

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0005-9889

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

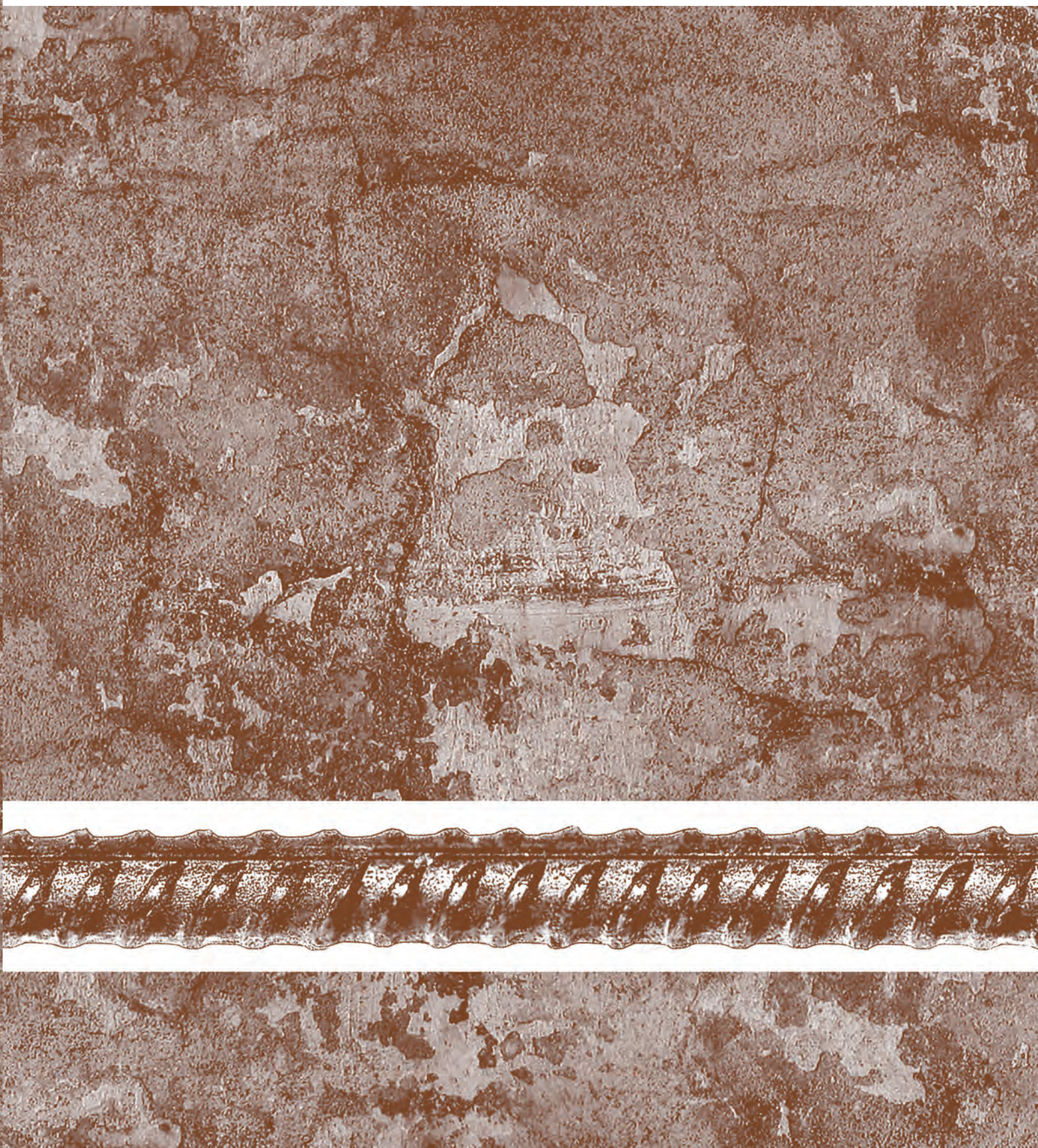
3

611

2022

WWW.RIFSM.RU

ИЗДАЕТСЯ С 1955 ГОДА



100+ TECHNO BUILD

IX Международный
строительный форум
и выставка

forum-100.ru

18-21 октября 2022
Екатеринбург



стать экспонентом

13 000
посетителей

235
экспонентов

500
спикеров

120
секций

25
стран

*показатели 2021 года

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

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Издается с 1955 г.

