с АКП проводились по методикам ГОСТ 30247.0–94 «Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Общие требования» и ГОСТ 30247.1–94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции» бетонных плитных конструкций с АСК.

Целями исследований являлись:

- определения фактических пределов огнестойкости бетонных плит с АСК;
- сопоставление результатов огнестойкости бетонных плит с АСК и железобетонных плит;
- изучение специфики поведения бетонных плит с АСК при пожаре;
- оценка возможности применения расчетных методов огнестойкости железобетонных статически определимых изгибаемых элементов к оценке огнестойкости бетонных плит с АСК.

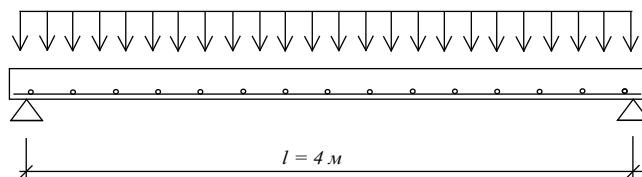
Огневые испытания подвергались четыре серии плит сплошного сечения габаритами 4200×1200×140 мм из тяжелого бетона класса В40 на гранитном заполнителе, запроектированные по СП 63.13330.2018 и СП 295.1325800.2017 с различными вариациями армирования. Толщина защитного слоя была принята одинаковой для всех серий плит и составляла 25 мм касательно к нижнему ряду арматуры.

В опытах присутствовала контрольная серия «А» плит, изготовленных с применением горячекатаной стержневой арматуры класса А500С в количестве семи стержней диаметром 14 мм.

В сериях «Б» и «В» плиты изготовлены с применением АСК от производителя ООО «КомАР» (г. Сара-



*Рис. 1. Общий вид огневой установки*  
*Fig. 1. General view of the firing installation*



*Рис. 2. Схема нагружения опытных плит при огневых испытаниях*  
*Fig. 2. Scheme of loading test plates during fire tests*

пул) в количестве семи стержней диаметром 12 мм, обеспечивающей первую группу предельных состояний в серии «Б» и в количестве двенадцати стержней диаметром 16 мм, обеспечивающей первую и вторую группы предельных состояний в серии «В».

В серии «Д» плиты изготовлены с применением АСК от двух производителей:

- в плите марки «Д1» применена АСК от производителя АО «СТЕКЛОНИТ» (г. Уфа) в количестве двенадцати стержней диаметром 16 мм, обеспечивающая первую и вторую группы предельных состояний;
- в плите марки Д2 применена АСК от производителя ООО «АРМКОМПОЗИТ» (г. Тула) в количестве семи стержней диаметром 12 мм, обеспечивающая первую группу предельных состояний.

Огневые испытания натуральных плит проведены в центре огневых испытаний НИЭЦ «Стройтест» (г. Алексин, Тульская обл.) (рис. 1).

Плиты испытывались по шарнирной схеме нагружения заданной равномерно распределенной нагрузкой (600 кг/м<sup>2</sup>). Нагружение плит осуществлялось бетонными блоками, равномерно установленными по длине плит (рис. 2).

Перед каждым огневым испытанием контролировалась влажность бетона плит, которая во всех сериях варьировалась в пределах 3,7–4,4%. Возраст бетона плит к моменту огневых испытаний составлял не менее 30 и не более 50 сут.

Перед испытаниями в процессе нагружения, а также в ходе испытаний на огнестойкость производились замеры прогибов плит с помощью прогибомеров. По мере нагружения перед огневым испытанием фиксировался прогиб плит под нагрузкой, предельная величина которого не должна была превышать 24,5 мм (до-

пустимый эксплуатационный прогиб по таблице Д.1 приложения Д по СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»). Значение предельно допустимого прогиба при нагреве, характеризовавшего предельное состояние плит, было принято равным 200 мм, или  $L/20$  ( $L$  – пролет), согласно Приложению А ГОСТ 30247.1.

В процессе огневых испытаний поддерживался стандартный температурный режим пожара, характеризующийся зависимостью:

$$T = 345 \cdot \lg(8t + 1) + T_0,$$

где  $T_0$  – температура окружающей среды до пожара, °С;  $T$  – температура в печи, соответствующая времени  $t$ , °С;  $t$  – время, исчисляемое от начала испытания, мин.

Согласно ГОСТ 30247.1, для изгибаемых элементов критерием наступления предела огнестойкости в процессе огневого испытания является наступление одного из предельных состояний:

- потеря несущей способности  $R$  вследствие обрушения конструкции, или возникновения предельного прогиба в середине пролета величиной  $1/20$  пролета  $L$  (для опытных плит – 200 мм), или скорости нарастания деформации  $L^2/(9000h)$  см/мин (для опытных плит – более 1,3 см/мин);
- потеря целостности  $E$ ;
- потеря теплоизолирующей способности  $I$ .

Специфика поведения бетонных плит с АСК проявилась на стадии подготовки к огневым испытаниям в процессе нагружения плит серий «Б» (серия равнопрочной замены АСК по первой группе предельных состояний). В процессе нагружения плит нагрузкой, превысившей 50% проектной нагрузки (300 кг/м<sup>2</sup>), прогиб плит превысил критериальное значение (25 мм). Последующее нагружение этих плит приводило к необратимому скачкообразному росту прогибов, что свидетельствовало о проскальзывании АСК в бетоне и проследивалось на торцах плит. После частичного снятия нагрузки до значения 50% проектной прогиб плит был необратимым и плиты серий «Б» испытывались под нагрузкой, равной 50% проектной.

До начала огневого испытания значения прогибов от нагрузки бетонных плит с АКП более чем в два раза превышали прогибы плит номинальной серии «А» со стальной арматурой.

В ходе огневых испытаний особенность поведения бетонных плит с АСК проявлялась в характере нарастания прогибов: с начала огневого испытания и практически до момента разрушения прогибы нарастали с постоянной скоростью 0,25–0,3 см/мин, с незначительным увеличением скорости в два раза за 1–2 мин до момента обрушения (рис. 3), что не соответствовало критерию скорости нарастания деформаций по ГОСТ 30247.1.

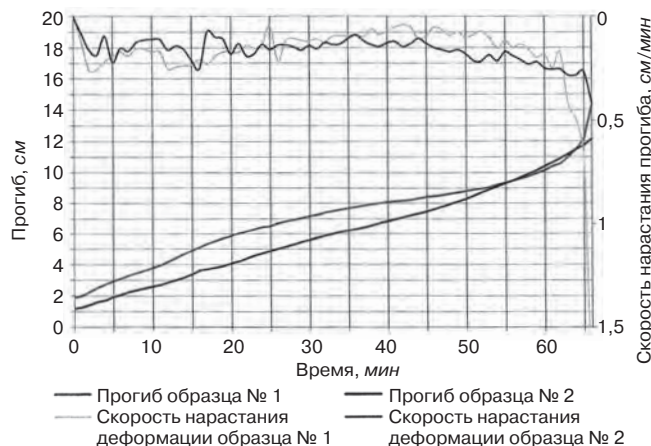


Рис. 3. Результаты измерений деформаций (прогибов) и скорости их нарастания в плитах с АСК

Fig. 3. The results of measurements of deformations (deflections) and the rate of their growth in slabs with polymer composite reinforcement



Рис. 4. Характерный вид плит с АСК на начальной стадии огневого испытания

Fig. 4. Typical view of plates with polymer composite reinforcement at the initial stage of the fire test



Рис. 5. Вид плит с АСК после обрушения

Fig. 5. View of slabs with polymer composite reinforcement after collapse



Рис. 6. Вид плит серии «А» на момент завершения испытания (113-я минута испытания)

Fig. 6. View of series «A» slabs at the time of completion of the test (113-th minute of the test)

Кроме того, в момент разрушения всех серий плит с АКП значения критических прогибов составляли  $1/25L$ – $1/35L$  и были значительно меньше стандартного критериального прогиба  $1/20L$ , что также являлось методическим несоответствием ГОСТ 30247.1 по критерию наступления предельного прогиба.

**Результаты огневых испытаний натуральных плит с армированием стальной арматурой и АСК**  
**Results of fire tests of full-scale slabs with steel reinforcement and polymer composite reinforcement**

Характерные параметры		Серия «А»		Серия «Б»		Серия «В»		Серия «Д»	
		A1	A2	B1	B2	V1	V2	D1	D2
Проектные параметры	Вид арматуры	A500С						АСК	
	Армирование (количество стержней, диаметр)	7 Ø14		7 Ø12		12 Ø16		12 Ø16	
	Расчет по первой группе предельных состояний	+	+	+	+				+
	Расчет по двум группам предельных состояний					+	+	+	
	Вид бетона	B40				B40			
	Производитель	–	–	ООО «КомАР»				АО «СТЕКЛОНИТ»	ООО «АРМКМПОЗИТ»
Условия испытаний	Нагружение (% от проектной нагрузки)	100	100	50	50	100	100	100	–
	Влажность бетона по массе, %	3,68	3,67	4,2	4,3	4,08	4,15	4,29	4,38
	Прогиб от нагрузки до испытания, мм	6,5	9,2	30,5	23,3	18,9	11,9	19	
Результаты огневых испытаний	Предел огнестойкости по потере несущей способности (R)	<b>R 113</b>		<b>R 47</b>		<b>R 66</b>		<b>R 78</b>	
	Признак предельного состояния	Предельный прогиб		Обрушение		Обрушение		Необратимый прогиб	
	Прогиб в предельном состоянии, мм	200	199	143	135	143	121	158	152
	Прогиб после остывания (обратимый), мм	119	110	–	–	–	–	–	–
	Глубина взрывообразного разрушения бетона	Локальные зоны 10 мм		Локальные зоны 25 мм		Локальные зоны 25 мм		Локальные зоны 10 мм	
	Максимальная температура нагрева арматуры, °С	580	575	300	250	320	290	400	405

В огневых испытаниях всех серий бетонных плит с АКП наступление пределов огнестойкости сопровождалось обрушением плит. Огневые испытания каждой серии плит проводились попарно (одновременный отжиг двух плит). После обрушения одной плиты из двух огневая установка отключалась, вторая плита также обрушалась через 5–10 мин после прекращения огневого испытания (рис. 4, 5).

Иной характер достижения предела огнестойкости наблюдался в контрольной серии «А» плит со стальной арматурой. Для плит серии «А» предел огнестойкости наступал по признаку достижения критериального прогиба 200 мм. При достижении критериального прогиба плиты не разрушились (рис. 6). После остывания прогибы плит серии «А» заметно уменьшились, т. е. носили частично обратимый характер.

Известно, что при пожаре железобетонные плиты с шарнирным опиранием при одностороннем нагреве снизу разрушаются в результате образования пластического шарнира в середине пролета из-за снижения нормативного сопротивления арматуры растяжению до критического значения напряжения от нормативной нагрузки [7, 8].

Максимальная температура нагрева стальной арматуры класса А500С к моменту наступления предела огнестойкости составляла 575–580°С. После

остывания стальная арматура частично восстанавливает прочностные свойства, что позволяет произвести восстановительный ремонт железобетонной конструкции или ее замену после пожара при обеспечении страховочных мероприятий.

Разрушение бетонных плит с АСК носит внезапный и хрупкий характер. Максимальная температура нагрева стержней АСК в бетонных плитах к моменту наступления предела огнестойкости варьировалась в пределах 250–300°С. С увеличением температуры нагрева конструкции по толщине происходит резкое изменение механических свойств АСК и потеря сцепления АСК с бетоном вследствие термического размягчения полимерной матрицы, что было подтверждено настоящими огневыми испытаниями и результатами испытаний зарубежных коллег [5, 12–14].

В ходе осмотра бетонных плит с АКП после испытаний установлено, что стержни АСК утратили целостность за счет полного выгорания связующего (термореактивной смолы) при нагреве и превратились в пучок стеклянных волокон.

Обобщенные результаты исследований приведены в таблице.

По результатам огневых испытаний установлено: – фактические пределы огнестойкости по потере несущей способности *R* бетонных плит с АСК серий «В»

и «Д», рассчитанных по двум группам предельных состояний, составили 58 и 69% от предела огнестойкости контрольных железобетонных плит серии «А»;

– пределы огнестойкости по потере целостности  $E$  и по потере теплоизолирующей способности не достигнуты во всех сериях огневых испытаний;

– при достижении предела огнестойкости бетонные плиты с АКП обрушаются, контрольные плиты со стальной арматурой не обрушаются, и после остывания прогиб плит уменьшается на 40%.

По результатам испытаний предпринята попытка расчетного обоснования огнестойкости бетонных плит с АСК на основе подходов к расчетной оценке огнестойкости железобетонных конструкций по СП 468.1325800.2019 «Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности». Расчет показал, что принципиальные подходы к расчетной оценке огнестойкости по методикам СП 468.1325800.2019 неприменимы для расчетной оценки огнестойкости бетонных конструкций с АКП и оценка фактических пределов огнестойкости бетонных конструкций с АКП возможна только путем огневых испытаний.

Поскольку статистическая база данных по испытаниям бетонных конструкций с АСК на настоящий момент отсутствует, представленные исследования недостаточны для дальнейшей разработки расчетных методов оценки огнестойкости и требуют дальнейшего развития.

### Выводы

1. Пределы огнестойкости бетонных плит с АСК составили 58–69% от предела огнестойкости железобетонных плит.

2. Критерии достижения предела огнестойкости по потере несущей способности железобетонных конструкций по ГОСТ 30247.1 неприменимы для бетонных конструкций с АСК.

3. Скорость нарастания прогибов бетонных плит с АСК в процессе огневого испытания практически

### Список литературы

1. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю. Неметаллическая композитная арматура для бетонных конструкций // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 1. С. 45–47.
2. Хорохордин А.М., Усачев А.М., Коротких Д.Н. Сравнительная оценка механических свойств полимерной композитной арматуры // *Строительные материалы*. 2018. № 7. С. 71–75. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-761-7-71-75
3. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю., Жирков Е.П. Арматура композитная полимерная. М.: АСВ, 2013. 200 с.
4. Плевков В.С., Тамразян А.Г., Кудяков К.Л. Прочность и трещиностойкость изгибаемых фибробетонных

одинакова и резко возрастает за 1–2 мин до обрушения при достижении критического прогиба  $L/25$ – $L/35$ .

4. При достижении предела огнестойкости бетонные плиты с АКП обрушаются. Обрушение бетонных плит происходит при нагреве АСК до температуры 300°C, носит хрупкий и внезапный характер.

5. Плиты, рассчитанные по первой группе предельных состояний, не выдерживают 100% проектного нагружения; в связи с этим равнопрочная замена стальной арматуры на АСК недопустима. Бетонные конструкции с АСК необходимо рассчитывать по двум группам предельных состояний по СП 295.1325800.2017.

6. Механизм разрушения плит с АСК отличается от железобетонных плит: бетонные плиты с АСК разрушаются из-за потери сцепления АСК с бетоном вследствие выгорания связующего, а железобетонные плиты разрушаются от образования пластического шарнира в пролете за счет снижения нормативного сопротивления растяжению арматуры до критического значения напряжения от нормативной нагрузки.

7. Существующие расчетные методы оценки огнестойкости железобетонных конструкций неприменимы для бетонных конструкций с АСК. Для бетонных конструкций с АКП необходимо проведение огневых испытаний применительно к конкретной конструкции, для каждого вида АКП и от конкретного производителя.

8. Распространение результатов огневых испытаний бетонных конструкций с АКП одного производителя на аналогичные конструкции с АКП других производителей не допускается.

### References

1. Stepanova V. F., Stepanov A. Yu. Non-metallic composite rebar for concrete structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 1, pp. 45–47. (In Russian).
2. Khorokhordin A.M., Usachev A.M., Korotkih D.N. Comparative assessment of mechanical properties of polymer composite reinforcement. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. (In Russian). 2018. No. 7, pp. 71–75. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-761-7-71-75
3. Stepanova V.F., Stepanov A.Yu., Zhirkov E.P. *Armaturnaya kompozitnaya polimernaya* [Polymer composite reinforcement]. Moscow: ASV. 2013. 200 p.
4. Plevkov V.S., Tamrazyan A.G., Kudakov K.L. Prochnost' i treshchinostoykost' izgibaemykh fibrobetonnykh elementov s prednapryazhennoi steklokompozitnoi armaturoi pri staticheskom i kratkovremennom dinamicheskom nagruzhении: monografiya [Strength and crack resistance of bendable fiber-concrete elements with prestressed glass composite reinforcement under static and short-term dynamic loading: monograph].

- элементов с преднапряженной стеклокомпозитной арматурой при статическом и кратковременном динамическом нагружении: Монография. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2021. 204 с.
5. Ширко А.В., Камлюк А.Н., Спишлязов А.В., Дробыш А.С. Определение механических свойств композитной арматуры с учетом температурного воздействия // *Механика машин, механизмов и материалов*. 2015. № 2 (31). С. 59–65.
  6. Виноградова Н.А., Теплова Ж.С. Сдерживающие факторы использования композитной арматуры // *Молодой ученый*. 2016. № 17 (121). Ч. 1. С. 31–35.
  7. Милованов А.Ф. Железобетонные температуростойкие конструкции. М.: Издательство: НИИЖБ, 2005. 234 с.
  8. Милованов А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре. М.: Стройиздат, 1998. 304 с.
  9. Голованов В.И., Павлов В.В., Пехотиков А.В. Экспериментальные и аналитические исследования огнестойкости сплошной бетонной плиты со стальной и композитной арматурой // *Пожарная безопасность*. 2013. № 2. С. 44–51.
  10. Грахов В.П., Захаров А.И., Кислякова Ю.Г., Саидова З.С. Управление проектами в строительстве с применением композитной арматуры: Монография. Ижевск: Изд-во ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2017. 132 с.
  11. Отчет по научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе «Исследование бетонных конструкций, армированных фиброй композитной полимерной и арматурой композитной полимерной (АКП), на воздействие пожара». В 2 т.: Т. 1. М., 2019. 127 с.
  12. Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Кузнецова И.С., Рябченкова В.Г., Юрин Е.Ю. Изменение прочностных характеристик стеклокомпозитной арматуры при кратковременном температурном воздействии // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2020. № 4 (27). С. 107–116.
  13. Blontrock H., Taerwe L., Matthys S. Properties of FRP at elevated temperatures with regard to fire resistance of reinforced concrete members. *Proceedings of the 4th International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures (FRPRCS-4)*. 1999, pp. 43–54.
  14. Dezfouli, Abdolkarim Abbasi. Behaviour of GFRP rebars reinforced concrete elements under elevated temperature and fire. 2003.
  15. Tanano H. Fire resistance of continuous fibre reinforced concrete. *Non-metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*. Edited by L. Taewe. 1995, pp. 368–375.
  16. Аль-Шиблави К.А., Ярцев В.П. Сравнительный анализ эксплуатационных свойств композитной пластиковой и металлической арматуры // *Инновации в науке: научный журнал*. 2017. № 6 (67). С. 78–80.
  - Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering Publishing House. 2021. 204 p.
  5. Shirko A.V., Kamlyuk A.N., Spishlazov A.V., Drobysch A.S. Determination of the mechanical properties of composite reinforcement taking into account the temperature effect. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*. 2015. No. 2 (31), pp. 59–65. (In Russian).
  6. Vinogradova N.A., Teplova Zh.S. Constraints on the use of composite rebar. *Molodoi uchenyi*. 2016. No. 17 (121). Part 1, pp. 31–35. (In Russian).
  7. Milovanov A.F. Zhelezobetonnye temperaturostoikiye konstruksii [Reinforced concrete temperature-resistant structures]. Moscow: Publishing house: NIIZhB. 2005. 234 p.
  8. Milovanov A.F. Stoikost' zhelezobetonnykh konstruksii pri pozhare [Resistance of reinforced concrete structures in case of fire]. Moscow: Stroyizdat. 1998. 304 p.
  9. Golovanov V.I., Pavlov V.V., Pekhotikov A.V. Experimental and analytical studies of fire resistance of a solid concrete slab with steel and composite reinforcement. *Pozharnaya bezopasnost'*. 2013. No. 2, pp. 44–51. (In Russian).
  10. Grakhov V.P., Zakharov A.I., Kislyakova Yu.G., Saidova Z.S. Upravlenie proektami v stroitel'stve s primeneniem kompozitnoi armatury: monografiya [Project management in construction with the use of composite reinforcement: monograph.]. Izhevsk: Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov. 2017. 132 p.
  11. Report on research and development work "Investigation of concrete structures reinforced with polymer composite fiber and polymer composite reinforcement (ACP), on the impact of fire". Vol. 1. Moscow. 2019. 127 p.
  12. Stepanova V.F., Buchkin A.V., Kuznetsova I.S., Ryabchenkova V.G., Yurin E.Yu. Changes in the strength characteristics of glass composite reinforcement under short-term temperature exposure. *Vestnik NITS «Stroitel'stvo»*. 2020. No. 4 (27), pp. 107–116. (In Russian).
  13. Blontrock H., Taerwe L., Matthys S. Properties of FRP at elevated temperatures with regard to fire resistance of reinforced concrete members. *Proceedings of the 4th International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures (FRPRCS-4)*. 1999, pp. 43–54.
  14. Dezfouli, Abdolkarim Abbasi. Behaviour of GFRP rebars reinforced concrete elements under elevated temperature and fire. 2003.
  15. Tanano H. Fire resistance of continuous fibre reinforced concrete. *Non-metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*. Edited by L. Taewe. 1995, pp. 368–375.
  16. Al'-Shiblavi K.A., Yartsev V.P. Comparative analysis of the performance properties of composite plastic and metal reinforcement. *Innovatsii v nauke: nauchnyi zhurnal*. 2017. No. 6 (67), pp. 78–80. (In Russian).

УДК 624.04:624.94.012.45

А.Н. БОЛГОВ, канд. техн. наук (200651@mail.ru),  
С.И. ИВАНОВ, канд. техн. наук (5378018@mail.ru),  
А.З. СОКУРОВ, канд. техн. наук (6618188@gmail.com),  
А.В. НЕВСКИЙ, канд. техн. наук (lokop888@gmail.com)

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

## Практическая методика расчета прочности узлов сопряжения железобетонных колонн и плит из бетонов разных классов по прочности

Приведена инженерная методика расчета узлов «плита–колонна», учитывающая различные классы бетона по прочности в плите и колонне. Точность предложенных зависимостей оценена в ходе сопоставления с опытными данными других авторов, а также с результатами численного моделирования. Оценка показала удовлетворительную точность предложенной методики расчета.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, стык плиты с колонной, узел «плита–колонна», прочность, инженерная методика расчета.

**Для цитирования:** Болгов А.Н., Иванов С.И., Сокуров А.З., Невский А.В. Практическая методика расчета прочности узлов сопряжения железобетонных колонн и плит из бетонов разных классов по прочности // *Бетон и железобетон*. 2021. № 5–6 (607–608). С. 38–43.

A.N. BOLGOV, Candidate of Sciences (Engineering) (200651@mail.ru),  
S.I. IVANOV, Candidate of Sciences (Engineering) (5378018@mail.ru),  
A.Z. SOKUROV, Candidate of Sciences (Engineering) (6618188@gmail.com),  
A.V. NEVSKII, Candidate of Sciences (Engineering) (lokop888@gmail.com)  
Research, Design and Technological institute of Concrete and Reinforced Concrete –  
NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC “Research Center “Stroitel’stvo”, Laboratory No. 2  
(6, build. 5, 2-nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

### Practical Method for Calculating the Strength of Reinforced Concrete Columns and Slabs Joints Made of Concrete of Different Strength Grades

The article presents an engineering methodology for calculating the slab-column joints, coupled with different strength grades of concrete in slab and column. The accuracy of the proposed formulas was assessed in comparison with experimental data of other authors, as well as with the results of numerical modeling. Evaluation showed satisfactory accuracy of the proposed methodology.

**Keywords:** reinforced concrete structures, slab-column connection, slab-column joint, strength, engineering methodology for calculating.

