

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

5/6
619
2023

BZHB.RU

ИЗДАЕТСЯ С 1955 ГОДА



Учредитель: Ассоциация «Железобетон»
Адрес: Рязанский просп., д. 22, корп. 2,
г. Москва, 109428, Российская Федерация
Издатель: АО «НИЦ «Строительство»
Адрес: 2-я Институтская ул., д. 6, корп. 1,
г. Москва, 109428, Российская Федерация
Зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации
средства массовой информации
ПИ № ФС77-76959 от 09.10.2019.

Свидетельство о регистрации
средства массовой информации
Эл № ФС77-86552 от 26.12.2023.

ISSN 0005-9889 (Print)

ISSN 3034-1302 (Online)

Основан: Институт НИИЖБ Госстроя СССР
и ВНИИЖБ
Минстройматериалов СССР

Авторы

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

Редакция

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

Перепечатка

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

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

Адрес редакции: 2-я Институтская ул., д. 6,
корп. 1, г. Москва, 109428, Российская
Федерация
Тел.: +7(495) 602-00-70, доб. 1022/1023
E-mail: bzhb.ru@yandex.ru
http: //bzhb.ru

Свободная цена

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Издается с 1955 г.

5/6 (619)

ЮБИЛЕИ

А.И. ЗВЕЗДОВ, Ю.С. ВОЛКОВ
К.В. Михайлов: легендарный директор 5

К.В. МИХАЙЛОВ, Ю.С. ВОЛКОВ
**Предварительно напряженный железобетон:
состояние и перспективы развития. 7**

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

З.А. АЛЬДРЕБИ
**Сейсмоусиление зданий, построенных из неармированной
каменной кладки с помощью торкретирования бетона 11**

Ю.А. БЕЛЕНЦОВ, Д.А. ЧЕРЕПАНОВА
**Влияние методики контроля качества бетона по физико-механическим
показателям на надежность строительных конструкций 25**

З.У. БЕПБАЕВ, Л.Х. АСТВАЦАТУРОВА, С.А. КОЛОДЯЖНЫЙ, С.А. ВЕРНИГОРА, В.В. ЛОПАТИНСКИЙ
**Определение способности мигрирующих ингибиторов
коррозии стали пассивировать корродирующую арматуру
в железобетонных конструкциях 33**

С.И. ИВАНОВ, В.Н. ЕГОРОВ, В.М. НЕСВЕТАЙЛО
**Неразрушающий метод определения прочности бетонов на основе
погружения и извлечения стальных гвоздей 44**

А.А. МИНАСЯН
**Коэффициенты неравномерности деформации арматуры и бетона
коррозионно-поврежденных железобетонных плит перекрытия 56**

О.О. ЦЫБА, Н.Н. ТРЕКИН, Э.Н. КОДЫШ, Н.Н. БАГЛАЕВ, А.В. ШЕВЧЕНКО
Исследования арматуры нового класса прочности А550СК 62

ОТРАСЛЕВАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Аналитическое исследование Ассоциации «Железобетон»:
состояние индустрии бетона и железобетона за 2022 год 71**

Founder of the journal:

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

Publisher: JSC Research Center of Construction

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

Registered by the Federal Service for
 Supervision of Communications and
 Information Technologies and mass
 communications (ROSKOMNADZOR).

Mass media registration certificate
 PI No. FS77-76959 dated October 09, 2019.

Mass media registration certificate
 EI No. FS77-86552 dated December 26, 2023.

ISSN 0005-9889 (Print)

ISSN 3034-1302 (Online)

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

The authors

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

The Editorial Staff

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

Reprinting

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

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

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

Tel: +7(495) 602-00-70, add. 1022/1023

E-mail: bzhb.ru@yandex.ru

http: bzhb.ru

Free price

BETON I ZHELEZOBETON

Published since 1955

5/6 (619)

ANNIVERSARIES

A.I. ZVEZDOV, Yu.S. VOLKOV

K.V. Mikhailov: legendary director 5

K.V. MIKHAILOV, Yu.S. VOLKOV

Prestressed reinforced concrete: the state and prospects of development 7

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

Z.A. ALDREBI

**Seismic reinforcement of buildings constructed
 from unreinforced masonry using shotcrete. 11**

Yu.A. BELENTSOV, D.A. CHEREPANOVA

**The influence of methods of concrete quality control by physical
 and mechanical parameters on the reliability of building structures 25**

Z.U. BEPPAEV, L.H. ASTVATSATUROVA, S.A. KOLODYAZHNIY, S.A. VERNIGORA, V.V. LOPATINSKIY

**Determination of the ability of migrating steel corrosion inhibitors
 to passivate corroding reinforcement in reinforced concrete structures 33**

S.I. IVANOV, V.N. EGOROV, V.M. NESVETILO

**Non-destructive method for determining the strength of concrete
 based on immersion and extraction of steel nails. 44**

A.A. MINASYAN

**Coefficients of the irregularity of the deformation of the reinforcement
 and the concrete of corrosion damaged reinforced concrete slabs 56**

O.O. TSYBA, N.N. TREKIN, E.N. KODYSH, N.N. BAGLAEV, A.V. SHEVCHENKO

Research of reinforcement of a new strength class A550SK 62

INDUSTRY INFORMATION

**Analytical study of the Reinforced Concrete Association:
 the state of the concrete and reinforced concrete industry in 2022. 71**

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editorial team:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

FALIKMAN V.R., Cand. Sci. (Chemical), Doctor of Materials Science, Head of the Center for Scientific and Technical Assistance at Complex facilities Construction, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction (Moscow, Russian Federation)

KHOZIN V.G., Dr. Sci. (Engineering), Head of the Building Materials, Products and Structures Technology Department, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan, Russian Federation)

А.И. ЗВЕЗДОВ¹, Ю.С. ВОЛКОВ²¹ АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, г. Москва, 109428, Российская Федерация² Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

К.В. МИХАЙЛОВ: ЛЕГЕНДАРНЫЙ ДИРЕКТОР

A.I. ZVEZDOV¹, Yu.S. VOLKOV²¹ JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, Moscow, 109428, Russian Federation² Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

K.V. MIKHAILOV: LEGENDARY DIRECTOR

Михайлов Константин Васильевич (1913–2009)

18 апреля 2023 года исполнилось 110 лет со дня рождения лауреата Государственной премии СССР, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, почетного члена Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), почетного строителя России, доктора технических наук, профессора **Константина Васильевича Михайлова**.

К.В. Михайлов длительное время возглавлял Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ), ныне – НИИЖБ им. А.А. Гвоздева.

Общий трудовой стаж К.В. Михайлова составил почти 80 лет, из них 70 лет Константин Васильевич посвятил строительной науке, начав свою карьеру в 1939 г. сотрудником Центрального научно-исследовательского института промышленных сооружений (ЦНИПС).

С первых дней Великой Отечественной войны Константин Васильевич был призван в Советскую армию и направлен на строительство оборонительных рубежей. Старший инженер Управления военностроительных работ К.В. Михайлов трудился на возведении фортификационных объектов ряда фронтов. Войну Константин Васильевич закончил в чине инженер-капитана, но из армии был демобилизован только в 1946 г. и сразу направлен в НИИ 200 (Научно-исследовательский институт по строительству закрытого типа).

В 1948 году К.В. Михайлов защитил диссертацию на тему «Железобетонные круглые резервуары с предварительно напряженной арматурой». Это была первая в стране работа по предварительно напряженным железобетонным резервуарам, выпущенная впоследствии в виде монографии. Предварительно напряженный железобетон и арматура для предварительного напряжения на многие годы стали приори-

тетными в круге его научных интересов. В 1953 г. Константин Васильевич снова возвращается в ЦНИПС, который через несколько лет был разделен на три института: строительных конструкций – ЦНИИСК, строительной физики – НИИСФ, бетона и железобетона – НИИЖБ. К.В. Михайлов переходит на работу в НИИЖБ, где в 1962 г. становится заместителем директора, а через три года – директором. В этой должности он проработал без малого четверть века. Административная работа не помешала К.В. Михайлову защитить в 1964 году докторскую диссертацию. Одним из оппонентов по этой диссертации был действительный член Академии строительства и архитектуры СССР профессор А.А. Гвоздев, имя которого впоследствии было присвоено самому институту.

НИИЖБ в те годы по инициативе директора заключал договоры о научно-техническом сотрудничестве практически со всеми строительными министерствами страны. Применение железобетона в строительстве росло невиданными темпами. Объемы производства бетона и железобетона в СССР превышали в то время 250 млн м³ в год, из них 140 млн м³ – сборного. Востребованность научных разработок в этой области была исключительно высока. Железобетон широко применялся не только в промышленном, но и в жилищном строительстве. В улучшении жилищных условий населения (к началу 90-х годов XX века в стране 80 % семей проживали в отдельных квартирах) преимущественное применение железобетонных конструкций, прежде всего сборных, сыграло решающую роль.

Профессор К.В. Михайлов являлся крупнейшим организатором самой науки о бетоне и железобетоне. За годы его директорства число лабораторий в НИИЖБ выросло вдвое, более чем в два раза увели-

чилась площадь производственных и камеральных помещений института, втрое выросло число докторов и кандидатов наук. К.В. Михайлов был председателем Совета по присуждению ученых степеней. В 1988 г., когда Константин Васильевич оставил пост директора НИИЖБ, в институте работало 34 доктора и 180 кандидатов технических наук, в год защищалось около сорока диссертаций, из них почти половину составляли соискатели, аспиранты и докторанты института.

Весом вклад К.В. Михайлова в развитие научных школ НИИЖБ, основы которых были заложены еще основателями института – профессорами А.А. Гвоздевым и Б.Г. Скрамтаевым. Среди этих школ следует назвать школы теории железобетона, бетоноведения, арматуры для обычного и предварительно напряженного железобетона и ряд других. Читатель может более подробно познакомиться с этими направлениями в сборнике, составленном в свое время К.В. Михайловым, «Очерки истории НИИЖБ и его научные школы» (Москва, 2004 г.).

Многие специалисты, выросшие за годы его руководства институтом, продолжают трудиться в составе нынешнего НИИЖБ им. А.А. Гвоздева.

Много внимания уделял Константин Васильевич формированию отечественной нормативной базы по бетону и железобетону. В НИИЖБ сотрудниками были разработаны и действуют поныне основные строительные нормы и правила по расчету железобетонных конструкций, обеспечению его долговечности, технологии производства бетонных и арматурных работ. Были подготовлены десятки стандартов и развивающих их пособий и рекомендаций на бетон, арматуру, химические добавки, методы их испытаний – всего более 200 документов.

По его инициативе при Госстрое СССР был организован Координационный совет по научным исследованиям в области бетона и железобетона, сыгравший большую роль в консолидации этого направления строительной науки в стране. Совет имел более десятка секций и охватывал научную деятельность свыше 300 организаций. Авторитет и заслуги НИИЖБ в строительной отрасли были отмечены Правительством РФ – институт был награжден Орденом Трудового Красного Знамени.

Константин Васильевич за свою долгую научную карьеру опубликовал более 300 научных работ, в том числе 12 монографий. Среди последних особо следует отметить вышедший в 2001 году под его редакцией фундаментальный труд «Бетон и железобетон в XXI веке», объем которого – более 600 страниц! В 2007 году под его руководством был подготовлен терминологический словарь по железобетону, содержащий почти 1500 терминов на русском и английском языках.

Многие годы Константин Васильевич был главным редактором журнала «Бетон и железобетон», за это время тираж журнала вырос многократно и достигал в 80-е годы XX века 15 тысяч экземпляров.

Его вклад в строительную науку, заслуги перед строительной отраслью были отмечены целым рядом высоких правительственных наград, в том числе орденами Ленина, Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени и другими, а его ратные подвиги отмечены орденом Отечественной войны II степени и многими медалями, среди которых особо следует отметить медаль «За боевые заслуги», которой он был награжден командованием Воронежского фронта в 1943 г.

Много лет К.В. Михайлов достойно представлял нашу страну в Международной федерации по предварительно напряженному железобетону (ФИП), являлся членом Президиума и вице-президентом ФИП, а впоследствии был избран ее почетным членом и награжден медалью этой организации. К.В. Михайлов блестяще владел английским и немецким языками. Под его председательством проводились ежегодные сессии Национального комитета ФИП, который имел филиалы почти в двадцати республиках и областях страны. Впоследствии на базе этого комитета была учреждена Всероссийская ассоциация «Железобетон», первым президентом которой единогласно был избран К.В. Михайлов.

Константин Васильевич неоднократно возглавлял делегации отечественных специалистов на конгрессах ФИП, причем это были высокопредставительные делегации. Так, на конгрессе ФИП в Париже численность советской делегации превышала 70 человек, представляя специалистов из десятков республик и областей тогдашнего СССР. Результаты этих командировок обобщались в монографиях по зарубежному опыту, каждый раз с большим интересом встречаемых инженерной общественностью.

Организуемые НИИЖБ раз в четыре года под эгидой НТО строителей Всесоюзные конференции по бетону и железобетону собирали сотни специалистов со всех концов страны. До последних дней Константин Васильевич Михайлов являлся главным научным сотрудником лаборатории анализа и прогноза НИИЖБ, членом ученого совета института, публиковал статьи по актуальным вопросам развития бетона и железобетона.

Константин Васильевич был счастлив в семейной жизни. С любимой женой Рузанной Леоновной он прожил более 70 лет.

Редколлегия журнала, редакция, старшее поколение сотрудников НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, коллеги и друзья Константина Васильевича Михайлова высоко чтут его светлый образ, помнят его умную требовательность как руководителя, деликатность и высокую интеллигентность.

К.В. МИХАЙЛОВ¹, Ю.С. ВОЛКОВ²¹ НИИЖБ им. А.А. Гвоздева² ФГУП «НИЦ «Строительство»

ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОН: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

K.V. MIKHAILOV¹, Yu.S. VOLKOV²¹ NIIZHB named after A.A. Gvozdev² FSUE "SIC "Construction

PRESTRESSED REINFORCED CONCRETE: THE STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT

Создание напряженного состояния в конструкции на стадии изготовления, когда знак напряжения в бетоне противоположен знаку напряжений от эксплуатационной нагрузки, является одним из крупнейших достижений инженерной мысли XX столетия. Широкое развитие преднапряжения в железобетонных конструкциях получило после опубликования работ *Эжена Фрейссине* (Франция) и *Виктора Васильевича Михайлова* (Россия).

В СССР предварительно напряженное применение весьма широко в промышленном, жилищном, транспортном и специальном строительстве. Преднапряженных железобетонных конструкций выпускалось более 30 млн м³ в год, что существенно больше, чем в какой-либо другой стране. На долю предварительно напряженных конструкций приходилось более 20 % общего объема сборного железобетона. Предварительно напряженные конструкции изготавливались, как правило, с натяжением арматуры на упоры во всех регионах страны. Такая широкая география этой технологии стала возможной благодаря, прежде всего, внедрению электротермического способа натяжения стержневой арматуры повышенной прочности. Авторы этого способа были по заслугам удостоены звания лауреатов престижной Ленинской премии. Для народного хозяйства были сэкономлены сотни тысяч тонн металла.

Был разработан значительный объем нормативно-технической литературы по проектированию и технологии изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций, в том числе впервые в мире по самонапряженным конструкциям и плитным конструкциям с непрерывным армированием.

А.А. Гвоздев рассматривал железобетон с обычной арматурой как частный случай (разновидность) предварительно напряженного железобетона.

СНиП 2.03.01.84* «Бетонные и железобетонные конструкции» прямо указывал (п. 1.4): «При выборе элементов должны предусматриваться преимущественно предварительно напряженные конструкции из высокопрочных бетонов». К сожалению, последняя редакция СНиП по железобетону таких указаний не содержит.

В настоящее время объем выпуска преднапряженных конструкций снизился в 10 раз, в то время как обычных железобетонных конструкций «только» в 5 раз. Такое резкое снижение объемов применения предварительно напряженных железобетонных конструкций в России следует однозначно квалифицировать как регресс теории и практики железобетона в целом.

Не получили должного изучения и применения предварительно напряженные конструкции с натяжением арматуры на бетон, в результате чего эти

эффективные конструкции очень редко используются при строительстве инженерных сооружений. В России большепролетные мосты чаще строятся из стали. Правда, следует отметить некоторые успехи в области расширения применения преднапряжения в построечных условиях при возведении зданий различного назначения.

Убедительной демонстрацией эксплуатационной надежности предварительного напряжения железобетона является его успешное использование для производства шпал. Во всем мире в настоящее время их установлено более миллиарда штук. Жесткие динамические нагрузки, ощутимые температурные перепады, увлажнение, замораживание, попадание смазочных и иных материалов предъявляют исключительно высокие требования к надежности и долговечности железобетонных шпал. Есть шпалы, установленные 50 лет назад и эксплуатирующиеся до сих пор без каких-либо повреждений.

В настоящее время в большинстве развитых стран мира из предварительно напряженного железобетона изготавливается основной объем конструкций перекрытий и покрытий для одноэтажных и многоэтажных производственных, жилых и общественных зданий, значительная часть изделий, используемых в инженерных сооружениях для всех отраслей строительства.

Из железобетона возводятся промышленные и жилые здания, объекты соцкультбыта, плотины, энергетические комплексы и так далее. Самые высокие в мире телебашни в Москве и Торонто построены из преднапряженного железобетона. Самые высокие здания на всех континентах имеют монолитный железобетонный каркас, в том числе и мировой рекордсмен – небоскреб в Дубае высотой более 700 м, или 160 этажей (строительство должно быть завершено в 2008 г.). Бетон в процессе строительства должен быть подан на высоту 570 м под давлением до 250 атм. по бетоноводу диаметром 150 мм. Бетон класса В80 для стен нижних частей здания и В50 для колонн и стен верхних этажей и всех перекрытий. Железобетон уверенно вытесняет сталь из этой области строительства.

Обширной областью применения монолитного предварительно напряженного железобетона являются инженерные сооружения (градирни, трубы, резервуары, защитные оболочки АЭС и т. д.). Современные градирни достигают высоты 150 м. Резервуары для хранения воды, сжиженного газа и т. д. могут достигать объема в несколько сотен тысяч кубометров.

Предварительно напряженная арматура в монолитных железобетонных конструкциях (перекрытия, мосты, высотные сооружения и т. д.) в последнее время применяется без сцепления с бетоном. Для защиты от коррозии арматурные элементы (канаты) помещаются в специальные оболочки, заполненные антикоррозионным составом.

Следует отметить, что монолитный предварительно напряженный железобетон, помимо традиционных строительных целей, нашел широкое применение для корпусов реакторов и защитных оболочек АЭС. В настоящее время мощность атомных электростанций в мире превышает 200 млн кВт, в том числе доля АЭС с применением преднапряженного железобетона корпусов реакторов и защитных оболочек составляет более 100 кВт. Защитных оболочек реакторов АЭС из преднапряженного железобетона построено уже более 100. Отсутствие защитной оболочки реактора на Чернобыльской АЭС привело к катастрофе, поскольку способствовало развитию аварии, последствия которой неясно когда сойдут на нет.

Известно, что после чернобыльской аварии строительство АЭС во многих странах было остановлено, но вскоре, почти повсеместно, было возобновлено. В России до 2025 г. планируется построить более 40 энергоблоков.

Ярким примером строительных возможностей преднапряженного железобетона являются морские платформы для добычи нефти высотой в несколько сотен метров.

Обширной областью применения предварительно напряженного железобетона является мостостроение. Только в США построено более 500 тыс. железобетонных автодорожных мостов с различными пролетами. За последнее время там построено более 30 вантовых мостов длиной 600–700 м с центральными пролетами от 192 до 400 м. Из предварительно напряженного железобетона в США сооружаются не только внеклассные мосты. Мосты пролетом до 50 м в США сооружаются только в сборном варианте из железобетонных преднапряженных балок.

Достижения в мостостроении имеют не только США.

Среди перевозимых автотранспортом преднапряженных сборных элементов рекордным можно назвать балки пролетного строения моста в Голландии массой 230 т, высотой сечения 2,4 м, шириной 1,6 м. Балки длиной 42,8 м были изготовлены с точностью 1 см, общие усилия натяжения напрягаемой арматуры в одном элементе составили 3000 тс. Дистанция транспортирования превысила 100 км. Общая длина трейлера для транспортирования балок со 164 колесами составила 63 м.

Мировой рекорд для вантовых мостов принадлежит мосту «Васко да Гама» в Лиссабоне, построенному ко Всемирной выставке ЭКСПО-98. Общая протяженность мостового перехода превышает 18 км. Основные несущие конструкции моста, пилоны и пролетные строения были выполнены из бетона класса В45. Гарантированный срок службы моста составляет 120 лет по критерию долговечности бетона.

В трудах XVIII международного конгресса по сборному железобетону в качестве примеров опытного строительства приведен автомобильный мост во

Франции из сборных балок, изготовленных из бетона прочностью 200 МПа. Балки типа 2Т пролетом 22 м имели высоту сечения 0,9 м и ширину 2,2 м, толщина ребер составляла 15 см. Балки армированы только продольной напрягаемой арматурой. Масса пролетного строения была меньше на 2/3, чем масса пролетного строения из обычного железобетона. Аналогичные примеры применения сверхпрочного бетона в мостовых конструкциях имеются в Японии, Голландии, Канаде.

Изготовление сборных железобетонных конструкций с применением высокопрочного бетона классов В40–В60 возможно на рядовых портландцементных марках М550–М600. Применение бетонов высоких классов наиболее эффективно для колонн одноэтажных и многоэтажных зданий, стропильных ферм и балок, большепролетных плит покрытий, других конструкций. Так, в КНР преднапряженные сваи длиной до 30 м изготавливают из бетона класса В100. В действующем европейском стандарте EN 206-1 «Бетон. Общие технологические требования и контроль качества» указан бетон класса по прочности на сжатие В115.

Развитие преднапряженных конструкций перекрытий жилых и общественных зданий связано с увеличением их пролетов, поскольку переход к проектированию зданий с широким шагом поперечных стен и колонн будет развиваться все интенсивнее. В Великобритании ежегодно возводится 1,5 млн м² перекрытий с натяжением арматуры в бетон. Для безбалочных покрытий за счет предварительного напряжения пролет плит может быть увеличен до 13 м, по сравнению с 9 м в обычном железобетоне.

В структуре сборных конструкций в США из общего объема производства сборных железобетонных конструкций объем производства преднапряженных конструкций составляет 40 %.

Возможности повышения эффективности сборных железобетонных конструкций можно показать на примере плит перекрытий. В России на долю этих изделий приходится более трети общего производства сборных элементов. За рубежом значительное распространение имеет безопалубочное формование плитных конструкций на длинных стендах. Там обычной практикой является производство плит пролетом до 17 м, высотой сечения 40 см под нагрузку до 500 кгс/м². В Финляндии железобетонные многопустотные плиты под такую же нагрузку выпускаются высотой сечения даже 50 см с пролетом до 21 м, то есть применение предварительного напряжения позволяет выпускать сборные элементы качественно иного уровня. Натяжение канатной арматуры на таких стендах, как правило, групповое при мощностях домкратов 300–600 т. Сегодня разработаны различные системы безопалубочного формования на длинных стендах, отличающиеся производительностью, применяемой арматурой, технологическими требова-

ниями к бетону, формой поперечного сечения панелей и другими параметрами. На стендах длиной до 250 м изготавливают плиту со скоростью до 4 м/мин; по высоте в пакете можно бетонировать 6 плит. Ширина плит достигает 2,4 м, максимальный пролет при разрезке может достигать 21 м. Только плит «Спэнкрит» применяют в США более 15 млн м² ежегодно.

Важное значение имеет расширение областей применения предварительного напряжения в резервуаростроении, особенно в емкостях для хранения нефти и нефтепродуктов, в центрифугированных конструкциях (колоннах, сваях, трубах и др.), плитных изделиях для перекрытий небольших пролетов и перемычках, несущих конструкциях зданий, возводимых методом подъема перекрытий, каркасных и крупнопанельных зданиях. Перспективно использование предварительного напряжения в монолитных железобетонных конструкциях, в том числе на основе применения натяжения арматуры на бетон (с восстанавливаемым сцеплением и без сцепления).

Зарубежный опыт показывает значительную эффективность применения предварительного напряжения в монолитных плитных фундаментах большой протяженности, безбалочных монолитных перекрытиях, опорных устройствах и постаментах под тяжелое оборудование, несущих монолитных конструкциях подземных сооружений, в том числе многоэтажных.

Имеются интересные примеры применения предварительного напряжения при реставрации памятников старины.

Исключительно плодотворной является идея двух- и трехосного напряжения конструкций. Обширные исследования подобных конструкций были проделаны профессором В.В. Михайловым и его учениками. В.В. Михайлов разработал даже проект башни высотой 2 км, смонтированной из трехосно предварительно напряженных элементов заводского изготовления.

Расчетные сопротивления сжатию в стойках башни составляли 150 МПа. Такие элементы изготавливаются из бетонов, по нынешним понятиям, средних классов (В40–В50). В реальных испытаниях элементов, имеющих спиральную предварительно напряженную обойму, напряжения в бетоне достигали 300 МПа при сохранении линейной зависимости между приростом напряжения и приростом деформаций до 150 МПа.

В объемно-напряженных архитравах гидравлических прессов с железобетонными станинами бетон работал упруго при напряжениях, втрое превышающих его кубиковую прочность.

Идея применения предварительного напряжения в железобетоне в свое время оказалась настолько плодотворной, что в 1953 г. была основана Международная федерация по предварительно

напряженному железобетону – ФИП. Первым президентом ФИП стал Эжен Фрейссине. В последнем, XV конгрессе ФИП в Неаполе приняли участие более полутора тысяч человек. В работе федерации принимают участие десятки стран, что свидетельствует о широкой географии распространения преднапряженного железобетона.

Поступательному развитию преднапряженного железобетона способствует дальнейшее улучшение прочностных и технологических свойств применяемых материалов. Конец XX века ознаменовался разработкой особопрочных бетонов и неметаллической арматуры на основе углепластиков, открывающих новые возможности совершенствования конструктивно-технологических решений зданий и сооружений и методов предварительного напряжения. Предварительное напряжение, хотя и ограничено, стало применяться и в других видах конструкций – стальных, деревянных, каменных.

Нет сомнения, что развитие предварительного напряжения – основной путь совершенствования железобетонных конструкций как таковых.

В последние годы темпы развития строительства в России опережают темпы развития других отраслей экономики. Надо надеяться, что и предварительно напряженный железобетон в России также откроет новую страницу в своей истории.

Информация об авторах /

Information about the authors

Константин Васильевич Михайлов, д-р техн. наук, профессор, почетный член РААСН, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, Москва

Konstantin V. Mikhailov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Honorary Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Moscow

Юрий Сергеевич Волков, канд. техн. наук, советник РААСН, ФГУП «НИЦ «Строительство», Москва

Yuri S. Volkov, Cand. Sci. (Engineering), Advisor to the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, FSUE "SIC "Construction", Moscow

Статья впервые опубликована:

80-летие НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. Сборник научных статей. Москва: Издательство ФГУП «НИЦ «Строительство»; 2007. 272 с.



Розенталь Н.К., Чехний Г.В. Морозостойкость бетона. Обзор. М.: АО «НИЦ «Строительство», 2023. 156 с.

Монография посвящена изучению проблемы морозостойкости бетона. Авторы рассматривают широкий круг вопросов, касающихся гипотез морозостойкости, методов испытаний, назначения марок по морозостойкости, а также технологии изготовления морозостойких бетонов и оценки состояния бетона в конструкциях после длительной эксплуатации в условиях морозного воздействия.

Книга предназначена для специалистов, занимающихся изучением бетона и железобетона, инженерно-технических работников проектных и строительных организаций, преподавателей и студентов соответствующих вузов.

По вопросам приобретения обращаться в редакционно-издательский отдел АО «НИЦ «Строительство».

Контакты:

e-mail: pochininane@cstroy.ru

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

З.А. АЛЬДРЕБИ

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I, Московский пр., д. 9, г. Санкт-Петербург, 190031,
Российская Федерация

СЕЙСМОУСИЛЕНИЕ ЗДАНИЙ, ПОСТРОЕННЫХ ИЗ НЕАРМИРОВАННОЙ КАМЕННОЙ КЛАДКИ С ПОМОЩЬЮ ТОРКРЕТИРОВАНИЯ БЕТОНА

Аннотация

Введение. В данной работе упоминается о существовании традиционных и нетрадиционных методов сейсмоусиления зданий и сооружений, в том числе зданий, построенных из каменной кладки, и исторических памятников архитектуры. Рассматривается торкретирование бетоном или другим строительным раствором на основе цемента как один из способов сейсмоусиления, который принадлежит к традиционным методам и считается в данном случае наиболее подходящим, так как позволяет сейсмоусилить здания, построенные из неармированной каменной кладки, в число которых входят многие исторические памятники архитектуры, увеличивая их несущую способность и при этом почти не утяжеляя их вес.

Цель. Исследование предназначено для того, чтобы внести вклад в сейсмоусиление зданий, в том числе памятников архитектуры, построенных из неармированной каменной кладки, чтобы они выдержали в дальнейшем сейсмические воздействия от такого природного явления, как землетрясение.

Материалы и методы. Выполнен обзор и детальное изучение метода сейсмоусиления, а именно торкретирования бетоном, который является традиционным методом, его преимуществ и недостатков, сути метода и последовательности его выполнения. Также выполнен обзор исторических землетрясений в разных странах и их разрушительных последствий для зданий, построенных из неармированной каменной кладки. Рассмотрено поведение неармированных каменных опор и стен в плоскости при воздействии сейсмических боковых сил.

Результаты. Предложены и наглядно продемонстрированы возможное практическое применение и шаги торкретирования бетоном по металлической сетке стен из неармированной каменной кладки для их сейсмоусиления.

Выводы. Сделаны выводы о целесообразности использования торкретирования бетоном по металлической сетке для сейсмоусиления зданий, построенных из неармированной каменной кладки, что дает возможность сохранить жизнь людей, проживающих в них в случае возникновения землетрясений.

Ключевые слова: торкретирование, неармированная каменная кладка, сейсмоусиление, металлическая сетка, землетрясение, исторические памятники архитектуры, здание, сопло, отскок

Для цитирования: Альдреби З.А. Сейсмоусиление зданий, построенных из неармированной каменной кладки с помощью торкретирования бетона // *Бетон и железобетон*. 2023. № 5/6 (619). С. 11–24. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6\(619\)-11-24](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6(619)-11-24)

Вклад автора

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 31.10.2023

Поступила после рецензирования 28.11.2023

Принята к публикации 30.11.2023

Z.A. ALDREBI

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,
Moskovsky Ave., 9, Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

SEISMIC REINFORCEMENT OF BUILDINGS CONSTRUCTED FROM UNREINFORCED MASONRY USING SHOTCRETE

Abstract

Introduction. This work mentions the existence of traditional and non-traditional methods of seismic reinforcement of buildings and structures, including buildings built from masonry and historical architectural monuments. Concrete shotcreting, or other cement-based mortar is considered as one of the methods of seismic reinforcement, which belongs to traditional methods and is regarded the most suitable in this case, since it allows seismic reinforcement of buildings constructed from unreinforced masonry, which includes many historical architectural monuments, increasing their load-bearing capacity and at the same time almost without increasing their weight.

Aim. The research is intended to contribute to the seismic reinforcement of buildings, including architectural monuments, built from unreinforced masonry to withstand future seismic impacts from natural phenomena such as earthquake.

Materials and methods. A review and detailed study of the seismic reinforcement method was carried out, namely shotcrete with concrete, which is a traditional method, its advantages and disadvantages, the essence of the method and the sequence of its implementation. A review of historical earthquakes in different countries and their devastating consequences for buildings constructed from unreinforced masonry was also carried out. The in-plane behavior of unreinforced masonry supports and walls under the influence of seismic lateral forces is considered.

Results. The possible practical application and steps of concrete shotcrete over a metal mesh of unreinforced masonry walls for their seismic reinforcement are proposed and clearly demonstrated.

Conclusions. Conclusions have been drawn about the feasibility of using shotcrete over a metal mesh for seismic reinforcement of buildings built from unreinforced masonry, which makes it possible to save the lives of people living in them in case of earthquakes.

Keywords: shotcrete, unreinforced masonry (URM), seismic reinforcement, metal mesh, earthquake, historical architectural monuments, building, nozzle, rebound

For citation: Aldrebi Z.A. Seismic reinforcement of buildings constructed from unreinforced masonry using shotcrete. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 5/6 (619), pp. 11–24. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6\(619\)-11-24](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6(619)-11-24)

Author contribution statement

The author takes responsibility of all the aspects of the article preparation.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 31.10.2023

Revised 28.11.2023

Accepted 30.11.2023

Введение

Для повышения сейсмостойкости или сейсмоусиления зданий и сооружений, в том числе памятников архитектуры, существуют традиционные и нетрадиционные методы сейсмоусиления (рис. 1). Традиционные способы (рис. 2) подразумевают повышение несущей способности строительных конструкций путем увеличения сечений конструкций без изменения динамической схемы, а нетрадиционные (специальные) методы сейсмоусиления подразумевают изменение динамической схемы сооружения и включают в себя сейсмогашение и сейсмоизоляция.

Торкретирование бетона [1] или других строительных растворов относится к традиционным методам сейсмоусиления и позволяет сохранить аутентич-

ность и оригинальный облик старинных зданий, не слишком утяжеляя их из-за своего относительно малого веса и существенно увеличивая несущую способность строительных конструкций.

Торкретирование бетона в общем смысле означает послойное напыление цементирующих растворов под высоким давлением. В этом процессе происходит очень сильная адгезия частиц рабочей смеси и обрабатываемой поверхности, также заполняются трещины, мелкие поры, пустоты. Данный метод торкретирования лучше всего использовать с армированием обрабатываемой поверхности, то есть торкретирование бетона (рис. 3) по металлической сетке [1–12].

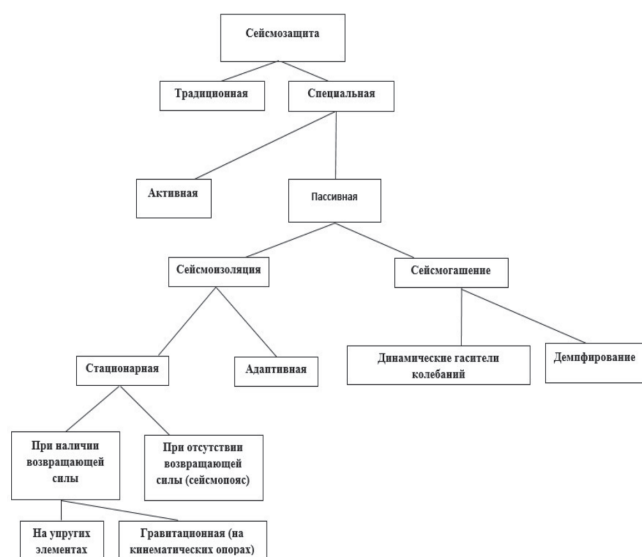


Рис. 1. Классификация систем сейсмозащиты зданий и сооружений
Fig. 1. Classification of seismic protection systems for buildings and structures



Рис. 3. Торкретирование бетона на вертикальную плоскость по металлической сетке
Fig. 3. Concrete shotcreting on a vertical plane over a metal mesh



Рис. 2. Традиционные методы усиления и восстановления каменных конструкций
Fig. 2. Traditional methods of strengthening and restoration of masonry structures

Существуют два способа торкретирования, иначе говоря торкрет-бетонирования, – мокрый и сухой. В мокром способе цемент и вода смешиваются в раствор заранее и подаются под давлением через шланг, а в сухом методе сухой цемент с наполнителями подается под давлением отдельно и смешивается с водой в распыляющем устройстве. Выбор того или иного вида зависит от различных факторов и определяется типом установки, условиями подготовки смеси и поставленными задачами.

Мокрый метод торкретирования бетона

При мокром методе торкретирования бетона (рис. 4) заранее приготовленный раствор подается ровным потоком под давлением, создаваемым бетононасосом, через шланги на сопло. Однако этот метод имеет ряд преимуществ и недостатков.

Преимущества

- возможность применения данного метода в закрытых помещениях;
- работа с готовым материалом выполняется достаточно легко;
- раствор имеет высокую однородность;
- почти отсутствует запыленность территории, где выполняются работы;
- нет необходимости в дополнительной обработке обрабатываемого слоя, есть возможность ограничиться только затиркой;
- оставшиеся лишние материалы можно использовать для других работ.

Недостатки

- низкая возможность маневрирования из-за недостаточной длины подающих шлангов;

- длительность распыления раствора занимает достаточно долгое время;
- максимальная толщина пласта не более 3 см;
- чистка установки достаточно сложна.

Сухой метод торкретирования бетона

При сухом методе торкретирования бетона (рис. 5) используется сухой цемент с различными наполнителями и подается со шланга вода под давлением, создаваемым бетононасосом, компоненты смешиваются в распыляющем устройстве, тем самым получается раствор требуемой густоты. Однако этот метод имеет ряд преимуществ и недостатков.

Преимущества

- максимальная толщина пласта может достигать 6 см;
- высокий коэффициент полезного действия;
- хорошие показатели межслойной адгезии;
- возможность регулирования расстояния подачи раствора;
- установка легко очищается и проста в использовании;
- нет необходимости грунтовать обрабатываемую поверхность.

Недостатки

- работа с сухим материалом достаточно сложна, так как частицы материала при нанесении отскакивают от обрабатываемой поверхности;
- повышенная загрязненность и запыленность на месте проведения работ;
- при смешивании компонентов смеси необходимо не допускать ошибок;
- оператор установки должен иметь достаточный опыт торкретирования.

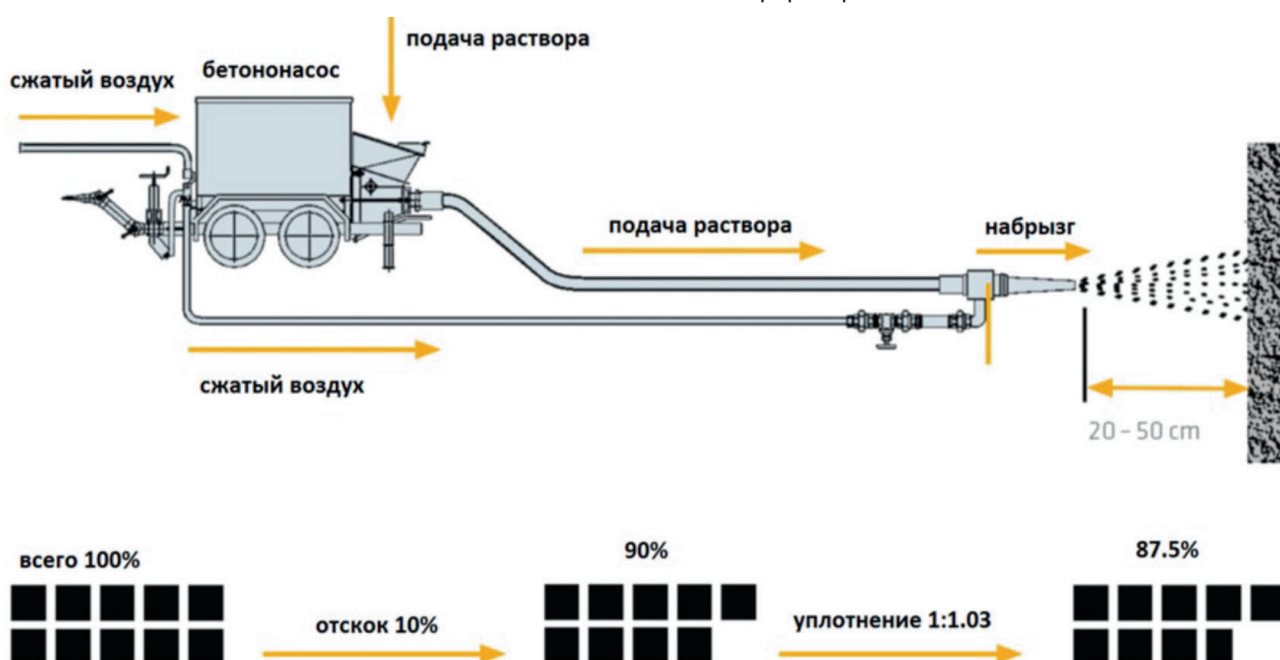


Рис. 4. Мокрый метод торкретирования бетона
Fig. 4. Wet shotcrete method

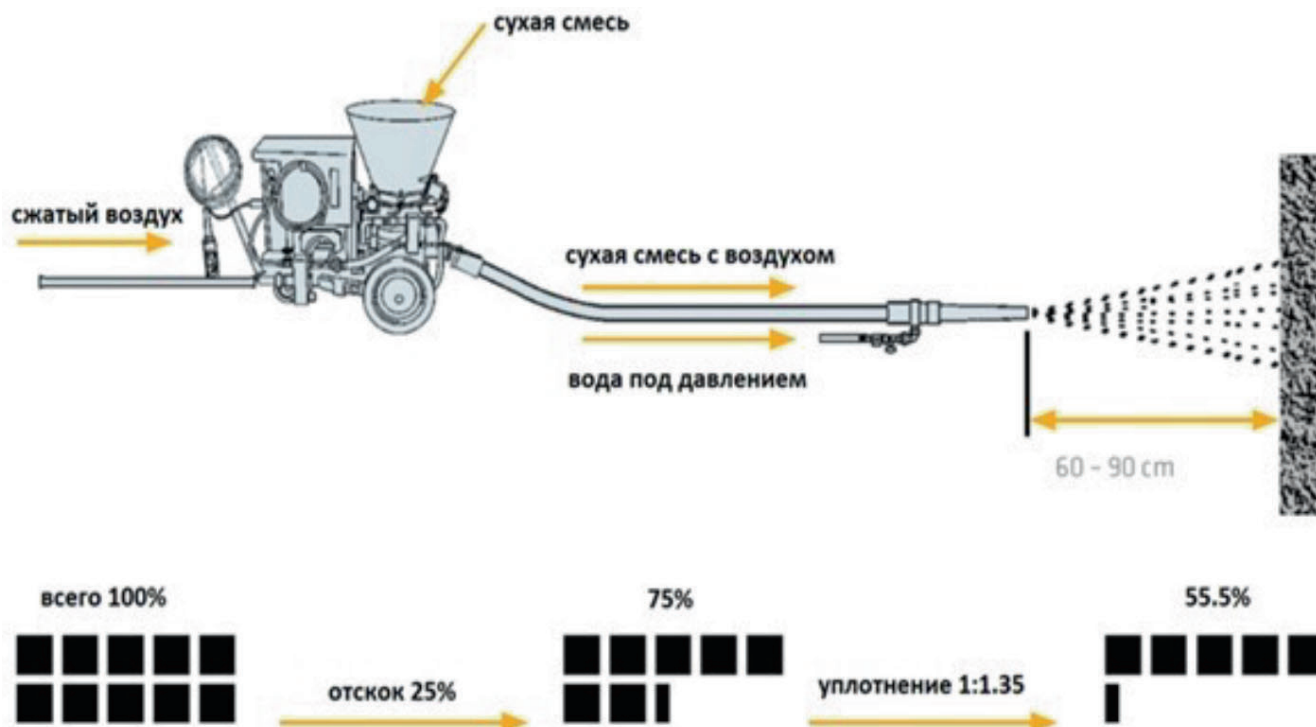


Рис. 5. Сухой метод торкретирования бетона
Fig. 5. Dry shotcrete method

Установки для торкретирования

Установки для торкретирования являются специализированным оборудованием и используются для нанесения под давлением на обрабатываемые поверхности раствора или бетонной смеси. Торкретирование обеспечивает создание уплотненного слоя. Достижение такого эффекта осуществля-

ется благодаря нанесению рабочего раствора под давлением, созданным торкрет-установкой. Существуют две разновидности торкрет-установок – для сухого (рис. 6а) и для мокрого (рис. 6б) торкретирования. Они состоят в общем из: бетоносмесителя; бетононасоса или компрессора; шланга; рукава и распылителя с соплами.