3 (611)
Май-июнь 2022

В.И. МЕЛИХОВ

ИНСТИТУТ «ВНИИЖЕЛБЕТОН» — 70 ЛЕТ. 3

В.И. ТРАВУШ, Д.В. КУЗЕВАНОВ, С.С. КАПРИЕЛОВ, Ю.С. ВОЛКОВ

Бетон как экологический фактор снижения углеродного следа в среде обитания 10

Чествуем ровесника НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, доктора технических наук, профессора Е.А. Чистякова! 15

В.В. РЕМНЁВ

Возможность применения в бетонах строительных материалов повторного использования 20

С.С. ЖОРОБАЕВ, И.С. КУЗНЕЦОВА

Эффективный способ конвективного прогрева монолитных железобетонных конструкций при зимнем бетонировании 23

С.Н. ЛЕОНОВИЧ, Е.Е. ШАЛЫЙ, Д.А. ЛИТВИНОВСКИЙ,
 А.В. СТЕПАНОВА, А.В. ЖУРАВСКАЯ, В.В. МАЛЮК

Влияние карбонизации на диффузионность хлоридов в бетоне: анализ эксперимента и применение в расчете 30

Е.А. САДОВСКАЯ, С.Н. ЛЕОНОВИЧ

Коэффициенты перехода для нанофибробетона 41

Редакционная коллегия

ЗВЕЗДОВ А.И., главный редактор, д-р техн. наук, заместитель генерального директора по научной работе, АО НИЦ «Строительство» (Москва)
АРХИПКИН А.А., зам. главного редактора, Ассоциация «Железобетон» (Москва)
ГРАНЕВ В.В., д-р техн. наук, заместитель генерального директора – научный руководитель, АО «ЦНИИПромзданий» (Москва)
ГУСЕВ Б.В., д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технологии», РУТ/МИИТ (Москва)
ЙЕНСЕН О.М., д-р техн. наук, профессор Датского технического университета (Дания)
КУЗЕВАНОВ Д.В., канд. техн. наук, директор НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (Москва)
МАИЛЯН Д.Р., д-р техн. наук, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций, Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону)
МОРОЗОВ В.И., д-р техн. наук, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Санкт-Петербург)
МЮЛЛЕР Х.С., д-р техн. наук, профессор Университета Карлсруэ, Институт технологии – КИТ (Германия)
НЕСВЕТАЕВ Г.В., д-р техн. наук, заведующий кафедрой технологии строительного производства, Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону)
РАХМАНОВ В.А., канд. техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН, председатель Совета директоров ООО «Институт ВНИИЖелезобетон» (Москва)
СТЕПАНОВА В.Ф., д-р техн. наук, заведующая лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (Москва)
ТАМРАЗЯН А.Г., д-р техн. наук, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, советник РААСН (Москва)
ТРАВУШ В.И., д-р техн. наук, главный конструктор, заместитель генерального директора по научной работе ЗАО «ГОРПРОЕКТ», вице-президент РААСН (Москва)
УШЕРОВ-МАРШАК А.В., д-р техн. наук, профессор Харьковского государственного технического университета строительства и архитектуры (Украина)
ФАЛИКМАН В.Р., канд. хим. наук, д-р материаловедения, руководитель Центра научно-технического сопровождения сложных объектов строительства, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (Москва)
ХОЗИН В.Г., д-р техн. наук, заведующий кафедрой технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань)

Авторы

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

Редакция

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

Перепечатка

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

Редакция не несет ответственности за содержание рекламы и объявлений.

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

Founder of the journal:

«Reinforced concrete» Association

Address: 22, building 2, Ryazansky prospect,
Moscow, 109428, Russian Federation**Publisher:** «STROYMATERIALY»

Advertising-Publishing Firm, OOO

Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,
Moscow, 125319, Russian FederationThe journal is registered by the RF
Ministry of Press, Broadcasting and Mass
Communications PI № FS 77-76959
dated 09.10.2019 (Russia)

ISSN 0005-9889 (Print)