**For citation:** Bolgov A.N., Ivanov S.I., Sokurov A.Z., Nevsky A.V. Practical method for calculating the strength of reinforced concrete columns and slabs joints made of concrete of different strength grades. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 5–6 (607–608), pp. 38–43. (In Russian).

Данная статья является продолжением публикации [1]. Как было показано ранее, расчет прочности узлов «плита–колонна» может успешно выполняться с применением численных методов, в частности метода конечных элементов. Вместе с тем для практических расчетов необходимо иметь инженерную методику, позволяющую оценить прочность узлов без задействования вычислительных комплексов, но в то же время имеющую приемлемую точность.

#### Расчетная модель

В 2018 г. в работе [2] была предложена общая модель для расчета узлов «плита–колонна», которая рассматривала прочность колонны и плиты раздель-

но, при этом разрешающие уравнения напряженного состояния исходили из предпосылки связи деформаций бетона плиты и колонны по границе их контакта. Авторы модели привели схему напряженно-деформированного состояния узла с применением бетонов разных классов по прочности (рис. 1), где колонна вблизи плиты испытывает напряженное состояние «сжатие–растяжение–растяжение», а плита – «сжатие–сжатие–сжатие». Важным параметром в предложенной модели является размер зоны колонны, вовлекаемой в совместную работу с плитой  $l_{cc}$  (рис. 2).

Прочность бетона колонны и плиты оценивается исходя из критериев прочности при объемном напряженном состоянии (рис. 3) по формулам:



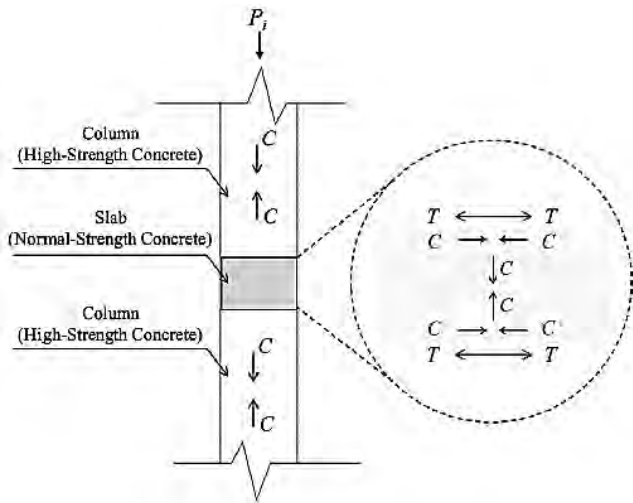


Рис. 1. Схема напряженного состояния узла «плита–колонна» в модели [2]

Fig. 1. Schematic illustration of the stress condition of a «slab–column» joint in the model [2]

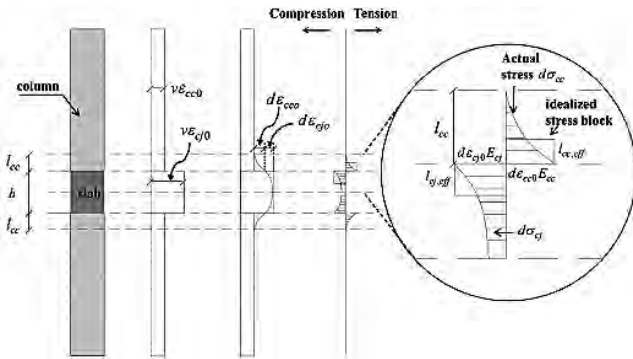


Рис. 2. Распределение напряжений вблизи границы бетона плиты и колонны согласно [2]

Fig. 2. Distribution of stresses near concrete boundary of slab and column according to [2]

– при  $f'_c < 40$  МПа:

$$\varepsilon_{cc0} = \varepsilon'_{cc} \left( 1 - \sqrt{1 - \sigma_i / f'_{cc}} \right); \quad (1)$$

$$\varepsilon_{cj0} = \varepsilon'_{cj} \left( 1 - \sqrt{1 - \sigma_i / f'_{cj}} \right);$$

– при  $f'_c > 40$  МПа:

$$\varepsilon_{cc0} = 1,8 f_{cc} / E_c \left( 1 - \sqrt{1 - \sigma_i / f'_{cc}} \right); \quad (2)$$

$$\varepsilon_{cj0} = 1,8 f_{cj} / E_c \left( 1 - \sqrt{1 - \sigma_i / f'_{cj}} \right),$$

где  $\varepsilon_{cc}$ ,  $f'_{cc}$  – предельные деформации бетона колонны при осевом сжатии;  $\varepsilon_{cc}$ ,  $f'_{cc}$  – предельные деформации бетона плиты при осевом сжатии;  $\sigma_i$  – напряжения обжатия.

Выполненные сравнения численных значений по предложенной методике с опытными данными [3] показали удовлетворительную сходимость: коэффициент точности (отношение опытных величин разрушающей нагрузки к их численным значениям) составил 1,465; коэффициент вариации – 45,5%.

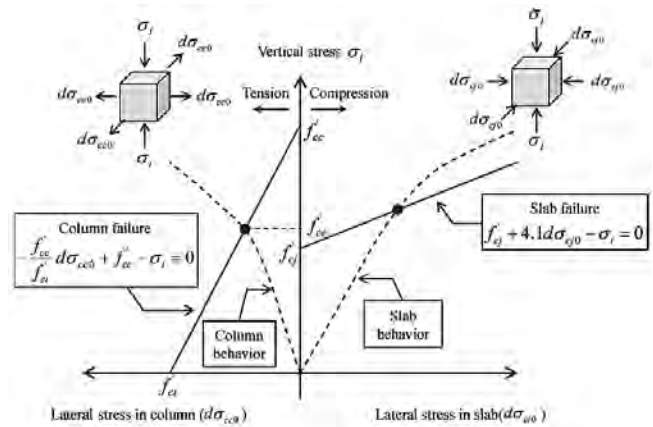


Рис. 3. Диаграмма прочности узла «плита–колонна» в модели [2]

Fig. 3. Strength diagram of a «slab–column» joint in the model [2]

### Расчет прочности промежуточных узлов

Для расчета прочности промежуточных узлов используем предпосылки, изложенные в работе [2]. Расчетную схему узла принимаем в виде, представленном на рис. 4. Исходя из обеспечения равенства поперечных деформаций бетона плиты и колонны в зоне узла, по аналогии с подходом в работе [2], запишем обобщенные поперечные деформации в следующем виде:

$$\varepsilon_{tr} = \frac{\varepsilon_{tr,c} \cdot h_c + \varepsilon_{tr,s} \cdot h_s}{h_c + h_s}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_{tr,c}$  – поперечные деформации колонны, вычисляемые как  $\varepsilon_{tr,c} = \varepsilon_{l,c} \cdot \nu_c$ ;  $\varepsilon_{tr,s}$  – поперечные деформации плиты, вычисляемые как:  $\varepsilon_{tr,s} = \varepsilon_{l,s} \cdot \nu_s$ ;  $\nu_c$ ,  $\nu_s$  – коэффициенты Пуассона для бетона колонны и плиты.

Согласно работе О.Я. Берга [4] коэффициент поперечной деформации бетона зависит от величины продольных деформаций и не является постоянной величиной. По предложению автора следует различать начальный уровень напряжений до величины  $R_T^0$ , характеризующей начало микротрещинообразования в бетоне, и последующий период сопротивления материала. Величина  $R_T^0$ , в свою очередь, зависит от прочности бетона и в работе [4] изменяется от 0,6 до 0,8 для бетонов средней и высокой прочности.

Поперечные деформации бетона на начальном этапе деформирования при  $\frac{\sigma_b}{R_b} \leq 0,6$  принимаем равными  $\nu_{c,s} = 0,2$ . Для напряжений  $\frac{\sigma_b}{R_b} > 0,6$  величину поперечных деформаций бетона принимаем согласно работе [4] по формуле:  $\nu_{c,s} = 0,75 \frac{\sigma_b}{R_b} - 0,25$ .

Продольные деформации бетона колонны ( $\varepsilon_{l,c}$ ) и плиты ( $\varepsilon_{l,s}$ ) вычисляем по формулам:  $\varepsilon_{l,c} = \frac{\sigma_{b,c}}{E_{b,c}}$ ;  $\varepsilon_{l,s} = \frac{\sigma_{b,s}}{E_{b,s}}$ .

Напряжения в бетоне колонны ( $\sigma_{b,c}$ ) и плиты ( $\sigma_{b,s}$ ) вычисляем по формулам:  $\sigma_{b,c} = \frac{N - R_{sc} A_{sc}}{A}$ ,  $\sigma_{b,s} = \frac{N - R_{sc} A_{sc}}{A_{loc}}$ .

За площадь бетона колонны принимаем в случае колонн квадратного сечения значение:  $A = c^2$ . Площадь бетона плиты при опирании колонны квадратного сечения принимаем:  $A_{loc} = (c + \frac{d}{4})^2$ .

Таблица 1  
Table 1

Сравнение результатов расчета прочности промежуточных узлов различными методами  
Comparing the results of calculating the strength of intermediate joints by different methods

№	Марка	$N_{test}, T$	$A, \text{мм}^2$	$s_c, \text{МПа}$	$A_{loc}, \text{мм}^2$	$s_s, \text{МПа}$	$e_{c,l}$	$e_{s,l}$	$n_c$	$n_s$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	MC25S25/100	1607	640000	23,4	743906	20,2	7,8E-04	6,7E-04	0,5	0,36
2	MC45S25/100	2212	640000	32,9	743906	28,3	9,7E-04	9,4E-04	0,5	0,5
3	MC60S25/100	2714	640000	40,7	743906	35	1,1E-03	1,2E-03	0,5	0,5
4	MC85S25/100	3012	640000	45,4	743906	39	1,1E-03	1,3E-03	0,5	0,5
5	MC25S25/100/4	537	160000	26,8	213906	20,1	8,9E-04	6,7E-04	0,48	0,36
6	MC60S25/100/4	987	160000	54,9	213906	41,1	1,5E-03	1,4E-03	0,48	0,5
7	MC85S25/100/4	1082	160000	60,9	213906	45,5	1,5E-03	1,5E-03	0,5	0,5

№	$e_{c,tr}$	$e_{s,tr}$	$e_{tr}$	$N_{calc}$	$N_{test} / N_{calc}$	$A_{loc}, \text{мм}^2$	$N_{calc,s}$	$N_{calc,min}$	$N_{test} / N_{calc,min}$
	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	3,9E-04	2,4E-04	3,6E-04	1802	0,89	855625	2221	1734	0,93
2	4,8E-04	4,7E-04	4,8E-04	2408	0,92	855625	2221	2221	1
3	5,5E-04	5,8E-04	5,6E-04	3103	0,87	855625	2221	2221	1,22
4	5,5E-04	6,5E-04	5,8E-04	3914	0,77	855625	2221	2221	1,36
5	4,3E-04	2,4E-04	3,6E-04	509	1,05	275625	789	491	1,09
6	7,1E-04	6,8E-04	7,0E-04	828	1,19	275625	789	652	1,51
7	7,4E-04	7,6E-04	7,5E-04	1050	1,03	275625	789	735	1,47
								$m$	1,23
								$S$	0,22
								$v, \%$	17,7

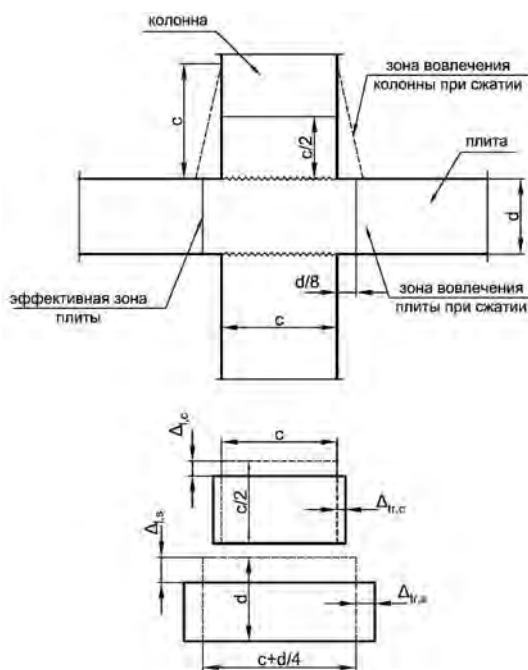


Рис. 4. Схема расчета промежуточных узлов  
Fig. 4. Scheme for calculating intermediate joints

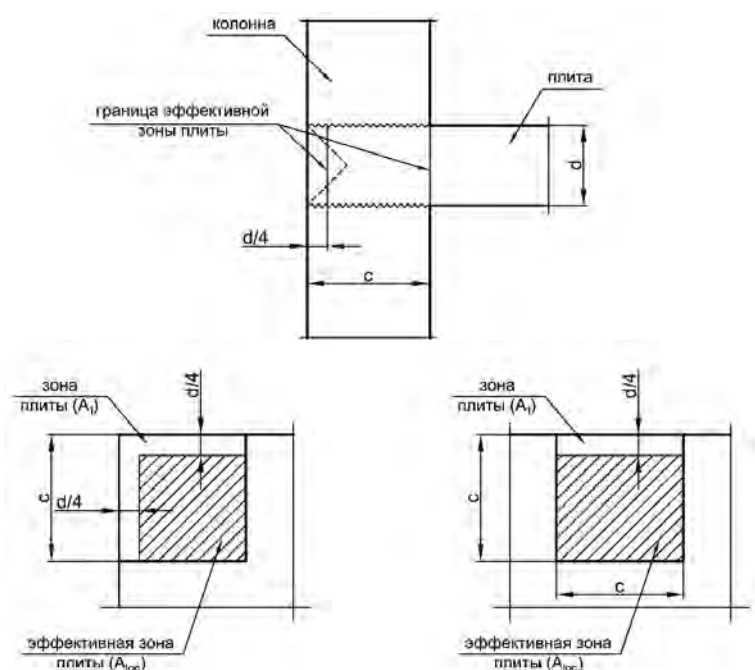


Рис. 5. Схема расчета крайних и угловых узлов: угловой узел (слева), крайний узел (справа)  
Fig. 5. Scheme for calculating edge and corner joints: corner joint (left), edge joint (right)

Прочность колонны определяем, полагая следующее условие прочности:

$$N_c = R_{bc}A \left( 1 - \frac{\epsilon_{tr,c}}{\epsilon_{bt}} \right) + R_{sc}A_{sc}. \quad (4)$$

Прочность плиты определяем, полагая следующее условие прочности:

$$N_s = A_{loc} \cdot R_{b,s} \left( \frac{2 \cdot E_{b,c}}{E_{b,s}} - 1 \right) + A_{sc}R_{sc}, \quad (5)$$

где  $A_{loc}$  – эффективная площадь плиты, вовлекаемая в работу при сжатии, принимаемая согласно схеме на рис. 4.

В табл. 1 приведены частные значения параметров для промежуточных узлов, которые были получены в

**Таблица 2**  
**Table 2**

**Сравнение результатов расчета прочности крайних узлов различными методами**  
**Comparing the results of calculating the strength of edge joints by different methods**

№	Марка	$E_{bc}$ , МПа	$E_{bs}$ , МПа	$N_{test}$ , т	$E_{bc} / E_{bs}$	$A_1$ , мм <sup>2</sup>	$A_{loc}$ , мм <sup>2</sup>	$k$	$N_{calc}$ , т	$N_{test} / N_{calc}$
1	EC45S25/100	34000	30000	607	1,13	25000	135000	2,04	592,1	1,03
2	EC85S25/100	41000	30000	679	1,37	25000	135000	1,85	747,7	0,91
3	EC25S25/100	30000	30000	494,7	1	25000	135000	1,97	503,1	0,98
4	EC25S25/100/5	30000	30000	688	1	31250	218750	1,93	725,4	0,95
5	EC60S25/100/5	37000	30000	1216	1,23	31250	218750	2,36	977,6	1,24
6	EC85S25/100/5	41000	30000	1275	1,37	31250	218750	2,21	1121,7	1,14
								$m$	2,09	1,04
								$S$	0,16	0,13
								$v$ , %	7,8	12,2

**Таблица 3**  
**Table 3**

**Сравнение результатов расчета прочности угловых узлов различными методами**  
**Comparing the results of calculating the strength of corner joints by different methods**

№	Марка	$E_{bc}$ , МПа	$E_{bs}$ , МПа	$N_{test}$ , т	$E_{bc} / E_{bs}$	$A_1$ , мм <sup>2</sup>	$A_{loc}$ , мм <sup>2</sup>	$k$	$N_{calc}$ , т	$N_{test} / N_{calc}$
1	CC45S25/100	34000	30000	511	1,13	46094	113906	1,91	578,2	0,88
2	CC85S25/100	41000	30000	516	1,37	46094	113906	1,77	709,5	0,73
3	CC25S25/100	30000	30000	477	1	46094	113906	1,91	503,1	0,95
4	CC25S25/100/5	30000	30000	825	1	58594	191406	2,21	725,4	1,14
5	CC60S25/100/5	37000	30000	1007	1,23	58594	191406	2,29	946,1	1,06
6	CC85S25/100/5	41000	30000	1041	1,37	58594	191406	2,22	1072,1	0,97
								$m$	2,05	0,96
								$S$	0,22	0,14
								$v$ , %	10,6	15

результате численного моделирования и инженерного расчета по предложенной методике, а также статистические параметры их сравнения. Из них следует, что среднее значение коэффициента точности составляет 1,23 при коэффициенте вариации 17,7%.

**Расчет прочности крайних и угловых узлов**

В ранее выполненных численных исследованиях было получено, что крайние и угловые узлы, разрушаются от дробления бетона плиты, в связи с этим для целей построения инженерной методики расчета достаточно рассмотреть прочность только участка плиты между колоннами.

Колонна из более прочного бетона и большим модулем деформации, чем плита, оказывает сдерживающее влияние на бетон плиты в поперечном направлении при сжатии. Принимаем границу сдерживания плиты у свободного края под углом 45° к поверхности плиты получим схему расчета плиты в узле (рис. 5).

Часть плиты, испытывающую обжатие со стороны колонн на площади  $A_{loc}$ , рассчитываем с использованием приведенной прочности бетона ( $R_{b,ef}$ ); для остальной части плиты площадью  $A_1$  принимаем характеристику прочности бетона, равную  $R_b$  (рис. 5).

Учитывая вышеприведенную схему, площадь  $A_1$  составляет:  $A_1 = c \cdot d / 4$  – для крайних узлов;  $A_1 = d / 2 (c - d / 8)$  – для угловых узлов.

Площадь эффективной зоны плиты составляет:  $A_{loc} = c(c - d / 4)$  – для крайних узлов;  $A_{loc} = (c - d / 4)^2$  – для угловых узлов.

Эффективную прочность, с которой сопротивляется плита на площадке  $A_{loc}$ , запишем в виде:

$$R_{b,ef} = R_b \left( k \cdot \frac{E_{b,c}}{E_{b,s}} - 1 \right), \tag{6}$$

где  $E_{b,c}$ ,  $E_{b,s}$  – модули деформации бетона колонны и плиты соответственно;  $k$  – эмпирический коэффициент.

Тогда прочность крайних и угловых узлов запишется в виде:

$$N_j = A_1 \cdot R_{b,s} + A_{loc} \cdot R_{b,s} \left( \frac{2 \cdot E_{b,c}}{E_{b,s}} - 1 \right) + A_{sc} R_{sc}. \tag{7}$$

Выразив эмпирический коэффициент  $k$  из уравнения (7), получим:

$$k = \left( 1 + \frac{N_j - A_1 \cdot R_{b,s} - A_{sc} R_{sc}}{A_{loc} \cdot R_{b,s}} \right) \cdot \frac{E_{b,s}}{E_{b,c}}. \tag{8}$$

В табл. 2 и 3 приведены частные значения параметров соответственно для крайних и угловых узлов, которые были получены в результате чис-

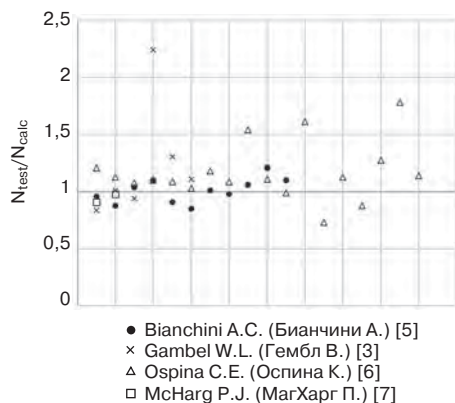


Рис. 6. Сравнение для промежуточных узлов  
Fig. 6. Comparison for intermediate joints

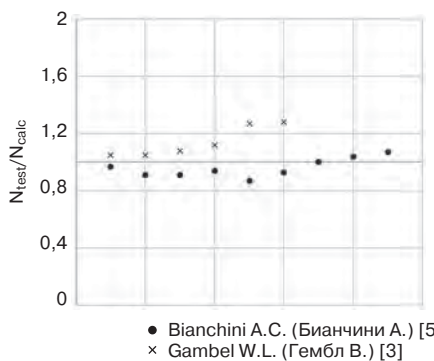


Рис. 7. Сравнение для крайних узлов  
Fig. 7. Comparison for edge joints

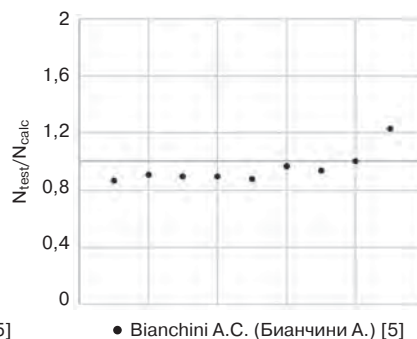


Рис. 8. Сравнение для угловых узлов  
Fig. 8. Comparison for corner joints

ленного моделирования и инженерного расчета по предложенной методике, а также статистические параметры их сравнения. Из них следует, что среднее значение коэффициента точности составляет 2,05–2,09 и с некоторым округлением его можно принять равным 2.

Окончательно прочность крайних и угловых узлов запишем в виде:

$$N_j = A_1 \cdot R_{b,s} + A_{loc} \cdot R_{b,s} \left( \frac{2 \cdot E_{b,c}}{E_{b,s}} - 1 \right) + A_{sc} R_{sc}. \quad (9)$$

Проведенные численные исследования [1] прочности узлов «плита–колонна» охватывали следующий диапазон варьируемых параметров:

- расположение узлов в плане: промежуточное, крайнее и угловое;
- отношение прочностей бетона колонны и плиты ( $R_{b,c}/R_{b,s}$ ) от 1 до 2,73;
- отношение размера сечения колонн к толщине плиты: от 1,6 до 3,2 для промежуточных узлов; от 1,6 до 2 для крайних и угловых узлов;
- нагрузка на плите от 0 до 100% от эксплуатационного значения.

Разработанные зависимости для расчета прочности узлов были апробированы путем сравнения с имеющимися опытными данным [3, 5–7] (рис. 6–8).

Коэффициент точности, вычисляемый как:

$$k_T = \frac{\sum_n \frac{N_{test}}{N_{calc}}}{n}, \quad (10)$$

составил: для промежуточных узлов – 1,14; крайних узлов – 1,03; угловых узлов – 0,96.

Сравнение предлагаемых численных зависимостей с опытными данными было проведено в следующих диапазонах варьирования:

- промежуточные узлы:  $R_{b,c}/R_{b,s} \in [1,5 \div 6,3]$ ,  $c/d \in [1 \div 2]$ ;
- крайние узлы:  $R_{b,c}/R_{b,s} \in [1,4 \div 6,3]$ ,  $c/d \in [1,4 \div 2]$ ;
- угловые узлы:  $R_{b,c}/R_{b,s} \in [1,4 \div 4,2]$ ,  $c/d = 1,6$ .

### Выводы

Для обеспечения прочности узлов «плита–колонна» с различными классами бетона в плите и колоннах можно рекомендовать следующее:

1. Для исключения снижения прочности узлов в месте сопряжения с колоннами часть плиты в зоне колонны по всей ее толщине следует изготавливать из бетона того же класса, что и колонны. Расстояние от грани колонны до границы зоны плиты с повышенной прочностью следует принимать не менее двух толщин плиты и не менее 600 мм. Бетонирование зоны плиты с повышенной прочностью бетона и остальной части плиты следует вести непрерывно без образования рабочего шва между ними.