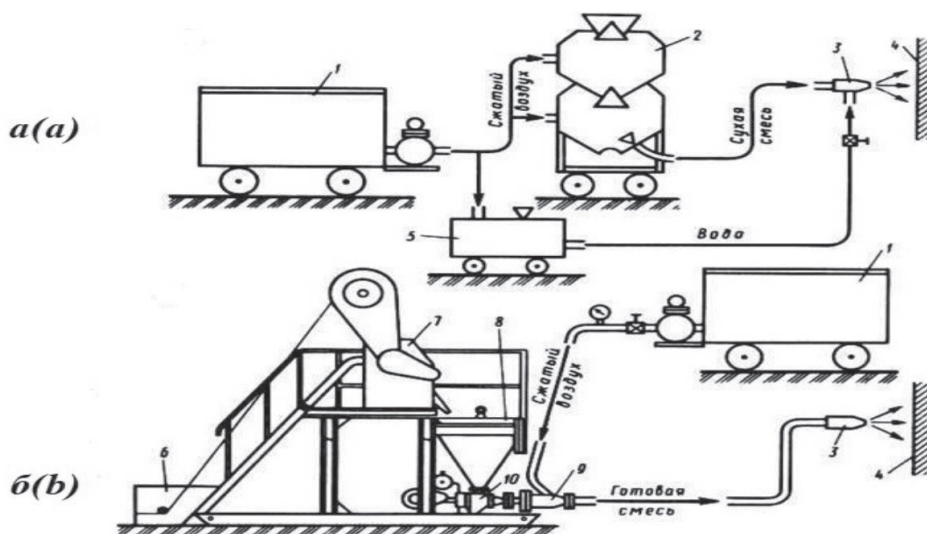


Рис. 6. Установки для торкретирования:

а – схема установки для торкретирования сухим способом; б – схема установки для торкретирования мокрым способом; 1 – компрессор с воздухоочистительным баком; 2 – цемент-пушка; 3 – сопло; 4 – поверхность торкретирования; 5 – водяной бак; 6 – скиповый подъемник; 7 – растворосмеситель; 8 – вибросито; 9 – смешивательная камера; 10 – рабочая камера растворонасоса

Fig. 6. Shotcrete installations:

а – scheme of the installation for dry shotcrete; б – scheme of the installation for wet shotcrete; 1 – compressor with air cleaning tank; 2 – cement gun; 3 – nozzle; 4 – shotcrete surface; 5 – water tank; 6 – skip hoist; 7 – mortar mixer; 8 – vibrating sieve; 9 – mixing chamber; 10 – working chamber of the mortar pump



Рис. 7. Конструкция сопла установки торкретирования: а – для сухого метода торкретирования; б – для мокрого метода торкретирования

Fig. 7. Design of the nozzle of the shotcrete installation: а – for the dry shotcrete method; б – for the wet shotcrete method

Сопла установки для торкретирования

Сопла установки для торкретирования бетона при сухом (рис. 7а) и мокром методах (рис. 7б) различаются между собой.

Торкретирование

Традиционный метод сейсмоусиления с помощью торкрет-бетонирования по металлической сетке (рис. 8) с одной или двух сторон поверхности, отдельными участками или полностью, применяют при сейсмоусилении стен каменных зданий и сооружений [3, 5]. Суть метода заключается в нанесении торкрет-бетона на поверхность стены, предварительно покрыв ее металлической сеткой. Торкретирование бетоном является одним из основных традиционных методов сейсмоусиления и (или) восстановления кирпичных стен. Данный метод увеличивает несущую способность поврежденной либо усиливаемой стены по сравнению с первоначальным состоянием. Жесткость здания или сооружения практически может быть полностью восстановлена.

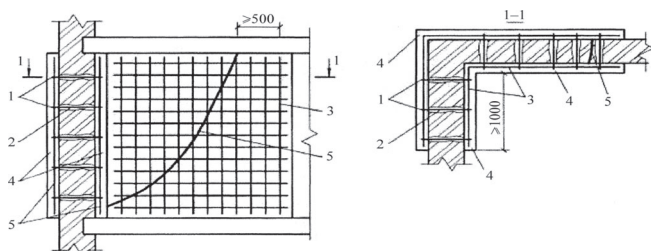


Рис. 8. Сейсмоусиление стены с трещиной с помощью торкретирования бетона по металлической арматурной сетке:

1 – анкеры диаметром $\varnothing 6$ мм; 2 – отверстия в стене; 3 – арматурная металлическая сетка; 4 – слой торкрет-бетона; 5 – трещина в стене

Fig. 8. Seismic reinforcement of a wall with a crack using shotcrete over a metal reinforcing mesh:

1 – anchors with a diameter of $\varnothing 6$ mm; 2 – holes in the wall; 3 – reinforcing metal mesh; 4 – shotcrete layer; 5 – crack in the wall

Последовательность выполнения работ и технология торкретирования

На протяжении многих веков строители применяли каменную кладку для строительных нужд. Из этого хорошо сохраняющего тепло и достаточно прочного материала возводятся несущие конструкции зданий.

Каменная кладка является основой и фундаментной опорой зданий и сооружений. Стоит отметить, что даже огромные и громоздкие здания из кирпича могут простоять много столетий при условии соблюдения всей технологии строительства. Кладкой можно возводить и внутренние, и наружные стены. Но ряд техногенных и природных факторов, в том числе и землетрясения, приводят к ослаблению несущей способности кладки и к появлению в ней дефектов, разрастающихся трещин и шовных разрушений. Эффективным методом сейсмоусиления, укрепления и восстановления является торкретирование каменной кладки с помощью растворов на основе цемента.

Обрабатываемую поверхность кладки необходимо подготовить путем тщательной очистки от грязи, ржавчины, пятен масла, пыли, битума, разрушенных элементов и отслоений, которые могут препятствовать хорошему сцеплению раствора с кладкой. Также необходимо проводить глубокую очистку хрупких, запыленных швов вплоть до двух сантиметров. Для этого применяют механическую чистку, пескоструйные, водоструйные установки. И используют составы, которые убивают плесень и грибок и предупреждают их появление в дальнейшем.

Преимущественно при капитальном ремонте стен и сводов используют мокрый метод торкретирования кладки. Основные требования или правила при торкретировании таковы, что распылитель насоса должен находиться от обрабатываемой поверхности минимум на расстоянии 50 сантиметров. Бетон должен подаваться круговыми движениями, а сопло должно быть расположено под углом 90° по отношению к поверхности, которую обрабатывают (рис. 9). В зависимости от состава торкрет-бетона, если необходимо добиться толстого слоя, то есть более 5–10 см, то наносят повторно раствор на поверхность кладки [1–12].

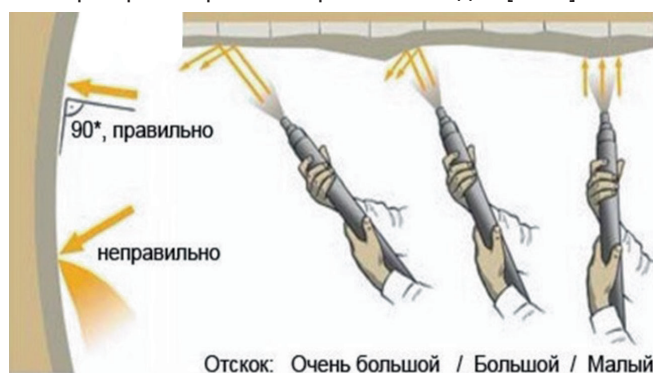


Рис. 9. Правильное и неправильное расположение сопла и расчет отскока раствора при торкретировании

Fig. 9. Correct and incorrect location of the nozzle and calculation of the rebound of the solution during shotcrete

Последующий слой необходимо наносить до затвердения предыдущего слоя, то есть тогда, когда он только схватился. По этой технологии наименьшая толщина торкрет-бетона, которой можно добиться, равна 0,5 см. Разглаживают обработанную поверхность кладки торкрет-бетоном с помощью деревянной или пластиковой терки. Разглаживание поверхности необходимо выполнить в самом начале процесса схватывания нанесенного раствора (рис. 10а–г, рис. 11).

Технология торкретирования

Процесс торкретирования, иначе говоря набрызга, осуществляется в три этапа:

1. Подготовка смеси или раствора для торкретирования;
2. Очистка обрабатываемой поверхности;
3. Торкретирование (напыление).

Подготовка смеси или раствора для торкретирования

В зависимости от эксплуатационных требований к поверхности соотношение цемента к песку меняется. При атмосферном торкретировании соотношение цемента к песку равно 1:4, а при механическом торкретировании составляет 1:3.

Качественное покрытие зависит от правильного соединения всех компонентов. Следует помнить, что готовый раствор необходимо использовать в течение

трех часов. Иначе бетон застынет, начнут образовываться комки с последующим снижением качества получаемого результата на обработанной поверхности. Во избежание снижения качества раствора торкрет-бетона в него часто добавляют пластификаторы. Очень важно учесть следующие два фактора:

- добавить жидкую добавку в раствор следует только после ее предварительного разведения с водой;
- необходимо заранее смешивать сухой состав с сухим бетоном и песком.

Очистка обрабатываемой поверхности

Подготовка обрабатываемой поверхности для усиления требуемого участка методом торкретирования бетоном подразумевает очистку поверхности от штукатурки, пыли, масла, следов краски, грязи. Для этого используют гидроабразивный, или пескоструйный, способ. Железную арматуру очищают от следов ржавчины. Для увеличения сцепления и адгезии создается равномерная шероховатость обрабатываемой поверхности. Для уменьшения возможности отскока бетона необходимо затереть щели. Обрабатываемую поверхность продувают воздухом и промывают при давлении 0,3 МПа водной струей.

Для укрепления и усиления торкрет-бетонного слоя выполняется армирование поверхности сеткой с размером ячеек 10 см.

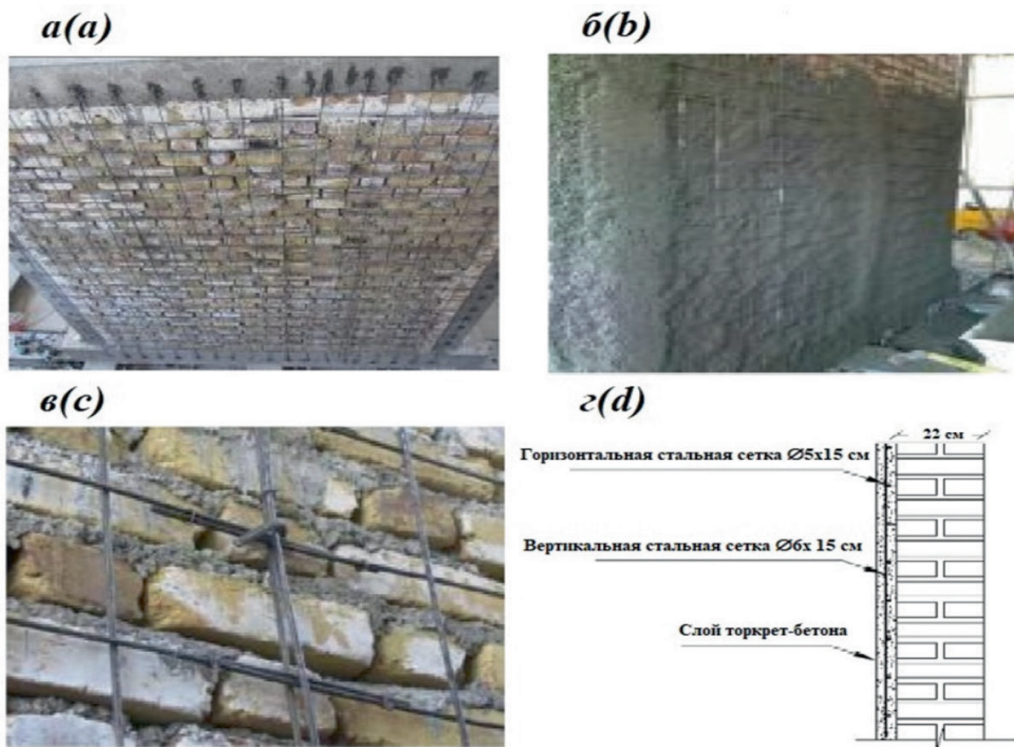


Рис. 10. Процедура сейсмоусиления стены:

а – крепление металлической сетки с помощью анкеров к отверстиям в стене; б – торкретирование стены; в – U-образные стержни крепления (анкеры) к стене; г – фрагмент разреза усиленной торкрет-бетоном стены

Fig. 10. Procedure of seismic reinforcement of the wall:

а – fastening the metal mesh using anchors to the holes in the wall; б – shotcrete wall; в – U-shaped fastening rods (anchors) to the wall; г – fragment of a section of the wall reinforced with a layer of shotcrete



Рис. 11. Торкрет-бетонирование по металлической сетке кирпичной стены
Fig. 11. Concrete shotcreting over metal mesh of a brick wall

Торкретирование (напыление)

Напыление торкрет-бетона выполняется послойно. Толщина пластов находится между 5 и 7 мм. Эти цифры зависят от расположения обрабатываемой плоскости, вида раствора и способа нанесения бетона. Толщина 2–5 мм считается достаточной, но даже ее наносят в два пласта. Высоту контролируют щупом или маячками.

Влияние землетрясений на здания из неармированной каменной кладки (URM)

Каменная кладка использовалась во всем мире с самого начала появления гражданского строительства. Глиняные кирпичи использовались не менее 10000 лет. Они изготавливались из высушенных на солнце кирпичей и широко использовались в Египте, Вавилоне, странах средиземноморского бассейна, США, Южной Америке и других странах. Старые здания (рис. 12), в том числе памятники архитектуры (рис. 13), в основном состоят из стен, построенных из неармированной каменной кладки, так называемой на английском unreinforced masonry (URM). Элементы неармированной каменной кладки изготавливаются из собранных вручную блоков природного или искус-

ственного материала, таких как глиняный кирпич и т. д., которые укладываются друг на друга и соединяются вместе раствором. Существует множество способов изготовления глиняного кирпича, во многом зависящих от местных обычаев или традиций. На свойства кирпича влияют природа глины, способы формования и обжига. Чистые глины бесполезны для изготовления кирпича, если они не смешаны с непластичным материалом, и это различается для каждой страны или региона. Поскольку свойства глин различаются по всему миру, становится очевидным, что в разных регионах преобладают разные виды кирпича. Большое разнообразие кирпичей, полученных естественным путем, обладает большим разнообразием свойств.

Большинство старых каменных зданий спроектированы в первую очередь так, чтобы выдерживать гравитационные нагрузки, поскольку нормы сейсмической нагрузки тогда еще не были установлены. При частых землетрясениях наблюдалось, что старые каменные конструкции работают плохо, большинство из этих зданий рухнуло в результате сильного землетрясения. Материал глиняного кирпича относительно тяжелый, хрупкий, малопрочный на разрыв и обладает низкой пластичностью при воздействии сейсмических сил [13–20].

В XX и XXI веках произошло множество сильных землетрясений, в результате которых сильно пострадали здания, построенные из неармированной каменной кладки.

– В Соединенных Штатах исторически происходили землетрясения, которые нанесли значительный ущерб каменным зданиям. Землетрясение в Нортридже [21], произошедшее 17 января 1994 г. (рис. 14г), землетрясение в Коалинге, штат Калифорния, произошедшее в 1983 году, магнитудой 6,7 (рис. 14а), землетрясение в Нисквалли 28 февраля 2001 г. магнитудой 6,8 (рис. 14е), землетрясение Лома-Приета [22] около Сан-Франциско, штат Калифорния, произошедшее 17 октября 1989 года, магнитудой 7,1 (рис. 14в).



Рис. 12. Здание гостиницы «Кадиллак», построенное из неармированной каменной кладки в г. Сиэтле, США (год постройки 1889 г.)
Fig. 12. The Cadillac Hotel building, built of unreinforced masonry in Seattle, USA (year of construction 1889)

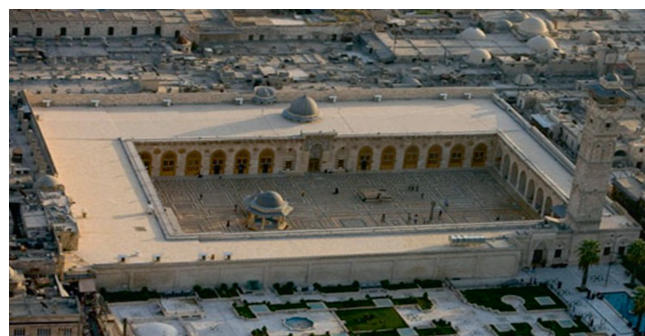


Рис. 13. Памятник архитектуры, построенный из неармированной каменной кладки, Великая мечеть в г. Алеппо, Сирия (начало строительства в 715 году)
Fig. 13. The architectural monument built from unreinforced masonry, the Great Mosque in Aleppo, Syria (construction started in 715)

– Землетрясение 7 декабря 1988 года магнитудой 6,8 произошло в Армянской ССР (рис. 14б). Такие города, как Спитак и Ленинакан, понесли тяжелый ущерб. Большинство зданий имели неармированную каменную конструкцию с несущими стенами и в целом работали плохо.

– Большое количество землетрясений в Индонезии, например землетрясение в Бенкулу (землетрясение в Энггано), которое произошло 04 июня 2000 года, магнитудой 7,9 (рис. 14д), нанесло значительный ущерб неармированным каменным домам. Дома обычно состоят из полуглиняного кирпича и строятся в соот-

ветствии с общепринятой местной практикой без учета сейсмостойкости. Тем не менее, старые каменные здания с более чем одним рядом кирпичей показали себя хорошо, получив лишь незначительные повреждения или вообще оставшись без повреждений при землетрясениях от слабых до умеренных.

Наблюдаемые сейсмические воздействия и их последствия для неармированных каменных зданий, отмеченные в результате вышеперечисленных и других землетрясений, привели к созданию серии документов, посвященных сейсмической оценке и усилению каменных конструкций в разных странах.

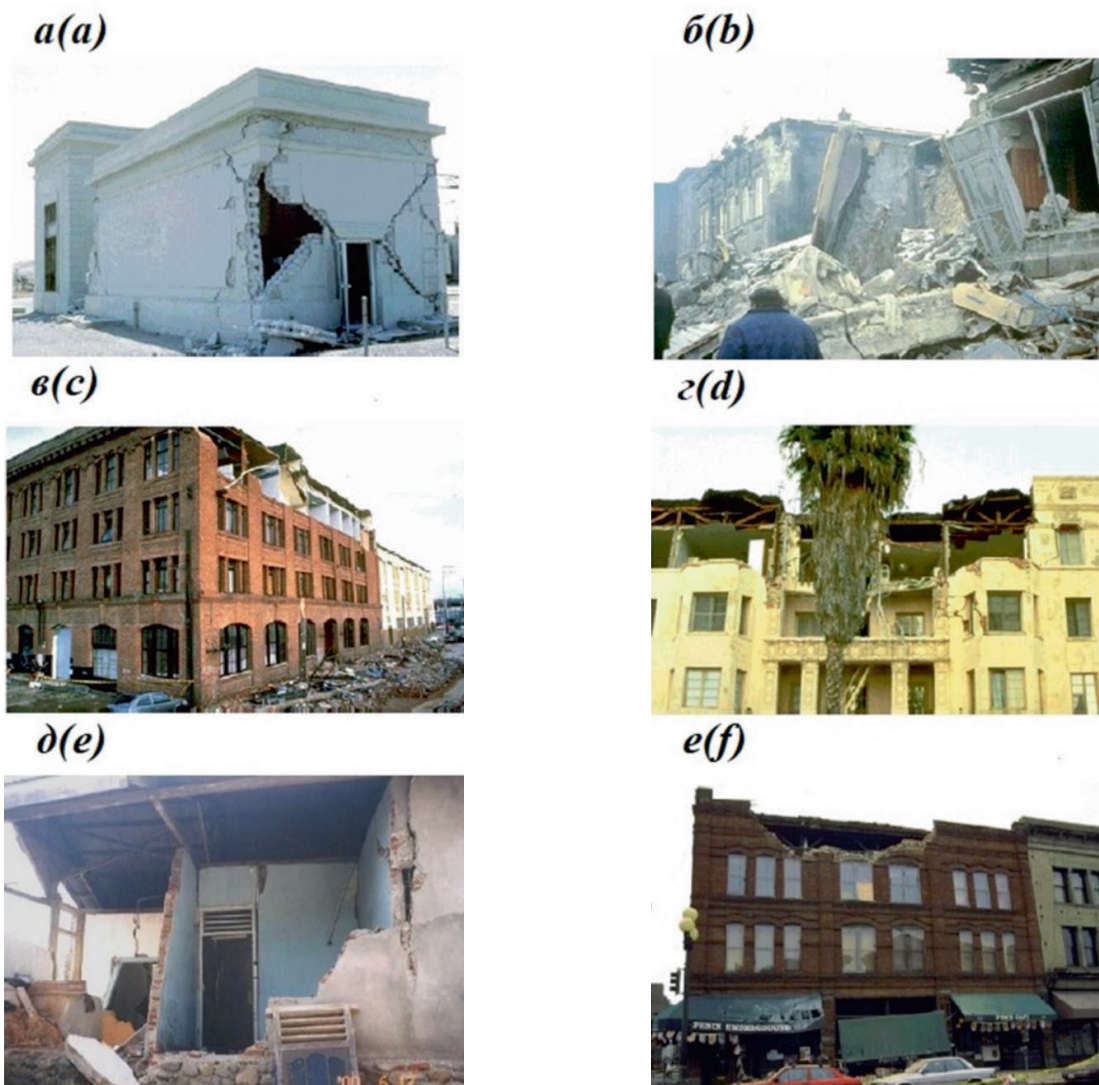


Рис. 14. Сильные повреждения зданий, построенных из неармированной каменной кладки, после землетрясения: а – после землетрясения в Коалинге, штат Калифорния, произошедшего 2 мая 1983 г.; б – после землетрясения в Армении, СССР, произошедшего 7 декабря 1988 г.; в – после землетрясения Лома-Приета около Сан-Франциско, штат Калифорния, произошедшего 17 октября 1989 г.; г – после землетрясения в Нортридже, произошедшего 17 января 1994 г.; д – после землетрясения в Бенкулу (землетрясения в Энггано), Индонезия, произошедшего 04 июня 2000 г.; е – после землетрясения в Нисквалли, США, произошедшего 28 февраля 2001 г.

Fig. 14. Severe damages of buildings built of unreinforced masonry after the earthquake: а – after the earthquake in Coalinga, California, which occurred on May 02, 1983; б – after the earthquake in Armenia, USSR, which occurred on December 07, 1988; в – after the Loma Prieta earthquake near San Francisco, California, which occurred on October 17, 1989; г – after the earthquake in Northridge, which occurred on January 17, 1994; д – after the earthquake in Benkulu (earthquake in Enggano), Indonesia, which occurred on June 04, 2000; е – after the earthquake in Nisqually, USA, which occurred on February 28, 2001

Стоит отметить, что во всем мире наблюдался ряд распространенных отказов зданий из неармированной каменной кладки во время землетрясений. Ведь во многих старых зданиях, построенных из неармированной каменной кладки, отсутствует надежное крепление полов и крыши к стенам из неармированной каменной кладки, что способствует внезапному разрушению при сейсмическом воздействии.

Опираясь на накопленный опыт о негативных последствиях землетрясений, который показал уязвимость зданий, построенных из неармированной каменной кладки, действующие правила строительства и проектирования в сейсмоопасных районах по всему миру больше не рекомендуют использовать неармированные каменные конструкции, поэтому необходимо уделять значительное и особое внимание средствам оценки состояния и укреплению всех старых каменных зданий, существующих в сейсмоопасных зонах.

Поведение неармированных каменных стен и опор в плоскости

В ходе многочисленных исследований разными учеными было изучено поведение неармированных каменных стен и опор в плоскости, поскольку они являются наиболее важными частями конструкций для сопротивления боковым сейсмическим нагрузкам. Неармированные каменные стены и опоры демонстрируют три типичных режима разрушения в плоскости (рис. 15):

1. Разрушение при изгибе: разрушение из-за превышения прочности на сжатие в сжатой части поперечного сечения, оно характеризуется образованием вертикальных трещин. Они отмечены зелеными линиями на рис. 15а. Разрушение характеризуется

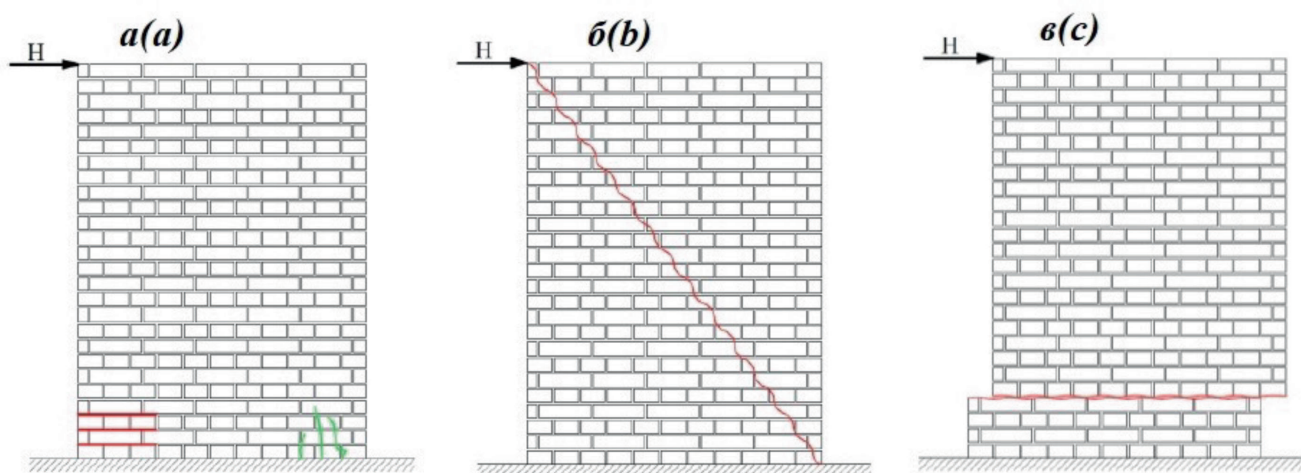
также образованием трещин на стороне растяжения, а именно появлением горизонтальных трещин. Они отмечены красными линиями на рис. 15а. Режим разрушения типичен для тонких стен с высоким сжимающим напряжением.

2. Разрушение при диагональном сдвиге: разрушение, связанное с превышением предела прочности кладки по главному направлению растяжения и характеризующееся появлением диагональных трещин в узлах или в растворных швах (рис. 15б). Это наиболее распространенный вид отказа.

3. Разрушение при скользящем сдвиге: в случае низкого сжимающего напряжения и высокой горизонтальной силы разрушение может произойти вдоль горизонтального шва раствора (рис. 15в). Этот механизм встречается редко, и его можно неправильно охарактеризовать, поскольку он вызывает ту же картину повреждений, что и в первом случае.

Наиболее важными параметрами, влияющими на режимы разрушения, являются геометрия стен, уровень сжимающих напряжений, а также прочность на сжатие и растяжение каменных блоков. Некоторые исследования показывают, что тип и размеры каменных блоков также существенно влияют на характер разрушения и трещин. Кладка из блоков с высокой прочностью имеет тенденцию разрушаться при сдвиге, тогда как кладка из блоков с невысокой прочностью имеет тенденцию разрушаться при изгибе [23–28].

Стоит отметить, что внеплоскостные [24] силы ориентированы перпендикулярно стене и действуют на стену как внутри, так и снаружи, они в первую очередь вызывают изгибающие напряжения. Силы в плоскости ориентированы параллельно стене и вызывают напряжения скольжения или сдвига (рис. 16а–б).



Н – Боковая нагрузка

Рис. 15. Виды разрушения неармированных каменных стен и опор в плоскости:

а – разрушение при изгибе; б – разрушение при диагональном сдвиге – прямая или ступенчатая схема; в – разрушение при скользящем сдвиге

Fig. 15. Types of in-plane failure of unreinforced masonry walls and piers:

а – flexural failure; б – diagonal shear failure—straight or stair-step pattern; в – sliding shear failure

Сейсмоусиление каменных стен с помощью торкретирования бетоном по металлической сетке

Торкретирование является одним из наиболее часто используемых традиционных методов сейсмического усиления существующих каменных конструкций. Идея состоит в том, чтобы разместить стальные сетки на поверхности стены и нанести бетон под высоким давлением. Покрытие необходимо правильно прикрепить к стене, что обычно достигается путем анкеровки. Также необходимо обеспечить правильное крепление сетки к фундаменту. Метод можно применять с одной или двух сторон стены.

Желательно применять метод по обе стороны стены для достижения симметричного поперечного сечения, более пластичного отклика и большего рассеяния энергии.

Метод усиления и детали соединения показаны на рис. 17. На рис. 17а показан типичный фундамент из бетонных опор с надлежащим соединением с каменной стеной с помощью анкеров. На рис. 17б показано соединение одностороннего торкрет-бетонного покрытия с каменной стеной с помощью анкеров. Существует возможность соединения между торкрет-бетонным покрытием и каменной кладкой посредством анкерных карманов с необходимым усилением арматурой, как показано на рис. 17в.

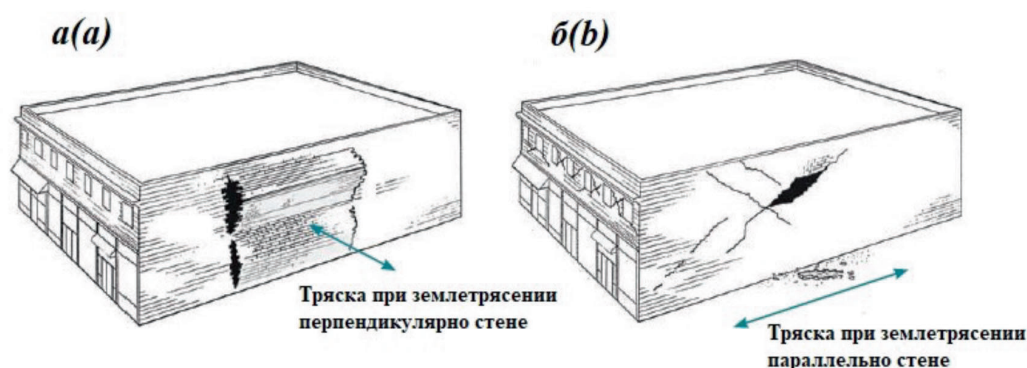


Рис. 16. Виды разрушения неармированных каменных стен:

а – внеплоскостное разрушение неармированной каменной стены; б – плоскостное разрушение неармированной каменной стены

Fig. 16. Failure types of unreinforced masonry walls:

a – out-of-plane failure of unreinforced masonry walls; b – in-plane failure of unreinforced masonry walls

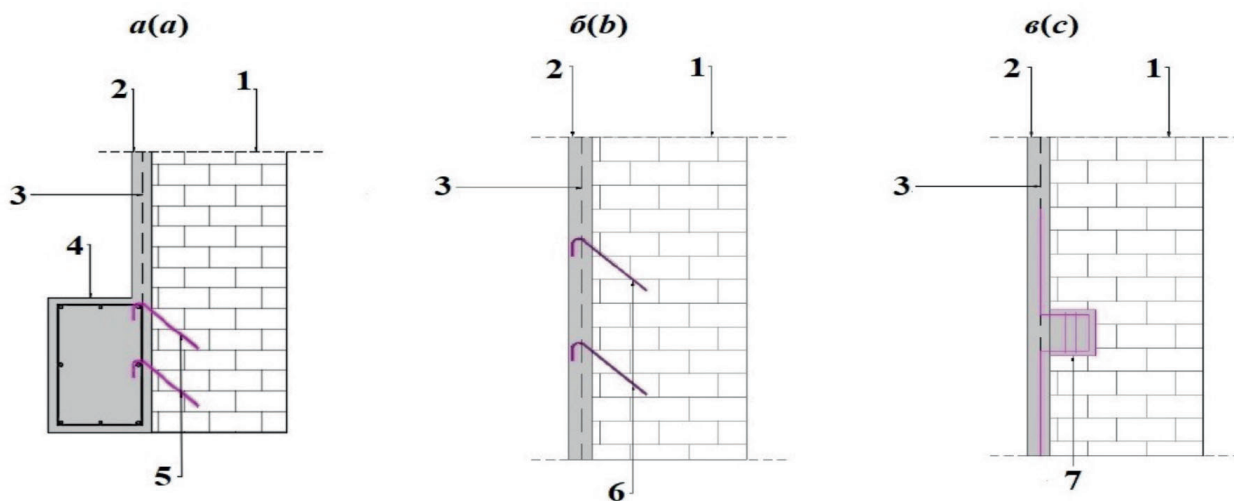


Рис. 17. Детали одностороннего торкретирования бетоном каменной стены:

а – деталь фундамента: 1 – каменная стена; 2 – слой торкрет-бетона; 3 – стальная сетка; 4 – торкрет-бетон фундамента; 5 – анкеры для торкрет-бетона фундамента; б – анкеры для торкрет-бетонного покрытия: 1 – каменная стена;

2 – слой торкрет-бетона; 3 – стальная сетка; 6 – анкеры для торкрет-бетонного покрытия; в – анкерные карманы для торкрет-бетонного покрытия: 1 – каменная стена; 2 – слой торкрет-бетона; 3 – стальная сетка; 7 – анкерные карманы для торкрет-бетонного покрытия с необходимым усилением арматурой

Fig. 17. Details of one-sided concrete shotcrete of a masonry wall:
a – foundation detail: 1 – masonry wall; 2 – shotcrete layer; 3 – steel mesh; 4 – shotcrete of the foundation; 5 – anchors for shotcrete foundation; b – anchors for shotcrete coating: 1 – masonry wall; 2 – shotcrete layer; 3 – steel mesh; 6 – anchors for shotcrete coating; c – anchor pockets for shotcrete coating: 1 – masonry wall; 2 – shotcrete layer; 3 – steel mesh; 7 – anchor pockets for shotcrete coating with the necessary reinforcement with building fittings

Преимуществами торкрет-бетонного покрытия являются повышенная несущая способность, способность к смещению, пластичность и рассеивание энергии. К сожалению, толстый слой торкрет-бетонного покрытия увеличивает массу и жесткость конструкции, что приводит к увеличению сейсмических сил. Кроме того, изменяется общее поведение конструкции, что может вызвать скручивающие эффекты всего здания и изменения в перераспределении жесткости. С точки зрения долговечности возможное окисление и коррозия стальных арматурных сеток могут снизить долговечность. Кроме того, этот метод достаточно дорогой и трудоемкий, и, наконец, измененный фасад и сокращение внутренних пространств делают этот метод возможно нежелательным с точки зрения собственников или жильцов зданий.

Возможным решением вышеназванных недостатков является выбор наименьшей допустимой толщины торкрет-бетонного слоя, который не слишком утяжеляет и не увеличивает массу конструкций, а также одновременно выполняет функцию по их сейсмоусилению.

Альтернативой торкретирования бетоном является использование вместо бетона раствора на цементной основе, который применяется в качестве штукатурки каменных стен [3, 23]. Раствор наносится гораздо меньшей толщиной, чем бетон, поэтому дополнительная масса каменной конструкции меньше. Кроме того, таким образом устраняются проблемы, связанные с изменением фасада. Наконец, важно подчеркнуть, что этот метод требует применения стальной сетки с обеих сторон стены и что сетки необходимо соединить через поперечное сечение стены, но проблема коррозии арматуры остается.

Выводы

В данной статье представлен наиболее часто используемый метод усиления каменной кладки стен и опор. Для сейсмического усиления каменных стен и опор широко используются различные традиционные методы, такие как нанесение торкрет-бетона, усиление напрягаемыми тяжами и другие. Литература по применению, тестированию и преимуществам традиционных методов весьма обширна. Эти методы обеспечивают повышение пластичности и несущей способности кладки стен и опор. Большинство компаний, которые занимаются укреплением и усилением строительных конструкций, чаще работают традиционными методами, чем новыми нетрадиционными методами сейсмоусиления, такими как сейсмогашение и сейсмоизоляция. Наконец, первоначальная стоимость традиционных методов по-прежнему ниже, чем у новых нетрадиционных методов.

Сейсмоусиление зданий, построенных из неармированной каменной кладки, является важным шагом для обеспечения и сохранения жизни людей, проживающих или работающих в них, в случае возникнове-

ния землетрясения, а для зданий, которые являются памятниками архитектуры, находятся под охраной местных законов или входят в список объектов всемирного наследия ЮНЕСКО, сейсмоусиление является первостепенной задачей для сохранения подобных памятников архитектуры для будущих поколений.

Данное исследование показало преимущества (увеличение пластичности и прочности каменных стен и т. д.) традиционного метода сейсмоусиления, а именно торкретирования бетоном или раствором на основе цемента для использования при сейсмоусилении зданий и памятников архитектуры, построенных из неармированной каменной кладки. Наряду с этим оно показало недостатки этого метода (недолговечность, коррозия арматурных сеток и т. д.), но, как оказалось, преимущества торкрет-бетонирования превалируют над недостатками, так как большинство недостатков легкоустраняемы.

Список литературы

1. ТУ 5745-001-16216892-06. Торкрет-бетон. Технические условия. 01 июня 2006 г.
2. ТУ 5745-001-02664750-2016. Смесь сухая для мелкозернистого торкрет-бетона. Технические условия. 25 августа 2016 г.
3. СП 15.13330.2020. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81*. 2020.
4. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. Москва: Стандартинформ; 2017.
5. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. Москва: Стандартинформ; 2018.
6. ГОСТ 24211-2003. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. Москва: МНТКС; 2003.
7. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. Москва: ИПК Издательство Стандартов; 1987.
8. ГОСТ 8736-93. Песок для строительных работ. Технические условия. Москва: МНТКС; 1993.
9. ГОСТ 965-89. Портландцементы белые. Технические условия. Москва: ИПК Издательство Стандартов; 1990.
10. ГОСТ 15825-80. Портландцемент цветной. Технические условия. Москва: Государственный строительный комитет СССР; 1983.
11. ГОСТ 23732-79. Вода для бетонов и растворов. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2009.
12. Беленя Е.И., Стрелецкий Н.Н., Ведеников Г.С. и др. Металлические конструкции. Специальный курс / Под ред. Е.И. Беленя. Москва: Москва: Транспорт; 1982. 472 с.
13. Альдреби З.А. Сейсмическая опасность территории Сирии // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2019. № 6. С. 43–48.

14. Ambraseys N.N., Jackson J.A. Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean. *Geophys. Jour. Intern.* 1998, vol. 133, no. 2, pp. 390–406.

15. Sbeinati M.R., Darawcheh R., Mouty M. The historical earthquakes of Syria: an analysis of large and moderate earthquakes from 1365 B.C. to 1900 A.D. *Annals of Geophysics*. 2005, vol. 48, no. 3, pp. 347–435.

16. Yavartanoo F. Kang T.H.-K. Retrofitting of unreinforced masonry structures and considerations for heritage-sensitive constructions. *Journal of Building Engineering*. 2022, vol. 49, 103993.

17. Chuang S.W., Zhuge Y. Seismic Retrofitting of Unreinforced Masonry Buildings—A Literature Review. *Australian Journal of Structural Engineering*. 2005, vol. 6, no. 1, pp. 25–36.

18. Aprile A., Benedetti A., Grassucci F. Assessment of Cracking And Collapse for Old Brick Masonry Columns. *Journal of Structural Engineering*. 2001, vol. 127, no. 12, pp. 1427–1435.

19. Bruneau M. State-of-The-Art Report on Seismic Performance of Unreinforced Masonry Buildings. *Journal of Structural Engineering*. 1994, vol. 120, no. 1, pp. 230–251.

20. Kapos A.J., Penelis G.G., Drakopoulos C.G. Evaluation of Simplified Models for Lateral Load Analysis of Unreinforced Masonry Buildings. *Journal of Structural Engineering*. 2002, vol. 128, no. 7, pp. 890–897.

21. William T. Holmes and Peter Somers, editors, Northridge Earthquake of January 17, 1994 Reconnaissance Report – Volume 2, Earthquake Spectra, supplement C to Volume 11, January 1996, pp. 195–217.

22. Mahaney J.A., Paret T.F., Kehoe B.E., Freeman S.A. The capacity spectrum method for evaluating structural response during the Loma Prieta earthquake. *Proceedings of the 1993 United States National Earthquake Conference*. 1993, pp. 501–510.

23. Ghiassi B., Soltani M., Tasnimi A.A. Seismic Evaluation of Masonry Structures Strengthened with Reinforced Concrete Layers. *Journal of Structural Engineering*. 2012, vol. 138, no. 6, pp. 729–743.

24. Cassol D., Giongo I., Ingham J., Dizhur D. (2021). Seismic out-of-plane retrofit of URM walls using timber strong-backs. *Construction and Building Materials*. 2020, vol. 269, no. 4, 121237.

25. Romano F., Ganduscio S., Zingone G. Cracked Nonlinear Masonry Stability under Vertical and Lateral Loads. *Journal of Structural Engineering*. 1993, vol. 119, no. 1, pp. 69–87.

26. Priestley M.J.N., Limin H. Seismic Response of T-Section Masonry Shear Walls. *Proceedings of the Fifth North American Masonry Conference*. University of Illinois at Urbana-Champaign. 1990, pp. 359–372.

27. Ali S., Page A.W. Concentrated Loads on Solid Masonry Wall—a Parametric Study and Design Recommendations. *Proceeding Institution of Civil Engineers*. 1988, Part 2, pp. 271–289.

28. Basoenondo E.A., Thambiratman D.P., Purnomo H. Study on The Effect of Surface Mortared Confinement to The Improvement of Lateral Stiffness of Masonry Wall Panels Under Lateral Loading. *Proceedings of the Ninth North American Masonry Conference*. Clemson, South Carolina USA. 2003, pp. 370–380.

References

1. TU 5745-001-16216892-06. Shotcrete. Specifications. June 01, 2006. (In Russian).

2. TU 5745-001-02664750-2016. Dry mixture for fine-grained shotcrete concrete. Specifications. August 25, 2016. (In Russian).