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

BETON I ZHELEZOBETON

Published since 1955

**3 (611)
May–June'2022**

V.I. MELIKHOV

INSTITUTE «VNIIZHELEZOBETON» – 70 YEARS 3

V.I. TRAVUSH, D.V. KUZEVANOV, S.S. KAPRILOV, Yu.S. VOLKOV

Concrete as an Ecological Factor in Reducing the "Carbon Footprint" in the Living Environment 10**We Honor E.A. Chistyakov, the Same Age of NIIZhB Named After A.A. Gvozdev,****Professor, Doctor of Sciences (Engineering) 15**

V.V. REMNEV

Possibility of Using Reusable Building Materials in Concretes 20

S.S. ZHOROBAEV, I.S. KUZNETSOVA

An Efficient Method of Convective Heating of Monolithic Reinforced Concrete Structures**During Winter Concreting 23**

S.N. LEONOVICH, E.E. SHALY, D.A. LITVINOVSKII,

A.V. STEPANOVA, A.V. ZHURAVSKAYA, V.V. MALYUK

The Effect of Carbonation on the Diffusion of Chlorides in Concrete:**Experimental Analysis and Application in the Calculation 30**

E.A. SADOVSKAYA, S.N. LEONOVICH

Transition Factors for Nanofiber Concrete 41**Editorial team:****ZVEZDOV A.I.**, Editor-in-Chief, Doctor of Sciences (Engineering), Deputy Director General for Research, Research Center «Stroitel'stvo»
JSC (Moscow)**ARKHIPKIN A.A.**, Deputy Editor-in-Chief, Structural Concrete Association (Moscow)**GRANOV V.V.**, Doctor of Sciences (Engineering), Deputy Director General – Scientific Supervisor, «TsNIPromzdaniy» JSC (Moscow)**GUSEV B.V.**, Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Building Materials and Technologies Department, Russian University of Transport
(MIIT) (Moscow)**JENSEN O.M.**, Dr. Sci., Professor, Danish Technical University (Denmark)**KUZEVANOV D.V.**, Candidate of Sciences (Engineering), Director of the Scientific Research Institute for Concrete and Reinforced Concrete
named after A.A. Gvozdev (Moscow)**MAILYAN D.R.**, Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Reinforced Concrete and Stone Structures Department, Don State Technical
University (Rostov-on-Don)**MOROZOV V.I.**, Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Reinforced Concrete and Stone Structures Department, St. Petersburg State
University of Architecture and Civil Engineering (St. Petersburg)**MÜLLER H.S.**, Dr. Sci., Professor of the Karlsruhe University, Institute of Technology – KIT (Germany)**NESEVETAEV G.V.**, Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Construction Technology Department, Don State Technical University
(Rostov-on-Don)**RAKHMANOV V.A.**, Candidate of Sciences, Professor, Corresponding Member of RAACS, Chairman of the Board of Directors
LLC «Institute VNIIZhelezobeton» (Moscow)**STEPANOVA V.F.**, Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Laboratory for Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced
Concrete Structures, of the Scientific Research Institute for Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (Moscow)**TAMRAZYAN A.G.**, Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Reinforced Concrete and Stone Structures Department, Moscow State
University of Civil Engineering (Moscow)**TRAVUSH V.I.**, Doctor of Sciences (Engineering), Chief Designer, Deputy Director General for Research, «GORPROEKT» CJSC,
Vice-President of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow)**USHEROV-MARSHAK A.V.**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv State Technical University of Construction and Architecture
(Ukraine)**FALIKMAN V.R.**, Candidate of Sciences (Chemistry), Doctor of Materials Science, Head Center for scientific and technical assistance at
complex facilities construction in the Scientific Research Institute for Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (Moscow)**KHOZIN V.G.**, Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Building Materials, Products and Structures Technology Department, Kazan
State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan)**The authors**of published materials are responsible for the
accuracy of the submitted information, the
accuracy of the data from the cited literature
and for using in articles data which are not open
to the public.**The Editorial Staff**can publish the articles as a matter
for discussion, not sharing the point of view
of the author.**Reprinting**and reproduction of articles, promotional and
illustrative materials are possible only with the
written permission of the editor-in-chief.**The Editorial Staff is not responsible
for the content of advertisements
and announcements.****Editorial address:** 9/3 Dmitrovskoye Hwy,
127434, Moscow, Russian Federation**Tel.:** (499) 976-22-08, (499) 976-20-36**E-mail:** mail@rifsm.ru**http://azhb.ru/****http://www.rifsm.ru**