2. При выполнении плиты и колонн из различного бетона по прочности при сжатии необходимо проводить проверку прочности узла. Расчет следует выполнять в зависимости от расположения узла по отношению к плите: промежуточное, крайнее либо угловое. При расположении колонны от грани края плиты на расстоянии четырех толщин плиты и более расчет следует выполнять как для промежуточной колонны.

3. Расчет промежуточных узлов при  $R_{b,c}/R_{b,s} \leq 3,5$ , а также  $c/d \leq 3,2$  следует выполнять для двух участков: участка плиты, расположенной между колоннами, по формуле (4); участка верхней колонны вблизи сопряжения с плитой по формуле (5).

4. Несущую способность крайних при  $R_{b,c}/R_{b,s} \leq 3,5$  и  $c/d \leq 2$ , а также угловых узлов при  $R_{b,c}/R_{b,s} \leq 3,5$  и  $c/d \leq 1,6$  следует вычислять только для участка плиты, расположенного между колоннами, по формуле (9).

5. Несущую способность узлов «плита–колонна» с разной прочностью бетона допускается повышать путем размещения дополнительной продольной арматуры относительно той, что требуется при расчете колонн.

6. Для повышения конструктивной безопасности следует предусматривать установку учащенных хо-

мутов в колоннах, вблизи сопряжения с плитой. Количество поперечной арматуры в колонне следует принимать не менее трех в зоне высотой  $c/2$  от грани плиты, где  $c$  – размер стороны колонны.

**Список литературы / References**

1. Болгов А.Н., Иванов С.И., Сокуров А.З., Невский А.В. О расчете прочности узлов сопряжения железобетонных колонн и плит в монолитно-каркасных высотных зданиях // *Бетон и железобетон*. 2021. № 4 (606). С. 39–44.
1. Bolgov A.N., Ivanov S.I., Sokurov A.Z., Nevsky A.V. Strength's calculation of reinforced concrete slab-columns joints in monolithic frame of highrise buildings. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 4 (606), pp. 39–44. (In Russian).
2. Choi S.H., Lee J.H., Hwang J.Y., Oh K.S., Kim S.H., Kim D.H. Effective compressive strengths of corner and exterior concrete columns intersected by slabs with different compressive strengths. *Civil and Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 18, pp. 731–741. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2017.11.001>
3. Gambel W.L. and Klinar J.D. Test of high-strength concrete columns with intervening floor slabs. *Journal of Structural Engineering*. 1991. Vol. 117. No. 5, pp. 1462–1476. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1991\)117:5\(1462\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1991)117:5(1462))
4. Берг О.Я., Щербakov Е.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон. М.: Издательство литературы по строительству, 1971. 208 с.
4. Berg O.Ya., Shcherbakov E.N., Pisanko G.N. Vysokoprochnyy beton [High strength concrete]. Moscow: Publishing house of literature on construction. 1971.208 p.
5. Bianchini A.C., Wood R.E., Kesler C.E. Effect of floor concrete strength on column strength. *Journal of the American Concrete Institute. Structural Journal*. Vol. 56. Iss. 5, pp. 1149–1169.
6. Ospina C.E., Alexander S.D.B. Transmission of interior concrete columns loads through floor. *Journal of Structural Engineering*. 1998. Vol. 124. No. 6, pp. 602–610. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1998\)124:6\(602\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1998)124:6(602))
7. McHarg P.J., Cook W.D., Mitchell D., Yoon Y.S. Improved transmission of high-strength concrete column loads through normal strength concrete slabs. *Journal of the American Concrete Institute. Structural Journal*. 2000. Vol. 97. No. 1, pp. 157–166.

**НОВОСТИ**

**Вебинар по химическим добавкам в бетоны вызвал большой интерес представителей отрасли**

15 декабря 2021 Национальная ассоциация «Союз производителей бетона» совместно с партнерами и членами Ассоциации провела онлайн-вебинар на «Актуальные вопросы применения химических добавок для бетонов».

При подготовке к мероприятию был отмечен активный интерес к предложенной тематике представителей отрасли производства строительных материалов (производителей цемента, бетона и химических добавок), а также строительных организаций. Заявки на участие подали 220 человек.

Модераторами вебинара выступили исполнительный секретарь Ассоциации Олег Сухарев и директор по развитию «Полипласт Новомосковск» Ирина Степанюга.

Спикерами вебинара стали авторитетные эксперты – представители крупнейших производителей химических добавок для бетона: «Полипласт Новомосковск», «МС Bauhemie», «Sika», «Скайтрейд» и «Вакер Хеми Рус».

Наиболее дискуссионным стал доклад ведущего специалиста НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, члена Экспертного совета Союза производителей бетона Анны Мироновой, посвященный внесению изменений в ГОСТ 24211–2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия» и ГОСТ 30459–2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности».

Кроме того, активно обсуждались вопросы влияния интенсификаторов помола на характеристики бетонов и сохраняемость первоначальной подвижности на современных цементах, рассмотренные в выступлениях директора научно-технического центра «Полипласт Новомосковск» Любови Шаховой, ведущего менеджера «МС Bauhemie» Анны Прановой и главного технолога «Скайтрейд», члена Экспертного совета Союза производителей бетона Дарьи Шваб.

Интерес вызвало выступление руководителя Учебного центра «Полипласт Новомосковск» Светланы Кружаловой, посвященное входному контролю химических добавок для бетона.

По итогам вебинара было принято решение обсудить целесообразность создания на площадке Национальной ассоциации «Союз производителей бетона» рабочей группы производителей химических добавок для бетонов в целях совместного участия в разработке научно-технических и нормативных документов данного вида продукции.

*По материалам Национальной ассоциации «Союз производителей бетона»*

УДК 691.539

В.В. БЕЛОВ, д-р техн. наук, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций (vladim-bel@yandex.ru)

Тверской государственной технической университет (170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, 22)

## Оптимизация зернового состава и влажности сырьевой смеси в технологии гиперпрессованного бетонного кирпича

*Изложены предпосылки оптимального проектирования гранулометрических составов строительных смесей для получения прессованных бетонов на цементной связке, базирующиеся на закономерностях формирования полидисперсных структур. Приведен экспериментальный метод определения оптимальной гранулометрии сырьевых смесей с наиболее плотной упаковкой зерен, обеспечивающей наилучшие параметры уплотнения смесей при гиперпрессовании. Показано влияние влажности сырьевой смеси на упаковку ее частиц и насыпную плотность, а также прочность готового материала с учетом действия капиллярного сцепления в дисперсных системах.*

**Ключевые слова:** аутогезия, капиллярные силы, влияние влажности, сырьевые смеси строительных материалов.

**Для цитирования:** Белов В.В. Оптимизация зернового состава и влажности сырьевой смеси в технологии гиперпрессованного бетонного кирпича // *Бетон и железобетон*. 2021. № 5–6 (607–608). С. 44–47.

V.V. BELOV, Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Department of Production of Building Products and Structures (vladim-bel@yandex.ru)  
Tver State Technical University (22, Af.Nikitin Embankment. Tver, 170026, Russian Federation)

### Optimization of Grain Composition and Moisture Content of the Raw Mix in the Technology of Hyper-Pressed Concrete Bricks

The prerequisites for the optimal design of granulometric compositions of building mixes for the production of pressed concrete on a cement bond, based on the regularities of the formation of polydisperse structures, are described. An experimental method for determining the optimal granulometry of raw mixtures with the most dense packing of grains, providing the best compaction parameters of mixtures when hyperpressing, is presented. The influence of the moisture content of the raw mixture on the packaging of its particles and bulk density, as well as the strength of the finished material, taking into account the action of capillary coupling in dispersed systems, is shown.

**Keywords:** autohesion, capillary forces, influence of humidity, raw mixtures of building materials.

**For citation:** Belov V.V. Optimization of grain composition and moisture content of the raw mix in the technology of hyper-pressed concrete bricks. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 5–6 (607–608), pp. 44–47. (In Russian).

Технология изготовления традиционных стеновых материалов, получаемых методом полусухого прессования с последующим обжигом (керамический кирпич) или автоклавированием (силикатный кирпич), связана с высоким расходом энергоносителей. Перспективным решением проблемы энерго- и ресурсосбережения является технология кирпича на цементном вяжущем с использованием высоких давлений прессования (гиперпрессования), которая позволяет исключить тепловую обработку за счет снижения количества макропор в изделии, увеличения сырцово-прочности, ускорения процесса формирования структуры цементного камня в нормальных условиях. При этой технологии большое значение приобретает подбор оптимальной гранулометрии заполнителя с целью достижения возможности плотной упаковки его зерен и снижения необходимого количества вяжущей части [1], а также снижения упругого расшире-

ния прессовки после снятия давления и исключения перепрессовочных трещин.

Одного улучшения гранулометрического состава недостаточно для оптимизации технологии кирпича. Не меньшее значение, чем количество цементирующего вещества, имеет характер его распределения в представительском объеме, которое непосредственно связано со структурой и качеством приграничных слоев с зернами заполнителя. Формирование структуры сырьевой смеси, которая во многом наследуется в структуре и свойствах готовых изделий, происходит под влиянием аутогезии частиц порошка. Аутогезия представляет собой силовое взаимодействие между контактирующими частицами и определяется разрывной прочностью контактов между ними. Сила аутогезии складывается из сил различной природы, а именно сил молекулярного взаимодействия (сил Ван-дер-Ваальса и когезии), электрических сил, капил-

лярных сил и сил механического зацепления. Аутогезия определенного порошкового материала может быть обусловлена действием нескольких сил одновременно. Взаимно исключаящими являются только электрические и капиллярные силы [2, 3].

Аутогезия в технологических процессах оказывает как положительное, так и отрицательное влияние. В случаях, когда необходимо уменьшить дисперсность порошков или предотвратить расслаивание порошковой смеси, аутогезия оказывает благоприятное влияние. В то же время в процессах смешивания однородность смеси может существенно нарушаться в результате образования агрегатов [2, 4–9]. Силы аутогезии способствуют слеживанию, образованию арочных структур, образованию сводов при истечении порошков из бункеров и иных емкостей [2, 5–7, 10–13].

Исследование влияния аутогезии порошковых материалов на структуру и свойства сырьевой смеси в технологии прессованного бетонного кирпича является актуальной задачей для оптимизации рецептуры смеси и самой технологии. Это объясняется тем, что технологические процессы переработки, хранения и транспортировки сырьевой смеси в технологии прессованного бетонного кирпича, а также его формирования во многом аналогичны тем процессам, что широко применяются при производстве керамики, огнеупоров, бетонов, композиционных материалов разного назначения, биоматериалов, электроники, продуктов питания и косметики и где достоверно установлено значение сил аутогезии [2, 6, 14].

Хотя исследованию слипания частиц (аутогезии) в дисперсных системах посвящено большое количество работ, конкретные вопросы, относящиеся к типу структурных элементов и структур в результате доминирующей роли сил капиллярного сцепления в структурообразовании, до недавнего времени детально не рассматривались. Подобно тому как структуры, образующиеся в результате коагуляции, называют коагуляционными, так и структуры, образующиеся в результате действия сил капиллярного сцепления и обладающие большей потенциальной способностью к уплотнению и более выгодной структурой агрегатов из мелких и крупных частиц, автором предложено называть глобулами [15].

**Материалы и методы**

Оптимизация гранулометрического состава смеси из условия наибольшей плотности упаковки может быть достигнута путем смешивания реальных сырьевых компонентов со своим зерновым составом в оптимальном соотношении. Этот способ проверялся в технологии мелкоштучных бетонных изделий (кирпича) полусухого прессования на основе

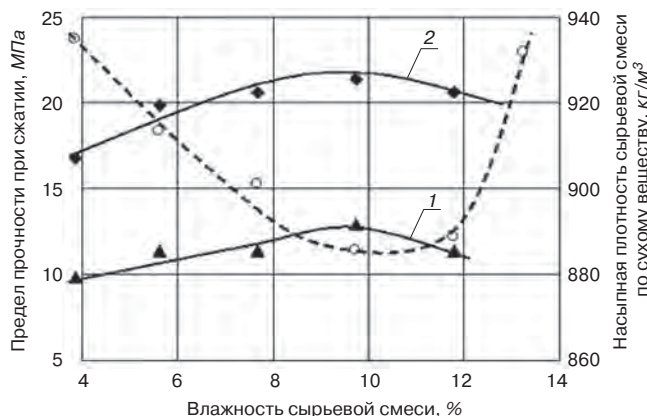


**Рис. 1.** Диаграмма линий равного уровня насыпной плотности смеси сухих сырьевых компонентов в зависимости от их соотношения  
**Fig. 1.** Diagram of lines of equal level of bulk density of a mixture of dry raw materials components depending on their ratio

отсевов дробления известняка и цементной связки. С целью определения соотношений портландцемента, песка и известняковой крошки, обеспечивающих наиболее плотную упаковку частиц смеси, был поставлен нелинейный планированный эксперимент с одновременным варьированием содержания этих компонентов в пределах: соотношение крошки и портландцемента К/Ц – 3,5–9; кварцевого песка и портландцемента П/Ц – 0–1,5.

Связь капиллярного структурообразования в сырьевой смеси и прочности готовых изделий основана на том, что при влажности максимального глобулирования, признаком которого является минимум насыпной плотности сырьевой смеси в пересчете на сухое вещество, в результате действия капиллярных сил тонкодисперсные частицы цемента сосредотачиваются на поверхности грубодисперсных зерен песка и в зонах контакта последних, образуя ячеисто-глобулярную структуру. Эта структура смеси обуславливает наибольшую концентрацию вяжущего в зонах контакта заполнителя и, как следствие, в дальнейшем повышенную прочность контактных зон и прессованного композита в целом.

С целью проверки этого предположения из увлажненных сырьевых смесей оптимальной гранулометрии в стальной форме прессовали образцы на лабораторном гидравлическом прессе в виде балочек размерами в плане 4×16 см и высотой около 4 см при давлении прессования, необходимом для уплотнения смеси до заданного объема (высоты формы) и получения образцов с одинаковой плотностью в пересчете на сухое вещество. Прессование образцов осуществляли при двукратном приложении нагрузки: 1-я ступень – около 25%, 2-я ступень – 100% максимального



**Рис. 2.** Зависимость насыпной плотности сырьевой смеси по сухому веществу (пунктир) и прочность при сжатии образцов прессованного бетона состава № 2 при одинаковой плотности образцов (2,3 г/см<sup>3</sup>) по сухому веществу (сплошные линии) от влажности смеси: 1 – возраст образцов 3 сут; 2 – то же, 7 сут

**Fig. 2.** The dependence of the bulk density of the raw mixture on dry matter (dotted line) and compressive strength of samples of pressed concrete composition No. 2 with the same density of samples (2.3 g/cm<sup>3</sup>) on dry matter (solid lines) on the moisture content of the mixture: 1 – the age of samples, 3 days, 2 – the same, 7 days

давления прессования. Твердение образцов до их испытаний происходило под полиэтиленовой пленкой при температуре (20±2)°С в течение 7 сут.

### Результаты исследования

Полученные по математическим моделям зависимости насыпной плотности сухих смесей от их состава в виде линий равного уровня на соответствующей диаграмме показаны на рис. 1.

Полученная диаграмма позволяет наметить составы смесей с оптимальной гранулометрией: состав № 1 – 20% цемента, 80% известняковой крошки; состав № 2 – 10% цемента, 10% песка и 80% известняковой крошки; состав № 3 – 10% цемента, 6% песка и 84% известняковой крошки. Применение этих составов позволило улучшить формовочные свойства и применять при формовании образцов давление прессования без появления перепрессовочных трещин вплоть до значений 40 МПа и выше.

Наряду с содержанием заполнителей немаловажную роль в оптимизации зернового состава бетонных смесей, а также снижении расхода цемента играют тонкодисперсные компоненты, в особенности в тех случаях, когда они с гранулометрической точки зрения способны повысить плотность упаковки. Известно, что добавки-наполнители тонкой (например, зола-унос, кварцевая мука, известняковая мука, базальтовая мука) и сверхтонкой дисперсности (например, микрокремнезем) позволяют значительно улучшить плотность упаковки и прочность бетонов, а также сократить пористость [16]. В составах сырьевых композиций для изготовления бетонного кирпича в данной работе использовалась добавка

микрокремнезема конденсированного МКУ-85 производства ОАО «Кузнецкие ферросплавы» (Кемеровская обл., г. Новокузнецк). Эксперименты с привлечением методов компьютерного моделирования позволили определить оптимальную добавку микрокремнезема, обеспечивающую наилучший комплекс физико-механических свойств материала и расхода цемента.

Пределы прочности при сжатии затвердевших образцов состава № 2, показавшего наилучшие результаты по оптимальной гранулометрии как в возрасте 3 сут, так и в возрасте 7 сут, достигают максимума при оптимальной влажности сырьевой смеси, соответствующей минимуму насыпной плотности сырьевой смеси в пересчете на сухое вещество (рис. 2). Таким образом, экстремальный характер зависимостей прочности бетонных образцов при постоянной начальной пористости и одинаковом количестве цементирующего вещества (за возможным исключением наименьших значений влажности, при которых может ощущаться недостаток воды для гидратации цемента) от влажности сырьевой смеси объясняется влиянием капиллярного сцепления на структуру сырьевых смесей и полученных из них готовых изделий.

### Выводы

Прессование сырьевой смеси оптимального гранулометрического состава и оптимальной влажности способствует перестройке макроструктуры смеси, прежде всего снижая количество макропор и повышая прочность контактных зон. В оптимальном составе жидкая фаза в сырьевой смеси играет роль усиливающего компонента. Эта роль заключается в наследуемом из сырьевой смеси эффекте – переводе матричного цементирующего вещества в затвердевшем материале из объемного состояния в пленочное с более высокой прочностью и структурированностью.

При этом прочность полученного кирпича с оптимальной структурой при одинаковой средней плотности будет наибольшей, что при условии сохранения прочности на заданном уровне может обеспечить снижение материалоемкости и энергоемкости изделий.

### Список литературы / References

1. Миронов В.А., Белов В.В., Голубев А.И., Смирнов М.А. Оптимизирование композиций для изготовления строительных смесей. СПб.: РИА «Квинтет», 2008. 416 с.
1. Mironov V.A., Belov V.V., Golubev A.I., Smirnov M.A. Optimizirovanie kompozitsii dlya izgotovleniya stroitel'nykh smesei [Optimization of compositions for the



- manufacture of building mixes]. Saint Petersburg: Quintet. 2008. 416 p.
2. Зимон А.Д., Андрианов Е.И. Аутогезия сыпучих материалов. М.: Metallurgiya, 1977. 277 с.
  2. Zimon A.D., Andrianov E.I. Autogeziya syuchikh materialov [Autogenesis of bulk materials]. Moscow: Metallurgiya, 1977. 277 p.
  3. Удалов Ю.П. Технология неорганических порошковых материалов и покрытий функционального назначения. СПб.: Янус, 2001. 428 с.
  3. Udalov Yu.P. Tekhnologiya neorganicheskikh porshkovykh materialov i pokrytii funktsional'nogo naznacheniya [Technology of inorganic powder materials and functional coatings]. Saint Petersburg: Janus, 2001. 428 p.
  4. Zimon A.D. Adhesion of dust and powder. Springer Science & Business Media, 2012.
  5. Li Hongming. Impact of cohesion forces on particle mixing and segregation. University of Pittsburgh, 2006.
  6. Halidan M. The effect of interparticle cohesion on powder mixing in a ribbon mixer // *AICHE Journal*. 2016. Vol. 62. No. 4, pp. 1023–1037.
  7. Podczeczek F., Newton J.M., James M.B. Adhesion and autoadhesion measurements of micronized particles of pharmaceutical powders to compacted powder surfaces // *Chemical and pharmaceutical bulletin*. 1995. Vol. 43. No. 11, pp. 1953–1957.
  8. Bridgwater J. Fundamental powder mixing mechanisms // *Powder Technology*. 1976. Vol. 15. No. 2, pp. 215–236.
  9. Orr N.A., Shotton E. Mixing of cohesive powders // *Chemical Engineer-London*. 1973. No. 269, pp. 12–19.
  10. Parteli E.J.R. Attractive particle interaction forces and packing density of fine glass powders // *Scientific reports*. 2014. Vol. 4, pp. 6227.
  11. Ku N. Auto-granulation of fine cohesive powder by mechanical vibration // *Procedia engineering*. 2015. Vol. 102, pp. 72–80.
  12. Ku N. Evaluation of the behavior of ceramic powders under mechanical vibration and its effect on the mechanics of auto-granulation. Rutgers The State University of New Jersey – New Brunswick, 2015.
  13. Castellanos A. The relationship between attractive interparticle forces and bulk behaviour in dry and uncharged fine powders // *Advances in physics*. 2005. Vol. 54. No. 4, pp. 263–376.
  14. Chirone R. A comparison between interparticle forces estimated with direct powder shear testing and with sound assisted fluidization // *Powder Technology*. 2018. Vol. 323, pp. 1–7.
  15. Белов В.В. Капиллярное структурообразование в дисперсных системах, применяемых для производства строительных материалов // *Известия вузов. Строительство*. 2002. № 9. С. 46–51.
  15. Belov V.V. Capillary structure formation in dispersed systems used for the production of building materials. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2002. No. 9, pp. 46–51.
  16. Bornemann R., Schmidt M. Grundlagen und Strategien zur Verbesserung erdfeuchter Betone, Teil I. Betonwerk + Fertigteil-Technik, Heft 8, 2005, pp. 44–51.

**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 691.4:62-217

В.В. РЕМНЁВ, д-р техн. наук, профессор, руководитель Центра специальных бетонов и конструкций (rema97776952@yandex.ru)

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона – НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство», Центр № 11 (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6, к. 5)

## Возможности применения грунтобетонов для изготовления фундаментных и дорожных плит

Дано определение грунтобетона, используемого для изготовления фундаментных и дорожных плит в заводских условиях. Приведены характеристики и свойства применяемых грунтов. Представлена технологическая схема изготовления изделий из грунтобетона. Указаны экспериментальные составы грунтобетона различных марок. В заводских условиях апробирована технология изготовления изделий из грунтобетона. Плиты, получаемые при двухстадийном вибрировании под пригрузом, обладают стабильными прочностными характеристиками, требуемой водо- и морозостойкостью для обеспечения их длительного срока службы.

**Ключевые слова:** грунтобетон, фундаментные плиты, дорожные плиты, технологическая схема заводского производства, портландцемент, марка (класс) грунтобетона.

**Для цитирования:** Ремнёв В.В. Возможности применения грунтобетонов для изготовления фундаментных и дорожных плит // *Бетон и железобетон*. 2021. № 5–6 (607–608). С. 48–51.

V.V. REMNEV, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Head of the Center for Special Concrete and Structures (rema97776952@yandex.ru)  
Research, Design and Technological institute of Concrete and Reinforced Concrete – NIIZHB named after A.A. Gvozdev  
JSC “Research Center “Stroitel’stvo”, Center No. 11 (6, build. 5, 2-nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

### Possibilities of Using Soil-Concrete for the Manufacture of Foundation and Road Slabs

The definition of soil-concrete used for the manufacture of foundation and road slabs in factory conditions is given. The characteristics and properties of the applied soils are considered. The technological scheme for the manufacture of the soil-concrete products is presented. Experimental compositions of soil-concrete of various grades are indicated. The technology of manufacturing products from soil-concrete has been tested in the factory. The slabs obtained by two-stage vibration under loading have stable strength characteristics, the required water and frost resistance to ensure their long service life.

**Keywords:** soil-concrete, foundation slabs, road slabs, technological scheme for factory production, Portland cement, grade of soil-concrete.

**For citation:** Remnev V.V. Possibilities of using soil-concrete for the manufacture of foundation and road slabs. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 5–6 (607–608), pp. 48–51. (In Russian).