3. SP 15.13330.2020. Masonry and reinforced masonry structures. Updated edition of SNiP II-22-81*. 2020. (In Russian).

4. SP 20.13330.2016. Loads and actions. Updated version of SNiP 2.01.07-85*. Moscow: Standartinform Publ.; 2017. (In Russian).

5. SP 14.13330.2018. Seismic building design code. Updated edition of SNiP II-7-81*. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).

6. State Standard 24211-2003. Additives for concrete and mortars. General specifications. Moscow: MNTKS; 2003. (In Russian).

7. State Standard 10178-85. Portland cement and portland blastfurnace slag cement. Specifications. Moscow: IPK Standards Publishing House; 1987. (In Russian).

8. State Standard 8736-93. Sand for construction works. Specifications. Moscow: MNTKS; 1993. (In Russian).

9. State Standard 965-89. Portland cements, white. Specifications. Moscow: IPK Standards Publishing House; 1990. (In Russian).

10. State Standard 15825-80. Coloured portland cement. Specifications. Moscow: State Construction Committee of the USSR; 1983. (In Russian).

11. State Standard 23732-79. Water for concretes and mortars. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2009. (In Russian).

12. Belenya E.I., Streletsky N.N., Vedenikov G.S., et al. Metal constructions. Special course / Ed. E.I. Belenya. Moscow: Transport; 1982. 472 p. (In Russian).

13. Aldrebi Z.A. Seismic hazard of the territory of Syria. *Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2019, no. 6, pp. 43–48. (In Russian).

14. Ambraseys N.N., Jackson J.A. Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean. *Geophysical Journal International*. 1998, vol. 133, no. 2, pp. 390–406.

15. Sbeinati M.R., Darawcheh R., Mouty M. The historical earthquakes of Syria: an analysis of large and moderate earthquakes from 1365 B.C. to 1900 A.D. *Annals of Geophysics*. 2005, vol. 48, no. 3, pp. 347–435.

16. Yavartanoo F. Kang T.H.-K. Retrofitting of unreinforced masonry structures and considerations for heritage-sensitive constructions. *Journal of Building Engineering*. 2022, vol. 49, 103993.

17. Chuang S.W., Zhuge Y. Seismic Retrofitting of Unreinforced Masonry Buildings—A Literature Review. *Australian Journal of Structural Engineering*. 2005, vol. 6, no. 1, pp. 25–36.
18. Aprile A., Benedetti A., Grassucci F. Assessment of Cracking And Collapse for Old Brick Masonry Columns. *Journal of Structural Engineering*. 2001, vol. 127, no. 12, pp. 1427–1435.
19. Bruneau M. State-of-The-Art Report on Seismic Performance of Unreinforced Masonry Buildings. *Journal of Structural Engineering*. 1994, vol. 120, no. 1, pp. 230–251.
20. Kapos A.J., Penelis G.G., Drakopoulos C.G. Evaluation of Simplified Models for Lateral Load Analysis of Unreinforced Masonry Buildings. *Journal of Structural Engineering*. 2002, vol. 128, no. 7, pp. 890–897.
21. William T. Holmes and Peter Somers, editors, Northridge Earthquake of January 17, 1994 Reconnaissance Report – Volume 2, Earthquake Spectra, supplement C to Volume 11, January 1996, pp. 195–217.
22. Mahaney J.A., Paret T.F., Kehoe B.E., Freeman S.A. The capacity spectrum method for evaluating structural response during the Loma Prieta earthquake. *Proceedings of the 1993 United States National Earthquake Conference*. 1993, pp. 501–510.
23. Ghiassi B., Soltani M., Tasnimi A.A. Seismic Evaluation of Masonry Structures Strengthened with Reinforced Concrete Layers. *Journal of Structural Engineering*. 2012, vol. 138, no. 6, pp. 729–743.
24. Cassol D., Giongo I., Ingham J., Dizhur D. (2021). Seismic out-of-plane retrofit of URM walls using timber strong-backs. *Construction and Building Materials*. 2020, vol. 269, no. 4, 121237.
25. Romano F., Ganduscio S., Zingone G. Cracked Nonlinear Masonry Stability under Vertical and Lateral Loads. *Journal of Structural Engineering*. 1993, vol. 119, no. 1, pp. 69–87.
26. Priestley M.J.N., Limin H. Seismic Response of T-Section Masonry Shear Walls. *Proceedings of the Fifth North American Masonry Conference*. University of Illinois at Urbana-Champaign. 1990, pp. 359–372.
27. Ali S., Page A.W. Concentrated Loads on Solid Masonry Wall—a Parametric Study and Design Recommendations. *Proceeding Institution of Civil Engineers*. 1988, Part 2, pp. 271–289.
28. Basoenondo E.A., Thambiratman D.P., Purnomo H. Study on The Effect of Surface Mortared Confinement to The Improvement of Lateral Stiffness of Masonry Wall Panels Under Lateral Loading. *Proceedings of the Ninth North American Masonry Conference*. Clemson, South Carolina USA. 2003, pp. 370–380.

Информация об авторе / Information about the author

Зиад Ахмад Альдреби, канд. техн. наук, исследователь, преподаватель-исследователь, инженер-строитель, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Санкт-Петербург
e-mail: ziald67@gmail.com

Ziad A. Aldrebi, Ph.D. in civil engineering, Researcher, Lecturer-researcher, Civil Engineer, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg
e-mail: ziald67@gmail.com



Вышло в свет учебное пособие «Долговечность бетона».

Автор пособия – заведующий лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», доктор технических наук, профессор, академик Российской инженерной академии, Почетный строитель России и г. Москвы, дважды лауреат премии Правительства РФ Валентина Федоровна Степанова.

В пособии приведена теория коррозии бетона и металла, рассматривается правильный подход к выбору строительных материалов, приготовлению бетона и железобетона, обеспечивающих требуемую долговечность конструкций. Даны основные признаки коррозии бетона в жидких агрессивных средах, механизм коррозии арматуры. Показаны способы повышения коррозионной стойкости бетона и обеспечения сохранности арматуры на стадии проектирования состава бетона в процессе приготовления и эксплуатации конструкций. Приведены математические модели коррозии бетона, позволяющие совершенствовать технологию получения бетонов повышенной долговечности.

Пособие ориентировано на студентов, обучающихся по направлению «Строительство», а также будет полезно всем специалистам, занимающимся изучением бетона и железобетона.

Ю.А. БЕЛЕНЦОВ✉, Д.А. ЧЕРЕПАНОВА

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I», Московский пр., д. 9, г. Санкт-Петербург, 190031,
Российская Федерация

ВЛИЯНИЕ МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА БЕТОНА ПО ФИЗИКО–МЕХАНИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ НА НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация

Введение. Система технического контроля строительства оценивает физико-механические свойства бетонов на основании испытания серии образцов, отбираемых из партии бетона. Необходимо учитывать влияние методики контроля на качество бетонных конструкций и их надежность.

Цель. Создание системы технического контроля, которая должна устранять причины выявленных рисков за счет снижения влияния выявленных причин.

Материалы и методы. Методика контроля влияет на надежность возводимых конструкций из бетона и оценивается с точки зрения выбора количества образцов и отбрасывания минимальных значений прочности в серии. Сравниваются результаты контроля серии образцов бетона по шести образцам, подобранным таким образом, чтобы обеспечивать соответствие заявленному классу при отбрасывании двух минимальных значений образцов.

Результаты. В результате анализа влияния методики на качество и надежность: класс В оказывается ниже заложенного на две ступени, внутрисерийный коэффициент вариации превышает допустимый на 8 %, а уровень надежности значительно ниже β на 36 %.

Выводы. Проведенные исследования показывают недоучет методической составляющей контроля материалов, который может оставлять значительные пробелы в системе технического контроля строительной продукции и не позволяет обеспечить требуемый уровень надежности конструкций.

Ключевые слова: контроль качества, бетонные конструкции, методика контроля, уровень надежности, вероятность, безотказная работа

Для цитирования: Беленцов Ю.А., Черепанова Д.А. Влияние методики контроля качества бетона по физико-механическим показателям на надежность строительных конструкций // *Бетон и железобетон*. 2023. № 5/6 (619). С. 25–31. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6\(619\)-25-31](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6(619)-25-31)

Вклад авторов

Авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 01.11.2023

Поступила после рецензирования 04.12.2023

Принята к публикации 07.12.2023

Yu.A. BELENTSOV✉, D.A. CHEREPANOVA

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,
Moskovsky Ave., 9, Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

THE INFLUENCE OF METHODS OF CONCRETE QUALITY CONTROL BY PHYSICAL AND MECHANICAL PARAMETERS ON THE RELIABILITY OF BUILDING STRUCTURES

Abstract

Introduction. The construction technical control system evaluates the physical and mechanical properties of concrete on the base of testing a series of samples taken from a batch of concrete. It is necessary to take into account the influence of the control method on the quality of concrete structures and their reliability.

Aim. Creation of a technical control system that should eliminate the causes of the identified risks by reducing the impact of the identified causes.

Materials and methods. The control method affects the reliability of concrete structures being built and is evaluated from the point of view of choosing the number of samples and discarding the minimum strength values in the series. The results of the control of a series of concrete samples for 6 samples selected in such a way as to ensure compliance with the declared class when discarding 2 minimum sample values are compared.

Results. As a result of the analysis of the impact of the methodology on quality and reliability: class B turns out to be 2 steps lower than the prescribed one, the in-series coefficient of variation exceeds the permissible one by 8 %, and the reliability level is significantly lower by 36 %.

Conclusions. The conducted research shows an underestimation of the methodological component of material control, which can leave significant gaps in the system of technical control of construction products and does not allow to ensure the required level of reliability of structures.

Keywords: quality control, concrete structures, control methods, reliability level, probability, trouble-free operation

For citation: Belentsov Yu.A., Cherepanova D.A. The influence of methods of concrete quality control by physical and mechanical parameters on the reliability of building structures. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 5/6 (619), pp. 25–31. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6\(619\)-25-31](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6(619)-25-31)

Author contribution statements

The authors have made an equal contribution to the preparation of the publication.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 01.11.2023

Revised 04.12.2023

Accepted 07.12.2023

Современная система технического контроля строительства предполагает возможность оценки физико-механических свойств бетонов на основании испытания серии образцов, отбираемых из партии бетона [1]. Количество образцов и методика отбора образцов зависят от вида испытания, однородности бетонной смеси и т. п. При этом не учитывается влияние методики контроля на результат контроля качества бетонных конструкций и обеспечения уровня надежности строительной продукции. Одной из причин несовершенства методов контроля является невозможность установить причинно-следственные связи между параметрами качества процессов, контролируемых в процессе возведения здания, и результатами реальной эксплуатации, прежде всего, по уровню надежности, а значит по расходам на функционирование системы плановых предупредительных осмотров и ремонтов с приемлемым уровнем безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости как составляющих надежности [2].

Однако проблема решается при использовании концепции рассмотрения всего жизненного цикла

строительной продукции в едином процессном подходе: от начала разработки и проектирования, возведения, эксплуатации и ремонта, до утилизации после эксплуатации.

Необходимо создание единого комплексного подхода к контролю качества строительной продукции на любом этапе жизненного цикла.

Критерием, позволяющим сравнивать варианты взаимосвязи качества строительных конструкций с показателями, определяемыми в процессе возведения и контроля качества отдельных технических свойств строительных элементов и конструкций, может служить экономический критерий или надежность возводимых конструкций [3]. При этом надежность как техническая величина, поддающаяся количественной оценке, позволяет создать основы методического подхода к техническому контролю качества материалов и конструкций [4, 5]. Причинно-следственные связи для риска несоответствия по уровню надежности бетонных конструкций в виде диаграммы Исикавы приведены на рис. 1.

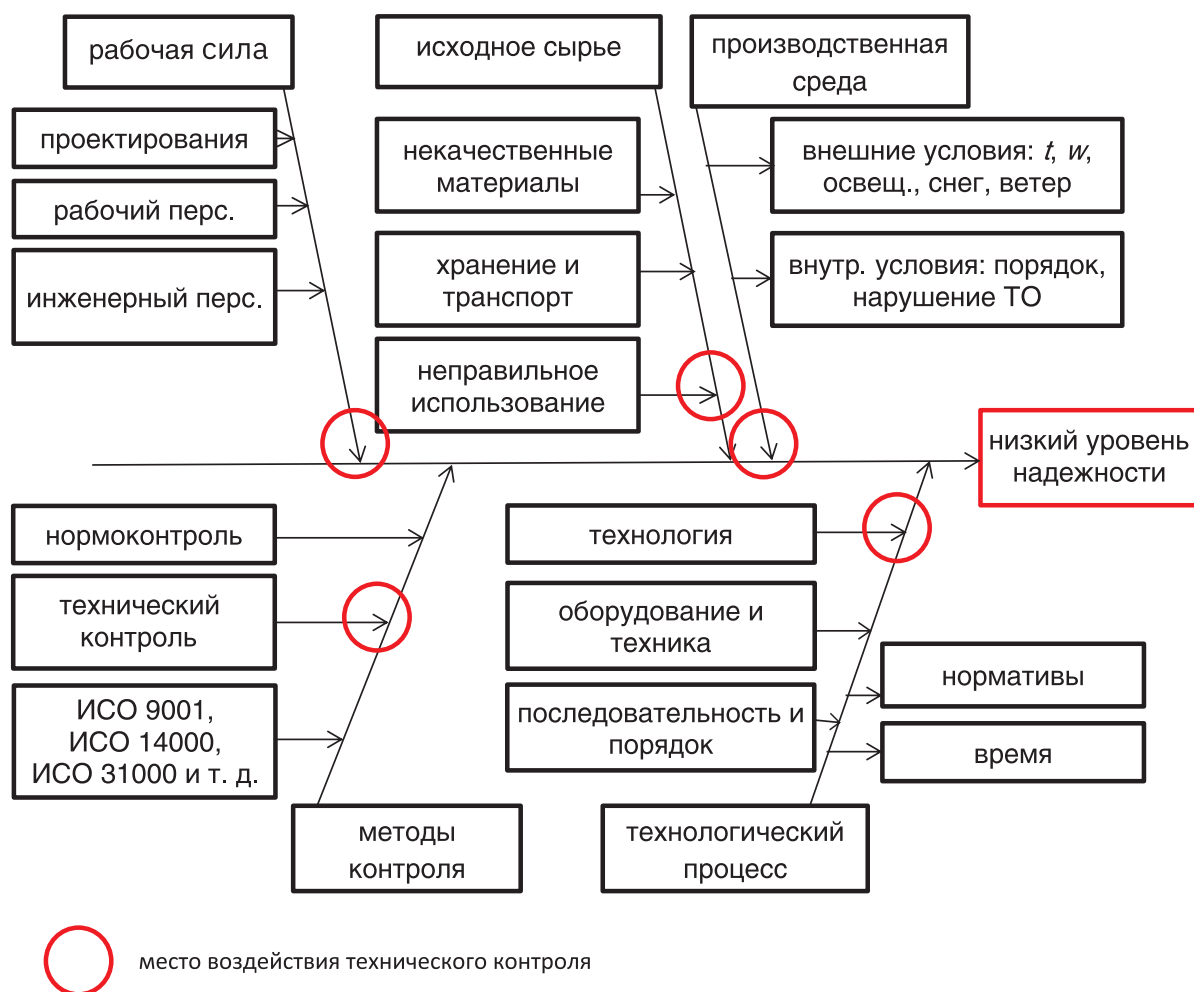


Рис. 1. Графическое изображение диаграммы Исикавы для низкого уровня надежности строительных конструкций зданий и сооружений

Fig. 1. Graphical representation of the Ishikawa diagram for a low level of reliability of building structures

В идеале система технического контроля должна устранять причины выявленного риска за счет снижения влияния выявленных причин, но несоответствия субъективное, методическое, метрологическое и техническое за счет точности контроля снижают эффективность работы системы технического контроля и значительно увеличивают риски строительной индустрии.

В частности, влияние методики контроля на надежность возводимых конструкций из бетона оценим с точки зрения выбора количества образцов и отбрасыванием минимальных значений прочности в серии [1]. Рассмотрим влияние возможности отбрасывать минимальные показатели прочности бетона в процессе контроля. Образцы изготавливают и испытывают сериями.

Число образцов в серии принимают в зависимости от среднего внутрисерийного коэффициента вариации прочности бетона V_s [6].

Таблица 1
Table 1

Число образцов в серии
The number of samples in the series

Внутрисерийный коэффициент вариации, V_s , %	5 и менее	более 5	до 8 включ.
Требуемое число образцов в серии, шт.	2	3 или 4	6

В случае если средний внутрисерийный коэффициент вариации прочности бетона на сжатие V_s превышает 8 %, необходимо провести внеочередную переаттестацию испытательной лаборатории.

Прочность бетона (кроме ячеистого) в серии образцов определяют как среднеарифметическое значение прочности испытанных образцов в серии [6]:

- из двух образцов – по двум образцам;
- из трех образцов – по двум образцам с наибольшей прочностью;
- из четырех образцов – по трем образцам с наибольшей прочностью;
- из шести образцов – по четырем образцам с наибольшей прочностью.

Рассмотрим влияние методической погрешности на результаты контроля прочности бетона на характеристики однородности и вероятности отказа. Для оценки сформулируем предельные условия выполнения требований нормативов:

- средняя прочность серии соответствует требованиям класса $R_{ф}$;
- минимальная прочность образцов в серии больше показателя класса В;
- коэффициент вариации внутрисерийный не превышает $v_{вн} = 8\%$;
- коэффициент вариации межсерийный предельный $v = 13\%$;

- предполагается нормальный закон распределения вероятностей;
- серия из шести образцов с отбрасыванием двух минимальных показателей прочности;
- доверительная вероятность 0,95.

На примере бетона В30 наименее невыгодная ситуация будет, если два отбрасываемых образца будут минимально допустимого показателя прочности, то есть соответствующего класса. Часть образцов, чтобы компенсировать $\min$ прочность для получения требуемой средней прочности, должны быть близки максимальной величине с учетом коэффициента вариации.

$$R_{\max} = 2R_{ф} - B = R_{ф}(2 - (1 - tv)) = R_{ф}(1 + tv); \quad (1)$$

$$B = R_{ф}(1 - tv). \quad (2)$$

Остальные образцы должны соответствовать математическому ожиданию, т. е. средней прочности, требуемой для класса. Результаты подобраны так, чтобы после отбрасывания двух результатов внутрисерийный коэффициент вариации не превышал 8 %.

Результаты в серии образцов В30 подобраны исходя из требований, изложенных выше. Сравним показатели прочности и однородности при отбрасывании двух минимальных образцов и при их сохранении в серии. Предварительно проверим, не является ли минимальное значение грубым промахом. Результаты серии и проверки $\min$ значения по критерию Диксона и Романовского на грубый промах измерения приведены в табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Результаты серии оценки прочности бетона и оценка наличия грубых промахов
The results of a series of concrete strength assessment and an assessment of the presence of blunders

N	R_i , МПа	$x_i - x_{ср}$	$(x_i - x_{ср})^2$
1	30	-8	64
2	32	-6	36
3	38	0	0
4	38	0	0
5	44	6	36
6	46	8	64
$R_{ф}$	38	Σ	200
$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$			6,32

Критерий Романовского

$$\beta = \frac{|(x_i - \bar{x})|}{S_x} < \beta = f(n) \quad (3)$$

$$1,265 < 2,1$$

Поскольку $1,26 < 2,1$, результат не является промахом.

Критерий Диксона

$$K_D = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1} < Z_q \quad (4)$$

$$0,125 < 0,56$$

Поскольку $0,125 < 0,56$, результат не является промахом.

Значит, поскольку $\min$ значения прочности не являются грубым промахом, отбрасывать их с метрологической точки зрения не нужно.

Результаты обработки серии до и после отбрасывания двух результатов приведены в табл. 3.

Определялся фактический класс бетона по прочности монолитной конструкции или отдельной зоны конструкции при контроле прямыми неразрушающими или разрушающими методами и по числу участков испытаний $6 < n < 15$ по схеме В [1].

В результате обработки:

– без отбрасывания двух $\min$ значений из шести, коэффициент вариации серии $v_{вн} = 15 \%$, класс бетона по ГОСТ 18105 [1] составит В25, при расчете по формуле с учетом внутрисерийного коэффициента вариации составит В27,5.

– после отбрасывания двух $\min$ значений из шести, коэффициент вариации серии $v_{вн} = 8 \%$, класс бетона по ГОСТ 18105 [1] составит В30, при расчете по формуле с учетом внутрисерийного коэффициента вариации составит В35.

В результате без отбрасывания двух образцов класс В оказывается ниже заложенного на две ступени, внутрисерийный коэффициент вариации превышает допустимый на 8 %, когда необходимо провести внеочередную переаттестацию испытательной лаборатории [6]. После отбрасывания соответствует пока-

зателям класса бетона В30. Т. е. при отбрасывании образцов мы завышаем класс бетона на одну или две ступени, при этом существенно снижаем внутрисерийный коэффициент вариации.

Оценим влияние на уровень надежности с учетом методической коррекции с отбрасыванием результатов и без. Необходимо учитывать, что надежность на сегодняшний момент выходит на первый план при расчете и проектировании, возведении, контроле, эксплуатации, поскольку это является технической основой эффективных и экономичных конструкций [7]. Уровень надежности в европейских нормативных документах является важной характеристикой, определяющей особенности проектирования и возведения конструкций [8–10].

Безотказность конструкции обуславливается коэффициентом запаса несущей способности, определяющейся разницей между несущей способностью и нагрузочным эффектом, с учетом случайного характера основных влияющих величин [3, 8, 7, 11].

$$\bar{R} - \bar{Q} > 0, \quad (5)$$

где $\bar{R}, \bar{Q}$ – значения несущей способности и нагрузочного эффекта.

Значит, в среднем конструкции при проектировании закладываются с запасом, обеспечивающим требуемый уровень надежности и безотказности. Величина запаса несущей способности характеризуется показателями индекса надежности и вероятности безотказной работы [5, 7]:

$$\beta = \frac{\bar{R} - \bar{Q}}{\sqrt{S_R^2 + S_Q^2}}, \quad (6)$$

где S_R, S_Q – СКО прочностных свойств материала и нагрузок.

Таблица 3

Table 3

Результаты обработки серии образцов бетона до и после отбрасывания двух результатов
The results of processing a series of concrete samples before and after discarding two results

n	B , МПа	$R_{\max}$, МПа	R , МПа	$(X_i - X)/2$	n	B , МПа	$\bar{R}$, МПа	$R_{\max}$, МПа	R , МПа	$(X_i - X)/2$
1	30	46	30	64	1	30	38	46	отбр.	
2			32	36					отбр.	
3			38	0					38	12,25
4			38	0					38	12,25
5			44	36					44	6,25
6			46	64					46	20,25
		$\bar{R}$	38	200				$\bar{R}$	41,5	51
		S	5,69					S	3,43	
		v	15 %					v	8 %	

Класс

ГОСТ 18105

$$B_{\phi} = R_{tm} - k_{sc} S_m$$

$$B = \bar{R}(1 - t_v)$$

26.63

25

28,67

27,5

Класс

ГОСТ 18105

$$B_{\phi} = R_{tm} - k_{sc} S_m$$

$$B = \bar{R}(1 - t_v)$$

34.64

30

35,88

35

Вероятность отказа определяется по формуле [5, 7]:

$$P_f = \frac{1}{2} - \Phi(\beta) = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\beta \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx;$$

$$P_f = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\beta^2 - 1}{\beta^3} \exp\left(-\frac{\beta^2}{2}\right), \quad (7)$$

$$\text{где } \beta = \frac{K_{\text{зап}} - 1}{\sqrt{(v_R^2 K_{\text{зап}}^2 + v_Q^2)}}, \quad (8)$$

v_R, v_Q – коэффициент вариации прочностных свойств материала и нагрузок.

Результаты расчета показателей безотказности конструкций из бетона при приемке с использованием разных методов обработки, с отбрасыванием двух минимальных и без для материалов, приведенных выше, сведены в табл. 4.

Расчетная прочность бетонов для 1 группы предельных состояний принята по нормативам для бетона В30 $R_{\text{расч1}} = 17$ МПа [12].

Значит, по результатам обработки результатов серии образцов бетона после отбрасывания двух образцов мы примем класс бетона В30, с индексом надежности $\beta = 6,389$ коэффициентом запаса $K_{\text{зап}} = 2,44$ при вероятности отказа $Pf = 8,33 \times 10^{-11}$. В реальности результаты серии окажутся ниже, бетон В25 с индексом надежности $\beta = 4,25$, коэффициентом запаса $K_{\text{зап}} = 2,24$ при вероятности отказа $Pf = 1,04 \times 10^{-5}$. Т. е. в реальности класс будет ниже проектного на 1–2 ступени, а уровень надежности значительно ниже β на 36 %.

Выводы

Проведенные исследования показывают недоучет методической составляющей контроля материалов, который может оставлять значительные пробелы в

системе технического контроля строительной продукции и не позволяет обеспечить требуемый уровень надежности конструкций. Существующий подход закладывает при выполнении требований системы контроля завышение реальных показателей физико-механических свойств бетона и снижение уровня надежности возводимых конструкций при наиболее невыгодном стечении обстоятельств. Необходимо совершенствовать методы контроля с учетом случайного характера величин физико-механических характеристик материалов и нагрузок, более требовательно подходить к выбору методического и метрологического обеспечения системы контроля. Решение возможно за счет создания комплекса контрольных испытаний, включающих как разрушающие, так и неразрушающие методы и совершенствования методики и обеспечения контроля. Это подход обеспечит более полное сопровождение системой контроля всех этапов жизненного цикла строительной продукции для обеспечения требуемого уровня надежности.

Список литературы

- ГОСТ 18105-2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. Москва: Стандартинформ; 2012.
- Ефремов И.В., Рахимова Н.Н. Надежность технических систем и техногенный риск. Оренбург: ОГУ; 2013. 163 с.
- Райзер В.Д. Оптимизация надежности конструкций и безопасности человека / Сборник научных статей «Актуальные проблемы исследований по теории сооружений» ЦНИИСК им. Кучеренко. 2009. Т. 1. С. 22–31.
- Беленцов Ю.А., Ильинская Г.Г., Лесовик В.С. Повышение надежности конструкций управлением параметрами композиционного материала // *Строительные материалы*. 2011. № 3. С. 90–92.

Таблица 4

Table 4

Результаты расчета показателей безотказности конструкций из бетона при приемке с использованием разных методов обработки, с отбрасыванием двух минимальных и без
The results of calculating the reliability indicators of concrete structures during acceptance using different processing methods, with the rejection of two minimum and without it

Класс	Без отбрасывания двух образцов из шести		При отбрасывании двух образцов из шести	
	R_f	B	B	
$B_f = R_{tm} - k_{sc} S_m$ ГОСТ 18105	26,63	25	34,64	30
$B = \bar{R}(1 - t_v)$	28,67	27,5	35,88	35
$R_{\text{расч1}}$, МПа	17		17	
	$K_{\text{зап}}$	2,24	$K_{\text{зап}}$	2,44

v_F	v_Q	Pf	β	$K_{\text{зап}}$
15 %	0,185	1,04E-05	4,255	2,24
8 %	0,185	8,33E-11	6,389	2,44

5. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. Москва: Стройиздат; 1978. 239 с.
6. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Москва: Стандартинформ; 2018.
7. Райзер В.Д. Теория надежности сооружений. Москва: Издательство АСВ; 2010. 384 с.
8. Лантух-Лященко А.И. Концепция надежности в Еврокоде // *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2014. № 6. С. 79–88.
9. НСР ЕН 1990-2011. ЕВРОКОД 0: Основы проектирования сооружений. Москва; 2011.
10. Handbook 2 reliability backgrounds partnership. Development of skills facilitating implementation of euro-codes. Leonardo da Vinci Pilot Project CZ/02/B/F/PP-134007. Prague, 2005, p. 254.
11. Егоров В.В., Беленцов Ю.А., Абу-Хасан М.С., Куправа Л.Р. Повышение качества контроля механических свойств бетона при использовании комплекса контроля по двум параметрам // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2019. № 8. С. 35–37.
12. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: Стандартинформ; 2019.

References

1. State Standard 18105-2010. Concrete. Rules for strength control and assessment. Moscow: Standartinform; 2012. (In Russian).
2. Efremov I.V., Rakhimova N.N. Reliability of technical systems and technogenic risk. Orenburg: OSU; 2013. (In Russian).
3. Raiser V.D. Optimization of structural reliability and human safety. Collection of scientific articles "Actual problems of research on the theory of structures" TSNISK named after Koucherenko. 2009, vol. 1, pp. 22–31. (In Russian).
4. Belentsov Yu.A., Ilyinskaya G.G., Lesovik V.S. Improving the reliability of structures by control of the parameters of composite material. *Building materials*. 2011, no. 3, pp. 90–92. (In Russian).
5. Rzhanytsyn A.R. Theory of calculation of building structures for reliability. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1978. 239 p. (In Russian).
6. State Standard 10180-2012. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).
7. Raiser V.D. Theory of reliability of structures. Moscow: ASW Publishing House; 2010. 384 p. (In Russian).
8. Lantukh-Lyashchenko A.I. The concept of reliability in the Eurocode. *Mosti ta tuneli: theory, doslidzhennya, praktika*. 2014, no. 6, pp. 79–88. (In Russian).
9. NSR EN 1990-2011. EUROCODE 0: Fundamentals of design of structures. Moscow; 2011. (In Russian).

10. Handbook 2 reliability backgrounds partnership. Development of skills facilitating implementation of euro-codes. Leonardo da Vinci Pilot Project CZ/02/B/F/PP-134007. Prague, 2005, p. 254.
11. Egorov V.V., Belentsov Yu.A., AbuKhasan M.S., Kuprava L.R. Improving the quality control of the mechanical properties of concrete when using the complex control in two ways. *BST: Bulletin of Construction machinery*. 2019, no. 8, 2019, pp. 35–37. (In Russian).
12. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Moscow: Standartinform; 2019. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Юрий Алексеевич Беленцов✉, д-р техн. наук, профессор кафедры «Строительные материалы и технологии», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург
e-mail: belents@mail.ru

Yuri A. Belentsov✉, Dr. Sci. (Engineering), Professor of the "Building Materials and Technologies" Department, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg
e-mail: belents@mail.ru

Дарья Алексеевна Черепанова, менеджер по качеству, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург
e-mail: cherepanova@pgups.ru

Daria A. Cherepanova, Quality Manager, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg
e-mail: cherepanova@pgups.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



МИНСТРОЙ
РОССИИ



НИИ строительство
научно-исследовательский центр



ЦНИИСК
им. В.А. Кучеренко



НИИЖБ
им. А.А. Гвоздева



НИИОСП
им. Н.М. Герсеванова

II МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОНГРЕСС

Наука и инновации

forum-cstroy.ru



Москва
2025

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

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПОСОБНОСТИ МИГРИРУЮЩИХ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ СТАЛИ ПАССИВИРОВАТЬ КОРРОДИРУЮЩУЮ АРМАТУРУ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Аннотация

Введение. Коррозионное состояние стальной арматуры в железобетонных конструкциях и изделиях является основным фактором, определяющим их несущую способность и долговечность. Щелочность поровой жидкости бетона (при $\text{pH} > 11,8$) в железобетонных конструкциях и изделиях в обычных условиях обеспечивает пассивное состояние стальной арматуры. При наличии или при попадании в бетон хлорид-, сульфат- и других аналогичных ионов стальная арматура железобетонных конструкций и изделий депассивируется, несмотря на значение $\text{pH} > 11,8$, и начинает корродировать. Кроме этого, депассивация и последующая коррозия стальной арматуры происходят при карбонизации (нейтрализации) защитного слоя бетона вследствие снижения значения $\text{pH} < 11,8$. Одним из перспективных вариантов замедления или прекращения процессов коррозии стальной арматуры в настоящее время является применение мигрирующих ингибиторов коррозии стали.

Целью работы являлось получение экспериментальных данных по выявлению способности мигрирующих ингибиторов коррозии стали тормозить или полностью прекращать коррозию арматуры в железобетонных конструкциях и изделиях, инициированную наличием в бетоне хлорид-ионов (Cl^-) или нейтрализацией защитного слоя бетона по отношению к стальной арматуре. **Материалы и методы.** Для проведения испытаний были использованы следующие виды мигрирующих ингибиторов коррозии стали:

– Cortec MCI-2020 (производитель ООО «КОРТЕК РУС» (КОРТЕК), поставщики ООО «Эттрилат», ООО «МОНУМЕНТ»);
– ИФХАН-80 (производитель и поставщик ООО «ИФХАН»);
– Basf Master-Protect 8000 CI (прежнее название Protectosil® CIT. Поставщики ООО «МБС Строительные системы», ООО «МПКМ», ООО «ЛКМ-ФЛОТ»).
Определение способности мигрирующих ингибиторов коррозии стали тормозить или полностью прекращать коррозию арматуры проводили ускоренными электрохимическими методами исследования в соответствии с ГОСТ 31383-2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний».

Результаты. Все три типа мигрирующих ингибиторов коррозии стали к возрасту 90 суток тормозят коррозию стальной арматуры, инициированную наличием в бетоне хлорид-ионов. Все три типа мигрирующих ингибиторов коррозии стали к возрасту 30 суток не тормозят коррозию стальной арматуры, инициированную карбонизацией бетона.

Выводы. По результатам проведенной работы выявлено, что способность мигрирующих ингибиторов коррозии стали тормозит коррозию стальной арматуры, инициированную наличием в бетоне хлорид-ионов, при этом коррозию стальной арматуры, инициированную карбонизацией бетона мигрирующих ингибиторов коррозии стали, не замедляют и не прекращают.

Ключевые слова: коррозия стальной арматуры, мигрирующие ингибиторы коррозии стали, хлорид-ионы, карбонизация бетона, значение pH

Для цитирования: Беппаев З.У., Аствацатурова Л.Х., Колодяжный С.А., Вернигора С.А., Лопатинский В.В. Определение способности мигрирующих ингибиторов коррозии стали пассивировать корродирующую арматуру в железобетонных конструкциях // Бетон и железобетон. 2023. № 5/6 (619). С. 33–43. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6\(619\)-33-43](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6(619)-33-43)

Вклад авторов

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

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

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

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

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 10.11.2023

Поступила после рецензирования 07.12.2023

Принята к публикации 14.12.2023

Z.U. BEPPAEV✉, L.H. ASTVATSATUROVA, S.A. KOLODYAZHNIY,
S.A. VERNIGORA, V.V. LOPATINSKIY

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

DETERMINATION OF THE ABILITY OF MIGRATING STEEL CORROSION INHIBITORS TO PASSIVATE CORRODING REINFORCEMENT IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Abstract

Introduction. The corrosion condition of steel reinforcement in reinforced concrete structures and products is the main factor determining their bearing capacity and durability. The alkalinity of the pore liquid of concrete (at $\text{pH} > 11.8$) in reinforced concrete structures and products under normal conditions ensures the passive state of steel reinforcement. In the presence or when chloride, sulfate and other analogous ions enter the concrete, the steel reinforcement of reinforced concrete structures and products depassives, despite the pH value > 11.8 , and begins to corrode. In addition, depassivation and subsequent corrosion of steel reinforcement occur during carbonation (neutralization) of the protective layer of concrete due to a decrease in $\text{pH} < 11.8$. One of the promising options for slowing down or stopping the corrosion processes of steel reinforcement is currently the use of migrating corrosion inhibitors.

The aim of the work was to obtain experimental data on the ability of migrating steel corrosion inhibitors to inhibit or completely stop the corrosion of reinforcement in reinforced concrete structures and products initiated by the presence of chloride ions (Cl^-) in concrete or neutralization of the protective layer of concrete in relation to steel reinforcement.

Materials and methods. The following types of migrating steel corrosion inhibitors were used for testing:

- Cortec MCI-2020 (manufacturer – KORTEK RUS (KORTEK) LLC, suppliers – Ettrilat LLC, MONUMENT LLC);
- IFKHAN-80 (manufacturer and supplier – IFKHAN LLC);
- Basf Master-Protect 8000 CI (former name Protectosil® CIT. Suppliers – MBS Construction Systems LLC, MPKM LLC, LKM-FLEET LLC).

The determination of the ability of migrating steel corrosion inhibitors to inhibit or completely stop the corrosion of reinforcement was carried out by accelerated electrochemical research methods in accordance with State Standard 31383-2008 "Protection of concrete and reinforced concrete structures from corrosion. Test methods".

Results. All three types of migrating steel corrosion inhibitors inhibit corrosion of steel reinforcement initiated by the presence of chloride ions in concrete by the age of 90 days. All three types of migrating steel corrosion inhibitors by the age of 30 days do not inhibit the corrosion of steel reinforcement initiated by concrete carbonation.

Conclusions. According to the results of the work, it was revealed that the migrating steel corrosion inhibitors inhibit the corrosion of steel reinforcement initiated by the presence of chloride ions in concrete, while the corrosion initiated by the carbonation of concrete is not slowed down or stopped by migrating steel corrosion inhibitors.

Keywords: corrosion of steel reinforcement, migrating steel corrosion inhibitors, chloride ions, concrete carbonation, pH value

For citation: Beppaev Z.U., Astvatsaturova L.H., Kolodyazhnyi S.A., Vernigora S.A., Lopatinskiy V.V. Determination of the ability of migrating steel corrosion inhibitors to passivate corroding reinforcement in reinforced concrete structures. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 5/6 (619), pp. 33–43. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6\(619\)-33-43](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6(619)-33-43)

Author contribution statements

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

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

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

Vernigora S.A., Lopatinskiy V.V. – execution of the experimental part.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 10.11.2023

Revised 07.12.2023

Accepted 14.12.2023

Введение

Коррозионное состояние стальной арматуры в железобетонных конструкциях и изделиях является основным фактором, определяющим их несущую способность и долговечность. Щелочность поровой жидкости бетона (при $pH > 11,8$) в железобетонных конструкциях и изделиях в обычных условиях обеспечивает пассивное состояние стальной арматуры. При наличии или при попадании в бетон хлорид-, сульфат- и других аналогичных ионов стальная арматура железобетонных конструкций и изделий депассивируется, несмотря на значение $pH > 11,8$, и начинает корродировать. Кроме этого, депассивация и последующая коррозия стальной арматуры происходят при карбонизации (нейтрализации) защитного слоя бетона вследствие снижения значения $pH < 11,8$.

В настоящее время стальная арматура железобетонных конструкций и изделий большинства зданий и сооружений (в том числе объектов культурного наследия и памятников истории и культуры), построенных в XIX–XX веках, находится в депассивированном состоянии и подвергается различным видам коррозии. Ремонт железобетонных конструкций и изделий с депассивированной и корродирующей арматурой производится, как правило, методом удаления (демонтажа) защитного слоя бетона до полного оголения стальной арматуры. Далее производится очистка и обработка корродированной арматуры различными преобразователями ржавчины и восстанавливается защитный слой бетона с применением дорогостоящих ремонтных составов. Применение такого метода при ремонте железобетонных конструкций малой толщины (полки в ребристых плитах перекрытий, пустотные плиты перекрытий, узкие ригели и балки, капители и консоли колонн и т. п.) технологически крайне затруднительно и требует больших материальных затрат. Кроме этого, при производстве таких работ на конструкции действуют ударно-импульсные нагрузки, которые инициируют образование трещин и других повреждений конструкций.

Для решения этих проблем в развитых странах мира, в том числе в Российской Федерации, интенсивно развивалась идея создания мигрирующих ингибиторов коррозии стали, способных диффундировать через толщу бетона к поверхности арматуры и замедлить или полностью остановить ее коррозию.

Впервые мигрирующие ингибиторы коррозии стали были применены американской фирмой Cortec Corporation. В СССР исследования и разработка эффективных ингибиторов коррозии стали велись с середины 1950-х годов [1]. Исследования мигрирующих ингибиторов коррозии стали проводились в Институте физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина – ИФХЭ РАН [2]. В ходе проведения исследований процессов атмосферной коррозии металлов были синтезированы летучие ингибиторы коррозии стали, способные адсорбироваться на поверхности металлов и замедлять их коррозию.

В процессе дальнейших исследований были синтезированы мигрирующие ингибиторы коррозии стали на основе водных растворов карбоксилатных ингибиторов и их смесей с традиционными для строительной области нитритами, модифицированных добавками ПАВ. Это оказало значительное влияние на практику противокоррозионной защиты железобетонных конструкций, повысило глубину проникновения мигрирующих ингибиторов коррозии и улучшило их технологические характеристики.

В настоящее время в нашей стране появились и применяются отечественные разработки. Ведущим производителем мигрирующих ингибиторов коррозии в нашей стране является ООО «ИФХАН».

Мигрирующие ингибиторы коррозии стали (по данным рекламных буклетов производителей и поставщиков), в отличие от известных (не мигрирующих) ингибиторов, обладают способностью диффундировать (мигрировать) вглубь железобетонной конструкции или изделия. Процесс диффузии мигрирующих ингибиторов коррозии стали осуществляется при их нанесении на поверхность железобетонной конструкции или изделия, а также при добавлении их в используемую ремонтную смесь. Достигая поверхность стальной арматуры, мигрирующие ингибиторы должны замедлять или полностью останавливать коррозию стальной арматуры в эксплуатируемых железобетонных конструкциях и изделиях.

Современные мигрирующие ингибиторы коррозии стали представляют собой комплексные соединения, состоящие из смеси высокоэффективных ингибиторов (замедлителей) коррозии, взаимоусиливающих защитное действие друг друга, и дополнительно содержащие органические присадки проникающего действия. Представленные на рынке мигрирующие ингибиторы коррозии стали представляют собой жидкости от прозрачного до желтоватых цветов. При нанесении на поверхность железобетонной конструкции или изделия либо добавлении ингибитора в используемые ремонтные смеси ингибитор впитывается в бетонный камень, достигает арматуры, адсорбируется на ней и, образуя наноразмерные защитные слои, способствует торможению коррозионного разрушения металла.

Учитывая информацию из рекламных буклетов производителей и поставщиков, можно выделить следующие преимущества мигрирующих ингибиторов коррозии стали:

- не меняют внешний вид и структуру бетона;
- не влияют на прочность, паропроницаемость и морозостойкость бетона;
- не снижают сцепление бетона с арматурой;
- совместимы с любым бетоном на портландцементе, включая составы с добавками-модификаторами;
- наносятся на поверхность конструкций и оказывают проникающим действием;

- предотвращают развитие имеющихся очагов коррозии и появление новых;
- образуют защитную пленку на арматуре;
- снимают проблему непосредственного нанесения антикоррозионного покрытия на арматуру;
- представляют собой материалы на водной базе и не токсичны;
- просты в применении (нанесении) и экономичны;
- увеличивают срок службы железобетонных конструкций и изделий.

При перечислении положительных характеристик мигрирующих ингибиторов коррозии стали их производители и поставщики зачастую в рекламных буклетах делают сноски, которые в принципе снимают с них ответственность в случае несоответствия декларируемых свойств мигрирующих ингибиторов коррозии стали фактически полученным при их использовании результатам. Кроме этого, в литературных источниках очень мало информации о результатах исследований свойств мигрирующих ингибиторов коррозии стали. Таким образом, вопросы, связанные с использованием мигрирующих ингибиторов коррозии стали для прекращения или замедления скорости коррозии арматуры в эксплуатируемых железобетонных конструкциях и изделиях, в настоящее время являются в достаточной степени актуальными и требуют детального изучения.