УДК 061.75(47-25):055.69

В.И. МЕЛИХОВ, канд. техн. наук, заместитель генерального директора по науке (institute@unicon-zsk.ru)
ООО «Институт ВНИИЖелезобетон» (111141, г. Москва, ул. Плеханова, 7)

ИНСТИТУТУ «ВНИИЖЕЛЕЗОБЕТОН» — 70 ЛЕТ

V.I. MELIKHOV, Candidate of Sciences (Engineering), Deputy General Director for Science (institute@unicon-zsk.ru)
CCL «Institute VNIIZhelezobeton» (7, Plekhanova Street, Moscow, 111141, Russian Federation)

INSTITUTE «VNIIZHELEZOBETON»: 70 YEARS

В 2022 г. исполняется 70 лет со дня образования ООО «Научно-исследовательский, проектно-конструкторский, технологический институт «ВНИИЖелезобетон» — правопреемника Всесоюзного головного научно-исследовательского института заводской технологии сборных железобетонных изделий и конструкций «ВНИИЖелезобетон», образованного Постановлением Совета Министров СССР № 484 от 26.01.1952 г. для научного сопровождения создаваемой промышленности сборного железобетона страны.

На стадии формирования институт входил в состав Главмосстройматериалов, а с образованием Министерства строительных материалов СССР был передан в его ведение. В 1988 г. ВНИИЖелезобетон был включен в состав Госстроя СССР, после распада СССР — Минстроя России и Госстроя России, а затем вошел в систему строительного комплекса г. Москвы на правах головной научной организации.

Важнейшие задачи, которые решались и решаются на протяжении всей его истории, — создание и внедрение новых технологий для строительной индустрии, повышение производительности труда и качества продукции, обеспечение экологической безопасности при ее изготовлении и применении, энерго- и ресурсосбережение.

Созданный в период становления индустриального строительства институт развивался вместе с промышленностью сборного железобетона и своими работами в значительной мере способствовал тому, что за последующие годы промышленность сборного железобетона превратилась в одну из важнейших отраслей народного хозяйства страны.

Уже в начальный период своей деятельности институт принимает активное участие в освоении первых в стране специализированных конвейерных линий заводов по производству железобетонных изделий — Московского (ныне Краснопресненский завод ЖБК ДСК-1) и Люберецкого (ныне завод ЖБК-2).

После выхода в 1952 г. Постановления Совета Министров СССР «О развитии производства сборных железобетонных конструкций и деталей в строительстве» ВНИИЖелезобетон на правах головной организации развернул комплексные исследования, направленные на решение основных проблем, стоящих перед развивающейся промышленностью сборного железобетона.



Виктор Алексеевич Рахманов — член-корреспондент РААСН, профессор, заслуженный строитель РФ, лауреат премии Правительства РФ по науке и технике, почетный деятель науки и техники г. Москвы, председатель Совета директоров ООО «Институт «ВНИИЖелезобетон», научный руководитель института

В 1958–1963 гг. институт принимает активное участие в создании и развитии технологии и оборудования по производству изделий для крупнопанельного домостроения. Разрабатываются и внедряются оптимальные режимы работы вертикально-кассетных установок, основы заводской технологии конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона, осваивается конвейерное производство наружных стеновых керамзитобетонных панелей.

Именно благодаря сборному железобетону в послевоенные годы в СССР были успешно решены первоочередные задачи обеспечения жильем. В 1988 г., к моменту наивысшего развития сборного железобетона, объем его производства в стране превысил 150 млн м³ при работе более 3,5 тыс. заводов ЖБИ и 400 ДСК.

Развитие производства преднапряженных конструкций в значительной мере определяли создание и внедрение: электротермических и механических методов натяжения арматуры, новых способов анкеровки и стыковки высокопрочной термически упрочненной арматуры, оборудования для опрессовки, приборов контроля для ее натяжения и др.

Разработка и внедрение в производство новой технологии натяжения арматуры с помощью электронагрева были удостоены Ленинской премии (1961 г.).

Изменение требований к архитектуре зданий и качеству жилья поставило задачу непрерывного совершенствования и создания новых, улучшенных конструкций промышленных зданий, переоснащения заводов ЖБИ и ДСК. В этой работе активное участие принимал институт.