В настоящее время закономерен интерес к созданию новых технологий производства строительных материалов на основе дешевых местных грунтов и различных побочных продуктов промышленности. Такие технологии имеют значительное экономическое, экологическое и научное значение. К ним можно отнести грунтобетон [1–3]. Грунтобетон – строительный материал, получаемый полусухим способом из грунтов (глин, суглинков, супесей и т. п.), связывающих веществ, воды и различных добавок. Высокая технико-экономическая эффективность и экологическая рациональность технологии грунтобетона определяются относительно низкой энергоресурсоемкостью их производства, что расширяет потенциальные возможности сырьевой базы строительства в целом. Реализация подобных материальных резервов связана с проблемами управления процессами ускоренного структурообразования, надежностью и долговечно-

стью материала, в первую очередь по показателям прочности, деформативности, морозостойкости, обуславливающих меру эффективности применения строительных изделий из грунтобетона [4, 5].

Цель работы заключалась в разработке технологии получения грунтобетона, включающего глиносо-держачие природные продукты, как композиционного материала с достаточно высокой прочностью и долговечностью.

Широкий диапазон используемых компонентов в грунтобетоне позволяет применять его практически во всех регионах России, особенно там, где существуют трудности в качественных заполнителях для обычных цементных бетонов [6].

Практика показывает, что в грунтобетонах возможно применение:

– в качестве связующих – портландцементов, шлакопортландцементов, шлакощелочных вяжущих

(на основе гранулированных шлаков различных производств), известково-шлаковых и т. д.;

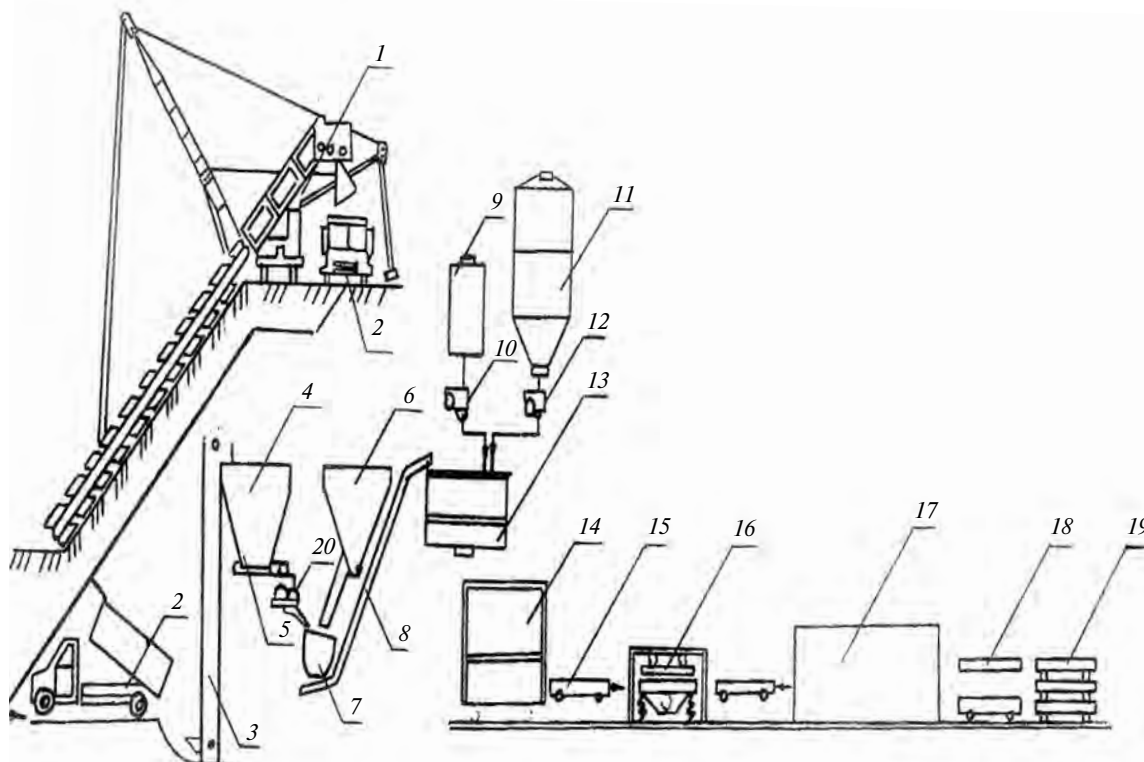
– в качестве добавок – золошлаковых, отвальных шлаков металлургических производств, горелой породы шахтных терриконов, нефелиновых шламов, ферросплавных, саморассыпающихся шлаков и т. д.

В предлагаемой работе рассматривается вариант получения грунтобетонных изделий в заводских (стационарных) условиях на основе портландцементов. Технологическая схема изготовления изделий из грунтобетона различных классов по прочности представлена на рисунке.

Грунт из карьера с помощью многоковшового экскаватора 1 срезается в виде тонкой стружки, загружается в автосамосвал 2, доставляется к месту формирования, загружается в приемный лоток ковшового элеватора 3 и подается в бункер 4. Аналогичным образом заполняется песком бункер 6. В дозирующую тележку 7 скипового подъемника 8 сначала самотеком загружается определенное количество песка из бункера 6, а затем с помощью транспортера 5 через валцы тонкого помола 20 подается грунт. Соотношение дозируемых материалов должно обеспечивать получение искусственной супеси

с содержанием глинистых частиц в пределах 5–6%. Отдозированные материалы с помощью скипового подъемника 8 загружаются в работающий смеситель 13 принудительного действия, где в течение 30 с производится перемешивание грунта и песка. Затем в смеситель из емкости 11 через дозаторы 12 загружается цемент, часть которого, проходя через активатор 21, активируется. Перемешивание сухих компонентов продолжается еще 30 с, после чего из бака 9 через дозатор 10 в смеситель подается вода, количество которой с учетом влажности грунта и песка должно обеспечить заданную влажность смеси. Общая продолжительность перемешивания смеси ориентировочно составляет 2,5–3 мин.

Свежеприготовленная смесь через бетонораздатчик 14 подается в форму 15, в которую предварительно должен быть уложен арматурный каркас. Перемещаясь на катках, форма 15 подается на установку для формирования 16, которая включает в себя виброплощадку с управляемой вибрацией и пригрузочное устройство. Уплотнение грунтобетонной смеси в форме производится под давлением пригруза  $P=0,021-0,023$  МПа с амплитудой колебания виброплощадки  $a=0,85-0,9$  мм и при частоте коле-



Технологическая схема производства изделий из грунтобетона: 1 – многоковшовый экскаватор; 2 – автосамосвал; 3 – ковшовый элеватор; 4 – бункер; 5 – транспортер; 6 – бункер для песка; 7 – дозирующая тележка; 8 – скиповый подъемник; 9 – бак; 10 – дозатор воды; 11 – емкость с цементом; 12 – дозаторы; 13 – смеситель; 14 – бетонораздатчик; 15 – форма; 16 – установка для формирования; 17 – камера ТВО; 18 – пост распалубки; 19 – склад готовой продукции; 20 – валцы тонкого помола

Technological scheme for the manufacture of products from soil-concrete: 1 – multi-bucket excavator; 2 – dump truck; 3 – bucket elevator; 4 – bunker; 5 – conveyor; 6 – sand bunker; 7 – dosing cart; 8 – skip hoist; 9 – tank; 10 – water dispenser; 11 – container with cement; 12 – dispensers; 13 – mixer; 14 – concrete distributor; 15 – form; 16 – installation for molding; 17 – heat and moisture treatment camera; 18 – demoulding station; 19 – finished goods warehouse; 20 – fine rollers

баний  $f=17-32$  Гц в течение  $t=20-25$  с, затем при  $f=48-52$  Гц при  $t=125-135$  с.

При агрегатно-поточной технологии форма со свежееотформованным изделием подается краном в камеру 17 для тепловлажностной обработки и после пропаривания поступает на пост распалубки 18. Изделия после контроля отправляются на склад готовой продукции 19.

Тепловая обработка грунтобетонных изделий должна обеспечивать достижение нормируемой отпусковой прочности бетона и прочности в проектном возрасте.

Рекомендуемый режим ТВО:

- выдерживание при положительной температуре в камере во влажных условиях не менее 2 ч;
- подъем температуры до  $t=90^{\circ}\text{C}$  – 3 ч;
- изотермический прогрев – 8 ч;
- охлаждение до  $t=40^{\circ}\text{C}$  – 2 ч.

Из грунтобетона классов по прочности В10–В25 при двухстадийном вибрировании под пригрузом предлагается изготовление изделий:

- фундаментных плит – для ленточных фундаментов применительно к зданиям малой этажности (преимущественно в сельском строительстве);
- дорожных плит – для покрытий временных автомобильных дорог, что позволяет сократить расход цемента, а также расширить сырьевую базу в сочетании с ее максимальным приближением к месту изготовления изделий.

Номенклатура и основные характеристики грунтобетонных изделий приведены в табл. 1 и 2.

Для приготовления грунтобетонных смесей следует применять:

- а) в качестве вяжущего – портландцемент и шлакопортландцемент марки не ниже 400, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 10178–85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия»;
- б) в качестве заполнителей:
  - лессовидные супесчаные и суглинистые грунты с физическими свойствами, указанными в табл. 3;
  - песок, отвечающий требованиям ГОСТ 8736–14 «Песок для строительных работ. Технические условия»;
  - в) воду затворения – по ГОСТ 23732–2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия».

Оптимизацию гранулометрического состава и пластичности смеси в соответствии с табл. 3 проводят путем добавления песка или глинистых фракций.

Состав грунтобетонной смеси подбирается лабораторией предприятия-изготовителя и корректируется в зависимости от изменения вида и качества сырья и (или) технологии производства таким образом, чтобы обеспечить получение смеси с заданными свойствами при наименьшем расходе цемента.

Таблица 1  
Table 1

**Номенклатура и характеристики фундаментных плит высотой 300 мм**  
**Nomenclature and characteristics of foundation slabs with a height of 300 mm**

Ширина, мм	Длина, мм	Объем бетона, м <sup>3</sup>	Масса изделия, кг
1600	230	0,987	2170
	1180	0,486	1070
	780	0,320	704
1400	2380	0,845	1880
	1180	0,416	915
	780	0,247	600
1200	2380	0,703	1550
	1180	0,347	763
	780	0,228	502
1000	2380	0,608	1340
	1180	0,3	660
	780	0,197	443
800	2380	0,557	1230
	1180	0,274	603

Таблица 2  
Table 2

**Характеристики дорожных плит из грунтобетона**  
**Characteristics of road slabs of soil-concrete**

Высота плиты, мм	Масса плиты, кг	Объем бетона, м <sup>3</sup>
Плиты размером 1,5×1,75 м		
180	1040	0,46
Плиты размером 1,5×3 м		
180	1780	0,8

Таблица 3  
Table 3

**Характеристики воздушно-сухого грунта**  
**Characteristics of air-dry soil**

Характеристики	Предельные значения
Гранулометрический состав (% массы воздушно-сухого грунта*):	
Песчаные частицы фракции 2–0,25 мм	20–40
Фракции 0,25–0,05 мм	20–40
Пылеватые фракции 0,05–0,005 мм	15–50
Глинистые фракции менее 0,005 мм	5–9
Пластичность**	0,02–0,05
Водородный показатель pH	>7
Содержание водорастворимых солей, %	<3
* Определяется по ГОСТ 12536–2014 «Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава».	
** Определение границ текучести и раскатывания грунта производится по ГОСТ 5183–77 «Грунты. Методы лабораторного определения границ текучести и раскатывания».	

Опытные составы грунтобетона приведены в табл. 4.

Для определения влажности смеси отбирают три пробы из различных участков замеса. При непрерывной подаче смеси (ленточными транспортерами) отбор проб производят в три приема с интервалом в 1 мин. Влажность смеси следует определять не позднее чем через 10 мин после отбора пробы.

Таблица 4  
Table 4

**Опытные составы грунтобетона  
Experienced composition of soil-concrete**

Марка (класс) грунтобетона*	Расход материалов, кг, на 1 м <sup>3</sup> грунтобетона класса, кг				
	Цемент марки 400	Супесь ( $J_p=0,02-0,05$ )	Суглинок ( $J_p=0,1-0,12$ )	Песок ( $M_{кр}=1,2-1,4$ )	Вода
B5 (M100)	290	1680	420	1260	230
B10 (M150)	320	1650	410	1240	235
B15 (M200)	360	1610	400	1210	
B25 (M300)	520	1440	360	1080	240

\* При коэффициенте вариации 13,5% (ГОСТ 27006–2019 «Бетоны. Правила подбора состава»).

В качестве арматуры следует применять горячекатаную арматурную сталь периодического профиля классов А-П и А-Ш по ГОСТ 5181–82 «Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия».

Сварные арматурные изделия и закладные детали должны удовлетворять требованиям ГОСТ 10922–2012 «Арматурные и закладные изделия, их сварные, вязаные и механические соединения для железобетонных конструкций. Общие технические условия», сварные сетки – требованиям ГОСТ 8478–81 «Сетки сварные для железобетонных конструкций. Технические условия».

Монтажные петли следует изготавливать из горячекатаной гладкой арматурной стали класса А-I по ГОСТ 5781–82 марок ВСтЗсп2 и ВСтЗгс2 по ГОСТ 380.

Стержневую арматуру испытывают при растяжении (по ГОСТ 12004–81 «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение») и при изгибе в холодном состоянии (по ГОСТ 14019–2003 (ИСО 7438:1985) «Материалы металлические. Метод испытания на изгиб»).

Таким образом, предложена апробированная заводская технология изготовления фундаментных и дорожных плит из грунтобетона. Изделия, получаемые при двухстадийном вибрировании под пригрузом, обладают стабильными прочностными характеристиками, требуемой водо- и морозостойкостью для обеспечения их длительного срока службы.

**Список литературы**

1. Бабков В.Ф., Безрук В.М. Основы грунтоведения и механики грунтов. М., 1986. 328 с.
2. Бойчук В.С. Проектирование сельскохозяйственных дорог и площадок. М.: Колос, 1996. 207 с.
3. Грушко И.М., Борщ И.М., Королёв И.В. Дорожно-строительные материалы. М.: Транспорт, 1991. 357 с.
4. Пичугин А.П., Гришина В.А., Язиков И.К. Моделирование физических и физико-химических процессов, происходящих в укрепленном грунте. *Ма-*

*териалы и изделия для ремонта и строительства: Международный сборник научных трудов.* Новосибирск, 2006. С. 114–117.

5. Пичугин А.П., Гришина В.А., Язиков И.К. Деформационные процессы в укрепленных грунтах. *Экология и новые технологии в строительном материаловедении: Международный сборник научных трудов.* Новосибирск, 2010. С. 74–75.
6. Петкявичус К., Подагелис И., Лауринавичус А. Возможности использования местных нерудных материалов при строительстве и ремонте автомобильных и железных дорог // *Строительные материалы.* 2006. № 3. С. 32–35.

**References**

1. Babkov V.F., Bezruk V.M. *Osnovy gruntovedeniya i mehaniki gruntov* [Fundamentals of soil science and mechanics]. Moscow. 1926. 328 p.
2. Boichuk V.S. *Proektirovanie sel'skhozajstvennyh dorog i ploshhadok* [Design of agricultural roads and sites]. Moscow: Kolos. 1996. 207 p.
3. Grushko I.M., Borshch I.M., Korolev I.V. *Dorozhno-stroitel'nye materialy* [Road construction materials]. M. Transport. 1991. 357 p.
4. Pichugin A.P., Grishina V.A., Yazikov I.K. Modeling of physics and physicochemical processes occurring in reinforced soils. *Materials and products for repair and construction. International collection of science papers.* Novosibirsk. NGAU. 2006, pp. 114–117. (In Russian).
5. Pichugin A.P., Grishina V.A., Yazikov I.K. Deformation processes in reinforced soils. *Ecology and new technologies in construction materials science. International collection of science papers.* Novosibirsk. 2010, pp. 74–75. (In Russian).
6. Petkyavichius K., Podagelis I., Kaurinavichus A. Possibilities of using of local non-metallic materials in the construction and repair of roads and railways. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 3, pp. 32–35. (In Russian).

УДК 620.179.17

А.И. САГАЙДАК<sup>1</sup>, канд. техн. наук (sagaidak-niizhb@mail.ru);  
Е.С. БОРОВКОВА<sup>2</sup>, физик (e.borovkova@psu.by)

<sup>1</sup> 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)

<sup>2</sup> Полоцкий государственный университет (212440, Республика Беларусь, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29)

## Отечественные нормативные документы по применению метода акустической эмиссии в строительстве. Перспективы дальнейшей стандартизации

Выполнен обзор зарубежных и отечественных нормативных документов по применению метода акустической эмиссии в строительстве. Представлен анализ перспективных разработок и исследований, а также сформулированы предложения проведения НИР и НИОКР для использования метода акустической эмиссии в строительстве с целью разработки новых тем для стандартов по методу акустической эмиссии, в том числе и уникальных, не имеющих аналогов за рубежом. Разработаны предложения по обновлению базы стандартов по методу акустической эмиссии и созданию новых документов в указанной области.

**Ключевые слова:** акустическая эмиссия, стандарты, неразрушающий контроль, техническая диагностика, строительные конструкции.

**Для цитирования:** Сагайдак А.И., Боровкова Е.С. Отечественные нормативные документы по применению метода акустической эмиссии в строительстве. Перспективы дальнейшей стандартизации // *Бетон и железобетон*. 2021. № 5–6 (607–608). С. 52–59.

A.I. SAGAYDAK<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (sagaidak-niizhb@mail.ru);  
E.S. BOROVKOVA<sup>2</sup>, physicist (e.borovkova@psu.by)

<sup>1</sup> Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (NIIZhB), JSC "Research Center of Construction" (6, 2nd Institut'skaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

<sup>2</sup> Polotsk State University (29, Blokhina Street, Novopolotsk, 212440, Republic of Belarus)

### Domestic Regulatory Documents on the Application of the Acoustic Emission Method in Construction. Prospects for Further Standardization

A review of foreign and domestic regulatory documents on the application of the acoustic emission (AE) method in construction has been performed. An analysis of promising developments and research is presented, as well as proposals are formulated for conducting research and development works on the use of AE method in construction in order to develop new topics for standards on AE method, including unique ones that have no analogues abroad. Proposals for updating the base of standards for AE method and creating new documents in this area have been developed.

**Keywords:** acoustic emission, standards, non-destructive testing, technical diagnostics, building structures.

**For citation:** Sagaidak A.I., Borovkova E.S. Domestic Regulatory Documents on the Application of the Acoustic Emission Method in Construction. Prospects for Further Standardization. *Beton i Zhelozobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 5–6 (607–608), pp. 52–59. (In Russian).

Ранее был выполнен анализ [1, 2] стандартов и руководящие принципы по применению метода акустической эмиссии (АЭ), разработанные международными, национальными и региональными организациями по стандартизации. Анализ показал, что метод АЭ широко стандартизирован и нашел применение в различных отраслях: нефтегазовой, атомной, аэрокосмической промышленности. Нормативных документов по применению метода АЭ на тот момент в строительстве разработано было не много.

В 2021 г. был подготовлен обзор [3] отечественных и зарубежных стандартов по АЭ. Часть матери-

алов, касающихся нормативных документов по применению АЭ метода в строительстве, в публикацию не вошла.

В данной статье приводятся данные о состоянии зарубежной и отечественной нормативных баз по использованию АЭ в строительстве.

Перечень документов, разработанных зарубежными организациями, показан в табл. 1.

Несколько стандартов разработано коллегами из Украины, европейскими, американскими, японскими организациями по стандартизации. В 2019 г. на основании рекомендации технического комитета

Таблица 1  
Table 1

**Зарубежные стандарты и руководящие документы по АЭ в строительстве**  
**Foreign standards and guidance documents on AE in construction**

Индекс и год выпуска	Наименование стандарта
MBV 218-03450778-240-2004	Метод акустико-эмиссионного диагностирования технического состояния мостов при статических испытаниях
M 218-03450778-426:2005	Методика акустико-эмиссионного диагностирования состояния дорожных одежд
M 218-03450778-677:2010	Методика постоянного наблюдения за транспортными сооружениями акустико-эмиссионным методом
M 218-05467951-655:2008	Методика цифровой локации дефектов в железобетонных конструкциях и асфальтобетонных покрытиях
ДСТУ ISO 18249:2018	Неразрушающий контроль. Акустическая эмиссия. Контроль фиброармированных полимеров. Специальная методика и критерии общей оценки (ISO 18249:2015, IDT)
M218-03450778-632:2007.	Методика определения степени коррозии арматуры в железобетонных конструкциях автодорожных мостов с использованием метода акустической эмиссии
MBV 218-03450778-240–2004	Метод акустико-эмиссионного диагностирования технического состояния мостов при статических испытаниях
M 218-03450778-677:2010	Методика постоянного наблюдения за транспортными сооружениями акустико-эмиссионным методом
M 218-05467951-655:2008	Методика цифровой локации дефектов в железобетонных конструкциях и асфальтобетонных покрытиях
PВ.2.3-218-03450778-662	Рекомендации по диагностике железобетонных балочных конструкций автодорожных мостов, которые работают в условиях малоцикловых нагрузок с использованием метода акустической эмиссии
NDIS 2421 2000 г.	<i>Recommended practice for in situ monitoring of concrete structures by acoustic emission</i> Рекомендуемая методика АЭ мониторинга бетонных конструкций на объекте
ISO 16836:2019	<i>Non-destructive testing. Acoustic emission testing. Measurement method for acoustic emission signals in concrete.</i> Контроль неразрушающий. АЭ контроль. Метод измерения сигналов АЭ в бетоне
ISO 16837:2019	<i>Non-destructive testing. Acoustic emission testing. Test method for damage qualification of reinforced concrete beams</i> Контроль неразрушающий. АЭ контроль технического состояния. Метод контроля и оценки повреждений в железобетонных балках
ISO 16838:2019	<i>Non-destructive testing. Acoustic emission testing. Test method for classification of active cracks in concrete structure</i> Контроль неразрушающий. АЭ контроль. Метод контроля для классификации развивающихся трещин в бетонных конструкциях
ASTM E2983-14 (2019)	<i>Standard Guide for Application of Acoustic Emission for Structural Health Monitoring</i> Стандартное руководство по применению метода АЭ для мониторинга технического состояния конструкций
ASTM E3100-17	<i>Standard Guide for Acoustic Emission Examination of Concrete Structures</i> Стандартное руководство по АЭ контролю бетонных конструкций
ASTM E 569/E569M-20	<i>Standard Practice for Acoustic Emission Monitoring of Structures During Controlled Stimulation</i> Стандартная процедура АЭ мониторинга конструкций в процессе контролируемого нагружения
Recommendation of RILEM TC 212-ACD	<i>Measurement method for acoustic emission signals in concrete</i> Метод измерения сигналов АЭ в бетоне <i>Test method for damage qualification of reinforced concrete beams by acoustic emission</i> Метод испытаний для оценки повреждений в железобетонных балках <i>Test method for classification of active cracks in concrete structures by acoustic emission</i> Метод испытаний для классификации развивающихся трещин в бетонных конструкциях

212 РИЛЕМ (Международный союз экспертов и лабораторий по испытанию строительных материалов, систем и конструкций) было разработано три стандарта ISO 16836, ISO 16837, ISO 16838, касающихся измерения АЭ в бетонных конструкциях, и предложено два стандарта по оценке повреждений и классификации

развивающихся трещин в бетонных и железобетонных балках методом АЭ. Информация о зарубежных разработках за ближайшие десять лет представлена в [6–9, 12–18]. Американские стандарты ASTM E2983, ASTM E3100, ASTM E 569/E569M разработаны в виде рекомендаций и носят рекомендательный характер.