Цель

Целью работы являлось получение экспериментальных данных по выявлению способности мигрирующих ингибиторов коррозии стали тормозить или полностью прекращать коррозию арматуры в железобетонных конструкциях и изделиях, инициированную наличием в бетоне хлорид-ионов (Cl^-) или нейтрализацией защитного слоя бетона по отношению к стальной арматуре.

Материалы и методы

Для проведения испытаний были использованы следующие виды мигрирующих ингибиторов коррозии стали:

- Cortec MCI-2020: производитель ООО «КОРТЕК РУС» (КОРТЕК), поставщики ООО «Эттрилат», ООО «МОНУМЕНТ»;
- ИФХАН-80: производитель и поставщик ООО «ИФХАН»;
- Basf Master-Protect 8000 CI (прежнее название Protectosil® CIT): поставщики ООО «МБС Строительные системы», ООО «МПКМ», ООО «ЛКМ-ФЛОТ».

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены три вида (типа) образцов.

1. В лабораторных условиях были изготовлены бетонные (без арматурных стержней) опытные образцы класса В30 размерами $70 \times 70 \times 70$ мм. На этих образцах определяли прочность, плотность и водопоглощение бетона. Общий вид образцов приведен на рис. 1.

2. В лабораторных условиях были изготовлены бетонные опытные образцы в виде балок-призм с размерами $70 \times 70 \times 140$ мм, армированные стальными стержнями класса А240 диаметром 5 и длиной (120 ± 5) мм. Поверхность стержней, включая торцы, была отшлифована абразивной шкуркой до 7-го класса чистоты и перед заделкой в бетон обезжирена ацетоном. Стержни укладывали параллельно продольной оси симметрии образцов из бетона так, чтобы защитный слой бетона по всей длине стержней был равен (30 ± 3) мм. Состав бетона этих образцов был идентичен составу бетона для неармированных образцов. Для депассивации и инициирования коррозии стальных стержней в бетонную смесь был введен хлористый кальций в количестве 2,5 % от массы цемента. На изготовленных таким образом образцах проводились электрохимические исследования. Общий вид образцов приведен на рис. 2 и 3.

3. Из сносимых по программе реновации домов (в г. Москве возрастом около 70 лет) были отобраны фрагменты ребристых плит покрытия из мелкозернистого бетона. Из этих фрагментов были изготовлены (выпилены) образцы с одним арматурным стержнем с размерами от $50 \times 50 \times 70$ до $70 \times 70 \times 150$ мм. Торцы образцов с оголенной арматурой парафинировались. В боковых гранях образцов защитный слой бетона составлял от 25 до 50 мм. Стержни в образцах были класса А240 диаметром 4 мм. Защитный слой бетона был полностью карбонизирован, поверхность арматурных стержней частично была покрыта равномерной коррозией. На этих образцах проводились электрохимические исследования. Общий вид образцов приведен на рис. 4 и 5.

Изготовленные в лаборатории образцы (размерами $70 \times 70 \times 70$ и $70 \times 70 \times 140$ мм) подвергались тепло-влажностной обработке с режимом 2 ч (период предварительного выдерживания и период подъема температуры) + 8 ч (период изотермического прогрева) + 3 ч (период охлаждения) при температуре $t = 60\text{--}65^\circ\text{C}$.

В лабораторных условиях всего было изготовлено 9 образцов с размерами $70 \times 70 \times 70$ мм и 27 образцов с размерами $70 \times 70 \times 140$ мм. Часть образцов с размерами $70 \times 70 \times 140$ мм (в количестве 9 штук) рассматривалась как контрольные образцы, на них мигрирующих ингибиторов коррозии стали не наносили. На вертикальные грани остальных образцов (в количестве по 6 штук) наносились исследуемые мигрирующие ингибиторы коррозии стали.

Из фрагментов железобетонных плит с возрастом около 70 лет с карбонизированным защитным слоем бетона были изготовлены 15 образцов. Часть этих образцов (в количестве 6 штук) рассматривалась как контрольные образцы, на них мигрирующие ингибиторы коррозии стали не наносились. На все грани остальных образцов (в количестве по 3 штук) наносились исследуемые мигрирующие ингибиторы коррозии стали.



Рис. 1. Общий вид образцов с размерами $70 \times 70 \times 70$ мм без арматурных стержней для определения прочности, плотности и водопоглощения бетона

Fig. 1. General view of samples with dimensions of $70 \times 70 \times 70$ mm without reinforcing bars for determining the strength, density and water absorption of concrete



Рис. 2. Общий вид арматурного стержня и его расположения в образце-призме с размерами $70 \times 70 \times 140$ мм

Fig. 2. General view of the reinforcing bar and its location in a sample prism with dimensions of $70 \times 70 \times 140$ mm



Рис. 3. Общий вид подготовленных для проведения исследований балок-призм с размерами $70 \times 70 \times 140$ мм

Fig. 3. General view of the prism beams prepared for research with dimensions of $70 \times 70 \times 140$ mm



Рис. 4. Общий вид арматуры и бетона образцов, возраст которых составляет около 70 лет, с карбонизированным (нейтрализованным) защитным слоем бетона

Fig. 4. General view of reinforcement and concrete samples, which are about 70 years old, with a carbonized (neutralized) protective layer of concrete



Рис. 5. Общий вид подготовленных для проведения исследований образцов бетона, возраст которых составляет около 70 лет, с карбонизированным защитным слоем бетона

Fig. 5. General view of concrete samples prepared for research, which are about 70 years old, with a carbonized protective layer of concrete

Мигрирующие ингибиторы коррозии стали на образцы наносили в полном соответствии с рекомендациями изготовителей и поставщиков.

Электрохимические испытания (для заформованных в лаборатории образцов) были проведены в исходном состоянии после пропаривания (для контрольных образцов), далее – после 30 и 90 суток хранения в камере нормального твердения. Для образцов с мигрирующими ингибиторами коррозии стали электрохимические испытания были проведены через 30 и 90 суток после их нанесения и хранения в камере нормального твердения.

Электрохимические испытания для образцов возрастом около 70 лет были проведены в исходном состоянии после изготовления, далее – после 30 суток хранения в камере нормального твердения. Для образцов с мигрирующими ингибиторами коррозии стали электрохимические испытания были проведены через 30 суток после их нанесения и хранения в камере нормального твердения.

Определение способности мигрирующих ингибиторов коррозии стали тормозить или полностью прекращать коррозию арматуры проводили ускоренными электрохимическими методами исследования в соответствии с ГОСТ 31383-2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний» [3]. Электрохимические методы испытаний основаны на оценке пассивирующего действия бетона по отношению к стальной арматуре и на получении зависимости плотности электрического тока от электрического потенциала стальной арматуры (потенциодинамический метод со снятием анодных поляризационных кривых – плотность тока-потенциал) и значения потенциала стальной арматуры в бетоне от плотности тока (гальванодинамический метод), на сравнении полученных результатов с установленными критическими значениями.

Коррозионное состояние стальной арматуры в бетоне оценивалось в соответствии с п. 8.5.4 ГОСТ 31383-2008 [3] по показателям, приведенным в табл. 1.

По проведенным электрохимическим исследованиям определялась:

– способность мигрирующих ингибиторов коррозии стали тормозить или полностью прекращать кор-

розию стальной арматуры, инициированную наличием в бетоне хлорид-ионов;

– способность мигрирующих ингибиторов коррозии стали тормозить или полностью прекращать коррозию арматуры, инициированную карбонизацией (со снижением $pH < 11,8$) защитного слоя бетона.

Результаты

Результаты определения прочности лабораторных образцов бетона приведены в табл. 2. Результаты определения плотности и водопоглощения лабораторных образцов бетона приведены в табл. 3 и 4.

Результаты определения коррозионного состояния стальной арматуры в лабораторных бетонных образцах с размерами 70 × 70 × 140 мм приведены в табл. 5. Результаты определения коррозионного состояния стальной арматуры в карбонизированных образцах бетона (возрастом около 70 лет) приведены в табл. 6.

Анодные поляризационные кривые стали в образцах бетона, заформованных в лабораторных условиях, приведены на рис. 6–12. Анодные поляризационные кривые стали в образцах бетона с возрастом около 70 лет (с карбонизированным защитным слоем) приведены на рис. 13–16.

Таблица 1

Table 1

Показатели коррозионного состояния стальной арматуры в бетоне
Indicators of the corrosion condition of steel reinforcement in concrete

Наименование показателей коррозионного состояния арматурной стали	Коррозионное состояние стальной арматуры
<i>Потенциодинамический метод</i> Плотность тока при потенциале +300 мВ: до 10 мкА/см ² включительно от 10 до 25 мкА/см ² включительно свыше 25 мкА/см ²	пассивное состояние неустойчивое пассивное состояние интенсивная коррозия
<i>Гальванодинамический метод</i> Потенциал через (60 ± 5) с после отключения тока: более +5 мВ менее +5 мВ	пассивное состояние активное состояние, коррозия

Таблица 2

Table 2

Результаты определения прочности образцов бетона
The results of determining the strength of concrete samples

№ п/п	Маркировка серии	Ширина сечения, мм	Длина сечения, мм	Высота образца, мм	Разрушающая нагрузка, Р, кН	Прочность бетона, МПа	
						R_i	R_m
1	1П	70,7	70,7	70,7	190,5	32,4	33,3
2	2П	70,7	70,7	70,7	194,8	33,1	
3	3П	70,7	70,7	70,7	198,2	33,7	
4	4П	70,7	70,7	70,7	200,4	34,1	
5	5П	70,7	70,7	70,7	189,9	32,3	
6	6П	70,7	70,7	70,7	201,7	34,3	

Таблица 3
Table 3

Результаты определения плотности образцов бетона
The results of determining of the density of concrete samples

№ п/п	Размеры образцов, мм	Масса образца, г	Объем образца, см ³	Плотность образца, кг/м ³	Среднее значение плотности, кг/м ³
1	70 × 70 × 70	781	343	2277	2233
2	70 × 70 × 70	766	343	2233	
3	70 × 70 × 70	751	343	2190	

Таблица 4
Table 4

Результаты определения водопоглощения образцов бетона
Results of determination of water absorption of concrete samples

№ п/п	Размеры образцов, мм	Масса водонасыщенного образца, г	Масса высушенного образца, г	Водопоглощение образца, W_m , %	Водопоглощение среднее, W_m ср., %
1	70 × 70 × 70	725	696	4,1	4,3
2	70 × 70 × 70	718	688	4,4	
3	70 × 70 × 70	721	691	4,3	

Таблица 5
Table 5

Результаты определения коррозионного состояния стальной арматуры в лабораторных бетонных образцах
The results of determining of the corrosion state of steel reinforcement in laboratory concrete samples

№ п/п	Образцы бетона. Вид мигрирующих ингибиторов коррозии	Возраст образцов	Плотность тока при потенциале + 300 мВ, мкА/см ²	Потенциал через (60 ± 5) с после отключения тока, мВ	Коррозионное состояние стальной арматуры
1	Контрольные образцы без ингибиторов коррозии стали	исх. сост.	8,16–50,54	от -112 до +145	Неустойчиво пассивное и интенсивная коррозия. Неустойчиво пассивное и интенсивная коррозия. Интенсивная коррозия.
		30 суток	10,2–13,3	от -86 до -96	
		90 суток	14,29–14,89	от -66 до -81	
2	Образцы бетона с ингибитором коррозии стали Cortec MCI-2020	30 суток	8,3–10,7	от -16 до +129	Неустойчиво пассивное и интенсивная коррозия. Пассивная
		90 суток	3,23–8,52	от +151 до +198	
3	Образцы бетона с ингибитором коррозии стали ИФХАН-80	30 суток	7,3–10,6	от -114 до +144	Неустойчиво пассивное и интенсивная коррозия. Пассивная
		90 суток	7,12–9,98	от +36 до +81	
4	Образцы бетона с ингибитором коррозии стали Basf Master-Protect 8000 CI	30 суток	6,5–17,7	от -283 до +10	Неустойчиво пассивное и интенсивная коррозия. Неустойчиво пассивное и пассивная
		90 суток	3,64–11,25	от -159 до +156	

Таблица 6
Table 6

Результаты определения коррозионного состояния стальной арматуры в карбонизированных образцах бетона (возрастом около 70 лет)
The results of determining of the corrosion state of steel reinforcement in carbonized concrete samples (about 70 years old)

№ п/п	Образцы бетона. Вид мигрирующих ингибиторов коррозии	Возраст образцов	Плотность тока при потенциале + 300 мВ, мкА/см ²	Потенциал через (60 ± 5) с после отключения тока, мВ	Коррозионное состояние стальной арматуры
1	Контрольные образцы без ингибиторов коррозии стали	исх. сост.	44,1–53,5	от -601 до -534	Интенсивная коррозия
2	Образцы бетона с ингибитором коррозии стали Cortec MCI-2020	30 суток	25,5–69,6	от -557 до -511	Интенсивная коррозия
3	Образцы бетона с ингибитором коррозии стали ИФХАН-80	30 суток	22,1–32,1	от -420 до -12	Интенсивная коррозия
4	Образцы бетона с ингибитором коррозии стали Basf Master-Protect 8000 CI	30 суток	11,5–39,3	от -459 до -19	Интенсивная коррозия

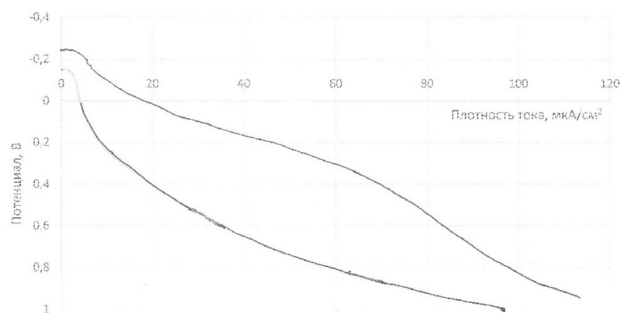


Рис. 6. Область анодных поляризационных кривых стали в образцах бетона, заформованных в лабораторных условиях, в исходном (после ТВО) состоянии и в возрасте 30 и 90 суток. Арматура находится в неустойчиво пассивном состоянии и в состоянии интенсивной коррозии

Fig. 6. The area of anodic polarization curves of steel in concrete samples molded in laboratory conditions, in the initial (after TVO) state and at the age of 30 and 90 days. The fittings are in an unstable passive state and in a state of intense corrosion

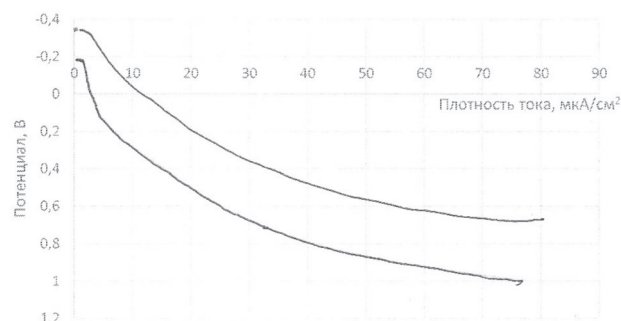


Рис. 7. Область анодных поляризационных кривых стали в образцах бетона, заформованных в лабораторных условиях, с ингибитором коррозии стали Cortec MCI-2020 в возрасте 30 суток. Арматура находится в неустойчиво пассивном состоянии и в состоянии интенсивной коррозии

Fig. 7. The area of anodic polarization curves of steel in concrete samples molded in laboratory conditions with a Cortec MCI-2020 steel corrosion inhibitor at the age of 30 days. The reinforcement is in an unstable passive state and in a state of intense corrosion

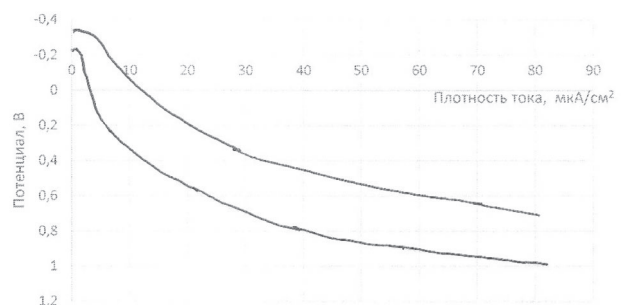


Рис. 8. Область анодных поляризационных кривых стали в образцах бетона, заформованных в лабораторных условиях, с ингибитором коррозии стали ИФХАН-80 в возрасте 30 суток. Арматура находится в неустойчиво пассивном состоянии и в состоянии интенсивной коррозии

Fig. 8. The area of anodic polarization curves of steel in concrete samples molded in laboratory conditions with IFKHAN-80 steel corrosion inhibitor at the age of 30 days. The reinforcement is in an unstable passive state and in a state of intense corrosion

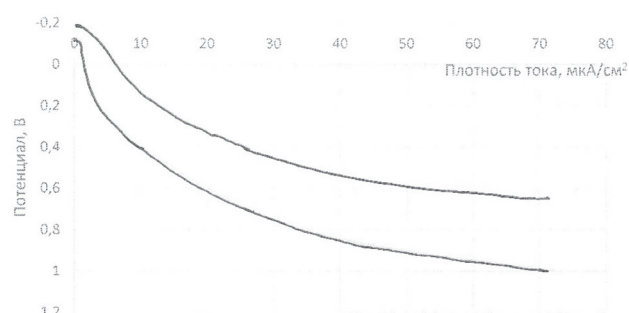


Рис. 9. Область анодных поляризационных кривых стали в образцах бетона, заформованных в лабораторных условиях, с ингибитором коррозии стали Basf Master-Protect 8000 CI в возрасте 30 суток. Арматура находится в неустойчиво пассивном состоянии и в состоянии интенсивной коррозии

Fig. 9. The area of anodic polarization curves of steel in concrete samples molded in laboratory conditions with a corrosion inhibitor of Basf Master-Protect 8000 CI steel at the age of 30 days. The reinforcement is in an unstable passive state and in a state of intense corrosion

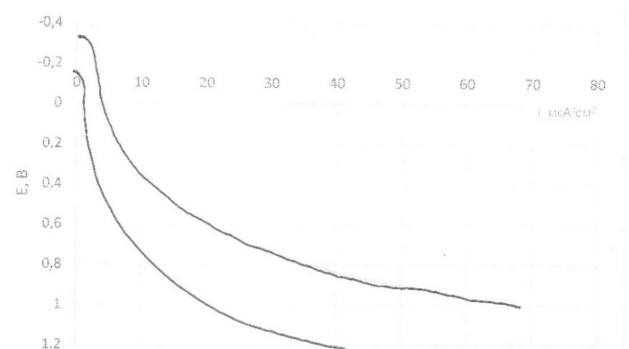


Рис. 10. Область анодных поляризационных кривых стали в образцах бетона, заформованных в лабораторных условиях, с ингибитором коррозии стали Cortec MCI-2020 в возрасте 90 суток. Арматура находится в пассивном состоянии

Fig. 10. The area of anodic polarization curves of steel in concrete samples molded in laboratory conditions with a Cortec MCI-2020 steel corrosion inhibitor at the age of 90 days. The reinforcement is in a passive state

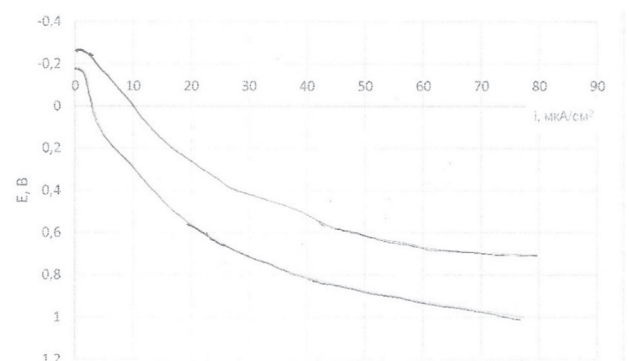


Рис. 11. Область анодных поляризационных кривых стали в образцах бетона, заформованных в лабораторных условиях, с ингибитором коррозии стали ИФХАН-80 в возрасте 90 суток. Арматура находится в пассивном состоянии

Fig. 11. The area of anodic polarization curves of steel in concrete samples molded in laboratory conditions with IFKHAN-80 steel corrosion inhibitor at the age of 90 days. The reinforcement is in a passive state

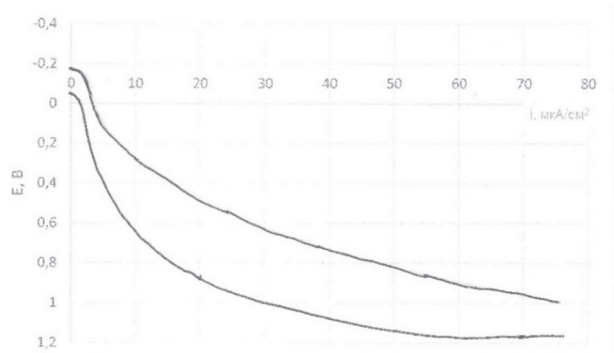


Рис. 12. Область анодных поляризационных кривых стали в образцах бетона, заформованных в лабораторных условиях, с ингибитором коррозии стали Basf Master-Protect 8000 CI в возрасте 30 суток. Арматура находится в неустойчиво пассивном состоянии и преимущественно в пассивном состоянии

Fig. 12. The area of anodic polarization curves of steel in concrete samples molded in laboratory conditions with a corrosion inhibitor of Basf Master-Protect 8000 CI steel at the age of 30 days. The reinforcement is in an unstable passive state and is predominantly in a passive state

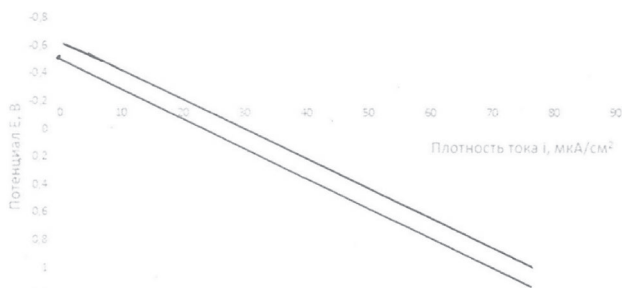


Рис. 13. Область анодных поляризационных кривых стали в карбонизированных образцах бетона (возрастом около 70 лет) без ингибиторов коррозии стали в исходном состоянии (сразу после изготовления) и возрасте 30 суток. Арматура находится в состоянии интенсивной коррозии

Fig. 13. The area of anodic polarization curves of steel in carbonized concrete samples (about 70 years old) without corrosion inhibitors of steel in its initial state (immediately after manufacture) and at the age of 30 days. The reinforcement is in a state of intense corrosion

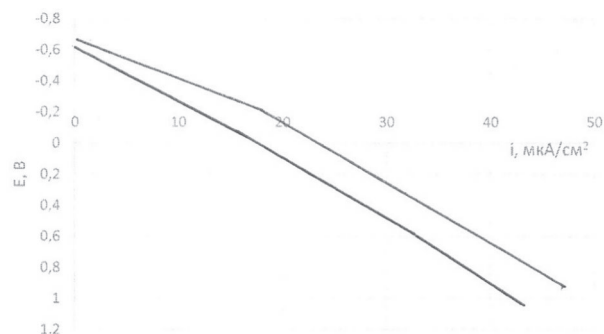


Рис. 14. Область анодных поляризационных кривых стали в карбонизированных образцах бетона (возрастом около 70 лет) с ингибитором коррозии стали Cortec MCI-2020 в возрасте 30 суток. Арматура находится в состоянии интенсивной коррозии

Fig. 14. The area of anodic polarization curves of steel in carbonized concrete samples (about 70 years old) with a Cortec MCI-2020 steel corrosion inhibitor at the age of 30 days. The reinforcement is in a state of intense corrosion

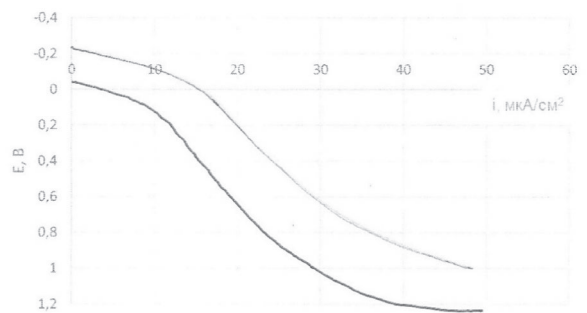


Рис. 15. Область анодных поляризационных кривых стали в карбонизированных образцах бетона (возрастом около 70 лет) с ингибитором коррозии стали ИФХАН-80 в возрасте 30 суток. Арматура находится в состоянии интенсивной коррозии

Fig. 15. The area of anodic polarization curves of steel in carbonized concrete samples (about 70 years old) with IFKHAN-80 steel corrosion inhibitor at the age of 30 days. The reinforcement is in a state of intense corrosion

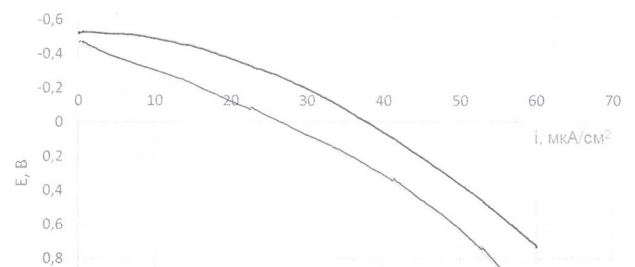


Рис. 16. Область анодных поляризационных кривых стали в карбонизированных образцах бетона (возрастом около 70 лет) с ингибитором коррозии стали Basf Master-Protect 8000 CI в возрасте 30 суток. Арматура находится в состоянии интенсивной коррозии

Fig. 16. The area of anodic polarization curves of steel in carbonized concrete samples (about 70 years old) with Basf Master-Protect 8000 CI steel corrosion inhibitor at the age of 30 days. The reinforcement is in a state of intense corrosion

Выводы

1. Стальная арматура в контрольных образцах бетона (заформованных в лабораторных условиях) в исходном состоянии (после ТВО) находится в неустойчивом пассивном состоянии и в состоянии интенсивной коррозии. Стальная арматура в контрольных образцах бетона (заформованных в лабораторных условиях) в возрасте 30 и 90 суток находится в неустойчивом пассивном состоянии и в состоянии интенсивной коррозии.

2. Стальная арматура в образцах бетона, обработанных Cortec MCI-2020 (заформованных в лабораторных условиях), в возрасте 30 суток находится в неустойчивом пассивном состоянии и в состоянии интенсивной коррозии. Стальная арматура в образцах бетона, обработанных Cortec MCI-2020 (заформованных в лабораторных условиях), в возрасте 90 суток находится в пассивном состоянии. Применение мигрирующего ингибитора коррозии стали Cortec MCI-2020 в возрасте 90 суток тормозит коррозию стали.

3. Стальная арматура в образцах бетона, обработанных ИФХАН-80 (заформованных в лабораторных условиях), в возрасте 30 суток находится в неустойчивом пассивном состоянии и в состоянии интенсивной коррозии. Стальная арматура в образцах бетона, обработанных ИФХАН-80 (заформованных в лабораторных условиях), в возрасте 90 суток находится в пассивном состоянии. Применение мигрирующего ингибитора коррозии стали ИФХАН-80 в возрасте 90 суток тормозит коррозию стали.

4. Стальная арматура в образцах бетона, обработанных Basf Master-Protect 8000 CI (заформованных в лабораторных условиях), в возрасте 30 суток находится в неустойчивом пассивном состоянии и в состоянии интенсивной коррозии. Стальная арматура в образцах бетона, обработанных Basf Master-Protect 8000 CI (заформованных в лабораторных условиях), в возрасте 90 суток находится в неустойчивом пассивном и в пассивном состоянии. Применение мигрирующего ингибитора коррозии стали Basf Master-Protect 8000 CI в возрасте 90 суток тормозит коррозию стали.

5. Стальная арматура в бетонных образцах с карбонизированным (нейтрализованным) защитным слоем бетона (образцы без обработки мигрирующими ингибиторами коррозии стали) находится в состоянии интенсивной коррозии. Стальная арматура в бетонных образцах с карбонизированным (нейтрализованным) защитным слоем бетона, обработанных мигрирующими ингибиторами коррозии Cortec MCI-2020, ИФХАН-80 и Basf Master-Protect 8000 CI, в возрасте 30 суток находится в состоянии интенсивной коррозии. Применение мигрирующих ингибиторов коррозии стали Cortec MCI-2020, ИФХАН-80 и Basf Master-Protect 8000 CI в возрасте 30 суток не тормозит коррозию стали.

Список литературы

1. Розенфельд И.Л. Коррозия и защита металлов. Москва: Металлургия; 1969. 448 с.
2. Кузнецов Ю.И., Андреев Н.Н., Маршаков А.И. Физико-химические аспекты ингибирования коррозии металлов // Журнал физической химии. 2020. Т. 94. № 3. С. 381–392.
3. ГОСТ 31383-2008. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний. Москва: Стандартинформ; 2010.

References

1. Rosenfeld I.L. Corrosion and protection of metals. Moscow: Metallurgy; 1969. 448 p. (In Russian).
2. Kuznetsov Y.I., Andreev N.N., Marshakov A.I. Physicochemical aspects of metal corrosion inhibition. *Russian Journal of Physical Chemistry*. 2020, vol. 94, no. 3, pp. 505–515. (In Russian).
3. State Standard 31383-2008. Protection against corrosion of concrete and reinforced concrete constructions. Test methods. Moscow: Standartinform Publ.; 2010. (In Russian).

Информация об авторах /

Information about the authors

Замир Узаирович Беппаев ✉, канд. техн. наук, заведующий лабораторией обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: beton61@mail.ru

Zamir U. Bepaev ✉, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory of the Survey and Ensure Durability of Concrete and Concrete Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: beton61@mail.ru

Лидия Хореновна Аствацатурова, старший научный сотрудник лаборатории обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: beton61@mail.ru

Lidia H. Astvatsaturova, Senior Researcher of the Laboratory of the Survey and Ensure Durability of Concrete and Concrete Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: beton61@mail.ru

Сергей Алексеевич Колодяжный, научный сотрудник лаборатории обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: beton61@mail.ru

Sergey A. Kolodyazhnyi, Researcher of the Laboratory of the Survey and Ensure Durability of Concrete and Concrete Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: beton61@mail.ru

Сергей Анатольевич Вернигора, младший научный сотрудник лаборатории обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: nk1956@yandex.ru

Sergey A. Vernigora, Junior Researcher of the Laboratory of the Survey and Ensure Durability of Concrete and Concrete Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: nk1956@yandex.ru

Владислав Владимирович Лопатинский, инженер лаборатории обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: labor9@mail.ru

Vladislav V. Lopatinskiy, Engineer of the Laboratory of the Survey and Ensure Durability of Concrete and Concrete Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: labor9@mail.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



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

Мы – команда единомышленников, способных реализовать самые сложные инженерные проекты

АО «НИЦ «Строительство» – предлагает весь спектр инженеринговых услуг для строительного комплекса



Изыскания



Проектирование



Строительство



Эксплуатация



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр





КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА
ПРОЕКТИРОВАНИЕ
СТРОИТЕЛЬСТВО






+7 (495) 602-00-70
info@cstroy.ru
www.cstroy.ru



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр





ЦНИИСК
ИМ. А.А. КУБЕРЩИКО
НИИЖБ
ИМ. А.А. ГВОЗДЕВА
НИИОСП
ИМ. Н.М. ПЕРЕДАНОВА

С.И. ИВАНОВ^{1,✉}, В.Н. ЕГОРОВ², В.М. НЕСВЕТАЙЛО²

¹ Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

² Государственное бюджетное учреждение города Москвы «Центр экспертиз, исследований и испытаний в строительстве», Рязанский проспект, д. 13, г. Москва, 109052, Российская Федерация

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ПОГРУЖЕНИЯ И ИЗВЛЕЧЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ГВОЗДЕЙ

Аннотация

Введение. Метод контроля прочности бетона на основе погружения стального дюбеля в бетон за счет энергии порохового заряда применяется с 60-х годов прошлого века. С начала 2000-х годов метод был дополнен определением усилия вырыва дюбеля из бетона и определением косвенной характеристики в виде отношения усилия вырыва к глубине погружения дюбеля.

Объектом настоящих исследований являлся метод определения прочности бетонов, основанный на измерении глубины погружения и усилия вырыва дюбель-гвоздя, установленного в бетон.

Цель: разработка требований к проведению испытаний предлагаемым методом, позволяющих его применение в качестве неразрушающего метода контроля прочности бетона.

Материалы и методы. В качестве методов для исследования в настоящей работе применены: анализ имеющихся нормативных документов и технической литературы по данному вопросу; сбор и анализ с использованием методов математической статистики результатов ранее проведенных исследований; разработка программы исследований и назначение параметров, значение которых необходимо контролировать при выполнении исследований; выполнение собственных испытаний и исследований; анализ полученных результатов выполненных исследований с использованием методов математической статистики; анализ влияния различных факторов на результат исследований, исключение не оказывающих влияние факторов; разработка рекомендаций по применению исследуемого метода контроля.

Результаты. Выявлены ограничения для применения исследованного метода и факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на точность метода: разброс мощности порохового заряда, пара-

метры индентора (забиваемого дюбеля), критерии качества установки дюбеля; разработана методика отбраковки некачественных результатов и обработки результатов испытаний. Определены факторы, не оказывающие существенного влияния на результаты испытаний.

Выводы. С учетом выявленных ограничений разработана методика определения прочности бетона по величине усилия местного разрушения бетона при вырывании дюбель-гвоздя, погруженного в бетон, и даны предложения для внесения в стандарт ГОСТ Р «Бетоны. Определение прочности по глубине погружения дюбель-гвоздя».

Ключевые слова: бетон, прочность, пистолет монтажный, стальной гвоздь, патроны, градуировочная зависимость, метод отрыва со скалыванием, отбор кернов

Для цитирования: Иванов С.И., Егоров В.Н., Несветаило В.М. Неразрушающий метод определения прочности бетонов на основе погружения и извлечения стальных гвоздей // *Бетон и железобетон*. 2023. № 5/6 (619). С. 44–55. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6\(619\)-44-55](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6(619)-44-55)

Вклад авторов

Авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование выполнялось за счет средств ФАУ «ФЦС» в 2023 году.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 15.11.2023

Поступила после рецензирования 11.12.2023

Принята к публикации 14.12.2023

S.I. IVANOV^{1,✉}, V.N. EGOROV², V.M. NESVETAILO²

¹ Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev,
JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5,
Moscow, 109428, Russian Federation

² State Budgetary Institution of the city of Moscow "Center for Expertise, Research and
Testing in Construction", Ryazansky Prospekt, 13, Moscow, 109052, Russian Federation

NON–DESTRUCTIVE METHOD FOR DETERMINING THE STRENGTH OF CONCRETE BASED ON IMMERSION AND EXTRACTION OF STEEL NAILS

Abstract

Introduction. The method of concrete strength control based on immersion of a steel dowel into concrete due to the energy of a powder charge has been used since the 60s of the last century. Since the early 2000s, the method has been supplemented by the definition of the dowel pullout force from concrete and the definition of an indirect characteristic in the form of the ratio of the pullout force to the depth of immersion of the dowel.

The object of the present research was a method for determining the strength of concrete based on measuring the depth of immersion and the pulling force of a dowel nail installed in concrete.

Aim: to develop requirements for testing by the proposed method, allowing its use as a non-destructive method for testing the strength of concrete.

Materials and methods. The following research methods are used in this work: analysis of available regulatory documents and technical literature on this issue; collection and analysis of the results of previously conducted research using mathematical statistics methods, development of a research program and assignment of parameters, the value of which must be controlled when performing research; performance of own tests and research; analysis of the obtained results of the performed research using methods of mathematical statistics; analysis of the influence of various factors on the result of research, exclusion of non-influencing factors; development of recommendations for the use of the studied control method.

Results. The limitations for the application of the investigated method and the factors that have the most significant impact on the accuracy of the method are revealed: the power spread of the powder charge, the parameters of the indenter (plugged dowel), the criteria for the quality of the dowel installation; a method for rejecting of low-quality results and processing test results has been developed. The factors that do not have a significant impact on the test results have been identified.

Conclusions. Taking into account the identified limitations, a method has been developed for determining the strength of concrete by the magnitude of the local destruction force of concrete when pulling out a dowel nail immersed in concrete, and proposals have been made for inclusion in the State Standard R "Concretes. Determination of the strength by the depth of immersion of the dowel-nail".

Keywords: concrete, strength, mounting gun, steel nail, cartridges, calibration dependence, separation method with chipping, core selection

For citation: Ivanov S.I., Egorov V.N., Nesvetailo V.M. Non-destructive method for determining the strength of concrete based on immersion and extraction of steel nails. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 5/6 (619), pp. 44–55. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6\(619\)-44-55](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6(619)-44-55)

Author contribution statements

The authors have made an equal contribution to the preparation of the publication.

Funding

The study was carried out at the expense of the Federal Center for Regulation, Standardization and Technical Assessment in Construction (FAU "FCC") in 2023.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 15.11.2023

Revised 11.12.2023

Accepted 14.12.2023

Введение

По инициативе ГБУ ЦЭИИС в 2018–2023 годах выполнялись научно-исследовательские работы по изысканию новых методов контроля прочности бетона. Разработка и совершенствование новых методов базировались на основе российских патентов [1, 2], которые основаны как на измерении глубины погружения в бетон стальных гвоздей (метод, условно названный авторами «методом погружения») [1], так и на основе совершенствования метода отрыва со скалыванием (метод, названный авторами «методом извлечения») [2]. Результаты этих исследований были оформлены в [3–5]. Результаты проведенных исследований подтвердили возможность применения предложенных методов в качестве косвенных неразрушающих методов.

При проведении исследований по разработке «метода погружения» [1] был выявлен ряд замечаний [6]. С целью устранения этих замечаний в 2023 году исследования были продолжены АО «НИЦ «Строительство» совместно с ГБУ ЦЭИИС. Метод по [1, 3] был дополнен новой косвенной характеристикой, представляющей собой отношение усилия извлечения гвоздя к глубине его погружения.

Обзор отечественной и зарубежной литературы

Метод контроля прочности бетона на основе погружения стального гвоздя за счет энергии порохового заряда применяется с 60-х годов прошлого века. Следует отметить, что по классификации отечественных [7] и зарубежных [8–10] нормативных документов метод отрыва со скалыванием является прямым неразрушающим методом. Косвенная характеристика при применении метода отрыва со скалыванием –

это усилие вырыва (извлечения) анкера специальной конструкции с фиксированной глубиной установки. Напротив, в исследуемом методе глубина установки стального гвоздя (анкера) – величина переменная, зависит от мощности патрона. При этом косвенной характеристикой является отношение усилия извлечения дюбель-гвоздя (анкера) к глубине его погружения. Следовательно, хотя в результате испытания и образуется локальное разрушение в виде конуса выкалывания, сходное по форме с результатом испытаний методом отрыва со скалыванием, метод не может быть отнесен к «методу отрыва со скалыванием». По зарубежной классификации [11–13] исследуемый метод относится к «методу сопротивления проникновению». В российской классификации методов, основанных на погружении и (или) извлечении стального дюбель-гвоздя, нет. Факторы, оказывающие влияние на результат испытаний в исследуемом методе, существенно отличаются от таковых для метода отрыва со скалыванием [14, 15]. Как будет показано далее, для исследуемого метода корреляция между прочностью бетона и усилием извлечения гвоздя оказывается существенно ниже корреляции между прочностью бетона и косвенной характеристикой – отношением усилия извлечения гвоздя к глубине его погружения.

Основные ограничения по применению исследуемого метода представлены в [6, 16].

В результате извлечения стального гвоздя бетон разрушается, принимая вид конуса, похожего по форме на локальное разрушение после извлечения анкера в методе отрыва со скалыванием (рис. 1).



Рис. 1. Конус выкалывания и вид дюбеля после испытания на вырыв
Fig. 1. The chipping cone and the view of dowel after the pullout test

В исследованиях [17] показано, что для изучаемого метода контроля коэффициент корреляции между прочностью бетона и усилием вырыва составляет $r = 0,57$, между прочностью бетона и глубиной погружения – $r = 0,81$, между прочностью бетона и отношением усилия вырыва к глубине погружения – $r = 0,82$. Поэтому исследуемый метод нормирован как косвенный неразрушающий метод, в котором в качестве косвенной характеристики принято отношение усилия вырыва к глубине погружения [11].

Следует отметить, что применяемое в зарубежных исследованиях оборудование (пистолеты, патроны и стальные гвозди-инденторы) коренным образом отличается от российских аналогов. Учитывая это обстоятельство, а также то, что оборудование зарубежного образца недоступно в настоящее время в России, исследования проводились только с использованием отечественного оборудования и расходных материалов (патронов и гвоздей).

Результаты проведенных исследований

В качестве методов исследования в настоящей работе были применены:

- анализ имеющихся нормативных документов и технической литературы по данному вопросу;
- сбор и анализ с использованием методов математической статистики результатов ранее проведенных исследований;
- разработка программы исследований и назначение параметров, значение которых необходимо контролировать при выполнении исследований;
- выполнение собственных испытаний и исследований;
- анализ полученных результатов с использованием методов математической статистики результатов выполненных исследований;
- анализ вливания различных факторов на результат исследований и исключение не оказывающих влияние факторов;
- разработка рекомендаций по применению исследуемого метода контроля.

Исследования выполнялись для тяжелых бетонов проектных классов от В15 до В50 на монолитных железобетонных конструкциях зданий и сооружений, строящихся в Москве, после их твердения в течение 28 суток при температуре от 20 до 25 °С. Исследования проводились при положительной температуре бетона от 15 до 35 °С.

Подготовка к испытаниям включала в себя проверку используемых приборов в соответствии с инструкциями по их эксплуатации и предварительное назначение участков измерений с целью подбора мощности патронов таким образом, чтобы обеспечить погружение дюбелей на глубину 20–45 мм. Размеры фрагментов монолитной конструкции выбирались таким образом, чтобы обеспечить расстояние между участками испытаний исследуемым неразрушающим методом не менее 20 диаметров дюбеля (но не менее чем 80 мм). Расстояние между местами погружения дюбель-гвоздей, толщина конструкции и расстояние от ее края составляли не менее 100 мм. В плане участки измерений представляли собой 24 ячейки (рис. 2), образованные проекцией стержней арматурного каркаса на поверхность конструкции.

Для определения прочности были изготовлены образцы из кернов, извлеченных из конструкций по ГОСТ 28570-2019 [18]. Были использованы стальные закаленные дюбель-гвозди диаметром 4,5 мм и длиной 50 или 60 мм [19]. Для погружения дюбелей был использован пистолет монтажный пороховой марки GFT 5 [20]. При выборе пистолета для забивки дюбель-гвоздей принципиально важным требованием к пистолетам для погружения стальных гвоздей в бетон являлось наличие у них приспособления для обеспечения перпендикулярности погружения дюбель-гвоздя (рис. 3).