Таблица 2  
Table 2

Перечень международных стандартов, находящихся в стадии разработки  
List of international standards under development

Индекс стандарта	Наименование стандарта
ISO/TC 135/SC 9/WG 8	<i>Acoustic emission testing of metallic structures</i> АЭ испытания металлических конструкций
CEN TC138/WG7	<i>Non-destructive testing. Acoustic emission testing. Equipment characterization. Part 2: Verification of operating characteristics.</i> Неразрушающий контроль. АЭ контроль. Характеристика оборудования. Часть 2: Проверка эксплуатационных характеристик
CEN TC138/WG7	<i>Non-destructive testing. Acoustic emission testing. Application of AE within the scope of in-service (periodic) inspection and requalification.</i> АЭ контроль. Применение АЭ в рамках эксплуатационного (периодического) контроля и переквалификации

В ближайшее время международными комитетами по стандартизации ISO и CEN (табл. 2) планируется разработать несколько стандартов. Стандарты будут посвящены процедуре поверки АЭ оборудования и НК конструкций. Стандарт CEN TC138 будет посвящен требованию к персоналу, проводящему АЭ контроль (SEN – Европейский комитет по стандартизации).

Действующие отечественные стандарты приведены в табл. 3. Представленные документы разра-

ботаны для поверки приборов и датчиков АЭ, контроля сосудов давления, котлов и трубопроводов. Из приведенного перечня только ГОСТ Р 52727 содержит общие принципы для АЭ контроля строительных конструкций. Других отечественных документов, касающихся применения метода АЭ, в строительстве нет.

Большая часть отечественных нормативных документов (табл. 3) разработана 20 лет назад, а часть

Таблица 3  
Table 3

Сводный перечень отечественных стандартов и РД по АЭ  
Summary list of domestic standards and RD for AE

Наименование документа	Разработчик	Комментарий к документу
ГОСТ Р 55045–2012 «Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Термины, определения и обозначения»	ТК 132, АНО «НИЦ КД», ЗАО НТК НТЦ «Промышленная безопасность», Самарский филиал АООТ «Оргэнергонефть» и др.	Настоящий стандарт устанавливает термины и определения, а также буквенные обозначения основных понятий в области акустико-эмиссионной технической диагностики
ГОСТ Р ИСО 12716 «Контроль неразрушающий. Акустико-эмиссионный контроль. Термины и определения»	ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ» ООО «ДИАПАК»	Документ прошел публичное слушание в ТК371/ПК9 в 2021 г.
ГОСТ Р 52727–2007 «Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Общие требования»	ТК132, ИАЭ им. Курчатова, Самарский филиал ОАО «Оргэнергонефть» и др.	Стандарт устанавливает применения акустико-эмиссионной диагностики для устройств, зданий и сооружений с целью оценки их соответствия требованиям промышленной безопасности
РД 03-299–99 «Требования к акустико-эмиссионной аппаратуре, используемой для контроля опасных производственных объектов»	Самарский филиал АООТ «Оргэнергонефть», ИАЭ им. Курчатова и др.	Руководство предназначено для определения технических характеристик и параметров аппаратуры АЭ. Документ регламентирует методы и средства определения параметров и технических характеристик аппаратуры АЭ
РД 03-300–99 «Требования к преобразователям акустической эмиссии, применяемых для контроля опасных производственных объектов»	Самарский филиал АООТ «Оргэнергонефть», ИАЭ им. Курчатова и др.	Требования распространяются на преобразователи АЭ, используемые для контроля промышленных объектов, а также при исследованиях АЭ в лабораторных условиях
ГОСТ Р 8.965–2019 «Акустико-эмиссионные приборы, информационно-измерительные, системы и комплексы»	ФГУП «ВНИИФТРИ», ТК 206 «Эталоны и поверочные системы»	Стандарт распространяется на акустико-эмиссионную аппаратуру (приборы, информационно-измерительные комплексы, системы) и устанавливает рекомендуемые методы из первичной и периодической поверки



Окончание табл. 3  
End of table 3

Наименование документа	Разработчик	Комментарий к документу
МИ 1786–87. ГСИ. Основные параметры приемных преобразователей акустической эмиссии. Методика выполнения измерений	НПО «Дальстандарт»	Устанавливают методику выполнения измерений основных параметров приемных преобразователей АЭ общего назначения
ГОСТ Р ИСО 18436-8–2012 «Контроль состояния и диагностика машин. Требования к квалификации и оценке персонала. Часть 6. Метод АЭ»	ТК183, АНО «НИЦ КД»	Стандарт устанавливает требования к квалификации и оценке компетентности персонала, выполняющего работы по контролю состояния и диагностированию машин с использованием измерений и анализа сигналов акустической эмиссии
СТО Газпром 2-2.3-238–2008 «Методика АЭ контроля переходов газопроводов через водные преграды, автомобильные и железные дороги»	ФГУ «Научно-учебный центр «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н.Э. Баумана	Стандарт устанавливает порядок проведения АЭ контроля переходов магистральных газопроводов через водные преграды, автомобильные и железные дороги, а также требования к АЭ аппаратуре, системе нагружения
СТО Газпром 1-1.3-328–2009 «Оценка технического состояния и срока безопасной эксплуатации технологических трубопроводов и компрессорных станций»	ОАО «Оргэнергогаз»	Стандарт распространяется на надземные и подземные технологические трубопроводы, сосуды, работающие под давлением, компрессорные станции подземных хранилищ газа и станции охлаждения газа
РД 50-447–83 «Общие положения и испытания на прочность. АЭ. Общие положения»	ВНИИНМАШ, МАИ, ЦНИИТМАШ, Институт атомной энергии	Документ устанавливает область применения, общие требования к объекту и условиям контроля, аппаратуре, порядку подготовки и проведения контроля, оформлению результатов и требования безопасности
МИ 207–80 «Методика определения местоположения развивающихся дефектов АЭ методом»	НПО «Дальстандарт»	Устанавливает АЭ метод контроля любых геометрических форм нагружаемых конструкций и любых сварных швов, выполненных дуговой, электрошлаковой, газовой и электронно-лучевой сваркой, для выявления развивающихся дефектов (РД)
ОСТ 92 1500–84 «Контроль неразрушающий. Сварные конструкции при прочностных испытаниях АЭ методом»	Госстандарт СССР	

документов разработана еще позже. За последние несколько лет органами стандартизации разработаны и проходят публичное обсуждение стандарты, сводный перечень которых приведен в табл. 4.

Из перечня стандартов (табл. 4) прошли публичные слушания ГОСТ Р ИСО 12716; ГОСТ Р ИСО 16836; ГОСТ Р ИСО 16837; ГОСТ Р ИСО 16838; ГОСТ Р 599388-2021 «Бетоны. Метод акустико-эмиссионного контроля» был утвержден в декабре 2021 г. [4].

Программа национальной стандартизации формируется ежегодно Росстандартом с учетом приоритетных направлений и тем, представленных ТК. В качестве приоритетного направления в стандартизации до 2024 г. является реализация национальных проектов и государственных программ. Направлениями разработки стандартов в 2021 г. стали: предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций, машиностроение, атомная промышленность, композитные и неметаллические материалы, нефтегазовая промышленность, промышленность строительных материалов.

В 2021–2024 гг. предложения по новым темам работ по стандартизации АЭ метода контроля подготовили ряд организаций и ТК. Планируется разработать национальные стандарты ГОСТ Р. Перечень стандартов приведен в табл. 5. Как видно, большинство стандартов будут гармонизированы с зарубежными.

В НИИЖБ им. А.А. Гвоздева проведены исследования по оценке качества сцепления арматуры различного профиля и диаметра с бетоном методом АЭ [5]. По результатам исследований будет разрабатываться ГОСТ Р «Бетоны. Акустико-эмиссионный метод контроля качества сцепления арматуры с бетоном». Разработка ГОСТа открывает новое направление – визуализация результатов АЭ контроля. Это будет нормативный документ, который позволит: визуализировать данные АЭ контроля; оценивать поля напряжений в приграничной с арматурным стержнем области; оценить влияние диаметра и вида профиля, состава бетона, крупности заполнителя на качество сцепления. Разработка документа запланирована в 2022 г.

Таблица 4  
Table 4

**Список стандартов, проходящих публичное обсуждение  
List of standards undergoing public discussion**

Наименование документа	Разработчик	Стадия разработки
ГОСТ Р ИСО 12716 «Контроль неразрушающий. АЭ контроль. Термины и определения»	ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ», ЗАО НИИН МНПО «Спектр», ООО «ДИАПАК», НУЦ «Контроль и диагностика»	Актуализация стандарта
ГОСТ Р EN 13477-1 «Контроль неразрушающий. Метод акустической эмиссии. Требования к аппаратуре. Параметры аппаратуры», ГОСТ Р EN 13477-2 «Контроль неразрушающий. Метод акустической эмиссии. Требования к аппаратуре. Верификация параметров аппаратуры»	ЗАО «НПО «Алькор», ООО «ДИАПАК», Диатон, ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ»	Разработка проекта ГОСТ Р
ГОСТ Р «Контроль неразрушающий. Акустико-эмиссионный контроль. Преобразователи акустической эмиссии. Метод абсолютной калибровки способом импульсной электромагнитной деформации электропроводящего твердого тела»	Тольяттинский государственный университет (ТГУ), ООО «ДИАПАК», «ГИАП-ДИСТцентр»	Разработка проекта ГОСТ Р
ГОСТ Р ИСО 16836 «Контроль неразрушающий. Акустико-эмиссионный контроль технического состояния. Метод измерения параметров сигналов акустической эмиссии в бетоне»	АО «НИЦ «Строительство», ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ»	Разработка ГОСТ Р
ГОСТ Р ИСО 16837 «Контроль неразрушающий. Акустико-эмиссионный контроль технического состояния. Метод испытаний для оценки повреждений в железобетонных балках»	АО «НИЦ «Строительство», ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ»	Разработка ГОСТ Р
ГОСТ Р ИСО 16838 «Контроль неразрушающий. Акустико-эмиссионный контроль. Метод испытаний для классификации развивающихся трещин в бетонных конструкциях»	АО «НИЦ «Строительство», ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ»	Разработка ГОСТ Р
ГОСТ Р 59938-2021 «Бетоны. Метод акустико-эмиссионного контроля»	«НИЦ» «Строительство», ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ»	Присвоен номер стандарта. Дата введения в действие 01 сентября 2022 г.
РД «Техническое диагностирование. Контроль. Методические рекомендации по проведению акустико-эмиссионного контроля»	«ГИАП-ДИСТцентр» и др.	Обновление ПБ 03-593-03
Контроль неразрушающий. Акустико-эмиссионный метод контроля. Акустико-эмиссионный контроль в процессе сварки многопроходных сварных швов. Общие принципы	ФГУП «НПЦ «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова»	Разработка ГОСТ Р
ГОСТ Р EN 13477-1-2021 «Контроль неразрушающий. Метод акустической эмиссии. Требования к аппаратуре. Часть 1. Параметры аппаратуры»	НПО «Алькор», ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ», ООО «ДИАПАК»	Разработка ГОСТ Р

Технический комитет ТК 269 РИЛЕМ «Оценка повреждений. Восстановление бетонных и каменных конструкций с помощью инновационного неразрушающего контроля» занимается разработкой метода визуализации повреждений при помощи АЭ томографии. Методика позволяет определить геометрические размеры повреждения в строительной конструкции. АЭ томография объединяет в себя АЭ и ультразвуковой метод диагностики. В АЭ томографии используются волны, генерируемые дефектом внутри конструкции при применении нагрузки. Скорость волны определяется с учетом траектории и наличия дефектов [16]. Планируется в 2023 г. проведение НИ-ОКР по этой теме.

В 2022 г. в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева планируется провести НИОКР «Разработка методики контроля и

прогноза прочности бетона в раннем возрасте методом акустической эмиссии». При твердении бетонов регистрируются сигналы АЭ. Контроль АЭ при формировании структуры бетона и соответствующие методики обработки полученной информации позволят разработать метод контроля прочности бетонов (растворов). Проведенные исследования подтвердили перспективность АЭ контроля и прогноза прочности бетона в раннем возрасте методом АЭ [11]. Этот метод контроля имеет большие перспективы. Отличительной особенностью данного метода НК является возможность контроля прочности незатвердевшего бетона удаленно и без присутствия оператора на строительной площадке. Планируется разработать прототип прибора, реализующий передачу данных АЭ контроля по сети WI-FI.

Таблица 5  
Table 5

**Планируемые для разработки стандарты на 2021–2024 гг.  
Standards planned for development for 2021–2024**

Наименование стандарта	Предполагаемые разработчики	Статус стандарта
ГОСТ Р ASTM E2983 Standard Guide for Application of Acoustic Emission for Structural Health Monitoring (Стандартное руководство по применению АЭ для мониторинга конструкций)	АО НИЦ «Строительство»	ГОСТ Р ID ASTM 2983
ГОСТ Р ASTM E 569 Standard Practice for Acoustic Emission Monitoring of Structures During Controlled Stimulation (Стандартная методика АЭ контроля конструкций при контролируемом воздействии)	АО НИЦ «Строительство»	ГОСТ Р ID ASTM 2374
ГОСТ Р ASTM E 2374 Standard Guide for Acoustic Emission System Performance Verification (Стандартное руководство по проверке производительности АЭ системы)	Предполагаемый разработчик ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ»	ГОСТ Р ID ASTM 2374
ГОСТ Р EN 15857 Non-destructive testing – Acoustic emission. Testing of fibre reinforced polymers. Specific methodology and general evaluation criteria (Не разрушающий контроль. Метод АЭ. Испытания полимерной фибры. Специфическая методология и общие критерии оценки)	АО «НИЦ «Строительство»	ГОСТ Р ID EN 15857
ГОСТ Р EN 13554 «Не разрушающий контроль. АЭ контроль. Общие принципы»	«НУЦ «Контроль и диагностика», ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ»	ГОСТ Р ID EN13554
ГОСТ Р ISO 18249 Non-destructive testing – Acoustic emission testing – Specific methodology and general evaluation criteria for testing of fiber-reinforced polymers (ГОСТ Р ISO 18249 «Контроль неразрушающий. Акустико-эмиссионный метод контроля. Методы и общие критерии оценки состояния полимеров, армированных волокном)	ИМАШ РАН, ЗАО «НИИИИ»	ГОСТ Р ID ISO
ГОСТ Р ASTM E3100 «Контроль бетонных конструкций методом АЭ»	АО «НИЦ «Строительство»	ГОСТ Р ID ID ASTM E3100
ГОСТ Р «Бетоны. Акустико-эмиссионный метод контроля прочности бетонов»	АО «НИЦ «Строительство»	Разработка ГОСТ Р
ГОСТ Р «Бетоны. Акустико-эмиссионный метод контроля качества сцепления арматуры с бетоном»	АО «НИЦ «Строительство»	Разработка ГОСТ Р
ГОСТ Р «Контроль неразрушающий. Акустико-эмиссионный метод контроля. Мониторинг технических устройств. Метод АЭ. Общие положения»	НТЦ «Эгида» совместно с ТК227	Разработка ГОСТ Р
ГОСТ Р EN 13477-1 «Контроль неразрушающий. Метод АЭ. Требования к аппаратуре. Часть 1. Параметры аппаратуры»	НПО «Алькор», ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ», ООО «ДИАПАК»	Разработка ГОСТ Р

Таблица 6  
Table 6

**Предложения по проведению НИОКР с целью разработки новых стандартов по АЭ  
Proposals for R&D in order to develop new standards for AE**

Название НИОКР	Планируемое название стандарта	Область применения и планируемые результаты
НИОКР «Не разрушающий контроль повреждений железобетонных конструкций и оценки эффективности восстановления конструкции при помощи АЭ томографии»	Разработка ГОСТ Р «Конструкции бетонные и железобетонные. Неразрушающий контроль повреждений АЭ томографией»	НК и ТД состояния поврежденных конструкций. НК качества оценки ремонта повреждения ремонтными составами
НИОКР «Разработка методики контроля и прогноза прочности бетона в раннем возрасте методом акустической эмиссии»	Разработка ГОСТ Р «Бетоны. Акустико-эмиссионный метод контроля прочности»	Определение сроков схватывания, прогноз прочности бетона, определение прочности бетонных смесей. Создание инновационного метода НК бетонов, который позволит дистанционно контролировать в труднодоступных местах прочность бетона конструкции

На 2022–2024 гг. в АО «НИЦ» «Строительство» планируется проведение двух НИОКР. В табл. 6 приведены предложения по проведению НИОКР с целью разработки новых стандартов по АЭ.

Анализ зарубежной и отечественной нормативной базы по АЭ контролю строительных конструкций позволяет сформулировать следующие выводы.

1. Некоторые направления в стандартизации методом АЭ, которые имеются в зарубежной практике, отсутствуют в РФ. Прежде всего это применение метода АЭ для НК и диагностики конструкций из композитных материалов.

2. Отечественные стандарты носят предписывающий характер. Зарубежные стандарты во многих случаях характеризуются меньшей определенностью. В некоторых случаях при разработке национальных стандартов на базе зарубежных потребуются дополнительные исследования.

3. Рассмотрение отечественных и зарубежных стандартов позволило сформулировать дальнейшие направления развития отечественной нормативной базы по применению метода АЭ и подготовить предложения в программу национальной стандартизации на ближайшую перспективу.

#### Список литературы

1. Сагайдак А.И. Акустическая эмиссия. Современное состояние стандартов и руководящих принципов. Сравнительная оценка и перспективы. *Труды II Международной конференции «Инновационные технологии в методе акустической эмиссии»*. Липки. 2010. С. 1–9.
2. Сагайдак А.И. Состояние и перспективы использования метода акустической эмиссии в современном строительстве. *Взгляд в будущее. Научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону*. 2014. Т. 3. С. 427–438.
3. Сагайдак А.И., Терентьев Д.А., Елизаров С.В., Бардаков В.В., Иванов В.И., Медведев К.А. Отечественные и зарубежные стандарты по акустической эмиссии. Сравнительная оценка и перспективы стандартизации // *Контроль. Диагностика*. 2021. Т. 24. № 2. С. 32–58.
4. 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.
5. Sagaidak A.I., Elizarov S.V. New possibilities of acoustic emission method for research of adhesion between concrete and steel bars of different profile. *Word Conference on Acoustic Emission*. Beijing. 2011, pp. 464–469.

4. Планируется разработать отечественные стандарты ГОСТ Р EN 13554; ГОСТ Р ASTM E2983; ГОСТ Р ASTM E 569; ГОСТ Р EN 15857; ГОСТ Р EN 13554. Область разрабатываемых стандартов охватывает следующие направления: стандарты на АЭ приборы; методики поверки датчиков АЭ; методики НК методом АЭ; диагностика строительных конструкций и полимерных материалов.

5. Необходимо провести исследования и разработать стандарты, которые включали бы количественные критерии степени опасности дефектов по результатам АЭ диагностирования строительных конструкций. Важным является разработка стандарта, позволяющего оценивать ресурс конструкции методом АЭ.

6. Ряд планируемых к разработке отечественных стандартов не имеет аналогов зарубежным стандартам. Прежде всего это проект ГОСТ Р «Бетоны. Акустико-эмиссионный метод контроля прочности бетонов» и ГОСТ Р «Бетоны. Акустико-эмиссионный метод контроля качества сцепления арматуры с бетоном».

#### References

1. Sagaidak A.I. Acoustic emission. The current state of standards and guidelines. Comparative assessment and prospects. *Proceedings of the II International Conference “Innovative technologies in the acoustic emission method”*. Lipki. 2010, pp. 1–9. (In Russian).
2. Sagaidak A.I. The state and prospects of using the acoustic emission method in modern construction. A look into the future. *Scientific papers of the III All-Russian (II International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete*. 2014. Vol. 3, pp. 427–438. (In Russian).
3. Sagaidak A.I., Terentyev D.A., Elizarov S.V., Bardakov V.V., Ivanov V.I., Medvedev K.A. Domestic and foreign standards on acoustic emission. Comparative assessment and prospects of standardization. *Control. Diagnostics*. 2021. Vol. 24. No. 2, pp. 32–58. (In Russian).
4. Sagaidak A.I. Standard for the method of acoustic emission control of concrete and reinforced concrete products and monolithic structures. *Concrete and reinforced concrete*. 2021. No. 3 (605), pp. 19–24. (In Russian).
5. Sagaidak A.I., Elizarov S.V. New possibilities of acoustic emission method for research of adhesion between concrete and steel bars of different profile. *Word Conference on Acoustic Emission*. Beijing. 2011, pp. 464–469.

6. Codes, standards, practices and Guidelines related to acoustic emission (AE). *Information note. Vallen Systeme*. [http://www.vallen.de/zdownload/pdf/AE\\_Standards\\_1309.pdf](http://www.vallen.de/zdownload/pdf/AE_Standards_1309.pdf) (Date of access 01.12.2021).
7. Brunner A.J. and Bohse J. Acoustic emission standards and guidelines 2002: a comparative assessment and perspectives // *NDT.net*. 2002. Vol. 7. No. 09. <http://www.ndt.net/article/v07n09/21/21.htm> (Date of access 20.10.2021).
8. Бруннер А. Дж., Бохс Дж. Стандарты и директивы по применению метода акустической эмиссии. 2002. Сравнительная оценка и перспективы. <http://masters.donntu.org/2010/fknt/smirnitskiy/library/translate.htm> (дата обращения 20.10.2021).
9. Grosse Christian U., Ohtsu M. Acoustic emission testing: basics for research – applications in civil engineering [pdf]. 2008. 400 p. <https://vdoc.pub/documents/acoustic-emission-testing-basics-for-research-applications-in-civil-engineering-4fm86es8ll10> (Date of access 10.09.2021).
10. Сагайдак А.И. Использование метода акустической эмиссии для контроля прочности бетона // *Бетон и железобетон*. 2000. № 4. С. 24–25.
11. Shen G., Zhang J., Wu Zh. Advances in Acoustic Emission Technology. *Proceedings of the World Conference on Acoustic Emission*. Guangzhou, China. 2019, pp. 41–53.
12. Panel Discussion. Status of AE Standards: ASTM. 62nd Acoustic Emission Working Group Virtual Meeting. 2020.
13. Mark F.C. Overview of Current and Developing ASTM Acoustic Emission (AE) Standards. *Journal of Acoustic Emission*. 2010. No. 28, pp. 229–233.
14. Spanner J.C., Sr. An Overview of Acoustic Emission Codes and Standards. *Journal of Acoustic Emission*. 1987. No. 6, pp. 121–124. <https://www.ndt.net/article/jae/papers/06-121.pdf>. (Date of access 01.09.2021).
15. Digiulio C., Herve C. New Edition of GEA Guideline for Acoustic Emission Testing of Pressure Equipments. *Proceedings of the 33rd Conference of the European Working Group on Acoustic Emission*. Senlis. France. 2018, pp. 8.
16. Tomoki Shiotani, Satoshi Osawa, Yoshikazu Kobayashi, Shohci Momoki. Application of 3D AE Tomography for Triaxial Tests of Rocky Specimens. *3d Conference of the European Working Group on Acoustic Emission (EWGAE)*, 2015.
17. Sotirios J., Vahaviolos I. Acoustic emission: standards and technology update. Includes bibliographical references. ASTM, 1999.
18. Vahaviolos I., Sotirios J. Acoustic emission testing. II Series: ASTM special technical publication. 1999.
6. Codes, standards, practices and Guidelines related to acoustic emission (AE). *Information note. Vallen Systeme*. [http://www.vallen.de/zdownload/pdf/AE\\_Standards\\_1309.pdf](http://www.vallen.de/zdownload/pdf/AE_Standards_1309.pdf) (Date of access 01.12.2021).
7. Brunner A.J. and Bohse J. Acoustic emission standards and guidelines 2002: a comparative assessment and perspectives. *NDT.net*. 2002. Vol. 7. No. 09. <http://www.ndt.net/article/v07n09/21/21.htm> (Date of access 20.10.2021).
8. Brunner A. J., Box J. Standards and guidelines for the application of the acoustic emission method. 2002. Comparative assessment and prospects. <http://masters.donntu.org/2010/fknt/smirnitskiy/library/translate.htm> (Date of access 20.10.2021).
9. Grosse Christian U., Ohtsu M. Acoustic emission testing: basics for research – applications in civil engineering [pdf]. 2008. 400 p. <https://vdoc.pub/documents/acoustic-emission-testing-basics-for-research-applications-in-civil-engineering-4fm86es8ll10> (Date of access 10.09.2021).
10. Sagaidak A.I. Using the acoustic emission method to control the strength of concrete. *Concrete and reinforced concrete*. 2000. No. 4, pp. 24–25. (In Russian).
11. Shen G., Zhang J., Wu Zh. Advances in Acoustic Emission Technology. *Proceedings of the World Conference on Acoustic Emission*. Guangzhou, China. 2019, pp. 41–53.
12. Panel Discussion. Status of AE Standards: ASTM. 62nd Acoustic Emission Working Group Virtual Meeting. 2020.
13. Mark F.C. Overview of Current and Developing ASTM Acoustic Emission (AE) Standards. *Journal of Acoustic Emission*. No. 28. 2010, pp. 229–233.
14. Spanner J.C., Sr. An Overview of Acoustic Emission Codes and Standards. *Journal of Acoustic Emission*. 1987. No. 6, pp. 121–124. <https://www.ndt.net/article/jae/papers/06-121.pdf>. (Date of access 01.09.2021).
15. Digiulio C., Herve C. New Edition of GEA Guideline for Acoustic Emission Testing of Pressure Equipments. *Proceedings of the 33rd Conference of the European Working Group on Acoustic Emission*. Senlis. France. 2018, p. 8.
16. Tomoki Shiotani, Satoshi Osawa, Yoshikazu Kobayashi, Shohci Momoki. Application of 3D AE Tomography for Triaxial Tests of Rocky Specimens. *3d Conference of the European Working Group on Acoustic Emission (EWGAE)*. 2015.
17. Sotirios J., Vahaviolos I. Acoustic emission: standards and technology update. Includes bibliographical references. ASTM, 1999.
18. Vahaviolos I., Sotirios J. Acoustic emission testing. II Series: ASTM special technical publication. 1999.

УДК 624.012.3/4

С.А. ЗЕНИН, канд. техн. наук (lab01@mail.ru),  
Р.Ш. ШАРИПОВ, канд. техн. наук (wander-er1@yandex.ru),  
О.В. КУДИНОВ, инженер (lab01@mail.ru)

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

## Исследование работы штепсельных стыков в крупнопанельных конструктивных системах зданий

Приведено описание основных результатов выполненной в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева научно-исследовательской работы (НИР), касающейся исследования работы соединений штепсельного типа для сборных железобетонных конструкций крупнопанельных зданий. Целью исследования являлось получение расчетно-теоретических данных работы стыков штепсельного типа в крупнопанельных конструктивных системах для совершенствования методов проектирования сборных железобетонных конструкций. На основании полученных результатов расчетно-теоретических исследований и их анализа при выполнении НИР разработаны рекомендации по оценке жесткости, прочности и конструированию штепсельных стыков в крупнопанельных конструктивных системах. Также выработаны предложения по проектированию штепсельных стыков в крупнопанельных конструктивных системах.

**Ключевые слова:** крупнопанельные конструктивные системы, штепсельные соединения, сборные элементы, предельные усилия, жесткость.

**Для цитирования:** Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В. Исследование работы штепсельных стыков в крупнопанельных конструктивных системах зданий // *Бетон и железобетон*. 2021. № 5–6 (607–608). С. 60–66.

S.A. ZENIN, Candidate of Sciences (Engineering) (lab01@mail.ru),  
R.Sh. SHARIPOV, Candidate of Sciences (Engineering) (wander-er1@yandex.ru),  
O.V. KUDINOV, Engineer (lab01@mail.ru)

Research, Design and Technological institute of Concrete and Reinforced Concrete – NIIZHB named after A.A. Gvozdev  
JSC “Research Center “Stroitel’stvo”, Laboratory No. 2 (6, build. 5, 2-nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

### Research of Plug Connections in Large-Panel Structural Systems of Buildings

The article describes the main results of the research work (R & D) carried out at NIIZHB named after A. A. Gvozdev, concerning the research of the operation of plug-type connections for precast reinforced concrete structures of large-panel buildings. The aim of the research was to obtain designed and theoretical data on the operation of plug-type joints in large-panel structural systems for improving the design methods of precast concrete structures. Based on the results of designed and theoretical researches and their analysis in the course of R&D, recommendations for assessing the rigidity, strength and design of plug joints in large-panel structural systems have been developed. Also developed proposals for the design of plug joints in large-panel structural systems.

**Keywords:** large-panel structural systems, plug connections, precast elements, ultimate forces, rigidity.

**For citation:** Zenin S.A., Sharipov R.Sh., Kudinov O.V. Research of plug connections in large-panel structural systems of buildings. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 5–6 (607–608), pp. 60–66. (In Russian).

Как показал предварительный обзор и анализ различных отечественных исследований и методик норм, включая основной нормативный документ по проектированию крупнопанельных конструктивных систем СП 335.1325800.2017 «Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования», в общем случае методология расчета стыков штепсельного типа для стеновых элементов из сборного железобетона отсутствует. При этом стыки такого типа обладают рядом преимуществ (высокая скорость монтажа, невысокая стоимость) и широко применяются в каркасных конструктивных системах для

сопряжения сборных элементов колонн. Для каркасных конструктивных систем нормативно-техническая база в нашей стране в части проектирования стыков штепсельного типа имеется [1], однако разработана порядка 35 лет назад и требует своей адаптации под современные материалы и методы проектирования. Этому способствуют проводимые исследования отдельных отечественных специалистов – разработаны и применяются новые методики расчетов стыков каркасных конструктивных систем [2, 3], при этом действующие нормативные документы для каркасных конструктивных систем: СП 335.1325800.2017

«Конструкции каркасные железобетонные сборные одноэтажных зданий производственного назначения. Правила проектирования», СП 356.1325800.2017 «Конструкции каркасные железобетонные сборные многоэтажных зданий. Правила проектирования» пока не содержат таких регламентированных методик. Однако для стеновых конструктивных систем единый подход к методологии расчетов и проектирования стыков штепсельного типа в нашей нормативной базе – СП 335.1325800.2017 отсутствует. В связи с этим при проектировании крупнопанельных зданий в настоящее время используют различные сочетания и комбинации имеющихся нормативных методик расчетов сечений и стыков железобетонных конструкций.

Как показал анализ зарубежной нормативно-технической базы (Eurocode, ACI, бюллетени FIB, руководства PCI [8] и пр.), в европейских и американских нормативных документах встречаются конструктивные решения по сопряжению смежных стеновых элементов из сборного железобетона при помощи стыков штепсельного типа. Также имеются отдельные указания общего характера по описанию принципов работы подобных стыков и отдельные методики расчетов, отвечающие данным принципам (расчет анкеров, расчет на откалывание и т. д.). В целом данная ситуация схожа с отечественной нормативно-технической базой в части отсутствия общего единого подхода к методам расчета и конструирования таких стыков в крупнопанельных зданиях.

Оценка, проведенная в рамках работы, показала, что с учетом зарубежного опыта, а также имеющейся отечественной практики проектирования и строительства крупнопанельных зданий стыки штепсельного типа в общем случае могут быть достаточно эффективно применены в крупнопанельных зданиях. Штепсельные стыки при определенных условиях могут обеспечить восприятие не только продольных сжимающих и поперечных сдвиговых сил, но и работу на растяжение и восприятие изгибающих моментов, что выгодно отличает их от чисто шарнирных соединений.

В общем случае принято размещать стыки штепсельного типа в каркасных конструктивных системах в зонах нулевых или околонулевых моментов. Однако в крупнопанельных конструктивных системах это не представляется целесообразным, так как в данном случае горизонтальный стык будет расположен в видимой зоне, его напряженно-деформированное состояние будет несколько хуже вследствие отсутствия прямой связи с горизонтальной диафрагмой жесткости (перекрытием), что также скажется на общей жесткости конструктивной системы в целом. Кроме того, в этом случае стеновые элементы должны иметь консоли для опирания плит, что приведет

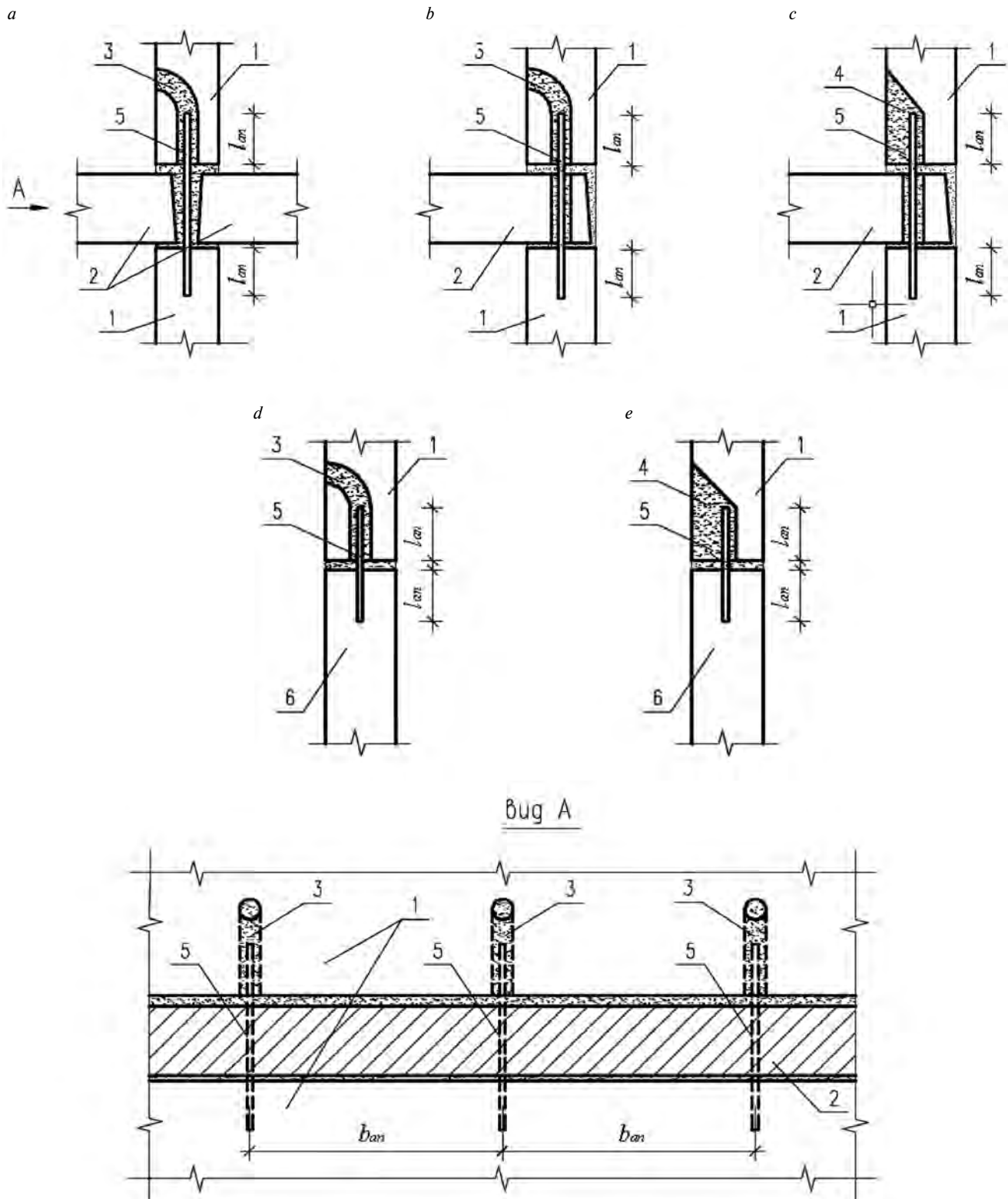
к некоторому удорожанию и потере внешнего вида внутреннего интерьера.

Можно отметить, что отсутствие методов расчета и конструирования в отечественной нормативной базе по крупнопанельному домостроению приводит к большому числу вопросов как у проектного сообщества, так и у экспертов при оценке принятых конструктивных решений, соответственно применение таких стыков ограничено. Также представляется, что известные методы определения податливости таких стыковых соединений, описанные в СП 335.1325800.2017, по отношению к штепсельным стыкам могут быть уточнены, в частности в соответствии с имеющимися данными исследований [2–7]. Это приводит к необходимости разработки таких методов с учетом имеющегося отечественного и зарубежного опыта, включая аналогичные стыки для каркасных конструктивных систем, и последующего внедрения в нормативную базу для практического применения.

Проработка концепции конструктивного решения стыка штепсельного типа, а также оценка возможной его работы в конструктивной системе позволяют предложить следующие базовые конструктивные решения стыков: соединение сборных элементов стен между собой (рис. 1), соединение сборных элементов плит и стен (рис. 2), а также комбинированные сочетания указанных соединений (рис. 3) и соединение, способное воспринимать изгибающие моменты (рис. 4).

Штепсельное соединение может быть применено как в платформенных стыках, так и в контактных стыках с различным способом заделки их выпусков – при помощи каналов или карманов. Как видно из конструкции стыков, в общем случае не рекомендуется устройство карманов для заделки достаточно длинных арматурных выпусков (рис. 3, *a, b*), так как это повлияет на качество заделки нижнего торца панели и ослабит его. Устройство карманов для обетонирования штепсельного соединения в платформенных стыках с двухсторонним опиранием плит также не рекомендуется, так как в данном случае сильно ослабляется нижнее опорное сечение сборного элемента стены с двух сторон.

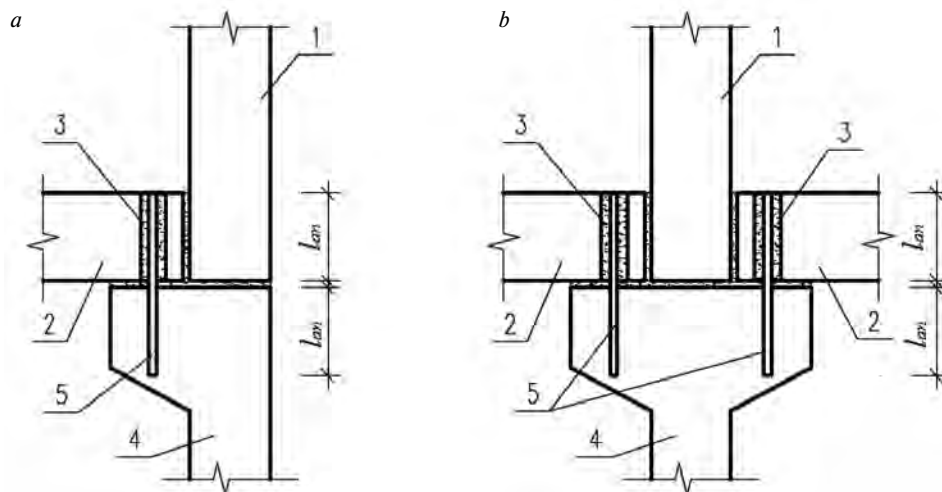
Кроме того, можно рекомендовать не устраивать выступы и лунки, а также не устанавливать стальные пластины-прокладки на торцах стеновых элементов по подобию аналогичных стыков колонн. Для стеновой конструктивной системы это не представляется необходимым, так как размещение стеновых панелей обусловлено конструктивными решениями стыков и размерами изделий; кроме того, это приведет к удорожанию себестоимости изделия вследствие изменения оснастки для изготовления изделий и увеличения материалоемкости.



**Рис. 1.** Принципиальные соединения сборных элементов стен с применением стыков шпательного типа в крупнопанельных конструктивных системах: а – платформенный стык с двухсторонним опиранием плит с устройством канала; б – то же с односторонним опиранием плит; с – то же с односторонним опиранием плит с устройством кармана; д – контактный стык с устройством канала; е – то же с устройством кармана; 1 – сборная стеновая панель; 2 – сборная плита перекрытия; 3 – канал в бетоне; 4 – карман для заделки выпуска; 5 – арматурный или стальной выпуск; 6 – сборная стеновая панель или монолитные конструкции нижнего этажа

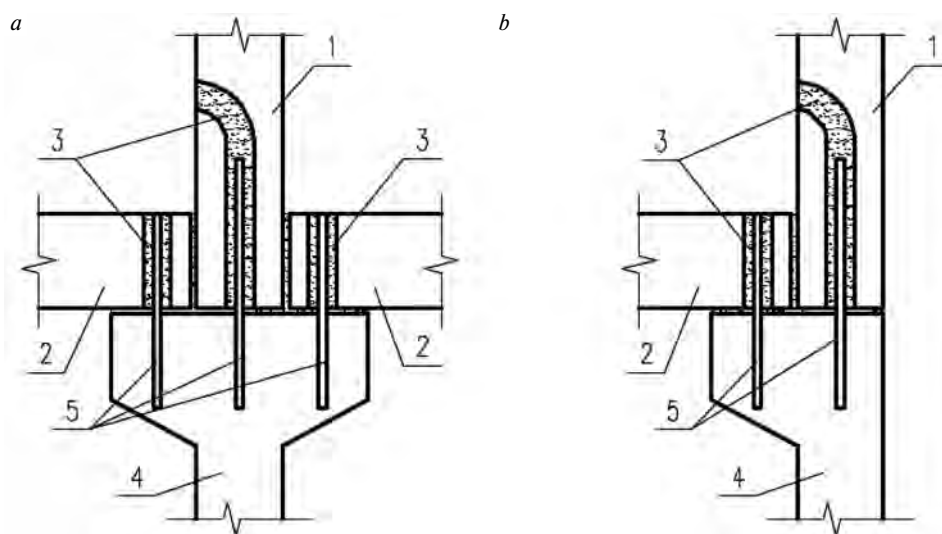
**Fig. 1.** Principal connections of precast elements of walls with plug-type joints in large-panel structural systems: a – platform joint with double-sided support of slabs with channel; b – the same with one-sided support of slabs; c – the same with one-sided support of slabs with «pocket»; d – contact joint with channel; e – the same with «pocket»; 1 – precast wall panel; 2 – precast floor slab; 3 – channel in concrete; 4 – «pocket» for closing connection rebar; 5 – rebar or steel connection bar; 6 – precast wall panel or monolithic structures of the lower floor





**Рис. 2.** Принципиальные соединения сборных элементов плит и стен с применением стыков штепсельного типа в крупнопанельных конструктивных системах: а – контактный стык с односторонним опиранием плит; б – то же с двухсторонним опиранием плит; 1 – сборная стеновая панель; 2 – сборная плита перекрытия; 3 – канал в бетоне; 4 – сборная стеновая панель с консолью; 5 – арматурный или стальной выпуск

**Fig. 2.** Principal connections of precast elements of slabs and walls using plug-type joints in large-panel structural systems: а – contact joint with one-sided support of slabs; б – the same with double-sided support of slabs; 1 – precast wall panel; 2 – precast floor slab; 3 – channel in concrete; 4 – precast wall panel with console; 5 – rebar or steel connection bar



**Рис. 3.** Принципиальные комбинированные соединения сборных элементов плит и стен с применением стыков штепсельного типа в крупнопанельных конструктивных системах: а – контактный стык с односторонним опиранием плит; б – то же с двухсторонним опиранием плит; 1 – сборная стеновая панель; 2 – сборная плита перекрытия; 3 – канал в бетоне; 4 – сборная стеновая панель с консолью; 5 – арматурный или стальной выпуск

**Fig. 3.** Principal combined connections of precast elements of slabs and walls using plug-type joints in large-panel structural systems: а – contact joint with one-sided support of slabs; б – the same with double-sided support of slabs; 1 – precast wall panel; 2 – precast floor slab; 3 – channel in concrete; 4 – precast wall panel with console; 5 – rebar or steel connection bar

Также в рамках работы были выполнены расчетные исследования по определению максимально возможных значений продольных сжимающих сил и сдвиговых поперечных сил, которые могут быть восприняты стыками по различным методикам отечественных и зарубежных нормативных документов. Расчеты были выполнены для соединений сборных элементов стен с различными размерами поперечных сечений, при фиксированном классе бетона, с заделкой цементно-песчаными растворами различных марок, а также различным содержанием

арматуры, пересекающей стык. Дополнительно была выполнена оценка жесткостных характеристик штепсельных соединений контактных стыков крупнопанельных зданий при различных марках раствора, уровнях обжатия и содержании арматуры в стыке.

Также были выполнены численные исследования с применением метода конечных элементов. Построение моделей выполнено при помощи объемных конечных элементов, расчеты выполнены с учетом физической нелинейности.

По результатам выполненных расчетно-теоретических исследований, а также анализа экспериментальных данных и методик действующей нормативно-технической базы предложены следующие рекомендации по проектированию штепсельных соединений в крупнопанельных конструктивных системах.

### Расчет на действие продольных сжимающих сил

Расчет на сжатие штепсельных соединений контактных стыков стен в крупнопанельных конструктивных системах выполняют согласно указаниям СП 335.1325800.2017 как расчет контактных стыков с учетом следующих дополнений:

– при расчете стыков, в которых штепсельное соединение установлено в один ряд по толщине стены, продольную арматуру, пересекающую стык, в расчетах на сжатие не учитывают;

– при расчете стыков, в которых штепсельное соединение установлено в два ряда, расчет на сжатие выполняют как расчет внецентренно сжатого элемента согласно СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01–2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» при расчетном сопротивлении бетона, равным приведенному расчетному сопротивлению горизонтального стыка на сжатие согласно СП 335.1325800.2017. При этом следует предусмотреть косвенное армирование в приопорной зоне сборных элементов согласно СП 335.1325800.2017, шаг штепсельных выпусков не более 1 м по длине стены, а также должна быть обеспечена анкеровка выпусков согласно СП 63.13330.2018. При несоблюдении указанных конструктивных требований расчет выполняют без учета продольной арматуры, пересекающей стык.

Расчет платформенных стыков на сжатие выполняют согласно указаниям СП 335.1325800.2017 без учета продольной арматуры, пересекающей стык.

### Расчет на действие поперечных сил

Значение предельной сдвиговой силы, воспринимаемой штепсельным соединением контактного стыка с заполнением его цементно-песчаным раствором, определяют по формуле:

$$Q \leq \mu_1 N + 0,3 R_{s1} A_{s1}, \quad (1)$$

где  $\mu_1$  – коэффициент трения, принимаемый равным 0,3. При расчете на сейсмические воздействия значение  $\mu_1$  принимают по линейной интерполяции от  $\mu_1=0,3$  при напряжении в шве  $\sigma_b \leq 0,5 R_{b1}$  до 0,1 при  $\sigma_b > R_{b1}$ , где  $\sigma_b$  и  $R_{b1}$  – соответственно напряжение в шве от расчетной центрально приложенной нагрузки и кубиковая прочность, соответствующая проектной

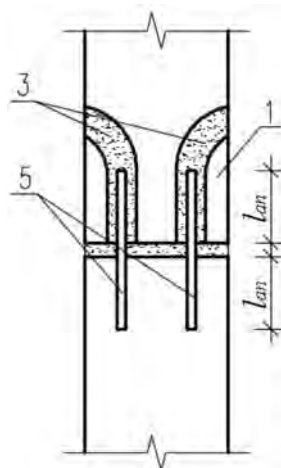


Рис. 4. Принципиальное соединение сборных элементов стен с применением соединения штепсельного типа с возможностью восприятия изгибающих моментов в крупнопанельных конструктивных системах (контактный стык); 1 – сборная стеновая панель; 3 – канал в бетоне; 5 – арматурный или стальной выпуск

Fig. 4. Principal connection of precast elements of walls using plug-type joints with the possibility of accepting bending moments in large-panel structural systems (contact joint); 1 – precast wall panel; 3 – channel in concrete; 5 – rebar or steel connection bar

прочности раствора в шве при сжатии;  $N$  – нормальная расчетная сила сжатия в стыке;  $A_{s1}$  – площадь поперечного сечения арматуры, пересекающей стык;  $R_{s1}$  – расчетное сопротивление растяжению арматуры, пересекающей стык.

Учитывая конструктивные особенности штепсельных соединений в платформенных стыках крупнопанельных зданий, т. е. размещение стыков в плоскости горизонтальных диафрагм жесткости, расчет на сдвиг таких соединений допускается не выполнять.