В качестве источника энергии при погружении дюбель-гвоздей использовались патроны индустриальные, снаряженные пороховым зарядом калибра 6,8/18. Использовались три вида патронов: со сред-



Рис. 2. Стена после выбуривания кернов и извлечения дюбель-гвоздей

Fig. 2. The wall after drilling the cores and removing the dowel nails



Рис. 3. Установка дюбель-гвоздей с помощью пистолета GFT 5

Fig. 3. Installing dowel nails using a GFT 5 pistol

ней мощностью 350 Дж (по паспорту имели колебания мощности 27 %), со средней мощностью 450 Дж (имели колебания мощности 23 %) и со средней мощностью 650 Дж (имели колебания мощности 20 %). Извлечение дюбель-гвоздей выполнялось с использованием специально изготовленного съемного захвата, закрепляемого в прибор ПОС-50, входящий в комплект оборудования к методу отрыва со скалыванием (рис. 4).

В процессе погружения и последующего извлечения стальных гвоздей контролировалось наличие или же отсутствие изгиба гвоздя как выше, так и ниже поверхности бетона, выполнялось измерение размеров призмы выкалывания (рис. 5).

Точность измерения прочности бетона по кернам составляла 0,1 МПа, точность измерения погружения гвоздя составляла 0,1 мм, точность определения усилия извлечения гвоздя составляла 0,01 кН.

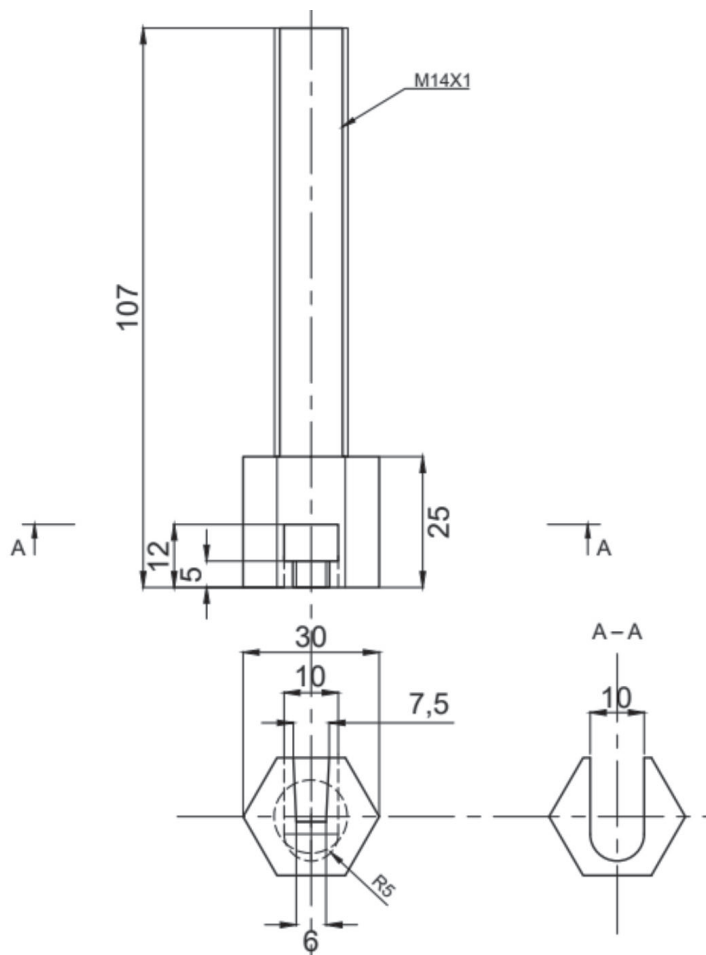


Рис. 4. Захватное приспособление для испытания дюбеля на вырыв, устанавливаемое в прибор ПОС-50
Fig. 4. Gripping device for testing the dowel for pullout, installed in the POS-50 device



Рис. 5. Искривление выступающей (а) и заглубленной (б) части дюбеля
Fig. 5. Curvature of the protruding (a) and recessed (b) parts of the dowel

По результатам испытаний определялась глубина погружения дюбеля, усилия вырыва, рассчитывалась косвенная характеристика – отношение усилия вырыва (Н) к глубине (мм), размерность косвенной характеристики (Н/мм) для каждого дюбеля. При этом результаты испытаний, имеющие отклонения от нормальной формы разрушения в виде конуса, загиб выступающей или заглубленной части дюбеля (рис. 5), отбраковывались и в расчете не учитывались.

По описанной выше методике было получено 30 серий испытаний в монолитных бетонах с прочностью от 15 до 55 МПа, было сделано 558 погружений дюбелей, из которых в различных сериях, в связи с загибом дюбелей, было отбраковано от 18 до 62 % значений, в среднем – 36 %.

Анализ результатов

Выявлены ограничения для применения исследованного метода и факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на точность метода:

- разброс мощности порохового заряда;
- параметры индентора (забиваемого гвоздя);
- качество установки дюбель-гвоздя.

Была разработана методика отбраковки некачественных результатов и вычисления среднего значения при обработке результатов измерений. Определены факторы, не оказывающие существенного влияния на результаты испытаний.

Построение градуировочных зависимостей между контролируемой косвенной характеристикой и прочностью бетона, определенной по контрольным образцам-кернам, выполнялось согласно требованиям Приложения Е ГОСТ 22690-2015 [7].

Была проанализирована необходимость исключения выпадающих значений, отличающихся от среднего на 10 и 20 %. Было установлено, что при исключении значений, отличающихся от среднего на 10 %, отбраковка значений по условию Е.6 Приложения Е ГОСТ 22690-2015 [7] не требовалась в отличие от зависимостей, построенных без исключения и с исключением значений, отличающихся от среднего на 20 %. В результате количество точек для построения градуировочной зависимости уменьшается, а значит, снижается точность градуировочной зависимости.

Градуировочная зависимость, построенная с учетом исключения выпадающих значений, отличающихся от среднего на 10 % в каждой серии, представлена на рис. 6.

По данным, представленным на рис. 6, следует, что построенная градуировочная зависимость удовлетворяет требованиям п. Е.5 ГОСТ 22690-2015 [7], следовательно, может применяться для контроля прочности бетона исследуемым методом.

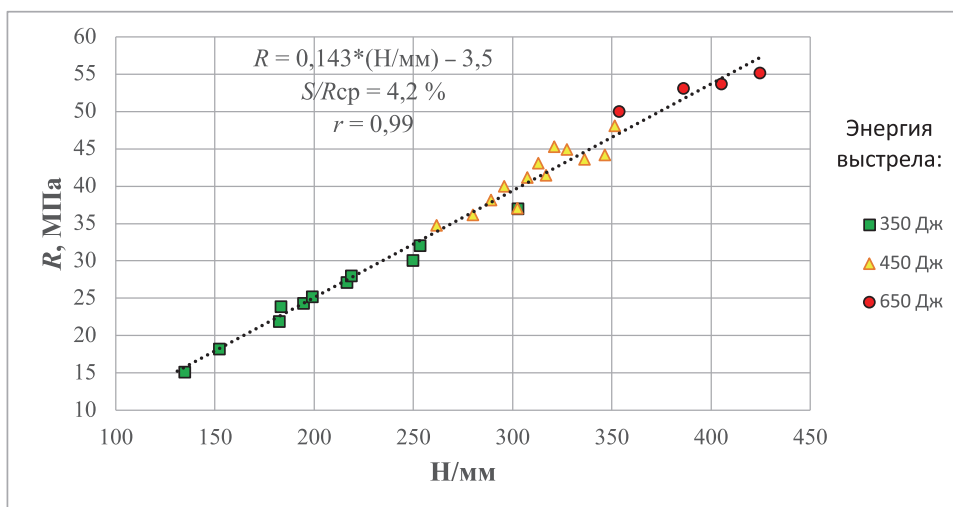
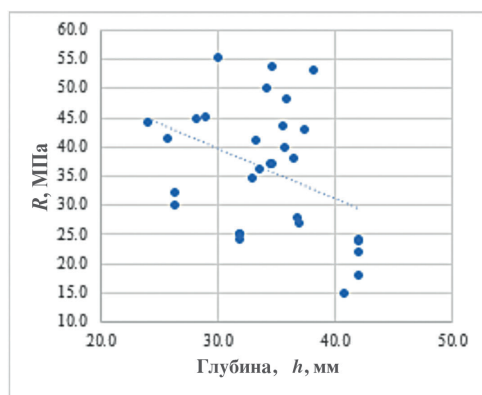
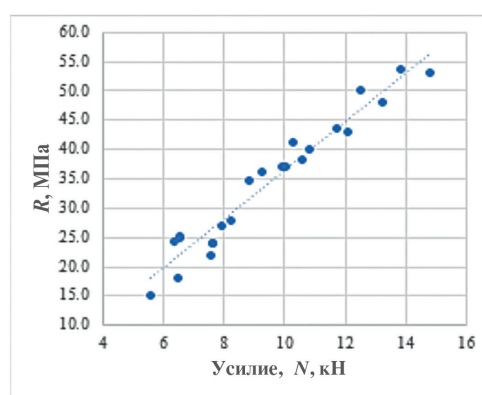


Рис. 6. Градуировочная зависимость с разделением значений с учетом энергии выстрела
Fig. 6. Calibration dependence with separation of values taking into account the energy of the shot



$R = 65,3 - 0,86 \cdot h$
$R_{cp} = 36,1$
$S = 10,36$
$S/R_{cp} = 28,72 \%$
$r = 0,39$



$R = 4,16 \cdot N - 5,23$
$R_{cp} = 34,3$
$S = 2,64$
$S/R_{cp} = 7,70 \%$
$r = 0,97$

а

б

Рис. 7. Градуировочная зависимость прочности бетона от глубины погружения (а) и усилия вырыва (б) дюбеля
Fig. 7. The calibration dependence of the strength of concrete on the depth of immersion (a) and the pull-out force (b) of the dowel

Для сравнения, на рис. 7 представлены градуировочные зависимости между прочностью бетона, глубиной погружения дюбеля и усилием вырыва дюбеля. При построении зависимостей по условию п. Е.6 Приложения Е ГОСТ 22690-2015 [7] было отбраковано 2 и 9 серий соответственно.

По данным, представленным на рис. 6 и 7, установлено, что исследуемый метод контроля прочности имеет существенно лучшую корреляцию с прочностью бетона, чем корреляция между прочностью бетона и глубиной погружения дюбеля и корреляция между прочностью бетона и усилием вырыва.

Факторы, влияющие на результаты испытаний

Учет диапазона изменения значений прочности: для построенной зависимости (рис. 6) наибольшие и наименьшие значения прочности бетона находятся в диапазоне 0,4–1,5 от среднего значения, что является нарушением требований условия п. Е.6 Приложения Е ГОСТ 22690-2015 [7].

Для выполнения требований условия п. Е.6 Приложения Е ГОСТ 22690-2015 [7] значения были раз-

делены на две группы: серии 1–12 с диапазоном изменения прочности от 15,1 до 32,1 МПа и серии 13–30 с диапазоном изменения прочности от 37,0 до 55,2 МПа.

Для каждой из групп были построены градуировочные зависимости. Результаты представлены в табл. 1, содержащей параметры построенных градуировочных зависимостей.

По данным, представленным в табл. 1, следует, что при отсутствии исключения выпадающих значений и исключения значений, превышающих более 20 % от среднего, появляются серии, не удовлетворяющие требованию условия п. Е.6 Приложения Е ГОСТ 22690-2015 [7].

При исключении выпадающих значений, отличающихся от среднего значения более чем на 10 %, такие серии не появляются.

Таким образом, на стадии расчета среднего значения в серии испытаний исключение значений, отличающихся от среднего на 10 % и более, позволяет избежать отбраковки значений при построении градуировочной зависимости, это позволяет повысить точность градуировочных зависимостей.

Таблица 1
Table 1Параметры градуировочных зависимостей
Parameters of calibration dependencies

Вариант расчета среднего значения косвенной характеристики в серии	Серии, по которым построена зависимость	Уравнение градуировочной зависимости	Количество отбракованных серий по условию п. Е.6 ГОСТ 22690-2015 [7]	r	S/R
без исключения выпадающих значений	1–12	$R = 0,131^*(H/мм) - 1,46$	–	0,98	4,40 %
	13–30	$R = 0,140^*(H/мм) - 2,16$	4	1,00	0,70 %
	1–30	$R = 0,147^*(H/мм) - 4,63$	6	1,00	1,20 %
с исключением значений более 10 %	1–12	$R = 0,133^*(H/мм) - 1,65$	–	0,98	3,60 %
	13–30	$R = 0,139^*(H/мм) - 1,97$	–	0,96	4,10 %
	1–30	$R = 0,143^*(H/мм) - 3,50$	–	0,99	4,20 %
с исключением значений более 20 %	1–12	$R = 0,129^*(H/мм) - 1,46$	–	0,97	4,80 %
	13–30	$R = 0,136^*(H/мм) - 0,89$	4	0,99	2,50 %
	1–30	$R = 0,145^*(H/мм) - 4,30$	3	0,99	3,80 %

Для обеспечения соответствия требованиям п. 7.1.4 ГОСТ 22690-2015 [7], предъявляемым ко всем косвенным методам контроля прочности бетона, рекомендуется учитывать требование об исключении выпадающих значений, отличающихся от среднего на 10 % и более.

Для дальнейшего анализа были приняты значения, рассчитанные с учетом указанного требования (рис. 6).

Для сравнения, построенные градуировочные зависимости (табл. 1) представлены на рис. 8.

По данным, представленным на рис. 8, следует, что при использовании градуировочных зависимостей в пределах своих допустимых диапазонов изменения косвенной характеристики, отличия в определении прочности бетона не превышают 3 МПа.

Таким образом, на основании приведенного выше анализа установлено, что предлагаемый метод контроля показал удовлетворительную корреляцию с

прочностью бетона, позволяющую применять его в качестве косвенного метода контроля прочности бетона. Погрешность определения прочности бетона предлагаемым методом следует определять как для любого косвенного метода согласно требованиям ГОСТ 22690-2015 [7]. Величина этой погрешности предлагаемого метода сопоставима с погрешностью других косвенных методов по ГОСТ 22690-2015 [7].

Вид применяемого дюбель-гвоздя: по результатам испытаний установлено, что положительный результат может быть достигнут только при использовании закаленных дюбель-гвоздей, изготовленных согласно ТУ 14-4-1731-92 [19].

Для не закаленных дюбель-гвоздей жесткость дюбелей значительно падает. Глубина установки, при которой отсутствует изгиб погруженной в бетон части дюбеля, значительно снижается. В результате необходимая длина дюбелей, обеспечивающая погружение дюбеля без наклона выступающей части, снижается с 60 до 50 мм. Это препятствует возможности обеспечить глубину установки более 25 мм. Поэтому использование не закаленных дюбель-гвоздей не допускается.

Для исключения отрицательного влияния изменчивости в геометрии дюбель-гвоздей различных производителей рекомендуется при построении градуировочной зависимости и при последующем контроле прочности бетона использовать дюбель-гвозди одной партии.

Вид применяемого для погружения дюбель-гвоздя оборудования: исследование других видов оборудования (пневматического, механического), кроме порохового пистолета, не входило в объем работ выполненного исследования. Исследование различных видов пороховых пистолетов также не входило в объем работ выполненного исследования. Отмеченные вопросы могут быть рассмотрены позднее, при продолжении исследования метода.

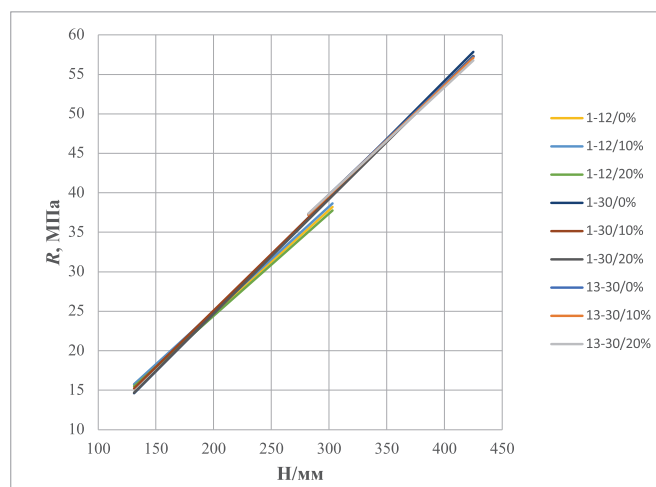


Рис. 8. Сравнение градуировочных зависимостей, представленных в табл. 1

Fig. 8. Comparison of the calibration dependencies presented in Table 1

Как указано в [3], энергия выстрела патронов одной номинальной мощности (одного цвета) может изменяться в широких пределах. Для исключения отрицательного влияния изменчивости энергии порохового выстрела рекомендуется при построении градуировочной зависимости и контроле прочности бетона использовать один и тот же тип (марку) порохового пистолета и патроны одной партии. Перед началом работ следует предусмотреть предварительный этап работ, связанный с подбором энергии патрона таким образом, чтобы обеспечить глубину установки дюбеля от 20 до 45 мм без наклона и искривления заглубленной части.

На рис. 6 цветом выделены результаты, полученные при использовании патронов с различной энергией.

По данным, представленным на рис. 6, следует, что применение патронов с различной энергией, обеспечивающих установку дюбелей на требуемую глубину, допустимо с точки зрения обеспечения требований п. Е.5 ГОСТ 22690-2015 [7] и позволяет расширить диапазон градуировочной зависимости.

Количество испытаний на участке контроля: в выполненном исследовании в среднем на каждом участке контроля было сделано 19 испытаний, по внешним признакам было отбраковано 7 значений, при расчете среднего были использовано $5,57 \approx 6$ значений.

То есть из общего числа испытаний по внешним признакам (искривлению гвоздей) браковалось 36 %, а при расчете среднего исключалось до 50 % значений.

Для выполнения требования о наличии не менее 10 значений для расчета среднего необходимое количество испытаний составит ориентировочно $10/(1-0,7) \approx 33$ значения.

Такое количество испытаний не может быть признано рациональным для применения. Поэтому для

выполнения контроля рекомендуется принимать значения, полученные в настоящей работе, позволившие выполнить построение градуировочных зависимостей, а именно – необходимое количество испытаний на вырыв анкеров составит ориентировочно $5,57/(1-0,7) = 18,57 \approx 18$ значений.

При выполнении испытаний для обеспечения возможности отбраковки по внешним признакам рекомендуется назначать не менее 18 испытаний на одном участке контроля.

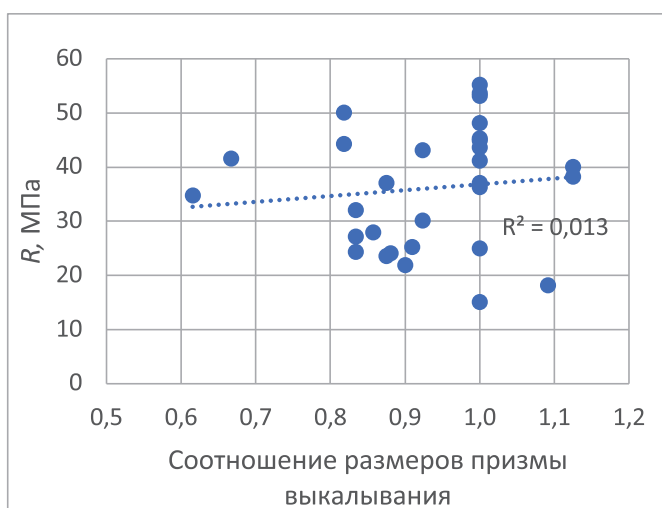
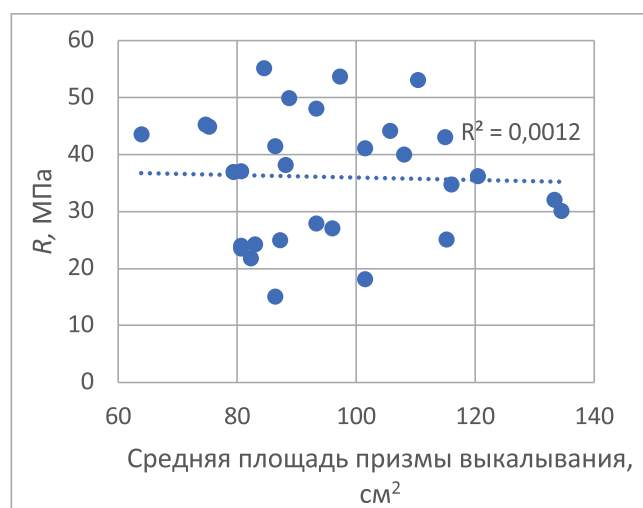
Необходимое количество дюбелей после отбраковки по внешним признакам для расчета среднего значения составляет ориентировочно $18 \cdot (1-0,36) = 11,5 \approx 12$ значений.

Учет влияния глубины отрыва, размеров и формы призмы выкалывания: на рис. 9 приведены зависимости прочности бетона от средней площади призмы выкалывания, соотношения размеров призмы выкалывания, а также коэффициент корреляции в квадрате.

По данным, представленным на рис. 9, следует, что корреляционной зависимости прочности бетона от площади и соотношения размеров призмы выкалывания с коэффициентом корреляции более 0,75 не выявлено.

Площадь и соотношение размеров призмы выкалывания не имеют статистически значимой корреляционной связи с прочностью бетона, их влияние на результат испытаний отсутствует. Поэтому при выполнении испытаний фиксация размеров призмы выкалывания не требуется.

По результатам оценки размеров призмы выкалывания в плане установлено, что средний размер призмы выкалывания составляет 97 мм, наибольший размер – 210 мм, наименьший размер – 40 мм. Соотношение размеров в плане меняется от 0,57 до 1,62, что свидетельствует о наличии несимметричного разрушения при выкалывании.



а

Рис. 9. Зависимость прочности бетона от площади (а) и соотношения размеров (б) призмы выкалывания

Fig. 9. The dependence of the strength of concrete on the area (a) and the ratio of the dimensions (б) of the chipping prism

б

Согласно требованиям п. 7.6.4 ГОСТ 22690-2015 [7] при испытании методом отрыва со скалыванием наибольший и наименьший размеры вырванной части бетона от анкерного устройства до границ разрушения по поверхности конструкции не должны отличаться более чем в два раза, что соответствует соотношению размеров призмы выкалывания в плане 1,5.

С целью исключения влияния выкалывания на несущую способность анкеров их следует располагать на расстоянии не менее четырех глубин установки [21]. В настоящем исследовании глубина установки составляла от 24 до 42 мм, среднее значение – 36 мм. Следовательно, среднее расстояние между анкерами должно составлять от 96 до 168 мм, среднее значение – 144 мм.

Учитывая требования нормативных документов [7, 21] об исключении влияния соседних дюбелей (анкеров) на результаты испытания, а также фактические размеры призм выкалывания в испытаниях, рекомендуется увеличить расстояние между дюбелями со 100 до 150 мм.

Учет технологии изготовления контролируемых конструкций: дополнительно к 30 сериям испытаний, выполненных в монолитном бетоне, была выполнена одна серия испытаний в конструкциях, изготовленных в лабораторных условиях, схожих с заводскими условиями. Результаты представлены на рис. 10.

По данным, представленным на рис. 10, следует, что результаты контроля конструкций с технологией изготовления, отличающейся от технологии возведения монолитных конструкций, на которых была построена градуировочная зависимость, существенно отличаются от использованных при построении градуировочной зависимости значений. Это свидетельствует о необходимости учета требований ГОСТ 22690-2015 [7] и ГОСТ 18105-2018 [22] о применении бетонной смеси одного номинального состава,

единых условиях укладки, уплотнения, твердения бетона, единой технологии формирования для контролируемых конструкций и конструкций, на которых выполнялось построение градуировочной зависимости.

Специальные исследования по влиянию состава бетона и его компонентов на точность получаемых результатов в рамках не проводились из-за многофакторности этого влияния. Эти исследования могут стать предметом следующей НИОКР на эту тему. Однако, сравнивая результаты измерений в бетоне с различным типом крупного заполнителя, можно сделать вывод о том, что основное влияние на точность измерений оказывает наличие в составе бетона гранитного щебня. Остальные компоненты бетона: цементный камень, мелкий заполнитель и щебень из гравия и карбонатных пород – оказывают существенно меньшее влияние на точность измерений.

Результаты работ представлены в отчете о НИОКР [23].

Выводы

1. Предложенный и исследованный метод контроля прочности бетона может быть классифицирован как косвенный неразрушающий метод определения прочности бетонов с прочностью от 15 до 55 МПа.
2. Разработана методика неразрушающего контроля прочности, содержащая требования к оборудованию, средствам измерений, а также требования к обработке результатов измерений.
3. В качестве косвенной характеристики следует использовать отношение усилия извлечения дюбель-гвоздя к глубине его погружения.
4. Основное влияние на точность измерений исследованным методом оказывает наличие в составе бетона гранитного щебня. Остальные компоненты бетона: цементный камень, мелкий заполнитель и щебень из гравия и карбонатных пород – оказывают существенно меньшее влияние на точность измерений.

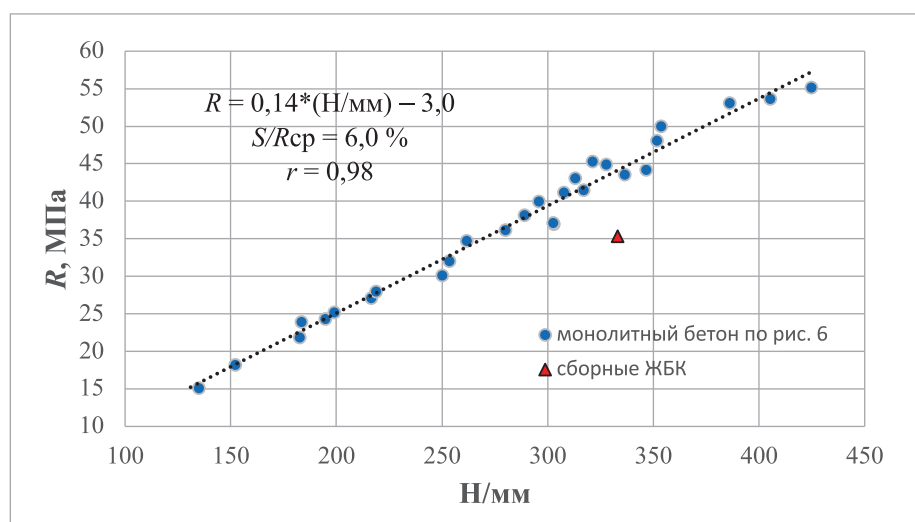


Рис. 10. Градуировочная зависимость по рис. 1 для монолитного бетона с данными контроля сборных конструкций
Fig. 10. Calibration dependence according to Fig. 1 for monolithic concrete with control data of prefabricated structures

5. Перед нормированием исследованного метода рекомендуется выполнить его апробацию в научно-исследовательских организациях и испытательных лабораториях в течение не менее трех лет. В указанный период основанием для применения метода может являться методика раздела 4.5 [23].

После апробации нормирование метода рекомендуется выполнить при разработке актуализированной редакции ГОСТ Р «Бетоны. Определение прочности по глубине погружения дюбель-гвоздя» [5].

6. Наиболее рациональная область применения предлагаемого метода – это тонкостенные или густоармированные конструкции и участки конструкций, чувствительные к качеству поверхности и не позволяющие выполнить испытания другими косвенными методами.

7. Эффект от внедрения предлагаемого метода заключается в расширении области применения косвенных неразрушающих методов контроля прочности, в том числе для конструкций, где контроль не мог быть выполнен вследствие ограничений, изложенных в ГОСТ 22690-2015 [7].

Список литературы

1. Торицын И.В., Несветайло В.М. Способ определения прочности по глубине погружения дюбель-гвоздя в тестируемый бетон и дюбель-гвоздь. Патент на изобретение. Номер патента: RU 2706390 C1.

2. Торицын И.В., Егоров В.Н., Несветайло В.М. Способ определения прочности по усилию выдергивания погруженного дюбель-гвоздя в тестируемый бетон. Патент на изобретение. Номер патента: RU 2724369 C1.

3. Отчет о НИОКР. Разработка новых прямых механических неразрушающих способов определения прочности бетона, Договор № 216/2021 от 24.05.2021 г. Рег. № НИОКТР АААА-А16-116020310269-5 Рег. № ИКРБС 20161225-НИР-013. Москва; 2021.

4. Егоров В.Н., Несветайло В.М., Токарский А.Я. Новый неразрушающий метод определения прочности тяжелого бетона // *Технологии бетонов*. 2023. № 3. С. 43–48.

5. Проект ГОСТ Р «Бетоны. Определение прочности по глубине погружения дюбель-гвоздя дюбелей». 2023.

6. Иванов С.И., Невский А.В., Чесноков Д.А. Особенности определения прочности бетона методом погружения стальных дюбелей // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022. № 2 (33). С. 97–105.

7. ГОСТ 22690-2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. Москва: Стандартинформ; 2016.

8. СТБ EN 13791-2009 (EN 13791:2008-05). Оценка прочности на сжатие конструкций и элементов сборного бетона в реальных условиях. Минск; 2009.

9. EN 12504-3:2005. Testing concrete in structures. Part 3: Determination of pull-out force.

10. ACI 228.2R-98. Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures.

11. DIN EN 14488-2:2006. Testing sprayed concrete. Part 2: Compressive strength of young sprayed concrete; German version EN 14488-2:2006.

12. ASTM C803/C803M-18. Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete.

13. BS 1881-207:1992. Testing Concrete. Recommendations for the assessments of concrete strength by near-to-surface tests.

14. Вольф И.В., Чуйко П.А., Лихачев В.Д., Хомутченко С.Я., Комаровский А.А. Определение прочности бетона в конструкциях методом вырывания стержней // *Бетон и железобетон*. 1973. № 10. С. 20–22.

15. Марков А.И., Павлов Л.С., Клевцов В.А., Коревицкая М.Г., Матвеев Ю.К. МИ 2016-03 Прочность бетона в конструкциях и изделиях. Методика выполнения измерений при натурных испытаниях методом вырыва анкера. МИ 2016-03. Москва; 2003.

16. Указания по определению прочности бетона в конструкциях методом динамической пенетрации. Киев; 1989.

17. Leitner Christian Eingereicht an der Leopold-Franzens-Universitat Innsbruck Fakultat fur Bauingenierwesen und Architektur, Innsbruck; 1998.

18. ГОСТ 28570-2019. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций. Москва: Стандартинформ; 2019.

19. ТУ 14-4-1731-92. Дюбели-гвозди с насаженными шайбами с цинковым покрытием. Технические условия.

20. ТУ 7181-001-90573248-2012. Пистолеты монтажные поршневые GFT5.

21. СТО 36554501-052-2017. Анкерные крепления к бетону. Правила установления нормируемых параметров. Москва: АО «НИЦ «Строительство»; 2017.

22. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. Москва: Стандартинформ; 2019.

23. Отчет о НИОКР. Совершенствование прямого механического неразрушающего метода определения прочности бетона (отрыв со скалыванием), договор № 32312017073-5/2023 от 21.03.2023 г., Рег. № НИОКТР: 123051100021-4. Москва; 2023.

References

1. Toritsyn I.V., Nesvetailo V.M. A method for determining the strength by the depth of immersion of a dowel-nail into the concrete under test and a dowel-nail. A patent for an invention. Patent number: RU 2706390 C1. (In Russian).

2. Toritsyn I.V., Egorov V.N., Nesvetailo V.M. Method for determining strength by pulling force of a submerged dowel nail into the concrete under test. A patent for an invention. Patent number: RU 2724369 C1. (In Russian).

3. R&D Report. Development of new direct mechanical non-destructive methods for determining the strength of concrete, Contract No. 216/2021 dated 05/24/2021, R&D USISA Reg. No. AAAA16-116020310269-5, ICABI Reg. No. IKRBS 20161225-NIR-013.Moscow; 2021. (In Russian).

4. Egorov V.N., Nesvetailo V.M., Tokarsky A.Ya. A new non-destructive method for determining the strength of heavy concrete. *Technologies of concretes*. 2023, no. 3, pp. 43–48. (In Russian).

5. State Standard R project "Concretes. Determination of the strength by the depth of immersion of the dowel-nail dowels". 2023. (In Russian).

6. Ivanov S.I., Nevskii A.V., Chesnokov D.A. Specific features of determining concrete strength by stud driving method. *Vestnik NIC Stroitel'stvo* [Bulletin of Science and Research Center of Construction]. 2022, no. 2 (33), pp. 97–105. (In Russian).

7. State Standard 22690-2015. Concretes. Determination of strength by mechanical methods of nondestructive testing. Moscow: Standartinform Publ.; 2016. (In Russian).

8. STB EN 13791-2009 (EN 13791:2008-05). Assessment of compressive strength of precast concrete structures and elements in real conditions. Minsk; 2009. (In Russian).

9. EN 12504-3:2005. Testing concrete in structures. Part 3: Determination of pull-out force.

10. ACI 228.2R-98. Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures.

11. DIN EN 14488-2:2006. Testing sprayed concrete. Part 2: Compressive strength of young sprayed concrete; German version EN 14488-2:2006.

12. ASTM C803/C803M-18. Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete.

13. BS 1881-207:1992. Testing Concrete. Recommendations for the assessments of concrete strength by near-to-surface tests.

14. Wolf I.V., Chuiko P.A., Likhachev V.D., Khomutchenko S.Ya., Komarovskiy A.A. Determination of the concrete strength in structures by pulling out rods. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1973, no. 10, pp. 20–22. (In Russian).

15. Markov A.I., Pavlov L.S., Klevtsov V.A., Korevitskaya M.G., Matveev Yu.K. MI 2016-03 Strength of concrete in structures and products. The method of measurements performing during full-scale tests by the method of the anchor pullout. MI 2016-03. Moscow; 2003. (In Russian).

16. Guidelines for determining the strength of concrete in structures by dynamic penetration. Kiev; 1989. (In Russian).

17. Leitner Christian Eingereicht an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck Fakultät für Bauingenieurwesen und Architektur, Innsbruck; 1998.

18. State Standard 28570-2019. Concretes. Methods of strength determination on cores selected from structures. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).

19. TU 14-4-1731-92. Dowel-nails with mounted washers with zinc coating. Technical conditions. (In Russian).

20. TU 7181-001-90573248-2012. GFT5 mounting piston pistols (In Russian).

21. STO 36554501-052-2017. Anchoring to concrete. Rules for setting normalized parameters. Moscow: JSC Research Center of Construction; 2017. (In Russian).

22. State Standard 18105-2018. Concretes. Rules for control and assessment of strength. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).

23. R&D Report. Improvement of the direct mechanical non-destructive method for determining the strength of concrete (separation with chipping), contract No. 32312017073-5/2023 dated 03/21/2023, R&D USISA Reg. No. 123051100021-4. Moscow; 2023. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Ильич Иванов ✉, канд. техн. наук, заведующий лабораторией напрягающих бетонов и самонапряженных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: 5378018@mail.ru

Sergey I. Ivanov ✉, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory of Straining Concretes and Self-stressed Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: 5378018@mail.ru

Виктор Николаевич Егоров, директор ГБУ ЦЭИИС, Москва

e-mail: ceiis@str.mos.ru

Viktor N. Egorov, Director, SBI CERTC, Moscow

e-mail: ceiis@str.mos.ru

Вячеслав Михайлович Несветайло, канд. техн. наук, ведущий инженер отдела обследования и экспертиз несущих и ограждающих конструкций ГБУ ЦЭИИС, Москва

e-mail: nesvetajlo@gmail.com

Vyacheslav M. Nesvetailo, Cand. Sci. (Engineering), Leading Engineer of the Department of Inspection and Examination of Load-bearing and Enclosing Structures, SBI CERTC, Moscow

e-mail: nesvetajlo@gmail.com

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

А.А. МИНАСЯН

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

КОЭФФИЦИЕНТЫ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМАЦИИ АРМАТУРЫ И БЕТОНА КОРРОЗИОННО–ПОВРЕЖДЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ

Аннотация

Введение. На практике для выполнения расчетов по определению несущей способности железобетонных плит в стадии трещинообразования учитывается работа бетона между трещинами в растянутой зоне.

В данной работе приведены результаты натурных испытаний поврежденных сборных железобетонных плит перекрытий для определения коэффициентов В.И. Мурашева – неравномерности деформаций арматуры ψ_s в зоне растяжения и бетона ψ_b в зоне сжатия для коррозионно-поврежденных плит в стадии трещинообразования.

Цель работы: определение коэффициентов неравномерности деформации арматуры и бетона опытным путем коррозионно-поврежденных железобетонных перекрытий в стадии трещинообразования.

Материалы и методы. В статье описывается методология постановки эксперимента по измерению деформаций арматуры и бетона, прогибов плит, ширины раскрытия трещин, описываются параметры испытательных установок.

Результаты. В работе в графическом виде приведены основные результаты экспериментальных исследований.

Выводы. Исследования показывают, что с появлением трещин коэффициент ψ_{sx} сначала возрастает, а потом стабилизируется. Коэффициент ψ_{bx} сразу после образования трещин сначала незначительно возрастает, далее более плавно уменьшается.

Ключевые слова: неравномерность деформаций арматуры, неравномерность деформаций бетона, коэффициент упругости бетона, коррозионно-поврежденные железобетонные плиты

Для цитирования: Минасян А.А. Коэффициенты неравномерности деформации арматуры и бетона коррозионно-поврежденных железобетонных плит перекрытия // Бетон и железобетон. 2023. № 5/6 (619). С. 56–61. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6\(619\)-56-61](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6(619)-56-61)

Вклад авторов

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 14.11.2023

Поступила после рецензирования 15.12.2023

Принята к публикации 21.12.2023

A.A. MINASYAN

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

COEFFICIENTS OF THE IRREGULARITY OF THE DEFORMATION OF THE REINFORCEMENT AND THE CONCRETE OF CORROSION DAMAGED REINFORCED CONCRETE SLABS

Abstract

Introduction. In practice, to perform calculations to determine the bearing capacity of reinforced concrete slabs at the stage of cracking, the work of concrete between cracks in the tension zone is taken into account. This paper presents the results of full-scale tests of damaged precast reinforced concrete floor slabs to determine the coefficients V.I. Murashev – uneven deformations of reinforcement ψ_s in the tension zone and concrete ψ_b in the compression zone for corrosion-damaged slabs in the stage of cracking.

The aim of the work: to determine the coefficients of uneven deformation of reinforcement and concrete experimentally for corrosion-damaged reinforced concrete floors at the stage of cracking.

Materials and methods. The article describes the methodology for setting up an experiment to measure the deformations of reinforcement and concrete, slab deflections, crack opening widths, and describes the parameters of the testing installations.

Results. The work presents the main results of experimental studies in graphical form.

Conclusions. Research shows that with the appearance of cracks, the coefficient ψ_{sx} first increases and then stabilizes. The coefficient ψ_{bx} immediately after the formation of cracks first increases slightly, then decreases more gradually.

Keywords: unevenness of deformations of reinforcement, unevenness of deformations of concrete, coefficient of elasticity of concrete, corrosion-damaged reinforced concrete slabs

For citation: Minasyan A.A. Coefficients of the irregularity of the deformation of the reinforcement and the concrete of corrosion damaged reinforced concrete slabs. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 5/6 (619), pp. 56–61. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6\(619\)-56-61](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6(619)-56-61)

Author contribution statements

The author takes responsibility for all aspects of the paper.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 14.11.2023

Revised 15.12.2023

Accepted 21.12.2023

Коэффициент ψ_s характеризует работу растянутого бетона между трещинами, определяется как отношение в зоне чистого изгиба средних удлинений растянутой арматуры к ее удлинению в сечении сразу после образования трещин [1–3].

Коэффициент ψ_b определяется как отношение средних деформаций на сжатой грани бетона между трещинами к деформациям бетона над трещинами.

Основное внимание в экспериментальных исследованиях уделялось изучению особенностей работы конструкций от начала проявления неупругих свойств бетона и арматуры, включая стадию трещинообразования и полного разрушения.

Деформация арматуры в сечениях с трещинами определялась с учетом ширины раскрытия трещин. Проведены измерения средней деформации растянутой арматуры и крайнего волокна сжатого бетона перед и сразу после образования трещин. Коэффициенты ψ_{sx} , ψ_{sy} и ψ_{bx} , ψ_{by} определялись по отношению:

$$\psi_{sx} = \frac{\varepsilon_{scx}}{\varepsilon_{sx}}; \psi_{bx} = \frac{\varepsilon_{bcx}}{\varepsilon_{bx}}; \psi_{sy} = \frac{\varepsilon_{scy}}{\varepsilon_{sy}}; \psi_{by} = \frac{\varepsilon_{bcy}}{\varepsilon_{by}}, \quad (1)$$

где ε_{scx} и ε_{scy} – средние деформации арматуры по x и y направлениям;

ε_{sx} , ε_{sy} – деформации арматуры по x , y направлениям сразу после образования трещин;

ε_{bcx} , ε_{bcy} – средние деформации крайнего волокна сжатого бетона по x , y направлениям;

ε_{bx} , ε_{by} – деформации крайнего волокна сжатого бетона сразу после образования трещин по x , y направлениям.

Исходя из условия равновесия сил, в сечении с трещиной изгибаемого железобетонного элемента значения коэффициентов ψ_{sx} , ψ_{sy} и ψ_{bx} , ψ_{by} и могут быть выражены:

$$\psi_{sx} = \frac{\varepsilon_{scx} E_{sx} A_{sx} Z_x}{M_x - N_{bsx} Z_{bpx}}; \psi_{sy} = \frac{\varepsilon_{scy} E_{sy} A_{sy} Z_y}{M_y - N_{bsy} Z_{bpy}}, \quad (2)$$

где E_{sx} , A_{sx} , Z_x , M_x , N_{bsx} , Z_{bpx} – соответственно модуль деформации, площадь арматуры, плечо внутренних сил арматуры, момент, продольная сила, плечо внутренних сил сжатого бетона по направлению оси x ; а с индексом y те же параметры по направлению y .

$$A_{sx} = A_{sx}(0) - A_{sx}(t); A_{sy} = A_{sy}(0) - A_{sy}(t),$$

где $A_{sx}(0)$, $A_{sy}(0)$ первоначальная площадь арматуры по x , y направлениям;

$A_{sx}(t)$ и $A_{sy}(t)$ – площадь коррозии арматуры по x , y направлениям.

$$\psi_{bx} = \frac{\varepsilon_{bcx} \omega v E_{bx} b x Z_x}{M_x + N_{bpx} (Z_x - Z_{bpx})}; \psi_{by} = \frac{\varepsilon_{bcy} \omega v E_{by} b y Z_y}{M_y + N_{bpy} (Z_y - Z_{bpy})}, \quad (3)$$

где ω , v , E_{bx} , b , x , Z_x , M_x , N_{bpx} , Z_x , Z_{bpx} – соответственно коэффициенты формы профиля арматуры, упругости бетона, модуля деформации, ширина конструкции, высота сжатого бетона, плечо внутренних сил арматуры, момент, продольная сила, плечо внутренних сил бетона по направлению оси x . А с индексом y те же параметры по направлению y .

$$v = v_n - b k^a, \quad (4)$$

где v_n – нормативная величина коэффициента упругости сжатого бетона;

k – относительный критерий нагружений;

$$k = \frac{M}{M_p} \text{ – для изгибаемых элементов;}$$

M и M_p – текущие и предельные значения изгибающего момента;

$b = v_n - v_p$ – разность между нормативной величиной коэффициента упругости и величиной его к моменту разрушения:

$$v_p = 270 \frac{R_{bt}(t)}{E_b(t)}, \quad (5)$$

где $R_{bt}(t)$ и $E_b(t)$ определяются для разной категории повреждения плит и приведены в [4];

a – показатель степени относительного критерия нагружения для изгибаемых элементов:

$$a = \frac{4 R_{bt}(t)}{(\mu + 0,02)(R_s(t) + 600 \text{ МПа})}, \quad (6)$$

где μ – относительная величина армирования;

$R_s(t)$ – расчетное сопротивление арматуры ($R_s(t)$ и $R_{bt}(t)$ – МПа).