### Определение податливости

Определение податливости контактного стыка на сжатие выполняют согласно указаниям СП 335.1325800.2017. При этом для штепсельных соединений учет наличия продольной арматуры, пересекающей стык, выполняют снижением податливости на 10%. При размещении выпусков с шагом более 1 м по длине панели влияние продольной арматуры на податливость не учитывают.

Сдвиговую податливость контактных стыков со штепсельными соединениями определяют согласно СП 335.1325800.2017. При отсутствии сжимающих усилий или их небольших значениях сдвиговая податливость штепсельного соединения может быть определена по модели, описанной в [10].

### Общие положения по проектированию штепсельных соединений элементов крупнопанельных зданий

В СП 335.1325800.2017 необходимо включить возможность проектирования штепсельных соединений стыков элементов, так как в действующей редакции она отсутствует.

Стыки сборных элементов со штепсельным соединением применяют преимущественно при соединении смежных сборных элементов стеновых панелей, а также при соединении плит и стеновых элементов с консолями.

Арматурные выпуски могут быть установлены в сборный элемент как в момент его изготовления, так и после его монтажа.

Размещение арматурных выпусков при соединении сборных элементов стен выполняют в один или два ряда по толщине стены. Для заделки выпусков в торцах стеновых панелей устраивают карманы или каналы из заранее заложенных при изготовлении изделия трубок. Минимальное количество выпусков на панель – 2 шт. Профиль трубок рекомендуется применять гофрированным.

Заделку выпусков выполняют в соответствии с указаниями СП 335.1325800.2017.

Типовые соединения сборных элементов стен приведены на рис. 1, 4; соединение сборных элементов плит и стен приведено на рис. 2; комбинированные сочетания указанных соединений – на рис. 3. При необходимости на их основе могут быть разработаны типовые конструктивные решения для массовых серий крупнопанельных зданий.

В общем случае не рекомендуется устройство карманов для заделки достаточно длинных арматурных выпусков (рис. 3, *a, b*), так как это влияет на качество заделки нижнего торца панели и ослабляет его. Устройство карманов для обетонирования штепсельного соединения в платформенных стыках с двухсторонним опиранием плит также не рекомендуется, так как в данном случае происходит ослабление нижнего опорного сечения сборного элемента стены с двух сторон.

Необходимо выполнять контроль качества выполнения работ по заполнению каналов арматурных выпусков для обеспечения необходимой прочности соединения и его долговечности, включая контроль за прочностными и деформационными характеристиками применяемых растворов и мелкозернистых бетонов.

### Выводы

Анализ нормативно-технической базы показал, что отсутствие методов расчета и конструирования штепсельных соединений в отечественной нормативной базе по крупнопанельному домостроению ограничивает применение таких стыков. Для решения данной проблемы были выполнены соответ-

### Список литературы

1. Рекомендации по проектированию и выполнению контактных стыков с обрывом арматуры в железобетонных колоннах многоэтажных зданий. М.: НИИЖБ, 1985.
2. Соколов Б.С., Латыпов Р.Р. Прочность и податливость штепсельных стыков железобетонных

ствующие расчетно-теоретические исследования, в рамках которых сформулированы основные предпосылки для проведения расчетных исследований, выбраны наиболее подходящие критерии для анализа результатов выполненных расчетов, установлены подходящие данные для верификации результатов и методик расчетов.

На основании полученных результатов расчетно-теоретических исследований и их анализа разработаны рекомендации по оценке жесткости, прочности и конструированию штепсельных стыков в крупнопанельных конструктивных системах. Также выработаны предложения по проектированию штепсельных стыков в крупнопанельных конструктивных системах.

На основании результатов исследований также рекомендовано выполнение дополнительных научных поисковых работ в виде НИР и НИОКР, направленных на развитие результатов, полученных в данной работе. Данное обстоятельство связано с необходимостью дальнейшего развития методик определения предельных сил, воспринимаемых стыками (в частности, продольных и поперечных сил, изгибающих моментов), а также уточнением значений жесткостей стыков. Кроме того, необходимо провести дополнительные исследования по оценке анкеровки арматурных выпусков штепсельных стыков при заполнении различными растворами и составами и при различных профилях каналообразователей (гофрированных и гладких) из различных материалов; учет возможности образования коррозии, а также возможных отклонений от проектных решений и дефектов. Кроме того, требуется проведение исследований по контролю качества таких соединений.

Проведение дополнительных исследований позволит разработать новую, более совершенную методику расчета и проектирования стыков сборных элементов крупнопанельных зданий, что даст возможность проектировать экономичные и с достаточным уровнем надежности конструкции.

### References

1. Recommendations for the design and implementation of contact joints with reinforcement breakage in reinforced concrete columns of multi-storey buildings. Moscow: NIIZhB, 1985.
2. Sokolov B.S., Latypov R.R. Strength and compliance of plug joints of reinforced concrete columns under the action of static and seismic loads [Prochnost' i podatlivost' shtepsel'nykh stykov zhelezobetonnykh kolonn pri deistvii staticheskikh i seismicheskikh nagruzok]. Moscow: ASV, 2010. 126 p.
3. Sokolov B.S., Lizunova N.S. Experimental and theoretical methodology for assessing the shear compli-

- колонн при действии статических и сейсмических нагрузок. М.: АСВ, 2010. 126 с.
- Соколов Б.С., Лизунова Н.С. Экспериментально-теоретическая методика оценки сдвиговой податливости штепсельных стыков железобетонных колонн // *Известия КГАСУ*. 2014. № 1 (27). С. 119–124.
  - Пособие по проектированию жилых зданий. Вып. 3. Ч. 1, 2. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01–85). М.: ЦНИИЭП жилища, 1986.
  - Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В. Анализ существующих методов оценки податливости связей крупнопанельных зданий // *Бетон и железобетон*. 2016. № 3. С. 26–28.
  - Чистяков Е.А., Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В. Учет податливости стыковых соединений дискретного типа в расчетах конструктивных систем крупнопанельных зданий // *ACADEMIA. Архитектура и строительство*. 2017. № 2. С. 123–127.
  - Данель В.В. Анализ формул для определения жесткости при сдвиге платформенных стыков крупнопанельных зданий // *Бетон и железобетон*. 2010. № 1. С. 25–29.
  - Горачек Е., Лышак В.И., Пуме Д. и др. Прочность и жесткость стыковых соединений панельных конструкций: Опыт СССР и ЧССР. М.: Стройиздат, 1986. 192 с.
  - ance of plug joints of reinforced concrete columns. *Izvestiya KGASU*. 2014. No. 1 (27), pp. 119–124.
  - Manual on the design of residential buildings. Vol. 3. Part 1, 2. Construction of residential buildings (to SNiP 2.08.01–85) [Posobie po proektirovaniyu zhiilykh zdanii. Vyp. 3. Ch. 1, 2. Konstruktsii zhiilykh zdanii (k SNiP 2.08.01–85)]. Moscow: TsNIIEP zhilishcha, 1986.
  - Zenin S.A., Sharipov R.Sh., Kudinov O.V. Analiz sushchestvuyushchikh metodov otsenki podatlivosti svyazei krupnopanel'nykh zdanii. *Beton i zhelezobeton*. 2016. No. 3, pp. 26–28.
  - Chistyakov E.A., Zenin S.A., Sharipov R.Sh., Kudinov O.V. Uchet podatlivosti stykovykh soedinenii diskretnogo tipa v raschetakh konstruktivnykh sistem krupnopanel'nykh zdanii. *ACADEMIA. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2017. No. 2, pp. 123–127.
  - Danel' V.V. Analiz formul dlya opredeleniya zhestkosti pri sdvige platformennykh stykov krupnopanel'nykh zdanii. *Beton i zhelezobeton*. 2010. No. 1, pp. 25–29.
  - Gorachek E., Lishak V.I., Pume D. Prochnost' i zhestkost' stykovykh soedinenii panel'nykh konstruktssii: Opyt SSSR i ChSSR [Strength and rigidity of butt joints of panel structures: The experience of the USSR and the Czech SSR] Moscow: Stroizdat, 1986. 192 p.



## VI международная научно-практическая конференция «Современный автоклавный газобетон»

8–10 февраля 2022 г.

г. Москва

Конференция проводится в двух форматах: в очном (г. Москва, отель «Салют») и заочном (онлайн и в записи)

### ТЕМАТИКА:

- Техническое регулирование в ПСМ и строительстве
- Производство и потребление газобетона. Статистика и перспективы
- Однослойные легкие штукатурки для газобетона – причины малой востребованности
- Кладка на пенополиуретановых швах. Резюме по опыту 10 лет использования

### ДОКЛАДЫ:

Конструкции с применением ГБ. Тренды последних лет  
Однослойные стены из газобетона D400 для зданий класса энергопотребления A+  
Пятиэтажные здания с однослойными несущими стенами из ГБ – 2021

Более подробная информация – на сайте <https://www.gazo-beton.org/conference>

Ассоциация производителей автоклавного газобетона  
naag@gazo-beton.org  
тел. +7 925 643 88 82

УДК 624.012.45

В.В. МАЛЮК<sup>1</sup>, инженер (mvv.77@mail.ru),В.Д. МАЛЮК<sup>1</sup>, канд. техн. наук;С.Н. ЛЕОНОВИЧ<sup>2, 3</sup>, д-р техн. наук, иностранный академик РААСН (sleonovich@mail.ru)<sup>1</sup> Филиал «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС (690033, г. Владивосток, ул. Бородинская, 14)<sup>2</sup> Белорусский национальный технический университет (220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65)<sup>3</sup> Qingdao University of Technology (266033, China, 11 Fushun Rd, Qingdao)

## Методика обследования железобетонных конструкций портовых сооружений (о. Сахалин)

Представлено детальное обследование, проведенное на трех сооружениях, которое включало в себя исследование температурного режима бетона в зоне переменного уровня воды; отбор проб бетона из различных участков конструкций в зоне переменного уровня с целью дальнейших лабораторных исследований; определение механических и физических свойств бетона непосредственно в конструкциях. Физико-механические свойства бетона: прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, водопоглощение, пористость, вещественный состав бетона, определяли стандартными методами. Химический анализ материалов проводился с использованием стандартных и нестандартных методов, применяемых при аналогичных исследованиях, для определения агрессивности морской воды к бетону. Глубину проникновения хлорид-ионов определяли по вещественному составу и дополнительно – с помощью метода изменения цвета бетона.

**Ключевые слова:** методика обследования, железобетонные конструкции, портовые сооружения, сценарии разрушения.

**Для цитирования:** Малюк В.В., Малюк В.Д., Леонович С.Н. Методика обследования железобетонных конструкций портовых сооружений (о. Сахалин) // *Бетон и железобетон*. 2021. № 5–6 (607–608). С. 67–72.

V.V. MALYUK<sup>1</sup>, Engineer (mvv.77@mail.ru),V.D. MALYUK<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering);S.N. LEONOVICH<sup>2, 3</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (sleonovich@mail.ru), Foreign Academician of RAACS (sleonovich@mail.ru)<sup>1</sup> Branch of the Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation, Far Eastern Research, Design and Technological Institute for Construction (14, Borodinskaya Street, Vladivostok, 690033, Russian Federation)<sup>2</sup> Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosty Avenue, Minsk, 220013, Belarus)<sup>3</sup> Qingdao University of Technology (11, Fushun Rd, Qingdao, 266033, China)

### Methods of Inspection of Reinforced Concrete Structures of Port Installations (Sakhalin Island)

A detailed survey conducted on three structures is presented, which included a study of the temperature regime of concrete in the zone of variable water level; sampling of concrete from various sections of structures in the zone of variable level for further laboratory studies; determination of the mechanical and physical properties of concrete directly in the structures. The physical and mechanical properties of concrete: strength, frost resistance, water-tightness, water absorption, porosity, material composition of concrete were determined by standard methods. Chemical analysis of materials was carried out using standard and non-standard methods applied in similar studies to determine the aggressiveness of seawater to concrete. The penetration depth of chloride ions was determined by the material composition and additionally determined using the method of changing the color of concrete.

**Keywords:** survey methodology, reinforced concrete structures, port installations, destruction scenarios.

**For citation:** Malyuk V.V., Malyuk V.D., Leonovich S.N. Methods of inspection of reinforced concrete structures of port installations (Sakhalin island). *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 5–6 (607–608), pp. 67–72. (In Russian).

Мировая практика показывает, что экономическая потребность в рациональном использовании ресурсов вызывает новые требования к процессу проектирования сооружений – проектирование по жизненному циклу. Это предопределяет новый подход к проектированию долговечности конструкций, основная цель которого заключается в назначении обоснованных показателей долговечности, позволя-

ющих обеспечить экономически сбалансированные технические решения на этапе строительства и эксплуатации сооружения. Мировая тенденция в проектировании – это переход проектирования долговечности от классических принципов по нормативным требованиям (prescriptive specification) к концепции по эксплуатационным показателям (performance-based design) [1–15].

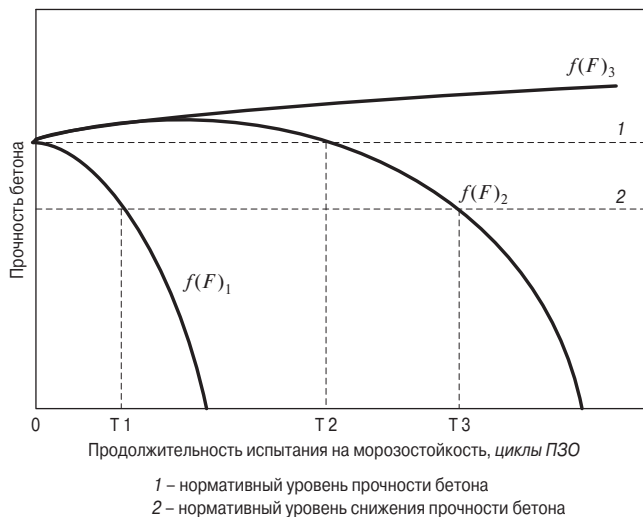
Развитие современной концепции проектирования долговечности по эксплуатационным характеристикам ограничивает многообразие факторов, влияющих на процесс разрушения бетона и недостаточное понимание их роли во всех необходимых деталях, а методы испытаний, используемые в лаборатории, не всегда отражают реальные условия. Несоответствие между эксплуатационными и лабораторными условиями вносит неопределенность оценки факторов, определяющих долговечность бетонной конструкции в реальных условиях.

Широкий диапазон и большое количество исследований, посвященных изучению долговечности бетона за последние 100 лет, позволил получить большой объем информации о процессах разрушения бетона в условиях морозного воздействия. На этой основе разработаны методы расчета и технологические принципы получения бетона высокой морозостойкости.

**Особенности деструкции портовых железобетонных конструкций**

Исследования морских гидротехнических сооружений в суровых климатических условиях эксплуатации Севера и Дальнего Востока позволили установить, что уязвимыми для разрушения бетона являются части конструкций, расположенные как в зоне действия прилива и отлива, так и в зоне всплеска волн. Традиционно принято считать, что основным фактором внешних воздействий является многократное замораживание и оттаивание из-за цикличности приливов и отливов. Имитация этих условий заложена в стандартном методе испытаний морозостойкости бетона. Связь между морозостойкостью, выраженная количеством циклов ПЗО (процесс замораживания-оттаивания), и свойствами бетона заложена в технологических подходах при изготовлении конструкций для зоны переменного уровня. Однако наблюдаемое разрушение бетона в конструкциях после первого зимнего периода свидетельствует о многообразии форм взаимодействия конструкций морских сооружений с внешней средой, и традиционные подходы к обеспечению долговечности бетона в зоне переменного уровня, очевидно, не всегда эффективны.

Сложность проблемы долговечности из-за многофакторности воздействий не позволяет в настоящее время дать универсальный метод проектирования конструкций на заданный срок службы конструкций в условиях морозного воздействия. Однако разработанные в настоящее время общие принципы расчета долговечности позволяют перейти к разработке практических моделей долговечности для конкретных условий эксплуатации. Необходимо, во-первых, иметь достоверную информацию



1 – нормативный уровень прочности бетона  
2 – нормативный уровень снижения прочности бетона

Рис. 1. Схема сценариев морозостойкости бетона при стандартных испытаниях

Fig. 1. Scheme of scenarios for concrete frost resistance during standard tests

о разрушающей нагрузке от морозного воздействия и, во-вторых, знать качественные показатели бетона, обеспечивающие несущую способность от этой нагрузки. Для этого необходимо знать следующее:

- механизмы замораживания бетона на различных участках зоны переменного уровня воды;
- механизмы разрушения бетона на различных участках зоны переменного уровня воды;
- показатели свойств бетона, определяющие стойкость бетона в реальных условиях эксплуатации;
- технологические факторы, влияющие на долговечность бетона;
- причины разрушения бетона в конструкциях.

**Цель исследований.**

**Сценарии разрушения бетона**

В качестве рабочей гипотезы в настоящей работе процесс коррозии бетона при морозном воздействии рассматривается как двухэтапный, состоящий из периода иницирования и деградации. Это основано на современных положениях о механизмах разрушения бетона при морозном воздействии и сценариях развития процессов деградации бетона при стандартных испытаниях.

Наблюдения за стандартными испытаниями морозостойкости показывают, что разрушение бетона может происходить по трем сценариям (рис. 1):

- сценарий 1: снижение прочности происходит после первого цикла замораживания –  $f(F)_1$ ;
- сценарий 2: бетон имеет определенный период со стабильной прочностью или с растущей прочностью –  $f(F)_2$ ;
- сценарий 3: прочность бетона при стандартных испытаниях не снижается на протяжении большего

числа циклов ПЗО –  $f(F)_3$ , это можно отнести к бетону с маркой по морозостойкости более F2000, поскольку считается, что в дальнейшем он разрушаться не будет.

**Влияние водонасыщения на кинетику морозной деструкции**

Принимая во внимание современные представления о механизме разрушения бетона при морозном воздействии, процесс коррозии бетона целесообразно связывать не только с количеством циклов замораживания-оттаивания, но и с процессами водонасыщения бетона ( $S_{ACT}$ ) при попеременном замораживании и оттаивании в реальных условиях эксплуатации. В этом случае процесс коррозии можно разделить на стадию иницирования и деградацию. Стадия иницирования характеризует период, когда фактическое водонасыщение пор  $S_{ACT}$  достигает критической степени  $S_{CR}$ . При  $S_{ACT}=S_{CR}$  начинается процесс деградации, поскольку в структуре бетона могут возникать растягивающие напряжения, иницирующие появления микро- и макротрещин. Наличие критической степени насыщения бетона  $S_{CR}$  следует считать определяющим признаком периода деградации.

В соответствии со схемой развития процессов деградации бетона при стандартных испытаниях (рис. 1) закономерность снижения показателя морозостойкости следует рассматривать для трех типов бетона:

– тип F1 – деградация бетона происходит после первого цикла замораживания, т. е. бетон к началу морозного воздействия имеет критический уровень водонасыщения, поэтому имеется только период деградации  $0-T_1$ ; закономерность снижения прочности соответствует функции  $f(F)_1$ ;

– тип F2 – на момент воздействия отрицательной температуры критическое водонасыщение не достигнуто, но при дальнейшем воздействии циклов замораживания-оттаивания есть вероятность дополнительного водонасыщения до критического уровня, возможность этого подтверждена экспериментально, бетон имеет период иницирования  $0-T_2$  и период деградации  $T_2-T_3$ ; сценарий для закономерности  $f(F)_2$ ;

– тип F3 – деградации бетона при морозных воздействиях не происходит, сценарий для закономерности  $f(F)_3$ .

Следовательно, долговечность бетона в условиях, когда доминирующим фактором является морозное воздействие, должна определяться продолжительностью насыщения капиллярных пор до критического уровня. Период иницирования в этом случае является характеристикой долговечности бетона. Отсутствие периода иницирования для бетона свидетельствует о неспособности бетона сопротивляться внешним воздействиям.

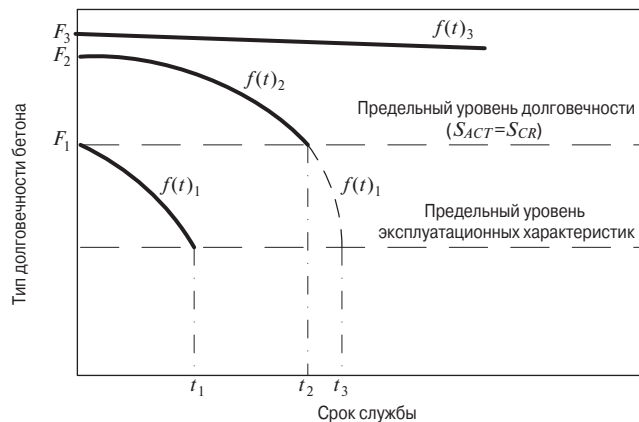


Рис. 2. Принципиальная схема моделирования  
Fig. 2. Schematic diagram for simulation

Стандартные испытания на морозостойкость могут объективно прогнозировать стойкость бетона в реальных условиях эксплуатации, когда преобладающим фактором при морозных воздействиях являются многочисленные циклы замораживания-оттаивания и температура замораживания близка к температуре замораживания при стандартных испытаниях, т. е.  $-15-20^{\circ}\text{C}$ .

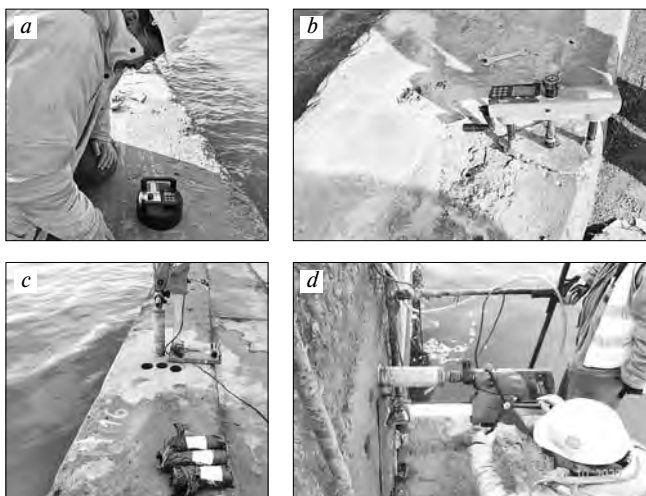
Графическое представление сценариев долговечности бетона при морозных воздействиях показано на рис. 2.

Из схемы рис. 2 видно, что для недолговечных бетонов модель долговечности бетона должна разрабатываться в соответствии с закономерностью деградации  $f(t)_1$ , поскольку период иницирования отсутствует. Анализ показывает, что в основном исследуются модели долговечности для закономерности  $f(t)_1$ , т. е. для недолговечного бетона. Например, феноменологическая модель и структурная теория морозостойкости рассматривают период деградации обычных бетонов, у которых период иницирования отсутствует или очень мал. С точки зрения практической целесообразности проектирование бетона и технологический процесс бетонных работ для портовых конструкций должны строиться на обеспечении функциональной зависимости  $f(t)_2$  и  $f(t)_3$ . Из схемы, представленной на рис. 2, следует, что бетон можно классифицировать как по долговечности, так и по эксплуатационным характеристикам.

**Объект обследования,**

**принципы построения методики обследования**

Принимая в качестве рабочей гипотезы двухэтапный процесс водонасыщения в структуре бетона и выделяя в нем главный период – период иницирования, в данной работе приведено изучение факторов, влияющих на процесс водонасыщения бетона в конструкциях причальных и транспортных сооружений, и влияние этого процесса на долговеч-



**Рис. 3.** Процесс определения свойств бетона в конструкции и отбор кернов для лабораторных исследований: а – определение водонепроницаемости ускоренным методом прибором ВИП-1-3; б – определение прочности неразрушающим методом; с и d – отбор кернов соответственно из горизонтального и вертикального участка конструкции зоны переменного уровня воды

**Fig. 3.** The process of determining the properties of concrete in the structure and sampling of cores for laboratory research: a – determination of water tightness by the accelerated method using the device VIP-1-3; b – determination of strength by non-destructive method; c and d – coring, respectively, from the horizontal and vertical sections of the structure of the zone of variable water level

ность бетона. В этом случае долговечность бетона при морозном воздействии зависит от кинетики процесса водонасыщения бетона и льдообразования в реальных условиях. Это положение принято за основу в построении программ натурных и экспериментальных исследований для реализации поставленной цели.