В зоне сжатия:

$$R_b(t) = \gamma_{RCK} R_b; \quad (7)$$

$$\gamma_{RCK} = 1 - \alpha_{RCK} \times \omega_{CK} \times k_{CK}; \quad \alpha_{RCK} = e^{\lambda_{RCK}(t-T_0)} - 1. \quad (8)$$

$$\lambda_{RCK} = \frac{1}{t} \times \frac{\delta R_b(t)}{R_b}; \quad \delta R_b(t) = R_b - R_b(t); \quad (9)$$

В зоне растяжения:

$$R_{bt}(t) = \gamma_{Rpac} R_{bt}; \quad (10)$$

$$\gamma_{Rpac} = 1 - \alpha_{Rpac} \times \omega_{pac} \times k_{pac}; \quad \alpha_{Rpac} = e^{\lambda_{Rpac}(t-T_0)} - 1; \quad (11)$$

$$\lambda_{Rpac} = \frac{1}{t} \times \frac{\delta R_{bt}(t)}{R_{bt}}; \quad \delta R_{bt}(t) = R_{bt} - R_{bt}(t), \quad (12)$$

где $\delta R_b(t)$ и $\delta R_{bt}(t)$ – значение изменения прочности бетона соответственно сжатию и растяжению в продолжительности времени t ;

R_b и R_{bt} – начальная прочность бетона соответственно сжатию и растяжению;

γ_{RCK} и γ_{Rpac} – коэффициенты остаточной прочности бетона соответственно сжатию и растяжению;

α_{RCK} и α_{Rpac} – критерии снижения прочности бетона;

ω_{CK} и ω_{pac} – критерии повреждения в зонах сжатия и растяжения бетона, зависящие от напряженного состояния

$$\frac{\sigma_b}{R_b(t)};$$

k_{CK} и k_{pac} – приведенные коэффициенты повреждения относительно базовой плиты;

T_0 – время начала развития коррозии;

λ_{RCK} и λ_{Rpac} – критерии снижения прочности бетона,

характеризующие их скорость в определенный период времени t [5].

Для выполнения расчетов по определению напряженно-деформационного состояния и несущей способности коррозионно-поврежденных железобетонных плит перекрытия коэффициенты ψ_{sx} , ψ_{sy} и ψ_{bx} , ψ_{by} определяются опытно-теоретическим и расчетным путем. После статистической обработки и корректировки дается их среднеквадратическое значение и вводится расчет по несущей способности конструкций.

Величина деформации растянутой арматуры в зоне с трещинами определяется по формуле:

$$\varepsilon_{sx} = \frac{M_x - N_x Z_x}{A_{sx} E_{sx} h_0 (1 - 0,5 \xi_x)}, \quad \varepsilon_{sy} = \frac{M_y - N_y Z_y}{A_{sy} E_{sy} h_0 (1 - 0,5 \xi_y)}, \quad (13)$$

где ξ_x , ξ_y – относительная высота сжатой зоны;
 h_0 – плечо растянутой арматуры.

В данной работе определены коэффициенты упругости бетона в зависимости от напряженного состояния и коэффициенты неравномерности деформации бетона и арматуры в стадии трещинообразования. Ниже приводятся результаты испытаний шести сборных железобетонных плит в натурных условиях [5].

Прочностные и деформационные характеристики испытываемых плит и категории повреждения приведены в работах [5, 6].

Загружение конструкций плит перекрытия производилось поэтапно. Схема расположения датчиков и измерение деформаций бетона и арматуры приведены на рис. 1.

На рис. 2 приведены коэффициенты упругости бетона для различной категории повреждения плит, полученные по формуле (4).

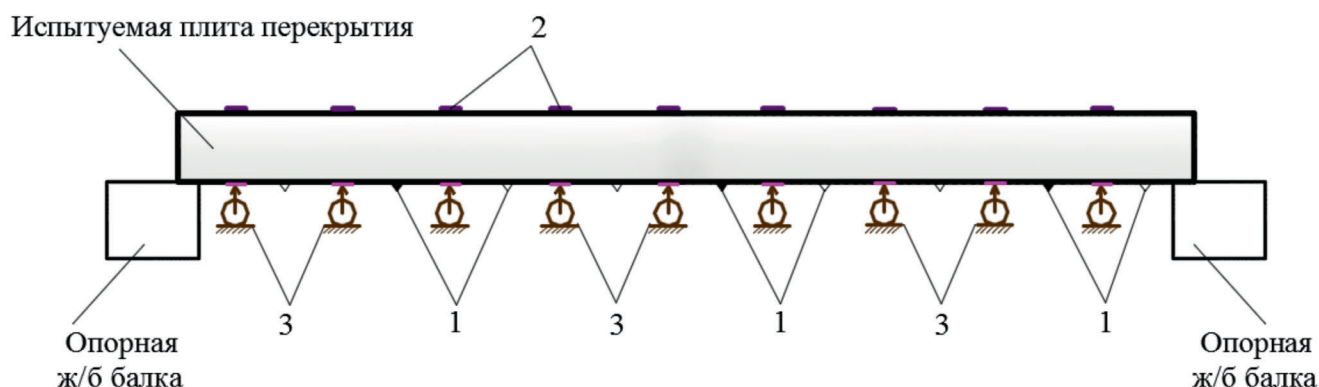


Рис. 1. Схема расположения измерительных приборов:

1 – тензометр для арматуры; 2 – тензометр для бетона; 3 – индикатор часового типа (с точностью 0,01 мм)

Fig. 1. Layout of measuring instruments:

1 – strain gauge for reinforcement; 2 – strain gauge for concrete; 3 – dial indicator (with an accuracy of 0.01 mm)

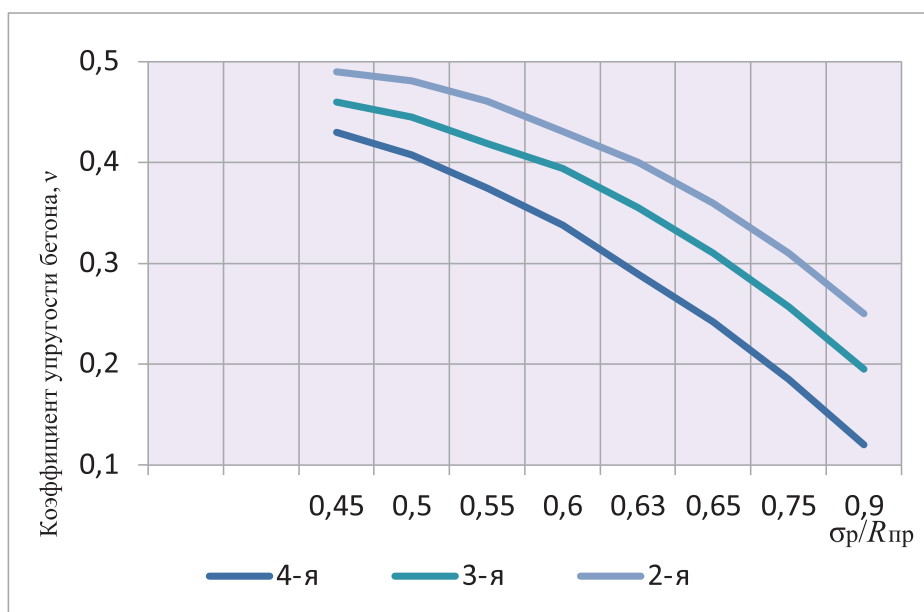


Рис. 2. Коэффициент упругости бетона для различной категории поврежденности плит

Fig. 2. Concrete elasticity coefficient for different categories of slab damage

Методика испытаний предусматривала измерение деформаций арматуры и бетона, прогибов плит, ширины раскрытия трещин. Деформации сжатой зоны бетона измерялись рычажными тензометрами с базой 25 мм и электротензодатчиками с базой 50 мм. Деформации растянутой арматуры измерялись глубинными тензометрами с базой 25 мм и прогибомерами конструкции ЦНИИСК с базой 50 мм. Размеры баз прогибомеров назначались исходя из эпюр изгибающих моментов плит. С началом развития значительных неупругих деформаций растянутой арматуры глубинные тензометры заменялись на индикаторы часового типа. Для измерения величины остаточных деформаций на ребрах рабочего арматурного стержня были нанесены риски через 20 мм для фиксации пластических деформаций. Прогибы плит измерялись индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Для оценки точности в опытах деформация арматуры в зоне растяжения определялась также из условий неразрывности бетона и стержня. Для этой цели измерялись прогибы в нижнем растягивающемся волокне бетона в 18 точках. Далее в каждой точке из условия пропорциональности прогибов и удлинения определялась деформация арматуры.

Уменьшение базы датчиков увеличивает количество в нем витков, что пропорционально точности измерения деформации арматуры, и повышает чувствительность прибора. Максимально возможная погрешность в датчиках с базой 25 мм от поперечных деформаций достигает 3 %.

Разрушение всех испытанных плит практически происходило по нормальным сечениям в зонах действия максимальных изгибающих моментов после начала раздробления бетона сжатой зоны в пролетных сечениях. Образование макротрещин в растянутой зоне бетона в пролетном сечении начиналось несколько раньше, чем в сжатой.

Наличие трещин в растянутой зоне отразилось на характере деформаций в сжатой зоне: над трещинами бетона укорачивается больше, чем между трещинами. Деформация верхней грани на участке над трещинами превышала на 25–31% деформации между трещинами.

Плита разрушилась по нормальному сечению в пролете вследствие ослабления ее сопротивления на действие изгибающего момента. Однако разрушение наступило после проявления неупругих деформаций арматуры, близких к максимально допустимым.

Полное разрушение плит происходит после разрыва арматуры в пролетном сечении.

По замеренным деформациям и расчетным поэтапным изгибающим моментам были вычислены и построены графики $\psi_{sx} - M/M_{max}$ и $\psi_{bx} - M/M_{max}$ (рис. 3 и 4, пунктирная линия соответствует расчетным значениям).

С появлением трещин коэффициент ψ_{sx} сначала возрастает, а потом равномерно уменьшается и ста-

билизируется. Коэффициент ψ_{bx} сразу после образования трещин сначала незначительно возрастает, а потом более гладко уменьшается. В наших исследованиях $\psi_{sy} = 1$ и $\psi_{by} = 1$ из-за отсутствия трещин по направлению y .

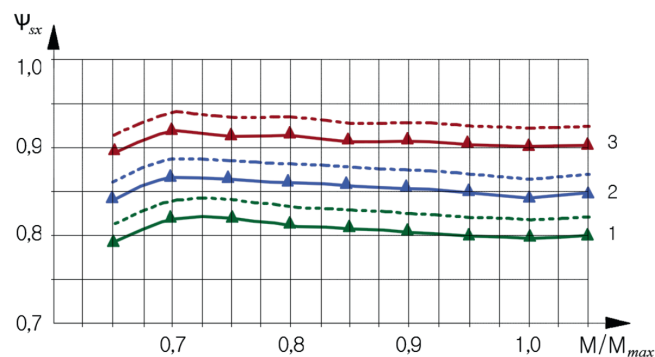


Рис. 3. Коэффициент $\psi_{sx} - M/M_{max}$
1, 2, 3 – категории повреждения плит (2-й, 3-й и 4-й)
(штрих-линия – расчетная)

Fig. 3. Coefficient $\psi_{sx} - M/M_{max}$
1, 2, 3 – categories of slab damage (2nd, 3rd and 4th)
(dashed line – calculated)

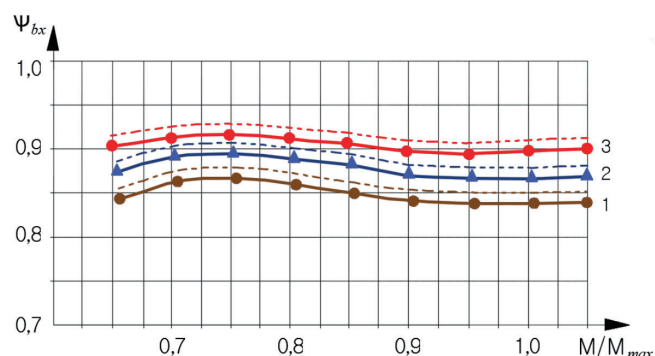


Рис. 4. Коэффициент $\psi_{bx} - M/M_{max}$
1, 2, 3 – категории повреждения плит (2-й, 3-й и 4-й)
(штрих-линия – расчетная)

Fig. 4. Coefficient $\psi_{bx} - M/M_{max}$
1, 2, 3 – categories of slab damage (2nd, 3rd and 4th)
(dashed line – calculated)

Выводы

Определение коэффициентов неравномерности деформации растянутой арматуры опытным и расчетным путем дает возможность учитывать деформации арматуры по протяженности плиты и значительно упрощает методику расчета несущей способности коррозионно-поврежденных железобетонных перекрытий в стадии трещинообразования.

Опытно-теоретические исследования показывают, что с появлением трещин коэффициент ψ_{sx} сначала возрастает, а потом стабилизируется. Значения, по данным экспериментов и расчетов, находятся в пределах 0,78–0,94.

Коэффициент ψ_{bx} сразу после образования трещин сначала незначительно возрастает, но не более 0,91. Далее более плавно уменьшается, но не ниже 0,84.

Во всех случаях расчетные значения коэффициентов ψ_{sx} и ψ_{bx} превышают экспериментальные на 3,0–3,5 %.

Список литературы

1. Карпенко Н.И., Мухамедиев Т.А., Сапожников М.А. К построению методики расчета стержневых элементов на основе диаграмм деформирования материалов. В сборнике НИИЖБ «Совершенствование методов расчета статически неопределимых железобетонных конструкций». Москва; 1987. С. 5–23.
2. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радаikin О.В. К определению деформаций изгибаемых железобетонных элементов с использованием диаграмм деформирования бетона и арматуры // *Строительство и реконструкция*. 2012. № 2. С. 11–19.
3. Мурашев В.И. Трещиноустойчивость, жесткость и прочность железобетона. Москва: Машстройиздат; 1950.
4. Бондаренко В.М. Феноменология кинетики повреждения бетона железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивной среде // *Бетон и железобетон*. 2008. № 2. С. 25–28.
5. Карпенко С.Н. Модели деформирования железобетона в приращениях и методы расчета конструкций [диссертация]. Москва; 2010. 48 с.
6. Минасян А.А. Несущая способность коррозионно-поврежденных железобетонных плит перекрытия по результатам натурных испытаний // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2018. № 6 (281). С. 19–25.
7. Минасян А.А. Определение несущей способности и напряженно-деформированное состояние сборных железобетонных перекрытий, подвергшихся циклическому замораживанию-оттаиванию // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2018. № 6. С. 53–58.
8. Пономарев О.И., Минасян А.А. Учет повреждения железобетонных конструкций реконструируемых зданий // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2010. № 2. С. 106–113.
9. Бондаренко В.М., Прохоров В.Н. К вопросу об оценке силового сопротивления железобетона повреждению коррозионными воздействиями // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 1998. № 3. С. 30–41.
10. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Москва: Стандартинформ; 2014.
11. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Москва; 2012.

References

1. Karpenko N.I., Mukhamediev T.A., Sapozhnikov M.A. On the issue of the construction of a method for calculating rod elements based on material deformation diagrams. In the collection of NIIZHB "Improving methods for calculating statically indeterminate reinforced concrete structures". Moscow; 1987. pp. 5–23. (In Russian).
2. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radaykin O.V. On the issue of the determination of strain reinforce concrete

flexural elements using stress-strain diagram of concrete and reinforcement. *Building and reconstruction*. 2012, no. 2, pp. 11–19. (In Russian).

3. Murashev V.I. Crack resistance, rigidity and strength of reinforced concrete. Moscow: Mashstroyizdat Publ.; 1950. (In Russian).

4. Bondarenko V.M. Phenomenology of kinetics of concrete damage of reinforced concrete structures operated in an aggressive environment. *Beton i Zhelezobeton [Concrete and Reinforced Concrete]*. 2008, no. 2, pp. 25–28. (In Russian).

5. Karpenko S.N. Models of deformation of reinforced concrete in increments and methods for calculating structures [dissertation]. Moscow; 2010. 48 p. (In Russian).

6. Minasyan A.A. Load-bearing capacity of corrosion damaged reinforced concrete floor slabs according to the results of full-scale tests. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2018, no. 6 (281), pp. 19–25. (In Russian).

7. Minasyan A.A. Determination of bearing capacity and stress-deformation state of prefabricated reinforced concrete slab after influence of freeze-thaw cycles. *Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety]*. 2018, no. 6, pp. 53–58. (In Russian).

8. Ponomarev O.I., Minasyan A.A. Damages accounting of reinforced concrete structures of reconstructed buildings. *Vestnik NIC Stroitel'stvo [Bulletin of Science and Research Center of Construction]*. 2010, no. 2, pp. 106–113. (In Russian).

9. Bondarenko V.M., Prokhorov V.N. On the assessment of the strength resistance of reinforced concrete to corrosion damage. *News of higher educational institutions. Construction*. 1998, no. 3, pp. 30–41. (In Russian).

10. State Standard R 53778-2010. Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition. Moscow: Standardinform Publ.; 2014. (In Russian).

11. SP 63.13330.2012. Concrete and reinforced concrete construction. Design requirements. Updated version of SNiP 52-01-2003. Moscow; 2012. (In Russian).

Информация об авторе /

Information about the author

Арман Арамаисович Минасян, канд. техн. наук, заведующий сектором железобетонных конструкций лаборатории кирпичных, блочных и панельных зданий ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: 1747210@mail.ru
тел.: +7 (499) 174-77-94

Arman A. Minasyan, Cand. Sci (Engineering), Head of the Reinforced Concrete Structures Sector, Laboratory of Brick, Block and Panel Buildings, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: 1747210@mail.ru
tel.: +7 (499) 174-77-94

О.О. ЦЫБА^{1,✉}, Н.Н. ТРЕКИН^{2,3}, Э.Н. КОДЫШ³, Н.Н. БАГЛАЕВ⁴, А.В. ШЕВЧЕНКО⁴

¹ Металлургический холдинг «Новосталь-М», ул. Краснопролетарская, д. 4, г. Москва, 127006, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

³ АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений» (АО «ЦНИИПромзданий»), Дмитровское шоссе, д. 46, корп. 2, г. Москва, 127238, Российская Федерация

⁴ КТБ Железобетон, 2-я Институтская ул., д. 6, стр. 64, г. Москва, 109428, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЯ АРМАТУРЫ НОВОГО КЛАССА ПРОЧНОСТИ А550СК

Аннотация

Высокий уровень качества производства электрометаллургических предприятий позволил достичь малых значений коэффициентов вариации контролируемых параметров и ввести новое значение в номинальный ряд классов арматуры. С целью постановки на производство нового класса прочности арматуры А550СК были проведены исследования на определение комплекса потребительских свойств. Положительные результаты исследований позволили стандартизировать новый класс прочности, применение которого позволит получить экономический эффект за счет снижения расхода стали.

Ключевые слова: арматура, железобетон, электрометаллургическое производство, коррозионная стойкость, экономический эффект

Для цитирования: Цыба О.О., Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Баглаев Н.Н., Шевченко А.В. Исследования арматуры нового класса прочности А550СК // Бетон и железобетон. 2023. № 5/6 (619). С. 62–70. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6\(619\)-62-70](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6(619)-62-70)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 09.11.2023

Поступила после рецензирования 12.12.2023

Принята к публикации 14.12.2023

O.O. TSYBA^{1,✉}, N.N. TREKIN^{2,3}, E.N. KODYSH³, N.N. BAGLAEV⁴, A.V. SHEVCHENKO⁴

¹ Novostal-M Holding, Krasnoproletarskaya str., 4, Moscow, 127006, Russian Federation

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

³ JSC "Central Research and Design Experimental Institute of Industrial Buildings and
Structures" (JSC "Tsniipromzdaniy"), Dmitrovskoe Shosse, 46, bld. 2,
Moscow, 127238, Russian Federation

⁴ KTB Beton Group, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 64, Moscow, 109428, Russian Federation

RESEARCH OF REINFORCEMENT OF A NEW STRENGTH CLASS A550SK

Abstract

The high level of production quality of electrometallurgical enterprises made it possible to achieve small values of the coefficients of variation of the controlled parameters and introduce a new value into the nominal range of reinforcement classes. In order to launch the production of a new strength class of A550SK reinforcement, studies were conducted to determine the complex of consumer properties. The positive results of the research allowed us to standardize a new strength class, the use of which will allow us to achieve an economic effect by reducing steel consumption.

Keywords: reinforcement, reinforced concrete, electrometallurgy, corrosion resistance, economic effect

For citation: Tsyba O.O., Trekin N.N., Kodysh E.N., Baglaev N.N., Shevchenko A.V. Research of reinforcement of a new strength class A550SK. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 5/6 (619), pp. 62–70. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6\(619\)-62-70](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-5/6(619)-62-70)

Author contribution statements

The authors contributed equally to this work.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 09.11.2023

Revised 12.12.2023

Accepted 14.12.2023

В настоящее время отечественная строительная отрасль при производстве сборного и монолитного железобетона в полной мере обеспечивается различными видами арматурного проката. Это достигнуто значительным повышением уровня технологического оборудования при производстве металлопроката по всей цепочке от ломозаготовки до готовой продукции. В течение последних 20 лет практически все российские металлургические предприятия провели техническое перевооружение производственных мощностей, также появились новые предприятия, которые, естественно, оснащаются современным оборудованием. Инновации внедряются в процессы плавления металлического лома с получением полупродукта для непрерывно литой заготовки, при добавлении оптимальных композиций химического состава в установку «печь – ковш» с доведением металла по химическому составу согласно необходимым требованиям, при кристаллизации жидкого металла на заготовку, при прокате на различных группах клетей и даже при учете, хранении и реализации продукции.

Широкая дифференциация арматурного проката в РФ связана, прежде всего, с разнообразием климатических зон, сейсмических зон, богатой историей строительной отрасли, с развитыми технологиями сборного, сборно-монолитного и монолитного железобетона.

Расширение ассортимента арматурных сталей предполагает актуализацию действующих и разработку новых нормативных документов как на производство, так и на применение. В [1] описывается процесс внедрения ГОСТ 34028-2016 [2] с обзором новых требований к арматурному прокату, которые не были учтены в прошлых нормативных документах [3–5]. Целью данной статьи не является подробный разбор требований ГОСТ 34028-2016 [2] и сравнение их с требованиями отмененных стандартов [3–5], однако для дальнейшего обоснования разработки нового вида арматуры основные сравнительные моменты необходимо напомнить.

С выходом ГОСТ 34028-2016 [2] на производство арматурного проката был окончательно решен вопрос свариваемости арматуры. Помимо ограниченных верхних и нижних границ углеродного эквивалента для классов A500C и A600C, допускается введение отдельно или по отдельности в любом сочетании легирующих элементов ванадия, ниобия, молибдена в количестве до 0,1 % при их суммарной массовой доле не более 0,15 %.

В части сортамента сделан шаг в сторону его дискретности. Появились новые промежуточные диаметры с шагом 0,5 мм в диапазоне от 4,0 до 10 мм при производстве методом холодной деформации, так и с шагом 1,0 мм в диапазоне от 10 до 20 мм при горячекатаном производстве. Причем сегодня в практике проектирования и строительства встречается горяче-

катаная арматура не только диаметра 11 мм, но и диаметра 13 мм. Введение дополнительного предельного отклонения по массе 1 метра длины проката при поставке «ОМ2» сужает диапазон отклонений и делает отрицательным от номинала средний вес погонного метра при поставке. Производство в допуске «ОМ2» связано с коммерческой составляющей и полностью освоено различными сортавыми заводами в РФ.

В требованиях к периодическому профилю арматуры появились новые виды конфигураций. Так, форма профиля, применяемая при холодной обработке горячекатаного проката и имеющая конфигурацию 4ф по ГОСТ 34028-2016 [2], хорошо зарекомендовала себя при размотке бунта. Практика российских предприятий показала, что четырехсторонний профиль формы 4ф обеспечивает большую технологичность при размотке бунта, исключает кручение по длине, смятие поперечных ребер, износ роликов. Сегодня крупнейшие и передовые отечественные заводы сборного железобетона, в том числе производства модульных конструкций, внедряют технологию применения плотных бунтов рядной смотки с профилем 4ф, что дает экономический эффект от увеличения производительности размоточного и сварочного оборудования и отсутствия окалины (рис. 1). С другой стороны, открываются возможности в части расширения использования горячекатаной арматуры взамен холоднодеформированной, что также положительно сказывается как на экономических показателях, так и на надежности железобетона. Что касается известных профилей с конфигурациями 1ф «кольцевой», 2ф «серповидный европейский» и 3ф «трехсторонний karl», то они вошли в ГОСТ 34028-2016 [2] из отмененных стандартов практически без изменений как наиболее оптимальные.



Рис. 1. Произведенная в РФ арматура класса A500CNU повышенной пластичности с четырехсторонним периодическим профилем в бунтах рядной смотки

Fig. 1. A500CNU class reinforcement manufactured in the Russian Federation with increased plasticity with a four-sided periodic profile in row-winding coils

Требования к повышенной и высокой категориям пластичности, впервые введенные в ГОСТ 34028-2016 [2], нашли свое применение в нормативных документах на строительство и проектирование в сейсмических районах. Так, согласно европейскому стандарту [6] и российскому [7], не допускается использовать в качестве рабочего арматурный прокат, имеющий полное относительное удлинение при максимальном напряжении ($\delta_{\max}$) менее 2,5 % при 7 баллах, менее 5 % – при 8 баллах, менее 7 % – при 9 баллах, что нашло отражение в ГОСТ 34028-2016 [2] в требованиях к относительному удлинению $\delta_{\max}$, и отношение временного сопротивления к пределу текучести не менее 1,08 и не менее 1,15–1,35.

В целом, работу российских металлургов по ГОСТ 34028-2016 [2] можно охарактеризовать как положительную, а переход на данный стандарт считать состоявшимся. В настоящее время заводы-производители освоили основную номенклатуру, получили сертификаты соответствия в аккредитованных лабораториях.

Тем не менее можно найти дополнительные возможности для развития с учетом современных вызовов, например, рассмотреть возможность совместной дискретности классов прочности арматуры и сортамента, что взаимосвязано друг с другом.

Например, классы прочности листового, фасонного и широкополосного проката, где, в соответствии с [8], от класса прочности 235 МПа (С235) до 690 МПа (С690) насчитывается десять позиций. В то же время в [9] для арматуры класса А насчитывается всего шесть позиций от класса прочности 240 до 1000 МПа. Понятно, что одной из причин различной дискретности является то, что стальной прокат в напряженно-деформативном состоянии работает как отдельный материал, а арматурный прокат работает совместно с бетоном и взаимозависим с ним. Тем не менее сегодня есть потребность в повышении класса прочности арматуры в сегменте самого востребованного класса А500. Некоторые заводы-производители арматурного проката с целью увеличения расчетного сопротивления (R_s) для класса А500 до $R_s = 450$ МПа увеличивают требуемые значения физического предела текучести (σ_s) на 15 МПа – до 515 МПа, формально оставаясь в классе А500 в соответствии с [9] и ГОСТ 34028-2016 [2].

Отметим еще одну тенденцию в металлургическом комплексе, которая влияет на арматурный прокат строительного назначения. В мире вообще и в РФ в частности за последние десятилетия происходит смещение от предприятий «полного цикла», включающих в себя переработку руды, создание сплавов, выплавку металла и прокатку на электрометаллургические предприятия, где исходным сырьем является лом. Электросталеплавильное производство, помимо известных преимуществ (возможность переработки вторичного сырья, уменьшение выбросов в атмосферу и сокращение углеродного следа), обладает таким преимуществом, как повышенное содержание легирующих элементов в сталях. Таким образом, если предприятию «полного цикла» для получения сталей строительного назначения необходимо производить дополнительное легирование, то в электрометаллургических предприятиях подобное легирование может обеспечиваться непосредственно из лома.

Это дает возможность электрометаллургическим предприятиям гарантированно получать класс прочности А550, достаточно легированный для обеспечения повышенной прочности сварных соединений и коррозионной стойкости. Это стало предпосылкой в проведении НИОКР по изучению свойств нового класса арматуры.

В процессе НИОКР определялись химический состав стали, выборочные геометрические характеристики сечений проката, механические свойства проката, свариваемость проката при отдельных способах сварки, испытания проката на изгиб на 180° и на изгиб с разгибом, стойкость проката к коррозионному растрескиванию.

Согласно принятым методикам и устоявшемуся опыту, образцы, подлежащие исследованию в сорimente 10, 16, 32 мм в количестве 18 плавок, были доставлены в Центр высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова и аккредитованный испытательный Центр коллективного пользования «Технологии и Материалы» НИУ БелГУ (г. Белгород).

Исследование химического состава

Исследования химического состава стали осуществлялись на эмиссионных спектрографах FOUNDRY-MASTER и СПАС. В соответствии с п. 5.4.1 ГОСТ 34028-2016 [2] химический состав стали в готовом прокате А500–А600 должен соответствовать приведенному в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Химический состав арматурной стали 500–600 МПа
The chemical composition of 500–600 MPa reinforcing steel

Класс проката	Массовая доля элементов, %, не более							
	C	Si	Mn	P	S	N	Cu	As
A500–A600	0,24	0,95	1,70	0,055	0,055	0,013	0,35	–

Установленный химический состав стали проката по содержанию нормируемых элементов и углеродный эквивалент по плавкам представлены в табл. 2. Установлено соответствие содержания химических элементов в стали исследуемого проката требованиям ГОСТ 36028-2016 [2] для проката А500–А600.

Таблица 2
Table 2

Химический состав арматурной стали 550 МПа
Chemical composition of 550 MPa reinforcing steel

Элемент	Диапазон
Углерод	0,18–0,24
Кремний	0,10–0,84
Марганец	0,42–1,30
Фосфор	0,016–0,025
Сера	0,011–0,023
Азот	0,007–0,011
Медь	0,18–0,27
Молибден	0,009–0,029
Хром	0,10–0,20
Никель	0,091–0,156
Мышьяк	0,005–0,021
Олово	0,008–0,019
Свинец	0,001–0,019

Следует отметить наличие в химическом составе набора дополнительных элементов. Так, содержание серы и фосфора в указанном соотношении проявляется слабо и не приводит к заметному снижению механических свойств стали и свариваемости. Содержание никеля от 0,091 до 0,156 мас.% позволяет обеспечить в готовом металлопрокате высокие значения временного сопротивления, предела текучести и относительного удлинения при хорошей свариваемости, а также повысить коррозионную стойкость стали. Влияние данного элемента при его содержании менее 0,091 мас.% незначительно, при этом увеличение содержания никеля более 0,156 мас.% приведет к увеличению стоимости продукции. Наличие хрома положительно сказывается на прочности стали и расширяет возможности использования металлического лома при выплавке, что способствует снижению себестоимости. Содержание хрома от 0,100 до 0,200 мас.% обеспечивает высокую пластичность и свариваемость. А также содержание хрома в сталях способствует увеличению коррозионной стойкости. Наличие в составе стали 0,009–0,029 мас.% молибдена обеспечивает получение прочностных характеристик, однако превышение приведенных значений не сопровождается дальнейшим повышением качества арматурного проката, а лишь увеличивает расходы на легирование, что представляется нецелесообразным. При добавлении меди повышается прочность и значительно увеличивается стойкость стали к корро-

зии. Также стоит отметить ограничения по содержанию мышьяка, олова и свинца.

Исследования геометрических характеристик и механических свойств

Для исследования возможных отклонений параметров поперечного профиля были проведены выборочные измерения согласно п. 5.2 ГОСТ 34028-2016 [2] в части формы профиля 2ф, включая относительную площадь смятия поперечных ребер f_R , определяемую по п. А.5 ГОСТ 34028-2016 [2].

Опытный материал полностью соответствует требованиям ГОСТ 34028-2016 [2] в части формы профиля 2ф, однако стоит отметить, что полученные значения относительной площади смятия поперечных ребер f_R с учетом статистической обеспеченности 0,95 достигают значений не менее 0,075, что с учетом работ [10, 11] может стать фактором дополнительного исследования по снижению длины анкеровки арматуры в бетоне, длины нахлеста и ширины раскрытия трещин.

Для определения механических свойств исследуемые образцы были изготовлены из целых стержней исследуемого арматурного проката d10, d16 и d32. Образцы d10 и d16 изготавливались с необработанной поверхностью, образцы d32 изготавливались обточенными цилиндрической формы с сохранением на головках поверхности проката, с соблюдением требований к форме, размерам и обработке рабочей части образцов.

Механические свойства проката на изготовленных образцах от проката d10, d16 и d32 выполнялись в соответствии с ГОСТ 12004-81 [12] на универсальных испытательных машинах WEW-600D и РЭМ-600-А-1.4.

Результаты испытаний представлены в табл. 3 и 4 и полностью соответствуют новому классу А550.

Свариваемость проката

Испытаниям на свариваемость подвергают прокат минимального, среднего и максимального номинальных диаметров, прокат каждого номинального диаметра отбирают для испытаний от трех случайно выбранных плавков. В соответствии с п. 6.1.4.3 ГОСТ 34028-2016 [2] прокат класса А500С–А600С гарантируется как свариваемый с одновременным выполнением следующих требований:

- химическим составом стали по табл. 4 ГОСТ 34028-16 [2] (требование обеспечено в соответствии с п. 1. Исследование химического состава стали);
- значением углеродного эквивалента (Сэкв) в готовом прокате не более 0,52 % (требование обеспечено в соответствии с п. 1. «Исследование химического состава стали»;
- удовлетворительными результатами испытаний на растяжение в соответствии с требованиями Приложения Г ГОСТ 34028-2016 [2].

Таблица 3
Table 3Механические свойства арматурной стали 550 МПа
Mechanical properties of 550 MPa reinforcing steel

Плавка	Испытано образцов	d, мм	$\sigma_{0,05}$, МПа	$\sigma_r(\sigma_{0,2})$, МПа	σ_b , МПа	δ_5 , %	δ_p , %	δ_{max} , %	σ_b/σ_r
215470	10	10	540,1	614,6	703,3	21,4	7,3	7,7	1,15
216329	10	10	551,7	625,1	712,1	19,4	6,3	6,7	1,14
216328	10	10	520,3	593,7	677,4	21,2	5,0	5,4	1,14
X_{cp} – kS			492,1	565,4	650,7	17,1	2,6	3,0	1,12
C_{min}			468	550	650	13	2	2,5	1,05
215348	10	16	514,2	575,0	675,5	19,2	8,8	9,1	1,17
215349	10	16	512,5	582,7	687,2	18,8	7,6	7,9	1,18
215481	10	16	516,9	583,2	683,7	22,0	9,4	9,7	1,18
X_{cp} – kS			494,1	559,6	662,1	16,5	5,9	6,3	1,16
C_{min}			468	550	650	13	2	2,5	1,05
217817	10	32	478,9	544,1	677,9	19,0	8,7	9,0	1,25
217818	10	32	482,9	547,3	669,8	18,8	8,5	9,2	1,25
217819	10	32	501,9	571,1	695,9	18,8	8,5	9,1	1,25
X_{cp} – kS			460,0	526,5	653,4	17,1	8,2	8,8	1,24
C_{min}			468	550	650	13	2	2,5	1,05

Таблица 4
Table 4Механические свойства арматурной стали 550 МПа (обточенные образцы)
Mechanical properties of 550 MPa reinforcing steel (ground samples)

Плавка	Испытано образцов	d, мм	$\sigma_{0,05}$, МПа	$\sigma_r(\sigma_{0,2})$, МПа	σ_b , МПа	δ_5 , %	δ_p , %	δ_{max} , %	σ_b/σ_r
217817	6	32	494,1	583,4	699,4	19,8	8,7	8,9	1,26
217818	6	32	500,3	585,8	699,7	18,8	8,5	9,2	1,24
X_{cp} – kS			473,3	567,6	674,2	16,9	8,0	8,4	1,22
C_{min}			468	550	650	13	2	2,5	1,05

Контроль свариваемости (пригодности к сварке) проката соответствующего номинального диаметра проводят путем испытания широко применяющихся в строительстве и в наибольшей степени влияющих на механические свойства сварных соединений. Были проведены испытания на соединения ванно-шовной сваркой на стальной скобе-накладке по типу С15-Рс, контактно-стыковой сваркой по типу С1-Ко, ручной дуговой сваркой протяженными швами внахлестку по типу С23-Рэ, ручной дуговой сваркой прихватками по типу К3-Рп, контактно-точечной сваркой по типу К1-Кт, тавровых соединений дуговой сваркой под флюсом по типу Т2-Рф.

Результаты испытаний показали значения, превышающие требования к новому классу А550, так:

- образцы ванно-шовной сварки на стальной скобе-накладке по типу С15-Рс в испытаниях на растяжение разрушались при временном сопротивлении соединения 657–702 МПа;

- образцы контактно-стыковой сварки по типу С1-Ко в испытаниях на растяжение разрушались вне места сварки или в области сварного соединения при

временном сопротивлении соединения 663–708 МПа;

- образцы соединений ручной дуговой сваркой протяженными швами внахлестку по типу С23-Рэ в испытаниях на растяжение разрушались по основному стержню в зоне термического влияния сварки при временном сопротивлении соединения 610–660 МПа;

- образцы крестообразных соединений ручной дуговой сваркой прихватками по типу К3-Рп (ГОСТ 14098-2014 [13]) в испытаниях на растяжение разрушались по основному стержню вне зоны термического влияния сварки при временном сопротивлении соединения 592–616 МПа;

- образцы соединений контактно-точечной сваркой по типу К1-Кт в испытаниях на растяжение разрушались по основному стержню вне зоны термического влияния сварки при временном сопротивлении соединения 592–630 МПа;

- образцы соединений контактно-точечной сваркой по типу К1-Кт в испытаниях на срез разрушились по металлу сварного шва при усилии среза 15,4–18,0 кН (d10), 37,0–41,0 кН (d16);

- образцы соединений контактно-точечной свар-

кой по типу К1-Кт в испытаниях на изгиб до угла 60° вокруг оправки диаметром 5dн–6dн (50, 100 и 200 мм) с поперечным стержнем меньшего диаметра, расположенным в зоне максимального изгибающего момента, сохранили целостность без видимых трещин;

– образцы крестообразных соединений ручной дуговой сваркой прихватками по типу КЗ-Рп (ГОСТ 14098-2014 [13]) в испытаниях на изгиб до угла 60° вокруг оправки диаметром 5dн–6dн (50, 100 и 200 мм) с поперечным стержнем меньшего диаметра, расположенным в зоне максимального изгибающего момента, сохранили целостность без видимых трещин;

– образцы тавровых соединений дуговой сваркой под флюсом (по типу Т2-Рф) в испытаниях на отрыв в навесном фиксирующем захвате и растяжении до разрушения с контролем приложенного усилия разрушались в зоне сплавления стержня с пластиной при временном сопротивлении соединения 563–624 МПа.

Испытания проката на изгиб и на изгиб с разгибом

В соответствии с п. 5.7.2 ГОСТ 34028-2016 [2] испытание на изгиб проката классов А500–А600 проводят в холодном состоянии поставки на угол 180° вокруг оправки диаметром 3dн (для проката до d16 включительно) и 6dн (для проката свыше d16). В соответствии с Приложением Б ГОСТ 34028-2016 [2] испытание на изгиб с разгибом проводят на образцах с необработанной поверхностью. Испытание на изгиб с последующим разгибом заключается в пластической деформации образца проката путем изгиба вокруг оправки максимального диаметра 5dн (для проката до d16 включительно), 8dн (для проката до d25) и 10dн (для проката свыше d25) до достижения угла 90°, следующем старении по режиму (нагрев испытуемого образца до температуры 90–110 °С, выдержка при данной температуре не менее 60 мин, охлаждение на спокойном воздухе при температуре 10–35 °С) и разгибе под действием силы в направлении, противоположном первоначальному, до угла 20°.

В соответствии с п. 5.7.4 ГОСТ 34028-2016 [2] после испытаний проката на изгиб или изгиб с разгибом на образцах не должно быть трещин и разрывов, видимых без применения увеличительных приборов. Результаты испытаний удовлетворительные, указанных признаков разрушения на поверхности образцов не установлено.

Стойкость проката к коррозионному растрескиванию

С целью определения стойкости проката против коррозионного растрескивания – способности арматурного проката не разрушаться в течение заданного времени при совместном воздействии изгибающих или растягивающих напряжений и агрессивных сред – были проведены испытания проката d10, d16 и d32 по методике Приложения Ж ГОСТ 34028-2016 [2].

В соответствии с п. 6.1.7 ГОСТ 34028-2016 [2] удовлетворительным результатом испытаний проката является обеспечение стойкости к коррозионному растрескиванию в течение 40 ч. Результаты испытаний проката стойкости к коррозионному растрескиванию представлены в табл. 5.

Таблица 5
Table 5

Результаты испытаний на коррозионное растрескивание Corrosion cracking test results

дн, мм	Плавка	Время растрескивания, ч
10	216328	> 40
	216329	
	215470	
16	215349	
	215481	
	215348	
32	219817	
	219818	
	219819	

На основании проведенных исследований можно с уверенностью утверждать о получении на электрометаллургических предприятиях гарантированного класса прочности 550 МПа в арматурном прокате, который может найти эффективное применение при проектировании промышленных и гражданских зданий и сооружений.

Разработан пакет нормативно-технической документации, а именно:

– ТУ 14-1-5710-2022 «Прокат термомеханически упрочненный свариваемый класса А550СК для армирования железобетонных конструкций стойкий к коррозионному растрескиванию»;

– СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ СОЮЗА ПРОЕКТИРОВЩИКОВ РОССИИ «Конструкции железобетонные. Применение арматуры класса А550СК в железобетонных конструкциях СТО СПР 2022»;

– Отчет по технико-экономическому обоснованию применения арматурного проката А550СК в ненапряженных железобетонных конструкциях;

– Сертификат соответствия в системе «Мосстройсертификации»;

– Техническое свидетельство о пригодности для применения в строительстве новой продукции и технологий, требования к которым не регламентированы нормативными документами полностью или частично и от которых зависит безопасность зданий и сооружений.