Объектами при натурных исследованиях являются бетонные конструкции портовых сооружений, работающие в зоне переменного уровня воды на побережье юга о. Сахалин. Методология оценки объектов исследований построена для достижения поставленной цели – уточнить реальную работу бетона в зоне переменного уровня воды при морозном воздействии и на основе изучения опыта строительства и эксплуатации портовых сооружений определить критические показатели внешних воздействий, влияющих на долговечность бетона в зоне переменного уровня воды.

Методика обследования строилась на основе принципов, заложенных в действующих нормативных документах, – разделения работы на три этапа:

- подготовка к проведению обследования;
- предварительное визуальное обследование;
- детальное инструментальное обследование.

Подготовительные работы проводились с целью анализа природно-климатических условий в районе эксплуатации сооружений, конструктивных решений и технологии бетонных работ.

Визуальное обследование проводилось с учетом результатов работы на подготовительном этапе и предусматривало:

- изучение работы бетона в конструкциях в зимний период;
- оценку состояния бетона по внешним признакам в зоне переменного уровня воды;
- анализ возможных причин разрушения бетона;
- систематизацию выявленных разрушений по характерным признакам;
- выбор сооружений для детального обследования конструкций.

Методика изучения работы конструкций в зоне переменного уровня воды основана на постоянном (ежедневном) мониторинге состояния конструкций в зимний период. Это позволило установить ряд особенностей, оказывающих влияние на долговечность бетона, но не учитываемых в настоящее время при проектировании долговечности бетона в условиях морозного воздействия (рис. 3).

Детальное обследование проводилось на трех сооружениях и включало:

- исследование температурного режима бетона в зоне переменного уровня воды;
- отбор проб бетона из различных участков конструкций в зоне переменного уровня с целью дальнейших лабораторных исследований;
- определение механических и физических свойств бетона непосредственно в конструкциях.

Физико-механические свойства бетона: прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, водопоглощение, пористость, вещественный состав бетона определяли стандартными методами.

Химический анализ материалов проводился с применением стандартных и нестандартных методов, применяемых при аналогичных исследованиях, для определения агрессивности морской воды к бетону. Глубину проникновения хлорид-ионов, например, определяли по вещественному составу и дополнительно – с помощью метода изменения цвета бетона.

### Выводы

Объектами при натурных исследованиях являются бетонные конструкции портовых сооружений, работающие в зоне переменного уровня воды на побережье юга о. Сахалин. Методология оценки объектов исследований построена для достижения поставленной цели – уточнить реальную работу бетона в зоне переменного уровня воды при морозном воздействии и на основе изучения опыта строительства и эксплуатации портовых сооружений определить критические показатели внешних воздействий и бетона, влияющих на долговечность бетона в зоне переменного уровня воды.



## Список литературы

1. Malyuk V.V. Prognostication of concrete constructions durability based on experience in building and exploitation of maritime coast-protecting structures on Sakhalin Island (on the issue of determining the estimated lifetime of maritime structures). *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 265. 02014. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201926502014>
2. Malyuk V.V. Degradation and sudden failure of concrete structures of marine hydraulic structures in severe hydrometeorological conditions. *Far East Con-2018. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 463. 022071. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022071>
3. Малюк В.В. Прогнозирование долговечности конструкций морских гидротехнических сооружений из бетона по опыту строительства и эксплуатации в суровых климатических условиях. *Проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы VIII Национальной конференции с международным участием*. Саратов, 2018. С. 223–231.
4. Малюк В.В., Леонович С.Н., Будревич Н.А. Прогноз долговечности морских берегозащитных сооружений. *Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров: Сборник научных статей XXI Международного научно-методического семинара*. Брест. 25–26 октября 2018. С. 334–337.
5. Малюк В.В., Леонович С.Н., Будревич Н.А. Морские гидротехнические сооружения: деградационный и внезапный отказ конструкционного бетона. *Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров: Сборник научных статей XXI Международного научно-методического семинара*. Брест. 25–26 октября 2018. С. 328–333.
6. Малюк В.В., Леонович С.Н., Будревич Н.А. Конструкционный бетон морских гидротехнических сооружений: деградационный и внезапный отказ. *Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации: электронный сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета*. Новополоцк. 5–6 апреля 2018. С. 70–76.
7. Малюк В.В., Леонович С.Н., Будревич Н.А. Расчетный срок службы морских берегозащитных сооружений. *Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации: электронный сборник статей международной*

## References

1. Malyuk V.V. Prognostication of concrete constructions durability based on experience in building and exploitation of maritime coast-protecting structures on Sakhalin Island (on the issue of determining the estimated lifetime of maritime structures). *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 265. 02014. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201926502014>
2. Malyuk V.V. Degradation and sudden failure of concrete structures of marine hydraulic structures in severe hydrometeorological conditions. *Far East Con-2018. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 463. 022071. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022071>
3. Malyuk V.V. Forecasting the durability of structures of offshore hydraulic structures made of concrete based on the experience of construction and operation in harsh climatic conditions. *Problems and prospects for the development of construction, heat and gas supply and energy supply: Materials of the VIII National Conference with international participation*. Saratov. 2018, pp. 223–231. (In Russian).
4. Malyuk V.V., Leonovich S.N., Budrevich N.A. Forecast of the durability of marine coastal protection structures. *Promising directions of innovative development of construction and training of engineering personnel: a collection of scientific articles of the XXI International Scientific and Methodological Seminar*. Brest. 25–26 October 2018, pp. 334–337. (In Russian).
5. Malyuk V.V., Leonovich S.N., Budrevich N.A. Offshore hydraulic structures: degradation and sudden failure of structural concrete. *Promising directions of innovative development of construction and training of engineering personnel: a collection of scientific articles of the XXI International Scientific and Methodological Seminar*. Brest. 25–26 October 2018, pp. 328–333. (In Russian).
6. Malyuk V.V., Leonovich S.N., Budrevich N.A. Structural concrete of offshore hydraulic structures: degradation and sudden failure. *Architectural and construction complex: problems, prospects, innovations: electronic collection of articles of the international scientific conference dedicated to the 50th anniversary of Polotsk State University*. Novopolotsk. 5–6 April 2018, pp. 70–76. (In Russian).
7. Malyuk V.V., Leonovich S.N., Budrevich N.A. Estimated service life of offshore coastal protection structures. *Architectural and construction complex: problems, prospects, innovations: electronic collection of articles of the international scientific conference*

- научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета. Новополоцк. 5–6 апреля 2018. С. 77–82.
8. Малюк В.В. Морозостойкость бетона при различных методах испытаний / В.В. Малюк // Проблемы современного строительства: материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 28 мая 2019 г. Белорусский национальный технический университет. Минск: БНТУ, 2019. С. 246–256. <https://rep.bntu.by/handle/data/60615>
  9. Малюк В.В. Концепция долговечности бетона для прогноза срока службы конструкций в условиях морозного воздействия. *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. 2020. № 4 (45). С. 105–115.
  10. Malyuk V.V. Longevity of concrete maritime structures in harsh service environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 1079. Chapter 1. 022017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/2/022017>
  11. Малюк В.В., Митина В.И. Стабильность технологических показателей бетонной смеси с воздухововлекающими добавками при длительной транспортировке. *Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ»*. Омск, 2021. С. 569–574.
  12. Шалый Е.Е. Анализ деградации бетона сооружений на острове Сахалин // *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. № 1 (34). 2018. С. 65–76.
  13. Малюк В.В., Малюк В.Д. Механизмы замораживания бетона в зоне переменного уровня воды портовых сооружений. *Far East Con-2021*.
  14. Шалый Е.Е., Леонович С.Н., Ким Л.В. Деградация железобетонных конструкций морских сооружений от совместного воздействия карбонизации и хлоридной агрессии // *Строительные материалы*. 2019. № 5. С. 67–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-770-5-67-72>
  15. Малюк В.В. Прогнозирование долговечности конструкций морских гидротехнических сооружений из бетона по опыту строительства и эксплуатации в суровых климатических условиях. *В сборнике: Проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения. Материалы VIII Национальной конференции с международным участием / Под ред. Ф.К. Абдразакова*. 2018. С. 223–231.
- dedicated to the 50th anniversary of Polotsk State University*. Novopolotsk. 5–6 April 2018, pp. 77–82. (In Russian).
8. Malyuk V.V. Frost resistance of concrete under various test methods. 2019.S. 246–256. <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/60615/246-256.pdf?sequence=1> (In Russian).
  9. Malyuk V.V. Concrete durability concept for predicting the service life of structures under frost conditions. *Vestnik Inzhenernoy shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta*. 2020. No. 4 (45), pp. 105–115. (In Russian).
  10. Malyuk V.V. Longevity of concrete maritime structures in harsh service environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 1079. Chapter 1. 022017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/2/022017>
  11. Malyuk V.V., Mitina V.I. Stability of technological parameters of concrete mix with air-entraining additives during long-term transportation. *Architectural and construction and road transport complexes: problems, prospects, innovations: Collection of materials of the V International scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of FSBEI HE "SibADI"*. Omsk. 2021, pp. 569–574. (In Russian).
  12. Shaly E.E. Analysis of concrete degradation of structures on Sakhalin Island. *Vestnik Inzhenernoy shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta*. No. 1 (34). 2018, pp. 65–76. (In Russian).
  13. Malyuk V.V., Malyuk V.D. Freezing mechanisms for concrete in the zone of variable water level of port facilities. *Far East Con-2021*. (In Russian).
  14. Shaly E.E., Leonovich S.N., Kim L.V. Degradation of reinforced concrete structures of marine works from the combined impact of carbonation and chloride aggression. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 5, pp. 67–72. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-770-5-67-72>
  15. Malyuk V.V. Forecasting the durability of structures of offshore hydraulic structures made of concrete based on the experience of construction and operation in harsh climatic conditions. *In the collection: Problems and prospects for the development of construction, heat and gas supply and energy supply. Materials of the VIII National Conference with International Participation*. Edited by F.K. Abdrazakov. 2018, pp. 223–231. (In Russian).

# 100+ TechnoBuild в Екатеринбурге

## 100+ Tekhnobuild Construction Forum in Yekaterinburg

III Международный строительный форум и выставка 100+ TechnoBuild, которые прошли в Екатеринбурге 5–7 октября 2021 г., собрали рекордное количество спикеров – более 500 экспертов выступило на 120 сессиях. Журналы «Жилищное строительство» и «Строительные материалы» выступили информационными партнерами мероприятия. Участники 100+ TechnoBuild обсудили тренды и перспективы в области строительного нормирования, проектирования, ценообразования, экологического строительства, модели развития городов, а также опыт иностранных компаний. На выставке 100+ TechnoBuild материалы и технологии представили 225 компаний.

The III International Construction Forum and the 100+ TechnoBuild Exhibition, which took place in Yekaterinburg on October 5–7, 2021, gathered a record number of speakers – more than 500 experts spoke at 120 sessions. The magazines «Housing Construction» and «Construction Materials» acted as information partners of the event. The participants of 100+ Tekhnobuild discussed trends and prospects in the field of construction rationing, design, pricing, environmental construction, urban development models, and the experience of foreign companies. 225 companies presented materials and technologies at the 100+ TechnoBuild exhibition.

Будущее строительной отрасли с застройщиками и представителями региональных властей на пленарном заседании обсудили вице-премьер РФ М.Ш. Хуснуллин и министр строительства и ЖКХ РФ И.Э. Файзуллин. По его словам, за годы существования форум стал центром внутрироссийского и международного общения по основным направлениям развития строительной отрасли. Происходит много изменений по сокращению инвестиционно-строительного цикла. Вносятся изменения в нормативные акты, разрабатываются постановления Правительства РФ и приказы Минстроя, позволяющие ускорить процесс строительства. Предложения, которые появятся в результате деловой программы форума, будут проанализированы и запущены в работу Минстроем России для достижения национальных целей и выполнения поручений Президента и Премьер-министра РФ.

На круглом столе Минстроя РФ «Типовое проектирование в Российской Федерации» был озвучен новый термин – «образцовое проектирование». Он пришел на смену «проектированию повторного применения». Как известно, об-

суждается проект федерального закона о внесении изменений в Градостроительный кодекс РФ. В советское время типовое проектирование было практически повсеместным. В современных условиях предлагается вернуться к этой практике, но на новом уровне, с учетом современных достижений в строительных технологиях, новых строительных материалов. Некоторые проекты при определенных условиях можно тиражировать. Это, безусловно, не исключает их дальнейшей привязки к месту, уже на индивидуальной основе. В индивидуальном порядке также будут учитываться климатические и природные условия региона, его сейсмика. В разряд «тиражируемых» попадут в первую очередь объекты образования (школы и детские садики), культуры, спорта, а также социальные объекты. Что дает использование таких образцовых проектов? Прежде всего это сокращение сроков строительства за счет сокращения времени на прохождение экспертизы. Типовой проект будет гораздо дешевле – в нем изначально заложены самые эффективные строительные решения.





Участники Российского форума BIM-технологий обсудили использование BIM-моделей в формате с открытой спецификацией (IFC) для формирования сметного расчета, графика СМР и сбора исполнительной документации; высказали экспертные мнения по поводу среды общих данных для участников инвестиционно-строительных проектов; рассказали о построении сквозного бизнес-процесса управления строительством на основе технологий смешанной и дополненной реальности.

Очень интересная секция прошла под руководством ректора УрГАХУ А.В. Долгова. Рассматривались вопросы работы с памятниками архитектуры и способы органично встроить эти здания в постиндустриальную среду. Жесткие требования охраняемых регламентов – главный фактор, сдерживающий желание застройщиков инвестировать в реновацию объектов наследия. Правовое регулирование не может решить проблему вкуса и архитектурного мастерства, но тормозит развитие центра мегаполиса и способствует разрастанию депрессивных территорий, выключенных из городского контекста. Город и его исторический центр как место концентрации культуры, смыслов и связей должен развиваться, а архитектура – работать и соответствовать актуальным потребностям жителей. Сохранять объекты наследия необходимо, но не путем музеефикации. Исторические здания должны быть вовлечены в повседневную деятельность человека. Система регулирования должна соответствовать ценностям городского развития. Формальное следование регламентам не гарантирует высокого качества реставрации. Соблюдая нормы, объект культурного наследия можно сохранить, но при этом не вписывать его в пространство улицы и квартала, не интегрировать во вновь создаваемую среду. И в итоге реставрация становится насмешкой над памятником, превращая его в подлинные руины, которые не находят применения в новом контексте.

Грамотная реставрация, по мнению девелопера, возможна при соблюдении двух правил. Первое – дифференциация исторических памятников и определение уникальных норм регулирования для них. Важно выявить ценность, которую транслирует объект. Если она заключается в материалах, принципах строительства, личности человека, жившего в этом здании, то историческая скрупулезность должна быть выведена на первое место. Если же это «средовой объект», который должен сохранить территорию с точки зрения мас-

штаба, то возможен менее детальный подход. Второе – рассмотрение объекта культурного наследия в качестве отдельного инвестиционного проекта. Без изменения сценариев использования пространства органично включить исторические памятники в современный контекст невозможно.

Известно, что в Екатеринбурге запущен в жизнь проект по сохранению памяти горнозаводской цивилизации на Урале. В настоящее время освоением темы индустриального наследия уральских заводчиков занимаются в проекте «Гора Белая» (п. Висим), где изучают наследие Демидовых, а наследие Яковлевых – в Сысерти.

Традиционно в рамках форума состоялась сессия НИИСФ РААСН «Технологии обеспечения комфортной и экологичной среды обитания человека». Под руководством д-ра техн. наук, зам. директора по научной работе НИИСФ РААСН Н.П. Умняковой коллеги обсудили глобальные вопросы изменения климата на территории России; влияние выбросов загрязняющих веществ в атмосферу; вопросы снижения вибро- и шумозагрязненности крупных городов за счет виброзащиты зданий; проблемы нормирования теплотехнических показателей теплоизоляционных материалов; информационное моделирование для обеспечения комфортной среды. На секции выступили молодые ученые института, которые продемонстрировали глубокие знания и практическое их применение при решении проблем обеспечения комфортной городской среды.

Тема «зеленого» строительства стала ключевой на одной из сессий. Было отмечено, что на строительную отрасль приходится 40% общемировых выбросов CO<sub>2</sub>. Коллеги из Великобритании отметили, что первый метод экологической оценки зданий был разработан и внедрен там еще в 1990-е гг. При этом, несмотря на новизну «зеленого» строительства, в России насчитывается немало проектов, использующих самые передовые технологии, в частности по организации зеленого пространства на крыше, а также на лицевых фасадах зданий.

В рамках проведения 100+ TechnoBuild впервые прошла церемония награждения лауреатов российского «инженерного Оскара» – Всероссийской инженерно-архитектурной премии 100+ AWARDS. Гран-при 100+ AWARDS получило ЗАО «ГОРПРОЕКТ» за проект общественно-делового комплекса «Лахта-центр» в Санкт-Петербурге.

## Указатель статей, опубликованных в журнале «БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН» в 2021 г.

<b>Альнаггар М., Кусатис Д., Ван-Венднер Р., Ян Л., Ди Луцио Д.</b> Моделирование поведения бетона, зависящего от времени, в мезомасштабе	№ 2. С. 24
<b>Бедарев В.В., Бедарев Н.В., Бедарев А.В.</b> Разъяснения принципиальных аспектов разрушения бетона в контактном слое на основе базовых положений общей теории сцепления и анкеровки арматуры периодического профиля в бетоне	№ 5-6. С. 16
<b>Белов В.В.</b> Оптимизация зернового состава и влажности сырьевой смеси в технологии гиперпрессованного бетонного кирпича	№ 5-6. С. 44
<b>Белов В.В., Образцов И.В.</b> Оптимальные структуры сырьевых смесей при изготовлении строительных цементных композитов	№ 4. С. 29
<b>Блажко В.П.</b> Каркас сборный пространственный со стыками на винтовых муфтах	№ 4. С. 14
<b>Болгов А.Н., Иванов С.И., Сокуров А.З., Невский А.В.</b> О расчете прочности узлов сопряжения железобетонных колонн и плит в монолитно-каркасных высотных зданиях	№ 4. С. 39
<b>Болгов А.Н., Иванов С.И., Сокуров А.З., Невский А.В.</b> Практическая методика расчета прочности узлов сопряжения железобетонных колонн и плит из бетонов разных классов по прочности	№ 5-6. С. 38
<b>Бруссер М.И., Подмазова С.А.</b> Проектирование составов тяжелого и мелкозернистого бетона. Пути развития	№ 2. С. 3
В Геленджике состоялась встреча специалистов цементной и бетонной отраслей (Информация)	№ 3. С. 30
<b>Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В.</b> Влияние сжимающих напряжений на прочность наклонных сечений внецентренно сжатых железобетонных элементов	№ 1. С. 44
<b>Гайшун Е.С., Явруян Х.С., Халюшев А.К., Бобин В.Н.</b> Влияние дисперсных побочных продуктов промышленности на прочность бетона	№ 2. С. 8
<b>Дьячков В.В.</b> Методика расчета параметров резьбы и геометрических размеров соединительных муфт механических соединений арматуры	№ 1. С. 24
<b>Дьячков В.В., Терин В.Д., Шумилов С.Б., Чинокалов Е.В.</b> Оптимизация химического состава свариваемой арматуры класса А500С по ГОСТ 34028–2016	№ 5-6. С. 25
<b>Зенин С.А., Крылов С.Б., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В.</b> К актуализации методики расчета железобетонных конструкций по выносливости	№ 1. С. 17
<b>Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В.</b> Исследование работы штепсельных стыков в крупнопанельных конструктивных системах зданий	№ 5-6. С. 60
<b>Зьонг Тхань Куй, Королев Е.В., Иноземцев А.С.</b> Комплексное модифицирование легких бетонов на полых микросферах для технологии 3D-печати	№ 3. С. 25
<b>Козелков М.М., Луговой А.В.</b> Мониторинг нормативной базы в области проектирования и конструирования механических стыковых соединений высокой заводской готовности для сборных бетонных и железобетонных конструкций зданий	№ 3. С. 3
<b>Вальравен Йост</b> Комбинированный способ защиты и усиления железобетонных конструкций для продления их срока службы: ICCP-SS	№ 5-6. С. 13

<b>Кузнецова И.С., Рябченкова В.Г., Миусов С.П., Фомин В.В.</b> Дом Советов – за или против?	№ 5-6. С. 3
<b>Кузнецова И.С., Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Миусов С.П., Акопян Д.В.</b> Исследования поведения бетонных плит с арматурой композитной полимерной при пожаре	№ 5-6. С. 32
<b>Леонович С.Н., Литвиновский Д.А., Будревич Н.А.</b> Оценка стойкости бетона к воздействию высокой температуры на основе ГОСТ 29167–2020	№ 3. С. 14
<b>Малюк В.В., Малюк В.Д., Леонович С.Н.</b> Методика обследования железобетонных конструкций портовых сооружений (о. Сахалин)	№ 5-6. С. 67
<b>Мелихов В.И., Соколов Б.С.</b> Проектирование бетонных и железобетонных безнапорных труб	№ 3. С. 40
<b>Назаренко В.Г., Звездов А.И., Ларионов Е.А., Квасников А.А.</b> О некоторых подходах к решению задач релаксации бетона	№ 2. С. 21
<b>Назаренко В.Г., Звездов А.И., Ларионов Е.А., Квасников А.А.</b> Некоторые аспекты теории ползучести бетона	№ 1. С. 40
<b>Нуртдинов М.Р., Соловьев В.Г., Бурьянов А.Ф.</b> Применение композиционной фибры в тяжелых бетонах	№ 3. С. 33
Памяти профессора Анатолия Федоровича Милованова	№ 2. С. 14
<b>Ремнёв В.В.</b> Возможности применения грунтобетонов для изготовления фундаментных и дорожных плит	№ 5-6. С. 48
<b>Сагайдак А.И.</b> Стандарт на метод акустико-эмиссионного контроля бетонных и железобетонных изделий и монолитных конструкций	№ 3. С. 19
<b>Сагайдак А.И., Боровкова Е.С.</b> Отечественные нормативные документы по применению метода акустической эмиссии в строительстве. Перспективы дальнейшей стандартизации	№ 5-6. С. 52
<b>Садовская Е.А., Леонович С.Н., Будревич Н.А.</b> Многопараметричная методика оценки показателей качества нанофибробетона для строительной площадки	№ 4. С. 20
<b>Соколов Б.С.</b> Проектирование армоцементных конструкций в Пособии к СП 96.13330.2016	№ 1. С. 3
<b>Титова Л.А., Титов М.Ю., Бейлина М.И., Шабалин В.А., Митюкова Е.В.</b> Эффективность применения гранулированных доменных шлаков при производстве бетонных смесей и бетонов	№ 2. С. 16
<b>Травуш В.И., Шарипов Р.Ш., Волков Ю.С.</b> Вопросы совершенствования строительных норм	№ 4. С. 3
<b>Ушеров-Маршак А.В.</b> 930 страниц науки о бетоне (Рецензия)	№ 1. С. 16
<b>Фаликман В.Р., Степанова В.Ф., Чехний Г.В.</b> О нормировании морозостойкости бетона в зарубежной и отечественной практике	№ 1. С. 8
<b>Чернышов Е.М., Коротких Д.Н.</b> Опыт системной экспериментальной оценки современных высокотехнологичных бетонов по комплексу критериев сопротивления разрушению	№ 1. С. 30
<b>Шалый Е.Е., Леонович С.Н., Будревич Н.А.</b> Влияние эксплуатационных нагрузок на деградацию железобетона морских сооружений	№ 4. С. 8

# 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»<sup>®</sup> был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала [www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf](http://www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf)