Сегодня внедрение любого нового материала сопровождается рядом определенных мероприятий, связанных с отраслевым взаимодействием между производителями и потребителями. В короткий пери-

од с 2022 года по настоящее время арматура А550СК уже применяется в проектах строительства гражданских зданий Москвы, Сочи, Самары, Ташкента, Еревана.

Список литературы

1. Цыба О.О., Дьячков В.В., Саврасов И.П., Панченко А.И. О новом межгосударственном стандарте ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций» // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2017. № 3. С. 23–31.
2. ГОСТ 34028-2016. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2019.
3. СТО АСЧМ 7-93. Прокат арматурный периодического профиля. Технические условия. Москва: Ассоциация «Черметстандарт»; 2007.
4. ГОСТ Р 52544-2006. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2006.
5. ГОСТ 10884-94. Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2009.
6. EN 1998-1-1:1994. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance (Проектирование сейсмостойких конструкций).
7. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. Москва: Стандартинформ; 2018.
8. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. Москва: Стандартинформ; 2019.
9. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: Стандартинформ; 2018.
10. Трещиностойкость и деформативность растянутого железобетона с ненапрягаемой и напрягаемой стержневой арматурой, имеющей различную относительную площадь смятия поперечных ребер. Цыба О.О., автореферат диссертации к.т.н., науч.-исследовательский центр «Строительство», 2011 год.
11. Зикеев Л.Н., Цыба О.О. Трещиностойкость железобетонных растянутых элементов с учетом относительной площади смятия растянутой арматуры // *Промышленное и гражданское строительство*. 2009. № 10. С. 30–32.
12. ГОСТ 12004-81. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. Москва: Стандартинформ; 2009.
13. ГОСТ 14098-2014. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры. Москва: Стандартинформ; 2015.

References

1. Tsyba O.O., Dyachkov V.V., Savrasov I.P., Panchenko A.I. About the new interstate standard GOST 34028-2016 "Steel for the reinforcement for concrete". *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2017, no 3, pp. 23–31. (In Russian).
2. State Standard 34028-2016. Reinforcing rolled products for reinforced concrete constructions. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
3. STO ASCHM 7-93. Deformed reinforcing rolled products. Specifications. Moscow: Association of Enterprises and Organizations for standardization of Ferrous Metallurgy products – "Chermetstandart"; 2007. (In Russian).
4. State Standard R 52544-2006. Weldable deformed reinforcing rolled products of A500C and B500C classes for reinforcement of concrete constructions. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2006. (In Russian).
5. State Standard 10884-94. Thermomechanically hardened steel bars for reinforced concrete constructions. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2009. (In Russian).
6. EN 1998-1-1:1994. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance.
7. SP 14.13330.2018. Seismic building design code. Updated version of SNiP II-7-81*. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).
8. SP 16.13330.2017. Steel structures. Updated version of SNiP II-23-81*. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
9. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Moscow; 2018. (In Russian).
10. Crack resistance and deformability of stretched reinforced concrete with non-stressed and tensioned rod reinforcement having a different relative area of crushing of transverse ribs. Tsyba O.O., abstract of the dissertation of the Cand. Sci. (Engineering), JSC RCC, 2011. (In Russian).
11. Zikeev L.N., Tsyba O.O. Crack resistance of reinforced concrete stretched elements, taking into account the relative area of crushing of stretched reinforcement. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2009, no. 10, pp. 30–32. (In Russian).
12. State Standard 12004-81. Reinforcing-bar steel. Tensile test methods. Moscow: Standartinform Publ.; 2009. (In Russian).
13. State Standard 14098-2014. Welded joints of reinforcement and inserts for reinforced concrete structures. Types, constructions and dimensions. Moscow: Standartinform Publ.; 2015. (In Russian).

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

Олег Олегович Цыба ✉, канд. техн. наук, начальник отдела новых продуктов Новосталь-М, руководитель ПК4 «Арматурный прокат для железобетонных конструкций» при ТК 375 «Металлопродукция из черных металлов и сплавов», Москва
e-mail: cyba.o.o@novostal-m.ru

Oleg O. Tsyba ✉, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Department of New Products of Novostal-M, Head of SC4 "Reinforcing bars for reinforced concrete structures" at TC 375 "Metal products from ferrous metals and alloys", Moscow
e-mail: cyba.o.o@novostal-m.ru

Николай Николаевич Трекин, д-р техн. наук, профессор НИУ МГСУ; заместитель директора, научный руководитель АО «ЦНИИПромзданий», Москва
e-mail: nik-trekin@yandex.ru

Nikolay N. Trekin, Dr. Sci. (Engineering), Professor of the Moscow State University of Civil Engineering; Deputy Director, Scientific Director of JSC "Tsniipromzdaniy", Moscow
e-mail: nik-trekin@yandex.ru

Эмиль Наумович Кодыш, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник АО «ЦНИИПромзданий», Москва
e-mail: otk@yandex.ru

Emil N. Kodysh, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Chief Researcher of JSC "Tsniipromzdaniy", Moscow
e-mail: otk@yandex.ru

Николай Николаевич Баглаев, генеральный директор КТБ Железобетон, Москва
e-mail: n.baglaev@ktbbeton.com

Nikolay N. Baglaev, General Director of KTB Beton Group, Moscow
e-mail: n.baglaev@ktbbeton.com

Андрей Викторович Шевченко, канд. техн. наук, главный инженер КТБ Железобетон, Москва
e-mail: a.shevchenko@ktbbeton.com

Andrey V. Shevchenko, Cand. Sci. (Engineering), Chief Engineer of KTB Beton Group, Moscow
e-mail: a.shevchenko@ktbbeton.com

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

СОСТОЯНИЕ ИНДУСТРИИ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ЗА 2022 ГОД

Аналитическое исследование Ассоциации «Железобетон»

THE STATE OF THE CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE INDUSTRY IN 2022

Analytical study of the Reinforced Concrete Association

1.

Основные тренды развития индустриального домостроения в свете
Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года.

2.

Состояние индустрии бетона и железобетона, 2022 г.
Модернизация производства в условиях санкционного давления.
Способы достижения технологического суверенитета. Роль строительной науки.

3.

О прогрессивных технологиях домостроения и о развитии
внедрения инновационных материалов из бетона и железобетона.

1.

**Основные тренды развития
индустриального домостроения в свете
Стратегии развития строительной отрасли
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации на период до 2030 года
с прогнозом до 2035 года**

*(Далее курсивом в тексте отмечены цитаты из
указанного документа).*

Анализируя ряд ранее принятых Стратегий (и не до конца реализованных), можно отметить, что государство не являлось ключевым игроком в градостроительной отрасли. Не было единой политики ни строительства, ни технического перевооружения предприятий строительного комплекса. Строилось не то, что нужно обществу, а то, что выгодно инвестору. В результате частный инвестор не имел серьезной мотивации к инновационному процессу. И хотя в принятой Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года роль государства значительно повышена и намечена задача формирования высокотехнологичной, конкурентоспособной промышленности, способной обеспечить переход экономики государства от экспортно-сырьевого типа развития к инновационному, со снижением зависимости от импорта оборудования, используемого при производстве строительных материалов, без достаточного ресурсного обеспече-

ния реализации Стратегии и повышения роли строительной фундаментальной и прикладной науки в разработке наиболее эффективных мер и инструментов выполнить поставленные задачи невозможно. Кроме этого, для решения поставленных задач необходимо обладать финансовым и технологическим суверенитетом.

Стратегическая задача – реализовать потенциал строительного комплекса, что обеспечит основу развития каждого региона и страны в целом. Она выражена Стратегической целью – ввод более 1 млрд кв. метров жилья (за период 2021–2030 годов), в том числе многоквартирных домов не менее 550 млн кв. метров, индивидуальных жилых домов не менее 450 млн кв. метров, и формирование основы для дальнейшего развития жилищного строительства.

В Стратегии намечены основные тренды развития индустриальных технологий:

– «аддитивные технологии в строительстве» – технологии создания объектов капитального строительства путем их послойного наращивания и синтеза с помощью электронных геометрических моделей (3D-печать);

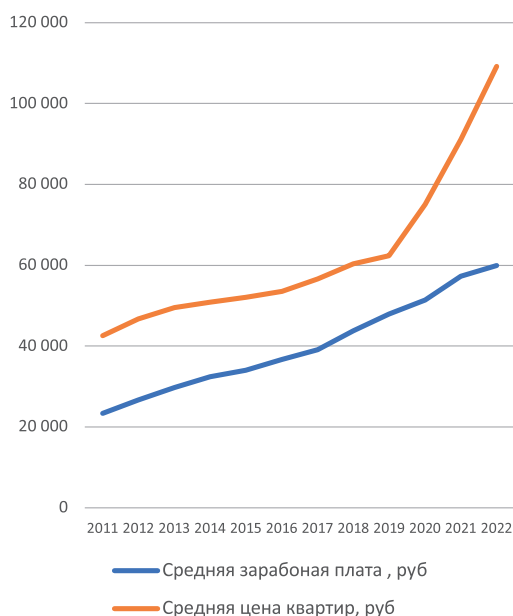
– увеличены объемы потребления и, как следствие, производства продукции индустриального домостроения (элементов сборного каркаса, блочно-модульного домостроения), конструкций из перекрестно-клееной древесины, а также современных алюминиевых, композитных и полимерных материалов.

Не озвучены критерии развития индустриальных технологий, отвечающих требованиям потребителей:

- скорость строительства;
- себестоимость кв. м жилья;
- возможность свободной планировки;
- выразительность архитектурных решений.

В то же время немаловажным фактором выполнения Стратегии является покупательная способность населения и стоимость кв. м жилья. Анализируя ожидания рынка недвижимости в регионах, следует отметить следующее: начиная с 2020 года в РФ произошло непропорциональное увеличение стоимости жилья по отношению к средней заработной плате. Объясняется это и увеличением стоимости строительных материалов (цемент, металл, песок и щебень), и возросшими «аппетитами» девелоперов, что привело к снижению «доступности» жилья и к отказам от заключения новых ипотечных договоров. «Стоимость стройматериалов не настолько возросла, насколько наши ведущие девелоперы подняли стоимость метра», – сказал министр строительства и ЖКХ Ирек Энварович Файзуллин. Он отметил, что Минстрою известна реальная стоимость квадратного метра. К примеру, себестоимость «квадрата» в панельном доме стоит около 62 тысяч рублей, при этом такие квартиры продаются порой по цене до 200 тысяч рублей за кв. м.

Жилье считается «доступным» при соотношении 1:1 месячной заработной платы и стоимости 1 м² жилья.



Начиная с 2011 по 2019 год разница между стоимостью 1 м² жилья и средней заработной платой в РФ составляла от 19 до 14 тысяч рублей (табл. 1). После 2020 года эта разница увеличилась до 23 684 рублей и в 2022 году составила уже 59 259 рублей.

Эта разница в увеличении стоимости жилья к росту заработной платы привела к резкому снижению «доступности» жилья. Именно снижение «доступности» жилья и стало причиной замедления спроса и снижения динамики жилищного строительства. Этому фактору в Стратегии уделено особое внимание: *задачей является улучшение жилищных условий граждан за счет формирования доступного рынка арендного жилья: коммерческого – для семей с доходами не ниже средних; некоммерческого – для отдельных категорий семей с доходами ниже средних; социального (государственного и муниципального) – для отдельных категорий семей с низкими доходами; использование механизмов государственно-частного партнерства в целях формирования жилищного фонда социального использования и арендного жилья.*

Принято решение о:

- развитии индивидуального жилищного строительства, в том числе в рамках реализации инициативы социально-экономического развития Российской Федерации «Мой частный дом»;
- развитии рынка арендного жилья коммерческого, некоммерческого и социального использования. Арендное жилье является важным элементом жилищного рынка и позволяет удовлетворять жилищные потребности граждан на определенных стадиях жизненного пути (например, для молодых семей, специалистов, семей, не имеющих достаточно средств для выплаты первоначального взноса), решать задачи обеспечения служебным жильем;
- вызовом является недоступность ипотеки для 50 процентов населения при значении рыночной ставки по ипотеке на уровне 9–10 процентов и отсутствие роста реальных доходов населения как основы для формирования долгосрочного стабильного спроса на жилье. Задачами являются: обеспечение доступности ипотеки за счет снижения ипотечной ставки; обеспечение стабильного долгосрочного спроса на жилье и опережающего роста запуска новых проектов;
- снижены рыночные риски, связанные с изменениями в структуре доходов граждан и падением спроса. В случае реализации рисков и снижения спроса на новое жилье будут рассмотрены дополнительные меры поддержки, в том числе стимулирование ипотеки как механизма поддержки спроса в каждом регионе.

Таблица 1

Разница между стоимостью 1 м² жилья и средней заработной платой в РФ, 2011–2022 гг.

Год	2011	2013	2015	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ср. з/п, руб.	23 369	29 792	34 030	39 167	43 724	47 867	51 344	57 244	59 939
Ср. стоимость 1 м ² жилья, руб.	42 581	49 573	52 011	56 577	60 407	62 319	75 028	91 158	119 198
Разница	19 212	19 781	17 981	17 410	16 683	14 452	23 684	33 914	59 259

Кроме этого, Минстрой РФ подготовил приказ, который устанавливает среднюю рыночную стоимость одного квадратного метра на I квартал 2023 года по регионам (Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 22.12.2022 № 1111/пр «О нормативе стоимости одного квадратного метра общей площади жилого помещения по Российской Федерации на первое полугодие 2023 года и показателях средней рыночной стоимости одного квадратного метра общей площади жилого помещения по субъектам Российской Федерации на I квартал 2023 года». Зарегистрирован 29.12.2022 № 71870) (табл. 2.)

Таблица 2
Средняя рыночная стоимость 1 м² жилья на I квартал 2023 года по регионам

▲ Москва – 169,7 тыс. рублей
▲ Санкт-Петербург – 165,3 тыс. рублей
▲ Приморский край – 150,3 тыс. рублей
▲ Краснодарский край – 149,9 тыс. рублей
▲ Магаданская область – 147,7 тыс. рубле
▼ Ингушетия – 45,8 тыс. рублей
▼ Кабардино-Балкария – 50,2 тыс. рублей
▼ Калмыкия – 51,8 тыс. рублей
Для новых регионов РФ – ЛНР, ДНР, Запорожской и Херсонской областей – норматив стоимости квадратного метра установлен на уровне 88,7 тыс. рублей

Учитывая, что многие пункты Стратегий прошлых лет так и не были выполнены, идет снижение численности населения страны и снижение доходов населения, имеется дефицит рабочей силы, квалифицированных работников, бюджет на 2023 год принят без учета задач данного документа, можно предположить, что ряд положений Стратегии 2030 останется на бумаге.

Необходимо четкое региональное планирование производственных ресурсов, поставок смежников, подключение науки, специалистов, выделение финансов, расходных частей бюджета, которые обеспечили бы выполнение поставленных целей.

Осталось только уточнить, как эти самые цели и задачи будут достигнуты, понять, насколько гармонично они впишутся в уже распланированный бюджет 2023 года. Поскольку денег под них не выделено, если даже эти программы написать в следующем году, это должны быть не годовые программы. Это, как минимум, пятилетние комплексные планы, к которым, по словам наших чиновников, мы возвращаться не собираемся. Мы – рыночная экономика, доверяемся бескомпромиссно-рыночной невидимой руке. Мы видим слабые результаты программы модернизации инновационного развития и программы импортозамещения.

Одной Стратегии недостаточно, ее необходимо превратить во встроенную комплексную программу, непосредственно проработанную с будущими исполнителями, они должны участвовать в разработке этой будущей программы и в достижении целей Стратегии. Посмотрим, что отражено в Плане мероприятий по реализации Стратегии (табл. 3).

Таблица 3
Выписка из Плана мероприятий по реализации Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года
Разделы. Промышленное строительство и промышленность строительных материалов

№	Наименование мероприятия	Вид документа	Срок исполнения	Ответственные исполнители
1.	Совершенствование порядка размещения площадок с промышленной и технологической инфраструктурой	постановление Правительства Российской Федерации	IV квартал 2025 г.	Минпромторг России, Минстрой России
2.	Формирование картографической проекции размещения производственных объектов промышленности строительных материалов с указанием реестра выпускаемой продукции и контактными данными в целях организации отраслевой диверсификации, формировании информированности о производимой в регионах Российской Федерации отечественной продукции. Интеграция ресурса с данными (реестр) об отечественных производителях и прочими реестрами, системами, формирующими максимальную информацию о производственной деятельности предприятий. Системная актуализация сведений	размещение картографической проекции на сайте Минпромторга России	II квартал 2023 г.	Минпромторг России, Фонд развития промышленности
3.	Поддержка импортозамещения технологического оборудования, запчастей и комплектующих к нему для производства строительных материалов	доклад в Правительство Российской Федерации	IV квартал 2024 г.	Минпромторг России, Минстрой России, Минэкономразвития России

Как можно заметить, в Министерстве промышленности и торговли до сих пор не знают, где и сколько предприятий строительных материалов существует, что они выпускают, в каком они состоянии, если собираются только создавать их базу и карту их размещения на территории РФ. А по срокам разработки программ поддержки импортозамещения может быть что-то напишут через два года.

Опыт первых пятилеток, как это делалось раньше в масштабах страны, конечно позабылся, но соответствующие компетенции потеряны не полностью, этим еще можно заниматься, если будет принято решение все-таки вернуться к разработке планов и отойти от догматов рыночной экономики. Нужны системные решения, увязанные с технологиями индустриального домостроения с низкой себестоимостью и скоростью строительства.

Возможным комплексным подходом к формированию нового рынка было бы активное строительство арендного жилья, поддерживаемое государством, доходных домов в регионах с самой высокой стоимостью недвижимости. Например, этим мог бы заняться ДОМ.РФ (финансовый институт развития в жилищной сфере), накопивший большую экспертизу в девелоперском бизнесе. В этом случае можно было бы существенно сэкономить на стоимости земли, капитала и отрегулировать прибыль застройщиков и всех прочих участников процесса. Банк доходных домов решает сразу несколько стратегических задач.

Первая – мобильность населения. Одна из проблем дисбаланса на рынке труда в РФ заключается в

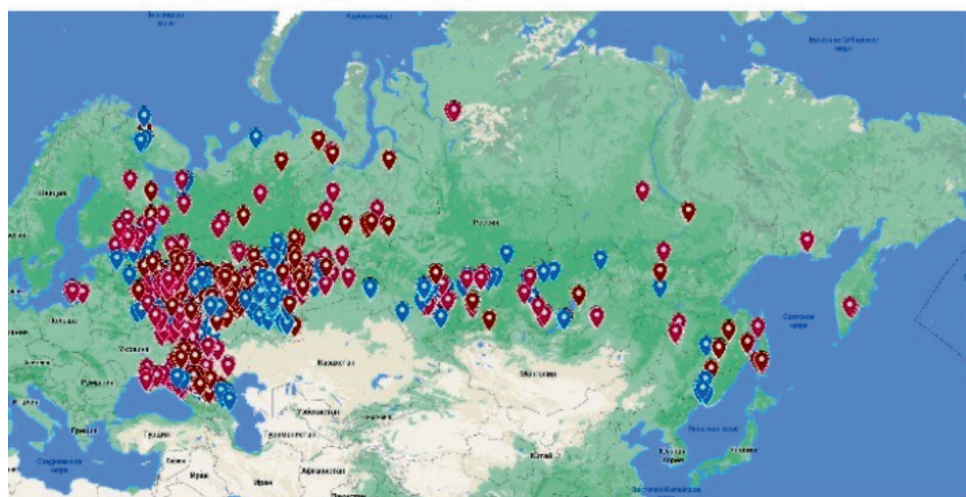
низкой мобильности трудовых ресурсов. Семейный охранник сторожевой будки на каком-нибудь карьере в Сибири не поедет работать на стройку в Москву, в том числе из-за высокой стоимости снимаемого жилья.

Вторая задача – это своего рода банк жилой недвижимости, который в далеком и светлом будущем, когда рынки вернутся на уровни 2021–2022 гг., сможет совершать квартирные интервенции для стабилизации земельного и жилищного рынков. Механизм может работать по такому же принципу, как и государственные зерновые интервенции. Это будет системным долгосрочным решением.

Третья задача – привлечение трудовых ресурсов в зоны возрождения индустриализации страны и технологического суверенитета, решение задач импортозамещения, создание рабочих мест в регионах.

Резюме: Поставленные цели и задачи возможно решить только на основе индустриального домостроения, модернизации индустрии, что требует научного системного подхода и достаточной квалификации сотрудников предприятий, начиная от технологов, заканчивая управляющим звеном. Системный подход – это сегодня обязательное требование, он предполагает наличие проектных и инженеринговых компетенций (а их в стране недостаточно – ведь на голом месте инженеринговые компетенции создать трудно!) Иначе будут закрываться и банкротиться модернизированные предприятия ЖБИ, а дорогостоящее оборудование сдаваться в металлолом.

Что сегодня актуально для отрасли?



~5000 → 2000 ~9000 → 5000

Предприятий 23.61 (ЖБИ) Предприятий 23.63 (товарный бетон)

Проблемы индустрии:

- Недостаток инвестиций
- Устаревшее оборудование и технологии
- Недостаточная квалификация персонала
- Нежелание работать по госзакупкам
- Сложность получения статуса МСП
- Недобросовестная конкуренция

ПРЕКРАЩЕН ОПЫТ
МАСШТАБНОГО
ВНЕДРЕНИЯ НИР/НИОКР

*) Данный раздел подготовлен по данным партнера Ассоциации «Железобетон» – Аналитического центра СМ PRO.

2.

Состояние индустрии бетона и железобетона, 2022 г. Модернизация производства в условиях санкционного давления. Способы достижения технологического суверенитета. Роль строительной науки

Производство и потребление ЖБИ

В 2022 году производство и потребление ЖБИ в РФ увеличилось (в январе-октябре 2022 года к январю-октябрю 2021 года) на 4,1 % до 14 821 тыс. куб. м. Цена производителей в январе-октябре 2022 года к аналогичному периоду 2021 года увеличилась на 26,4 % и составила 18 355 руб./куб. м.

Наибольший прирост производства с начала года показал Северо-Кавказский федеральный округ (+83 тыс. м³) на 16,2 %, то есть до 594 тыс. м³. Снижение не установлено ни в одном округе.

Производство и потребление товарного бетона

В 2022 году производство и потребление бетона в РФ увеличились (в январе-октябре 2022 года к январю-октябрю 2021 года) и составили +14,5 % – до 43,2 млн м³. Цены производителей (без НДС и доставки) в октябре 2022 года по отношению к сентябрю 2022 года сократились на 2,6 % и составили 4 984 руб./м³. Регионами, показавшими максимальный рост производства бетона в январе-октябре 2022 года к январю-октябрю 2021 года, являются Центральный федеральный округ +2 922 тыс. м³ (+25,1 %) – до 14 560 тыс. м³, Южный федеральный округ +865 тыс. м³ (+15,1 %) – до 6 576 тыс. м³, Приволжский федеральный округ +440 тыс. м³ (+7,4 %) – до 6 427 тыс. м³. Снижение производства не наблюдается ни в одном федеральном округе.

Таблица 4

Производство железобетонных изделий и конструкций по федеральным округам РФ в 2021–2022 гг., тыс. м³

Регионы РФ	окт., 2022 г.	сен., 2022 г.	Δ, %	окт., 2022 г.	окт., 2021 г.	Δ, %	с нач., 2022 г.	с нач., 2021 г.	Δ, %
Российская Федерация	1 566	1 638	-4,4 %	1 566	1 621	-3,4 %	14 821	14 243	+4,1 %
Центральный федеральный округ	364	381	-4,3 %	364	394	-7,6 %	3 304	3 239	+2,0 %
Приволжский федеральный округ	354	359	-1,3 %	354	342	+3,7 %	3 223	3 184	+1,2 %
Сибирский федеральный округ	254	303	-16,0 %	254	250	+1,6 %	2 537	2 447	+3,7 %
Уральский федеральный округ	193	200	-3,5 %	193	196	-1,4 %	1 859	1 750	+6,2 %
Северо-Западный федеральный округ	148	143	+3,6 %	148	179	-17,6 %	1 473	1 392	+5,8 %
Южный федеральный округ	121	124	-2,7 %	121	119	+1,6 %	1 110	1 067	+4,1 %
Дальневосточный федеральный округ	78	84	-7,1 %	78	78	-0,2 %	722	654	+10,4 %
Северо-Кавказский федеральный округ	54	45	+20,2 %	54	62	-13,9 %	594	511	+16,2 %



Таблица 5

Производство товарного бетона по федеральным округам РФ в 2021–2022 гг., тыс. м³

Регионы РФ	ОКТ., 2022 г.	СЕН., 2022 г.	Δ, %	ОКТ., 2022 г.	ОКТ., 2021 г.	Δ, %	с нач., 2022 г.	с нач., 2021 г.	Δ, %
Российская Федерация	5 376	5 567	-3,4 %	5 376	5 236	+2,7 %	43 238	37 765	+14,5 %
Центральный федеральный округ	1 973	1 993	-1,0 %	1 973	1 765	+11,7 %	14 560	11 638	+25,1 %
Южный федеральный округ	780	746	+4,5 %	780	770	+1,3 %	6 576	5 711	+15,1 %
Приволжский федеральный округ	801	870	-8,0 %	801	896	-10,7 %	6 427	5 986	+7,4 %
Северо-Западный федеральный округ	529	552	-4,2 %	529	553	-4,3 %	4 963	4 554	+9,0 %
Сибирский федеральный округ	533	600	-11,3 %	533	526	+1,2 %	4 299	4 086	+5,2 %
Уральский федеральный округ	300	315	-4,7 %	300	276	+8,7 %	2 381	2 096	+13,6 %
Дальневосточный федеральный округ	293	304	-3,7 %	293	287	+2,1 %	2 268	2 140	+6,0 %
Северо-Кавказский федеральный округ	168	186	-9,8 %	168	162	+3,9 %	1 766	1 554	+13,7 %



Проблематика

Отраслевой контекст

Производительность труда и эффективность в строительной отрасли отстают в 2,5 - 3 раза от других отраслей промышленности.

Такая ситуация наблюдается в подавляющем большинстве развитых стран, в том числе США, Китае, Германии, Великобритании и России. Что, вероятно, говорит об общей тенденции для строительной отрасли в мировом масштабе.

Строительная отрасль и сфера жилищного строительства в России еще более отстают от среднемировых отраслевых аналогов. Если обобщить и сказать применительно к себе:

Симптомы:

- Низкая производительность
- Отсутствие исследований, разработок, инвестиций в инновации
- Неудовлетворительный образ отрасли
- Отсутствие культуры, нацеленной на улучшение
- Отсутствие вертикальной интеграции в компаниях

О проблемах стройиндустрии бетона и железобетона

Анализируя проблемы железобетонной промышленности и состояние стройиндустрии сборного железобетона следует отметить следующее:

- сотни заводов ЖБИ и КПД выпускают сборный железобетон на технологических линиях 20–30-летней давности, а в концепции КПД – 40-летней давности;
- конструктивные системы современных жилых зданий развиваются слабо. А в это время Запад активно развивал идею индустриального строительства и за последние 30 лет прошел путь от крупнопанельного до мелкосерийного производства, существенно повысив:

- ▶ количество конструкций, изготавливаемых индустриальными методами на заводах;
- ▶ уровень унификации и стандартизации;
- ▶ рационализацию и производительность труда и т. п.

Необходим переход к **индустриализации строительства** – организации поточного возведения зданий и сооружений с применением прогрессивных проектных решений, элементов высокой заводской готовности и эффективных, механизированных, технологических процессов, обеспечивающих в конечном итоге повышение качества строительства, снижение его трудоемкости и сроков, стандартизацией и префабрикацией решений как средства повышения производительности, качества и прогнозируемости.

Стандартизация – деятельность, направленная на разработку и установление норм, требований, правил, характеристик с целью достижения оптимальной степени упорядочения в определенной области.

Индекс производительности труда в США

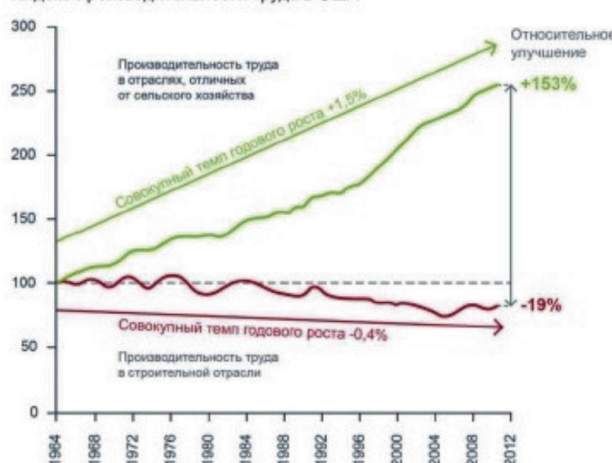
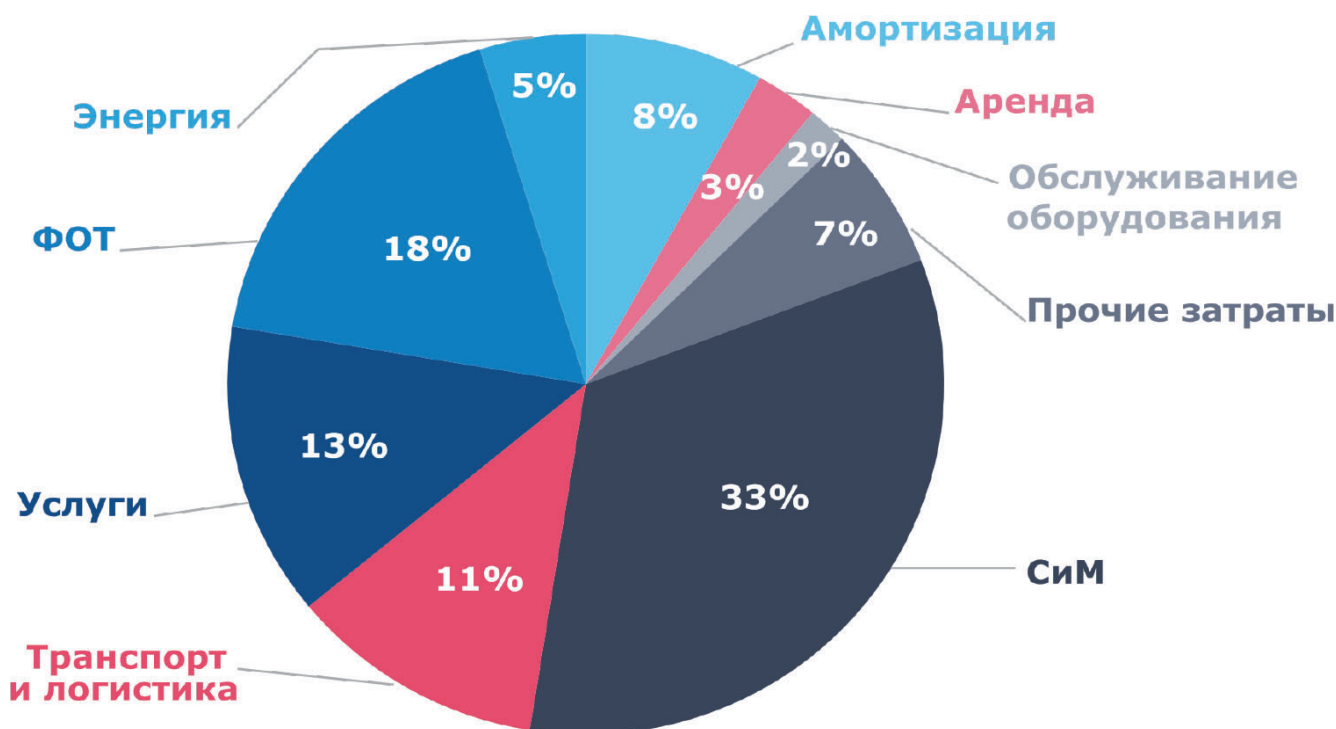


Рисунок 1: Источник «Формируя будущее строительной отрасли: прорыв в мышлении и технологиях». Всемирный экономический форум в сотрудничестве с Boston Consulting Group, 4 мая 2016 года (Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology, World Economic Forum in collaboration with the Boston Consulting Group, 4 May 2016)

Префабрикация – фабричное производство готовых изделий для сборки на строительной площадке.

Отечественное машиностроение для стройиндустрии в настоящее время не выпускает (за малым исключением) современное оборудование, которое может производить конкурентоспособную продукцию. Реконструкция предприятий строительной индустрии в последние 5–10 лет проводилась на базе зарубежных технологий, т. е. происходил процесс заимствования западных технологий и оборудования, создание базы для адаптации, модернизации и развития приобретенных линий (производств).

Объем инвестиций в основной капитал компаний, занятых в производстве изделий из бетона для использования в строительстве, в период с 2020 по 2022 год неуклонно снижается – около 10 % ежегодно. Снижение инвестиций в отрасли объясняется опасениями, связанными с ожиданиями изменений в экономике, которые показывают стабильное снижение доходов населения, что может повлечь за собой снижение спроса на недвижимость и, соответственно, на продукцию предприятий. Также резкий спад инвестиций объясняется высокой стоимостью оборудования и длительными сроками возврата инвестиций ввиду высокой конкурентности рынка изделий из бетона. Основными драйверами индустриального домостроения являются модернизированные предприятия сборного железобетона, способные выпускать домокомплекты под различные проекты панельного домостроения (ДСК и КПД). Таких предприятий в различных регионах России насчитывается около 60.



Рентабельность индустрии бетона и железобетона оценивается в диапазоне от 5 до 8 %, что не позволяет пользоваться кредитными ресурсами банков с высокой процентной ставкой. Структура себестоимости продукции железобетона выражена основными затратами на сырье и материалы и фонд оплаты труда. Особенностью рентабельности таких предприятий является условие необходимой загрузки мощностей на уровне не менее 80 % в связи с высокой стоимостью основных средств. Снижение загрузки ведет к снижению рентабельности и убыточности производства. Этим можно объяснить ряд банкротств предприятий сборного железобетона и их закрытие вследствие неэффективного управления.

При проведении модернизации под зарубежные технологии производства на данную структуру себестоимости дополнительно накладывается обслуживание кредитных ресурсов, а вследствие высокой стоимости оборудования – дополнительная амортизация. Поэтому очень важно поддерживать загрузку мощностей, определенную бизнес-планированием.

Средняя загрузка предприятий отрасли на текущий момент находится на уровне 50–60 %. Увеличение загрузки предприятий позволит повысить производительность труда и снизить себестоимость продукции. В настоящий момент в качестве стимула развития рынка делается ставка на рост объемов строительства для удовлетворения потребностей населения, инфраструктурных проектов, повышения спроса за счет расширения программ субсидирования и снижения ключевой ставки ЦБ. Доля сборного железобетона находится на уровне 13–14 % от общего объема строительства, но ожидается, что основными

драйверами для городского сектора станут бюджетный сборный и объемный железобетон. Новые технологии позволяют быстро и эффективно реализовать планы правительства. Для пригородной зоны и зоны индивидуального строительства драйверами являются технология возведения из газобетонных блоков и деревянное строительство, которое также планируется активно развивать.

Баланс производства и предложения в период с 2017 по 2021 год имел отрицательный характер.

С учетом сложной финансовой ситуации в стране, режима санкций ожидается общий спад экономики, что непременно приведет к усилению снижения уровня жизни населения – основного конечного потребителя зданий и сооружений, построенных из бетонных изделий. Прогноз составлен на основе следующих предпосылок:

- горизонт прогнозирования: 2021–2025 годы;
- используемые исторические данные покрывают пятилетний период с 2017 по 2021 год;
- использованы данные из различных источников (Росстат, СПАРК и пр.);
- прогнозируемый объем рынка изделий из бетона в России рассчитывается по росту выручек предприятий на основе CAGR в период с 2017 по 2021 год. По мнению сотрудников Ассоциации «Железобетон», необходимо введение государственного долгосрочного планирования на уровне регионов с привлечением производителей сырья и управлением планированием логистических цепочек.

Индустрия бетона и железобетона характеризуется наличием большого количества разнонаправленных проблем, как внутренних, так и внешних.

Внутренними трендами предприятий отрасли являются:

- дефицит и снижение кадрового потенциала. Обучение, квалификация и мотивация сотрудников;
- сокращение транспортных затрат логистических цепочек;
- сокращение затрат на материалы, оптимизация составов бетонов;
- повышение качества выпускаемой продукции за счет изменения технологий и использования химических добавок;
- импортозамещение техоснастки, ремонта и обслуживания оборудования. При покупке оборудования для производства компании отрасли фокусировались на выборе иностранных поставщиков оборудования без анализа используемого сырья, материалов и условий работы, при которых производители гарантируют его производительность и надежность. В настоящее время в условиях иностранных санкций необходимо развивать производство отечественного оборудования, учитывающего качество российских материалов, добиться лидерства в сфере искусственного интеллекта вычисления и передачи данных, в сфере новых научных технологий, о чем говорил В.В. Путин, необходимо нарастить мощности, создать новые производственные линии. Главное, чтобы были сырье, кадры, площадки.

Уже запущена промышленная ипотека с кредитом до полумиллиарда рублей под три или пять годовых процентов на срок до семи лет, которую предлагают распространить не только на приобретение производственных площадей, но и на строительство, запуск в производство, эксплуатацию. Промышленная ипотека – это хорошо, но взять ее сложно. Первая волна выдачи ипотеки уже прошла. Про нее почти никто не услышал. Выделенные суммы значительно ниже необходимых и даже тех обычных ипотечных кредитов, которые выделяются на строительство квартир. Если бы предложили те суммы, какие предлагаются на строительство жилья, можно было бы сдвинуться. Более того, выделенные суммы не успели появиться, как они были моментально распределены и до сих пор в своей массе не получены теми, кто на них заявился, хотя отбор закончился еще в октябре 2022 г., а уже кончается декабрь. А деньги еще не получены на то, чтобы эти промышленные здания и сооружения начали строить и ремонтировать. Будет ли вторая волна этой ипотеки? Банки по этому поводу молчат, у них информации нет.

Проблемы в индустрии у всех в целом похожие: не хватает оборотных средств, нет объемов, нет инвестиций. По словам президента, добиться технологического суверенитета предлагается благодаря запуску кластерной инновационной платформы. А что будет являться источником инвестиций? Кто будет инвестировать в это самое высокотехнологичное, долгоокупаемое производство? Запад не будет, част-

ный инвестор, в нынешней неопределенной ситуации, тоже. Кроме государства, источника инвестиций сегодня в стране нет, но в бюджете Минфин и ЦБ этот источник в 2023 году не обозначили совсем.

Возможно ли достижение технического суверенитета и какой первый шаг должен быть сделан на этом пути? В условиях соблюдения тех норм и правил, которые взяла на себя Россия при вступлении в ВТО, это невозможно ни практически, ни теоретически. Первая и наиглавнейшая задача – наш финансовый суверенитет, без него мы не можем ничего у себя развивать в бюджете.

Необходимо, чтобы были сырье, кадры, площадки. Кто это сделает и за это ответит? И кто даст индустрии уже в 2023 году эти кадры?

А оборудование для бетонной индустрии? Выяснилось, что в Минпромторге РФ нет даже такого отдела, который бы этим занимался, и соответствующих кодов ОКВЭД. Наиболее близким по смыслу для курирования отрасли строительных машин и оборудования подходит департамент станкостроения и тяжелого машиностроения. Одной из основных задач этого департамента является подготовка предложений по формированию государственной промышленной политики в отраслях: тяжелое машиностроение (горно-шахтное и металлургическое машиностроение, оборудование для литейного производства, подъемно-транспортное оборудование и механизмы); станкоинструментальная промышленность (производство металлообрабатывающего, сварочного оборудования и инструмента, производство промышленной робототехники, аддитивного оборудования); средства производства электронной продукции (специальное технологическое оборудование, системы автоматизированного проектирования электроники). Где здесь оборудование для производства стройматериалов? Поскольку наиболее близкого департамента в Минпромторге мы не нашли, то в нем для решения задач импортозамещения и производства отечественного строительного оборудования и техоснастки **необходимо создать отдел «Оборудование для производства строительных материалов»** с присвоением кодов ОКВЭД и курированием оборудования для:

- станков деревообработки;
- керамического производства (кирпич, керамзит, плитка, унитазы, раковины и пр. строительный фаянс);
- цемента и минеральных вяжущих;
- товарного бетона, сборного железобетона, монолитных бетонных конструкций, сухих бетонных смесей;
- строительных металлоконструкций.

О каком импортозамещении в производстве стройматериалов можно говорить, если даже в Минпромторге нет такого подразделения...

Способы достижения технологического суверенитета. О роли строительной науки

Внешними проблемами индустрии, которые должны решаться на государственном уровне, является необходимость реализации программ импортозамещения технологического оборудования и программного обеспечения на системном уровне. В связи с новой парадигмой санкционного давления со стороны западных «партнеров» важной задачей является создание отечественного машиностроения для строительной индустрии, получения технологического суверенитета и развития индустриального парка техоснастки, машин и механизмов для реконструкции заводов ЖБИ и ДСК. Для этого **необходимо финансировать и проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы с коммерциализацией результатов в производство.** К примеру, заводы товарного бетона, ДСК и КПД, которые осуществили реконструкцию импортным оборудованием, лишились поддержки в результате введенных санкций, ухода компании SIMENS с российского рынка. Она разрабатывала и обслуживала инновационные решения в области промышленной автоматизации и цифровизации, практически все заводы товарного бетона западного производства оснащены АСУ ТП производства SIMENS. Уже сейчас в Ассоциацию «Железобетон» приходят запросы от производителей стройматериалов, от производителей бетона нашей страны, имеющих импортное оборудование, о возможности замены элементов управления (устройств связи с объектом, промышленными контроллерами и т. п.), обновления или замены программного обеспечения. Поэтому решение данной задачи является чрезвычайно актуальным. Необходимо разработать масштабируемую АСУ ТП, алгоритмы управления с гибким программным обеспечением, элементами управления объектом, независимо от производителя импортного оборудования и его состава. Результатом такой работы будет являться разработка и изготовление в России отечественных элементов управления и выпуск соответствующего оборудования с адаптивным программным обеспечением АСУ ТП импортных заводов (масштабируемый под конкретный завод опытный образец).

Также актуальным является создание отечественной АСУ ТП под замену автоматизированной системы управления существующего парка линий циркуляции паллет западного производства (ELEMATIC, Vollert, EBAWE и т. п., более 35 шт.), поставленных в РФ на заводы ДСК и КПД в рамках реконструкции. Кроме этого, **необходимо создание в России производства технических средств АСУ ТП** (модулей ввода-вывода, промышленных контроллеров, коммуникационных модулей управления и т. п.). К сожалению, об этом в Стратегии ничего не сказано.

Современные технологии железобетона, особенно в высокотехнологичных применениях (линии циркуляции паллет, безопалубочного формования, линии виброформования, кассетные технологии и т. д.), требуют обеспечения доставки бетонных смесей до мест потребления со строго повторяющимися характеристиками, минимизируя влияние окружающей среды и человеческого фактора. Единственной универсальной технологией, обеспечивающей выполнение данных требований, в настоящий момент является система адресной доставки бетона, представляющая собой интегрированное решение, состоящее из автоматически перемещаемой высокоскоростной бетоновозной телеги (называемой кубелем) и бетонораздатчика (автоматизированного механизма, выполненного на базе портальной или полупортальной рамы и предназначенного для замены кранового оборудования в процессе доставки бетонных смесей по адресным точкам потребления в производственном пролете). Вследствие ухода с российского рынка ведущих европейских производителей систем адресной доставки бетона (STETTER, LIEBHERR, TEKA, PEMAT, SCACO) строительной отрасли РФ требуется универсальное, масштабируемое и тиражируемое решение по организации систем адресной доставки бетона в современных производствах. Без научных исследований эти задачи решить невозможно. Задачи и цели есть, а финансирования нет.

Модернизация производства в условиях санкционного давления

Успешность любого инвестиционного проекта зависит от определяющей роли и компетентности инвестора в строительстве и реконструкции предприятий строительной индустрии. Недостаточная компетентность может стоить сотни тысяч и миллионов долларов потерь (в зависимости от стоимости объекта) и еще долго оставаться причиной недополучения прибыли (недостигнутая производительность линии, снижение объемов производства, большой % брака, недостигнутое качество изделий и т. п.).

Анализируя проекты нового строительства и реконструкции предприятий, можно отметить случаи потери бизнеса из-за недостаточного внимания к этому важнейшему фактору, а также сделать некоторые общие выводы:

- стоимость импортного оборудования бывает часто значительно завышена;
- оборудование заказано не самое современное (не все китайские дженерики обеспечивают конкурентоспособность);
- затраты на привязку (адаптацию) к существующим реалиям велики;
- не достигается проектная производительность;
- качество выпускаемой продукции, декларируемое западной инженеринговой компанией, не достигнуто (экструдерная пустотка, бетонные трубы –

не то качество сырья и ингредиентов, нет стабилизации (в/ц) соотношения для линии мелкоштучки); линия работает неустойчиво, автоматика дает сбои, подшипниковые узлы выходят из строя, датчики срабатывают не всегда и т. п.

Особенно актуально это сейчас и на ближайшие годы, когда стоимость кредитных ресурсов высокая, а реальная рентабельность – невысокая.

Почему это происходит?

1) В последние годы инвесторами при строительстве (реконструкции) предприятий стройиндустрии выступали компании, накопившие средства в доходном секторе (нефтянка, энергетика, торговля и т. п.). И как следствие, «музыку заказывали» бывшая партноменклатура, врачи, экономисты, бывшие военные...

Заказчик часто не только не может изложить свои требования на бумаге, но и даже выразить их хотя бы словами (часто это единственное: «Чтобы было все быстро, хорошо и дешево!»).

Даже если инвестор имеет в своем составе высококвалифицированных технологов, которые слышали о последних достижениях мировой строительной науки, но даже они, не имея опыта реконструкции, не могут четко сформулировать требования к каждому виду оборудования (незнакомое и сложное оборудование, пока не купили – нет документации и т. п.).

2) Существует специфика европейского и российского производства оборудования:

- у европейских компаний свои нормативы и стандарты, свои особенности в построении технологических линий, организации труда, степени автоматизации функций, достаточно высокий уровень технического обслуживания (смеситель мыть два раза в смену), квалификации обслуживающего персонала;

- европейские производители оборудования создают линии (заводы), ориентированные на заданные параметры сырья (ингредиентов);

- в России параметры сырья (ингредиентов) носят во многом случайный характер (у производителя, при транспортировке хопры, при хранении на складах заказчика, при разгрузке из вагонов по принципу «высокий путь» и т. п.).

Одним словом, если перенести самое передовое предприятие из Европы в Россию (без серьезной адаптации), хорошего получится мало. Основой выбора должен служить системный подход – это сегодня обязательное требование, он предполагает наличие проектных и инженеринговых компетенций (а их в стране недостаточно, ведь на голом месте инженеринговые компетенции создать трудно!).

Системный подход предполагает также, что одновременно с политикой модернизации производств (через заимствование технологий) необходимо обязательно думать о том, как на следующем шаге:

1 шаг – мы сможем поддерживать! обретенную конкурентоспособность;

2 шаг – организовать прорыв на лидирующие позиции (в городе, регионе, в стране, наконец).

Поэтому ключевой вопрос при выборе комплекса конкретных технологий (ККТ) – именно СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД (или разумное и дальновидное использование зарубежных технологий), что дает возможность корректного выбора продукта производства, определить стратегии его (ККТ) внедрения, подготовки персонала для работы на новом производстве и т. п. При всех обстоятельствах только грамотное, творческое, инженеринговое решение может обеспечить эффективность сделанного приобретения (покупку технологических линий). При этом возрастает роль научных компетенций. Какими же компетенциями должен обладать специалист, отвечающий за техническое перевооружение (развитие компании)?

Руководитель подобных работ должен:

- иметь глубокие знания в мультидисциплинарных проектах;

- знать современные технологии производства бетона и сборного железобетона;

- понимать логику конкретно создаваемого технологического передела;

- иметь работоспособность и слаженную (необязательно собственную) команду;

- иметь опыт успешного проведения подобных работ;

- смотреть на все своими глазами и соизмерять со своими конкретными потребностями (которые, как правило, известны только тебе самому) – тогда никто не обманет;

- уметь четко формулировать свои требования к технологическому переделу и к каждой единице оборудования;

- уметь организовать работу проектных и строительных организаций;

- понимать и отвечать за последствия своих решений и указаний;

- минимизировать риски заимствований (например, кубель снят с производства, экструдер не купить, есть продукты, которые не продают) – фактор глобальной конкурентоспособности;

- учитывать дефицит проектных и инженеринговых компетенций;

- учитывать дефицит квалифицированных кадров и многое другое.

Инвестор должен знать, что цена некомпетентности заказчика (по опыту экспертов АЖБ) ~300 объектов в строительстве, ~25–30 % – от суммы кап., ~ 25–30 % – в эксплуатации.

Примеры успешно работающих схем (или кому доверить реконструкцию и строительство)

Сегодня в стране опробованы три схемы взаимодействия:

1. Инвестор или его доверенный человек, имеющий соответствующую квалификацию, на 2–3 года

«погружается» в проблему технического перевооружения. Создает собственную команду и с помощью западных инжиниринговых компаний заимствует технологическую линию «под ключ», и сам их поддерживает и развивает.

2. Инвестор целиком доверяется западной инжиниринговой компании (дорого, не вся специфика будет учтена, нет перспектив развития (2-й, 3-й шаг)).

3. На условиях аутсорсинга эту функцию выполняет отечественная инжиниринговая (производственно-инжиниринговая) компания, которая всегда рядом (недорого, поможет сделать 2-й, 3-й и последующие шаги).

Поэтому существует потребность в высококомпетентной команде инвестора, имеющей профессиональные возможности:

- четко сформулировать конечную цель проекта технического перевооружения;
- создать концепцию технологической схемы производства ЖБИ;
- разработать общий генплан размещения основных технологических переделов на площадке как на сегодня, так и на перспективу 10–20 лет;
- умение видеть не набор технологических переделов, а взаимодополняемый ансамбль;
- оценить свои возможности технического обслуживания, поставки ингредиентов необходимого качества и обучения персонала и т. п.

Если возможности создать команду нет, то лучше обратиться к специалистам высококомпетентных инжиниринговых компаний (производственный инжиниринг), способным решить все указанные задачи.

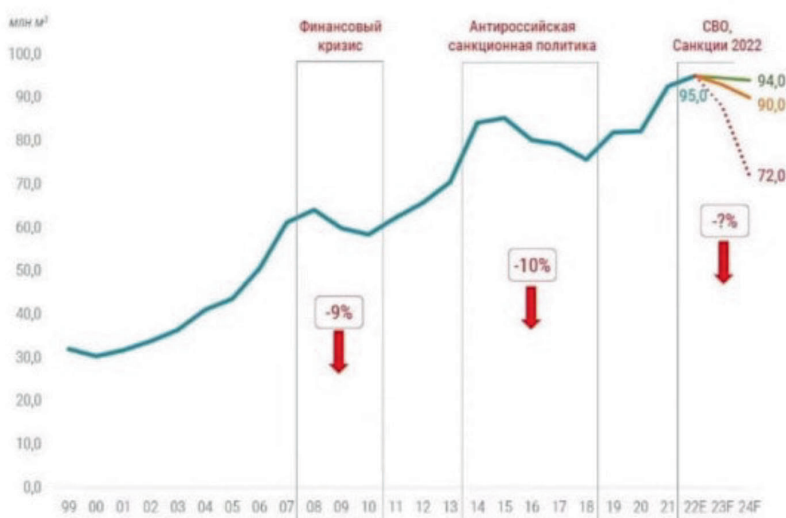
3.

О прогрессивных технологиях домостроения и о развитии внедрения инновационных материалов из бетона и железобетона

Решение задач и планов, намеченных в Стратегии развития строительной отрасли, возможно только индустриальными методами строительства – поточным процессом возведения зданий и сооружений из крупноразмерных конструкций и деталей заводского изготовления, домокомплектов, высокой степени заводской готовности как для малоэтажных жилых домов, так и для многоэтажного строительства. Но кардинальное увеличение объемов многоэтажного строительства возможно только индустриальным способом на основе современных прогрессивных технологий. По мнению аналитиков CM PRO (партнеров Ассоциации «Железобетон»), согласно утвержденной Стратегии развития строительной отрасли предполагается два сценария, при которых прогнозные объемы строительства жилья составляют 94 и 90 млн м² при базовом и рисковом сценариях соответственно. При этом необходимо вспомнить еще один возможный сценарий, представленный Минстроем РФ в мае 2022 г., – пессимистичный, который предполагал сокращение ввода жилья в 2024 году до 72 млн м².

По данным Банка России, объем выданной ипотеки в мае стал рекордно низким по сравнению с 2019 годом. Но часть квартир будущихстроек (2022–2024 годов) уже продана в ипотеку, поэтому остановка ипотечных сделок грозит росту «затоваренности» рынка жильем, проданным ранее по более низким ценам.

ФАКТ-ПРОГНОЗ ВВОДА ЖИЛЬЯ 1999-2024



CM PRO
analytics

Фактическая динамика цен на жилье и строительные материалы

Динамика стоимости строительства, фактической и расчетной цены на первичном рынке жилья, тыс. руб/м²



Pro рынок стройматериалов
Специальный канал СМПРО
https://t.me/p_r_o_rynok



- (1) Строительно-монтажные работы, включая строительные материалы
- (2) Прочие составляющие цены жилья, не связанные со строительными работами и материалами
 - прибыль девелопера;
 - земельный участок;
 - инженерные коммуникации,
 - благоустройство и озеленение;
 - подключение к сетям;
 - затраты по вводу дома в эксплуатацию;
 - затраты на рекламу;
 - содержание компании;
 - выплаты по кредитам и пр.

(3) Сверхдоходы девелоперов и лендлордов в период 2018 – июнь 2022 года составили 2,7 трлн рублей:

Показатели	2018	2019	2020	2021	I пол. 2022
Ввод МКД*, млн м ²	43,3	43,0	41,4	43,0	19,4
Цена жилья факт., тыс. руб/м ²	60,4	62,3	75,0	91,2	112,7
Цена при сохранении доли прочих составляющих (27%), тыс. руб/м ²	56,4	58,0	60,7	67,1	75,3
Разница цен, тыс. руб/м ²	4,0	4,3	14,3	24,0	37,4
Сверхдоходы, млрд руб.	173	183	591	1 033	727

* МКД – многоквартирные дома

Нельзя исключить возможность прекращения выдачи ипотечных кредитов из-за закрепитованности населения. Это приведет к снижению спроса на жилье и стройматериалы.

Как правило, глубина падения промышленности строительных материалов более существенная. К примеру, цементная промышленность в кризис 2008 года просела на 27 %, в период 2014–2018 гг. – на 25 %. До сих пор рынок не вернулся на уровень 2012 года. Теперь мы понимаем, что до 2030 года и не вернется. Тренд ноября 2022 года свидетельствует о начале движения вниз, которое с большой вероятностью продолжится и в последующие периоды (СМ ПРО).

Получилась патовая ситуация. Запредельные цены дали прибыль, но сделали жилье «недоступным». Продажи квартир приостанавливаются. Оптимальный выход из этой ситуации для всех – снижение цены квадратного метра жилья за счет сниже-

ния себестоимости домостроения. При резком повышении цен на металл и инертные материалы себестоимость строительства в большей степени зависит от удельных затрат на бетон и металл. При этом необходимо учитывать требования СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения».

Необходимым условием современного строительства является использование строительных систем, имеющих низкую структуру себестоимости. Важным фактором себестоимости является оптимальное соотношение технико-экономических показателей выбранной системы домостроения (табл. 7).

Преимущество в себестоимости домокомплектов в этом случае имеют современные технологии крупнопанельного домостроения и каркасные сборно-монолитные системы. Они почти в два раза более экономичны по удельным затратам бетона и метал-

Таблица 7

№	Показатели	Ед. изм.	Современные полносборные системы КПД		Монолитное домостроение	Каркасные сборно-монолитные системы домостроения			
			без требований стойкости к ПО	по СП 385.1325800.2018, стойкость к ПО		КУБ-2,5	РЕКОН	АРКОС	СМК
1	Расход металла	кг/м ²	12	24	60	31,7	37,1	29,4	21,4
2	Расход бетона	м ³ /м ²	0,38	0,4	0,6–0,8	0,31	0,26	0,24	0,23

Таблица 8

№	Показатели	Ед. изм.	Современные полносборные системы КПД		Сборно-монолитные системы			
			крупно-панельные	полносборные конструктивные	Куб-2,5	Рекон	Аркос	СМК
1	Удельный вес всего здания	т/м ²	2,0–2,5	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
2	Темпы строительства	эт/мес	7,5	4	3,5	3,5	4	4

ла, чем старые системы домостроения. В этой системе отсутствуют многие недостатки старой системы КПД. Но применение в практике строительства старых систем крупнопанельного домостроения имеет свои объективные и достаточно инертные факторы, не связанные со стоимостью бетона и металла.

С одной стороны, **плюсом всех систем крупнопанельного домостроения** является их полносборность и всесезонность, а также использование небольшого количества специалистов на строительной площадке и высокая скорость сборки дома.

Поэтому в настоящее время в различных странах мира постоянно увеличивается объем сборного железобетона, в том числе за счет каркасных технологий. Себестоимость зависит и от скорости строительства. Этот показатель декларируется в каркасных и крупнопанельных системах домостроения.

Следует отметить, что внедрение новых систем КПД имеет свои особенности:

1. Необходимость возведения комбината КПД высокой производительности (250–450 тысяч м² жилья в год), а также необходимость вывода данного комбината на производительность, соответствующую его «точке окупаемости» (не менее 60 % от максимальной мощности), в противном случае он становится убыточным. Эту производительность необходимо поддерживать за счет организации массового строительства жилья в течение всего периода возврата кредитных средств (5–10 лет).

2. Высокая цена импортного оборудования (3–5 млрд рублей), а также длительные сроки возведения данного завода КПД (минимум 2 года), поэтому выплата кредитных средств приводит к значительному повышению накладных расходов и себестоимости его домокомплекта.

3. Есть и технологические проблемы внедрения зарубежных технологий, рассчитанного на использование только высококачественных инертных материалов, на высокую точность изготовления железобетонных элементов дома, а также на отсутствие необходимой системы переподготовки квалифицированных инженеров и специалистов.

4. Но в настоящее время самым слабым звеном создания такого комбината КПД является то, что технологии и машины необходимо использовать только зарубежные, а с их поставками в РФ в течение длительного срока будут большие проблемы.

Поэтому сегодня стоит задача импортозамещения зарубежных технологических линий отечественным

оборудованием, в частности линий циркуляции паллет. У этой технологии быстрая сборка на стройке, т. к. элементы имеют машиностроительную точность. Преимуществами этой технологии-префабрикации, т. е. формирования готового домокомплекта под разные типовые проекты по запросам заказчика, является то, что все коммуникации уже проложены, элементы унифицированы и оцифрованы, гибкая квартирография. Все перечисленное приводит к увеличению скорости строительства.

Кроме современных систем КПД минимальные удельные показатели затрат на бетон и металл имеют каркасные сборно-монолитные системы. Известно, что затраты железобетона на колонны, лифтовые шахты, лестничные марши и диафрагмы жесткости у всех видов каркасных сборно-монолитных систем практически одинаковы. Однако следует учитывать, что каркас здания – это еще не дом, необходимо решать вопросы ограждающих конструкций (панели, легкий бетон, кирпич и т. д.), внутрикомнатных перегородок, фасада и т. п.

В нынешних условиях необходимо опережающее развитие домостроительных комбинатов (ДСК), обеспечивающих стройку максимально укрупненными сборными конструкциями высокой степени заводской готовности, способствующими увеличению темпов строительства. Это фасадные панели с готовой фактурой, блоки и модули, элементы сборного каркаса зданий и т. п. Немаловажной задачей является формулирование концепции индустриального домостроения, основанной на синтезе «ДСК – застройщик», структур, являющихся конечным реализатором созданной недвижимости. Независимость ДСК являлась одной из причин несостоятельности и банкротств предприятий, не вышедших на уровень необходимой загрузки мощностей вследствие высокой стоимости инвестиций на реконструкцию.

«Независимый» ДСК – явление малопонятное и плохо вписывающееся в логику современного российского строительного бизнеса. Даже если у одиночного ДСК появилась какая-то перспектива и он работает самостоятельно, то это временное явление, поскольку в одиночку развиваться в части исполнительского функционала он не сможет. Для рынка важны не только объективные качества жилья, но и его «продаваемость». Ответы на вопросы: каким будет дом, какие технологии используются, каким дом построят – зависят от многих людей: инвестора, застройщика, проектировщика, строителя. А самое

главное – от покупателя. Относительно того, как выбор влияет на успешную реализацию жилья – его стоимость (ИД). Поэтому важно снижать себестоимость строительства и повышать производительность труда. Рост производительности труда важен не только как один из основных экономических показателей, он также означает увеличение скорости строительства. Используя сборные конструкции высокой степени заводской готовности, появляется реальная возможность наращивать производительность труда не на доли процента, а на десятки процентов в год. При использовании промышленных методов домостроения, сокращения сроков строительства и снижения себестоимости становится возможным улучшение качества жилья. Современные технологии КПД позволяют достигать машиностроительной точности геометрических размеров при изготовлении ЖБИ в заводских, комфортных условиях, под неусыпным вниманием отделов технического контроля качества. Поэтому качество панельного дома выше, чем монолитного.

Технологии промышленного домостроения, имеющие сравнительно низкую себестоимость и высокие сроки строительства, можно с успехом использовать для строительства доступного социального жилья по государственным программам. За рубежом, во всем мире, усиливается движение за доступное социальное жилье. В России потребность в социальном жилье очень велика. Около трети населения живут в аварийном и ветхом жилье.

Поэтому если мы начнем строить арендное социальное жилье, оторвемся от платежеспособного спроса, мы легко выйдем на 120 и на все 140 млн м² в год. Необходимо создание механизмов поддержки проектов коммерческой аренды, предусматривающих предоставление ипотечных кредитов для строительства арендного жилья, использование механизмов государственно-частного партнерства в целях формирования жилищного фонда социального использования и арендного жилья, предоставление земельных участков для строительства арендного жилья на льготных условиях, введение мер стимулирования инвесторов для создания арендного жилищного фонда.

Рассматривая технологию полносборного строительства, следует отметить, что, к сожалению, в настоящее время загрузка заводов ДСК и КПД составляет 60–80 %, что является очень важным критерием рентабельности проектов полносборного панельного домостроения. Высокая стоимость импортного оборудования связана с загрузкой мощностей ДСК (при неполной загрузке сроки окупаемости реконструкции увеличиваются, что ведет к уменьшению рентабельности проектов и увеличению стоимости м²). Кроме этого, помимо высокой стоимости оборудования и в реконструкции ДСК, в настоящее время и в условиях санкций импорт западных линий

и систем управления прекращен. Поэтому очень важно развивать локализацию и производство современного оборудования ЖБИ и ДСК в России, не уступающего зарубежным аналогам и адаптированного к российскому сырью и климату.

В Стратегии 2030 г. намечены основные тренды развития промышленных технологий домостроения и развития внедрения инновационных материалов из бетона и железобетона:

1. Аддитивные технологии в строительстве – технологии создания объектов капитального строительства путем их послойного наращивания и синтеза с помощью электронных геометрических моделей (3D-печать).

2. Производство продукции промышленного домостроения:

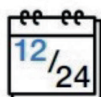
- развитие технологии элементов сборного каркаса в полносборный домокомплект;
- технология префабрикации и блочно-модульного домостроения;
- развитие применения в ЖБИ композитных и полимерных материалов;
- применение вторичных отходов в ЖБИ;
- дальнейшее развитие проектов современного полносборного панельного домостроения на основе домокомплектов как для малоэтажного строительства, так и для МКД.

К сожалению, в проекте плана на 2023 год по реализации Стратегии 2030 г. нет мероприятий по созданию промышленных технологий строительства и поддержки научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по направлениям, обозначенным в Стратегии 2030 г.

Тем не менее технологии префабрикации (фабричного производства готовых изделий для сборки на строительной площадке, сборно-монолитного каркаса и развития этой технологии до полносборного домокомплекта с типовыми проектами) обозначены в Стратегии 2030 г. Будем надеяться, что политической воли и финансового суверенитета РФ хватит для решения поставленных целей. С помощью технологии префабрикации изготавливаются фасадные панели, предварительно смонтированные инженерные системы, некоторые элементы конструкций и др. Считается, что именно эта технология окажет большое влияние на повышение эффективности строительных проектов.

Сборка (возведение) модульных конструкций из бетона занимает всего от четырех до восьми недель, в то время как обычные здания требуют в два раза больше времени. Высокое качество и производительность процессов изготовления, сокращение сроков строительства и снижение образования отходов делают этот тип строительства более предпочтительным выбором для конечных пользователей, когда необходимо строительство в сжатые сроки.

Префабрикация позволяет



Сократить срок строительства
Повышать производительность труда за счет механизации и автоматизации процессов в цеху



Повысить качество при помощи переноса процесса строительства в цех и накопленного опыта и компетенций



Более точно прогнозировать стоимость и достигать план (запланированную стоимость) с меньшей волатильностью

МОДУЛЬНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО (ПРЕФАБ)



Модульное строительство – производство стандартных частей и блоков (модулей) здания на специальной производственной площадке, а затем сборка непосредственно на объекте. По прогнозам, медицинские учреждения получают наибольшую выгоду от модульного строительства и сборных конструкций в течение следующих трех лет.

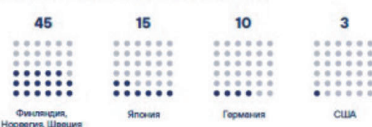
МИРОВОЙ РЫНОК МОДУЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Modular Construction Market Size, Fortune Business Insights, 2020.



ДОЛЯ ЖИЛЬЯ, ПОСТРОЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДУЛЕЙ В 2019 Г., %

Modular construction: From projects to products, McKinsey, 2019.



ТИПЫ ЗДАНИЙ С НАИБОЛЬШИМИ ПЕРСПЕКТИВАМИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ МОДУЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В БЛИЖАЙШЕ 3 ГОДА

Индекс сформирован на основе интеграции ответов в ходе опроса различных типов игроков отрасли
Dodge Data & Analytics, 2020.



Преимущества

▼ 20-50%
сокращение времени строительства

▼ 20%

сокращение расходов на строительство, а также дальнейшее содержание и ремонт здания

Главными драйверами роста строительства являются потребность снижения времени строительства зданий и сооружений, снижение стоимости (себестоимости) м² сооружения. Сборные железобетонные конструкции значительно сокращают время строительства. Сокращение времени также приводит к экономии средств. Сборные компоненты производятся на заводах в контролируемой среде, что позволяет легко регулировать и контролировать качество продукции. В отличие от монолитного строительства, в данном случае используется меньше ресурсов, таких как цемент, сталь, вода, энергия и человеческий труд, тем самым образуется меньше отходов как на заводе, так и на строительной площадке. Сборный железобетон позволяет реализовать требования по противопожарной безопасности здания еще до завершения строительства сооружения.

Следующим драйвером развития отрасли является хорошая возможность адаптации выпускаемой продукции к постоянно растущим требованиям энергетической эффективности зданий. Так, здания, построенные из сборного железобетона со встроенными теплоизоляционными материалами, позволяют легко достигать практически любых требований по теплоизоляции стен и перекрытий. При этом теплоизоляционные материалы могут быть как интегрированы в тело элемента, так и быть установлены на предназначенный и подготовленный в заводских условиях фасад. Элементы сборного железобетона практически не требуют дальнейшего обслуживания, что также снижает эксплуатационные затраты.

Таблица 9

Технологии возведения зданий, считающиеся в России инновационными

№	Технология	Суть инновации
1	Полносборное крупнопанельное домостроение нового типа	Принцип конструктора LEGO – комбинирование типовых конструкций для создания различных по структуре сооружений
2	Сочетание сборных заводских конструкций с монолитным домостроением	Использование стеновых панелей и других заводских заготовок, опираясь на монолитный каркас
3	Несъемная опалубка	Заливка бетона в армированную несъемную опалубку из полистирола или древесины
4	Домокомплекты для строительства малоэтажных жилых домов	Полный набор материалов и комплектующих для строительства индивидуальных и многоквартирных жилых домов «под ключ»
5	Сборно-монолитный каркас	Возведение сборно-монолитного бетонного каркаса с использованием готовых ж/б изделий и возведение сооружения на его основе

Последние несколько лет в строительной индустрии наблюдаются серьезные изменения, а именно масштабное внедрение инновационных технологий. Одной из них является новейшая разновидность автоматизированного компьютерного моделирования – BIM-модели (Building Information Modeling). BIM – это система информационного моделирования строительных объектов на базе трехмерной визуализации физических объектов, а также параметрического или взаимосвязанного учета всех технологических, архитектурно-конструкторских, финансово-экономических данных и информации о зданиях и прочих строительных объектах, которая сменила более упрощенную систему автоматизированного (компьютерного) проектирования CAD (computer-aided design).

3D-печать в строительстве.

Аддитивные технологии

Аддитивная технология позволяет возвести объект недвижимости за счет поэтапного наслоения строительной смеси под управлением автоматики. Это направление в строительстве появилось в связи с созданием оборудования, объединяющего в себе преимущества экструзии и метода многоструйного моделирования, – так появились 3D-принтеры для печати бетоном. Первые образцы использовались для создания малогабаритных архитектурных форм. Современная техника строит жилые дома. Построить жилой дом с межкомнатными перегородками, дверными и оконными проемами, разводкой под прокладку инженерных коммуникаций можно за 24 часа.

Передовые модели комплектуются дополнительной стрелой для обеспечения ускоренной подачи материала и электроподъемниками, чтобы печатать на готовом фундаменте. Толщина нанесения печатной смеси, конфигурация здания, создание многокамерных стен, автоматическое смешивание ингредиентов и подача в экструдер – все детали печати вносятся с помощью специального ПО, а подготовка занимает не дольше 30 минут. Как уже было сказано выше, тип 3D-принтера напрямую зависит от типа и модификации здания, которое он возводит. От этого зависят размер самого принтера, объем бетономешалки, а также сопла, которые подают строительную смесь.

Впервые дома по данной технологии стали массово возводить в Шанхае. Одной из первых 3D-машин, поразивших своими размахами и размером, стал принтер WinSun. Длина рабочей зоны составляла 150 метров, ширина – 10 метров. Такой принтер способен за несколько дней напечатать здание высотой 6 метров.

В качестве так называемой «технологической изюминки» китайские инженеры использовали специальное стекловолокно, которое, с одной стороны, удешевляло строительные работы, а с другой, дела-

ло бетонную смесь менее теплопроводной. Тестовые образцы позволили компании сэкономить половину бюджета на возведение дома по новой технологии.

Европейские же инженеры, например голландские, предпочитают печатать не дома, а строительные материалы, с помощью которых эти дома можно возводить, считая, что более качественно работа будет сделана все-таки человеческими руками и головой.

Технология строительства с применением трехмерной печати

Бетон наносится слоями. Чтобы прочность конструкции соответствовала проектным задачам, используется вертикальное и горизонтальное армирование. Горизонтальный армопояс устанавливается между слоями, вертикальный – после затвердевания состава. Арматура фиксируется и заливается бетоном. Существуют принтеры, которые вначале распыляют полиуретан, формируя «камеру», а затем заливают бетон внутрь.

Большинство моделей предназначено для эксплуатации в закрытом помещении. У цехового оборудования есть весомый недостаток – напечатанные элементы надо транспортировать на стройплощадку. Мобильные устройства могут использоваться прямо на строительном участке для печати по фундаменту. Чтобы сохранить характеристики состава, сооружается защитный колпак над объектом, в смесь добавляются присадки. Расходы материалов снижаются на 30–70 % в сравнении с классической технологией.

Материалы для 3D строительства

Для возведения прочных, износостойчивых несущих конструкций используются бетонные смеси с добавками. Наиболее востребованы на рынке следующие «чернила»:

- чистый бетон;
- пескобетон;
- водостойкий гипс для облицовочных работ;
- смесь со стеклянным волокном для печати объемных элементов;
- смесь с геополимерами из промышленных отходов для хрупких конструкций;
- смесь с фиброволокном для создания частей продолговатой формы;
- противоморозная смесь для работы при отрицательных температурах;
- смесь с пластификатором для воссоздания ровной поверхности;
- смесь с добавлением диатомитовых шариков для шероховатости;
- модифицированный гипс для декоративной печати.

Достоинства и недостатки 3D-принтера

Развитие трехмерной печати в строительной промышленности имеет достоинства и недостатки.

Перечислим некоторые из них.

Достоинства:

- быстрое и точное строительство: 3D-принтер превращает цифровую модель в физическую. Ошибки могут возникать только из-за неточностей в цифровых моделях или из-за неправильно подобранного материала;
- снижение расходов на рабочую силу: 3D-принтер осуществляет большую часть работы с минимальным участием человека;
- сокращение строительных отходов: все строительные компоненты можно напечатать согласно проекту. Те элементы, которые не использовались, можно переработать;
- сокращение рисков для здоровья: все опасные работы на строительной площадке заменяются процессом печати;
- экологическая безопасность: переработанные элементы могут использоваться для производства строительных материалов, которые применяются в качестве краски для 3D-принтера.

Недостатки:

- в строительстве может использоваться лишь небольшое количество материалов, так как один и тот же принтер не может работать с разными «чернилами»;
- транспортировка: требуется доставка крупногабаритного принтера на строительную площадку и обратно;

- хранение принтера на строительной площадке;
- высокие риски: любая ошибка в цифровой модели может привести к проблемам на этапе строительства;
- компании-производители традиционных строительных материалов могут пострадать из-за невостребованности их товаров;
- может потребоваться больше времени на строительной площадке, если компоненты для зданий будут производиться на месте.

Архитекторы считают, что техника, используемая для проекта, позволит обеспечить «свободу формы и текстуры» при проектировании зданий, поскольку 3D-печать имеет возможность создавать более широкое разнообразие форм, чем традиционные методы строительства. 3D-печать может развиваться до такой степени, что компьютеризированное программное обеспечение позволит людям проектировать и строить свои дома самостоятельно, буквально «одним нажатием кнопки».

В России, как и во всех других странах мира, инновации не всегда сразу положительно воспринимаются людьми из-за неосведомленности и малого опыта. Для решения этой проблемы необходимо масштабно внедрять инновации в различные отрасли. И одним из ключевых факторов, влияющих на внедрение инновации, будет спрос на нее.

Проведенные маркетинговые исследования показали, что в большинстве своем люди считают идею 3D-печати перспективной, их осведомленность также



имеет высокий процент, желание иметь загородный дом есть у 77,8 % опрошиваемых, что в совокупности говорит о том, что спрос на дома, напечатанные 3D-принтером, растет, ведь 72,2 % опрошиваемых были в возрасте от 18 до 24 лет.

Тем не менее пока этот метод строительства является скорее экзотикой. Отсутствует необходимое нормативно-техническое обеспечение. Применение бетонной смеси, используемой в качестве «чернил», возможно только при температуре от 5 °C выше нуля, что делает стройку зимой невозможной. Существуют прогнозы, что в будущем принтер научится работать с геополимерным бетоном из природных компонентов, а таким материалом можно печатать при более низких температурах. К тому же он превосходит обычный бетон по другим параметрам.

Учитывая стоимость самого принтера, а также работы специалистов, можно сделать вывод, что данная технология является достаточно дорогой и не все строительные организации смогут себе позволить настолько дорогостоящее оборудование.

Технология 3D-печати зданий и сооружений безусловно является инновационной и достаточно перспективной, однако при ее применении приходится сталкиваться с рядом проблем. Опираясь на недостатки технологии, можно предположить, как решить

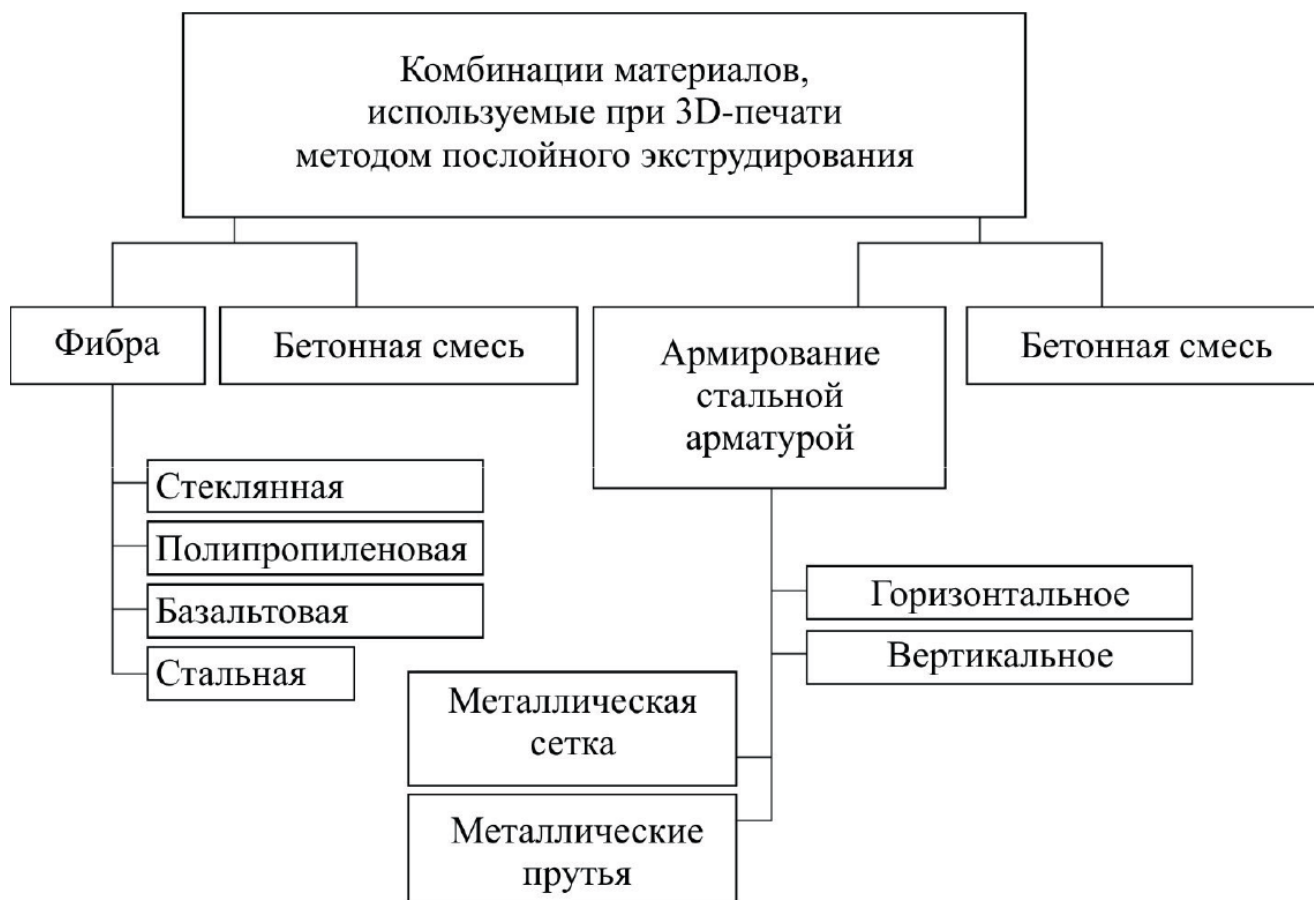
их в будущем. Несмотря на такое количество проблем, существующих на сегодняшний день, использование 3D-технологий в строительной сфере имеет ряд достоинств, основными из которых являются:

- высокая скорость и точность строительства;
- простота эксплуатации;
- относительно невысокая стоимость зданий и сооружений;
- минимизация использования ручного труда – повышение безопасности труда рабочих.

Перспектива развития 3D-печати в строительстве, а также ее внедрение в массовое производство возможны только при решении ряда существующих проблем, описанных выше.

Инновации в технологии бетона

Инновационным продуктом, набирающим признание технологов современного бетонного производства, является метод комплексной оптимизации составов бетона на основе современных инструментов работы с данными, такими как машинное обучение, вероятностные модели, статистические закономерности и др., предложенный командой под руководством к.ф.-м. н. Р.О. Резаева. Преимущества метода состоят в их возможности учитывать нестабильные характеристики различных сырьевых ком-





понентов: песка, цемента, химических добавок и т. д. – путем определения оптимальной схемы стабилизации свойств бетонной смеси. В результате колебания характеристик сырьевых материалов в меньшей степени отражаются в колебаниях свойств бетона и бетонной смеси, при этом средняя себестоимость единицы объема смеси по расходам материалов снижается. Основные результаты работы команды и применяемые методы регулярно освещаются в публикациях в научно-технических журналах «Технология бетонов», «Известия вузов. Строительство», «Бетон и железобетон» и др., что позволяет их самостоятельно верифицировать на практике технологам на производстве, однако с целью автоматизации рутинной работы нами также разрабатывается программное обеспечение для комплексной оптимизации составов бетона. При этом возможно получать высокое качество заданных характеристик бетона с оптимальной себестоимостью.

Операционный контроль свойств бетонной смеси часто требует регламентируемой процедуры корректировки состава. Такую процедуру должен разрабатывать и утверждать опытный технолог на производстве. Часто ограничиваются варианты корректировки состава по влажности заполнителей бетонной смеси, варьируя только один компонент смеси – воду. Однако такой подход может привести к значительным отклонениям прочности от заданного значения. Предложенный метод показывает возможность использования диаграммы «состав – свойство» для поиска оптимальной с экономической точки зрения стратегии корректировки в зависимости от конкретной ситуации на этапе подготовки бетонной смеси. Гибкое реагирование на изменяющиеся условия позволит получить бетонные смеси с более стабильными показателями качества, при этом уменьшив затраты, связанные с перерасходом дорогостоящих компонентов бетонной смеси.

Список литературы

1. PRO Рынок стройматериалов [Электронный ресурс]. URL: https://t.me/p_r_o_rynok
2. Абакумов Р.Г., Подоскина Е.Ю. Методы оценки эффективности инновационных проектов // *Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования*. 2016. № 1 (11). С. 9–13.
3. Вахмистров А.И., Гобеев Э.К. Индустриальное домостроение. Санкт-Петербург: Славутич; 2019. 260 с.
4. Губарев С.А., Абакумов Р.Г. Аналитический обзор современных технологий строительства, строительных материалов, строительных конструкций, отвечающих современным требованиям инвесторов в строительстве // *Международный научный журнал «Инновационная наука»*. 2016. № 1 (11). С. 48–51.
5. Инновации в строительстве: мировые тренды и особенности развития в Москве. Агентство инноваций г. Москвы.
6. Интернет-ресурсы Минпромторга РФ, Минстроя РФ.
7. Лунева Д.А., Кожевникова Е.О., Калошина С.В. Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. 2017. Т. 8. № 1. С. 90–101.
8. Презентация «First Investonomika».
9. Презентация «Префабрикация. Опыт Брусника».
9. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 22.12.2022 № 1111/пр «О нормативе стоимости одного квадратного метра общей площади жилого помещения по Российской Федерации на первое полугодие 2023 года и показателях средней рыноч-

ной стоимости одного квадратного метра общей площади жилого помещения по субъектам Российской Федерации на I квартал 2023 года». Зарегистрирован 29.12.2022 № 71870.

10. Программа поддержки производства строительных материалов и сопутствующей импортозамещающей продукции. ВЭБ.РФ, Минстрой РФ.

11. Совместное исследование ФЦК и АЖБ «Исследование передовой российской и зарубежной практики в области повышения производительности труда в отрасли «Производство изделий из бетона для использования в строительстве».

12. СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения. Москва: Стандартинформ; 2018.

13. Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 31 октября 2022 г. № 3268-р.

С полным текстом аналитического исследования можно ознакомиться в Ассоциации «Железобетон».
Контакты:

тел.: +7 (499) 170–60–13

e-mail: info@azhb.ru

Материал, подготовленный Аналитическим центром Ассоциации «Железобетон», предоставлен исключительно в ознакомительных целях. Пользователь информационно-аналитического материала несет самостоятельную ответственность за принимаемые им инвестиционные, управленческие, корпоративные и иные решения.



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

Мы — команда единомышленников,
способных реализовать самые сложные
инженерные проекты.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ

ИЗЫСКАНИЯ

СТРОИТЕЛЬСТВО

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

УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР

АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



ниц строительство
научно-исследовательский центр



ДИЗАЙН
И СТРОИТЕЛЬСТВО
ЗДАНИЙ



ДИЗАЙН
И СТРОИТЕЛЬСТВО
МОСТОВ



ДИЗАЙН
И СТРОИТЕЛЬСТВО
ДОРОГ

С 1927 ГОДА

95
ЛЕТ

повысить квалификацию
специалистов и экспертов

пройти обучение в аспирантуре

подготовить диссертацию в докторантуре

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

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



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



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



www.cstroy.ru



motorina@cstroy.ru | smirnova@cstroy.ru





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

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



Преподавательский состав
Учебного центра

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

ФОРМЫ ПОДГОТОВКИ ДИССЕРТАЦИИ В АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



Обучение в аспирантуре,
докторантуре

Прикрепление для
подготовки диссертации без
освоения образовательных
программ



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

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



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

Защита диссертаций проводится по следующим научным специальностям:

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

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Выпускающий редактор – Починина Наталья

e-mail: pochininane@cstroy.ru



Научно-технический журнал
Бетон и железобетон
Вып. 5/6 (619) 2023

Редактор выпуска Починина Н.Е.
Компьютерная верстка Болдырев В.
Дата выхода в свет 27.02.2024
Формат 60x88 1/8
Бумага мелованная. Офсетная печать.
Тираж 300 экз. Заказ № 230984

Подписной индекс в каталоге ОАО «АРЗИ» 85502

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии
ООО «Андоба пресс»,
125363, Москва, Осташковская ул., 14, стр 18,
www.andoba.ru, elena@andoba.ru