К важнейшим работам, выполненным ВНИИжелезобетоном и получившим отечественное и мировое признание, относятся исследования по созданию и внедрению неразрушающих методов контроля, технических средств и автоматизированных систем управления качеством при производстве железобетонных изделий; теоретические и практические основы методики ультразвукового контро-

ля прочности и радиоизотопного контроля плотности бетонов в готовых изделиях в процессе их твердения.

Впервые в мировой практике институтом был разработан ГОСТ на применение неразрушающих методов контроля и на Опытном заводе института освоен серийный выпуск ультразвуковой аппаратуры (приборов) для контроля прочности бетона и натяжения арматуры.

Работа по созданию и внедрению средств неразрушающего контроля качества бетона была отмечена премией Совета Министров СССР (1974 г.).

В последующие годы ВНИИжелезобетон принимает активное участие в исследованиях, разработке и массовом внедрении новых эффективных технологий и оборудования для интенсификации производства сборных железобетонных изделий, повышения качества и степени их заводской готовности, снижения стоимости, материалоемкости и ресурсосбережения.

Особенностью этих работ была их практическая направленность – они всегда проводились в тесном творческом содружестве с предприятиями сборного железобетона. Это позволяло институту быть в курсе задач, стоящих перед промышленностью, в кратчайшие сроки создавать новые технологические процессы и оборудование, быстро и эффективно внедрять их в массовое производство, обобщать передовой опыт и разрабатывать основополагающие инструктивно-нормативные документы, необходимые для развития отрасли сборного железобетона.



Руководители и специалисты ВНИИжелезобетона, завода ООО «ЮНИКОН-ЗСК» и других строительных институтов и организаций на семинаре по системе «Юникон», 2008 г.



Здание института «ВНИИЖелезобетон» (Москва, ул. Плеханова, 7)

Важное значение для развития производства ограждающих конструкций зданий имела разработанная институтом заводская технология производства крупноразмерных изделий стеновых панелей из легких поризованных керамзобетонов.

ВНИИЖелезобетоном были разработаны основополагающие нормативные документы для заводов ЖБИ и ДСК, в том числе первый отечественный СНиП по производству сборных бетонных и железобетонных конструкций и изделий, а также общесоюзные нормы технологического проектирования таких предприятий и др.

Для повышения качества и заводской готовности железобетонных изделий разработаны эмульсионные смазки и разнообразные методы заводской отделки наружных стеновых панелей и блоков, получившие массовое внедрение на заводах КПД и ЖБК.

Крупномасштабные исследования по созданию эффективных технологических процессов и оборудования для внедрения на предприятиях сборного железобетона были осуществлены в области ресурсосбережения, экономии тепловой энергии, цемента, использования промышленных отходов, завершившихся созданием ряда важных нормативных документов. Разработана методика расчета расхода тепловой энергии на пропаривание железобетонных изделий в камерах периодического и непрерывного действия, разработаны и введены в действие нормы расхода тепловой энергии, внедрение которых за счет нормализации топливно-энергетических балансов предприятий обеспечило значительное снижение расхода тепловой энергии. Разработаны и внедрены энергосберегающие термосные и импульсные режимы тепловой обработки, учитывающие фактический ритм работы тепловых установок и снижающие расход тепловой энергии на 15–20%. Институт принимал активное участие в разработке и внедрении электротепловых методов ускорения твердения бетона: электропрогрева, электроразогрева бетонной смеси, индукционных камер и установок.

Комплекс работ по снижению расхода тепловой энергии, осуществленный по разработкам института



Здание офисно-лабораторного корпуса института «ВНИИЖелезобетон» (Москва, ул. Плеханова, 4)

на ПО «Баррикада» в Ленинграде, был отмечен премией Совета Министров СССР (1977 г.).

Впервые в мировой практике были разработаны типовые нормы расхода цемента, ставшие основой его нормирования в строительстве и обеспечившие в значительной степени снижение расхода цемента. Экономии цемента способствовали также разработанные ВНИИЖелезобетоном совместно с НИИЖБ и Оргэнергостроем принципы статистического метода контроля и оценки прочности бетонов.

Большое влияние на решение проблем ресурсосбережения в производстве сборного железобетона оказали выполненные во ВНИИЖелезобетоне работы по химизации технологии бетона, в том числе с утилизацией при его изготовлении отходов промышленного производства, металлургии, ТЭС, лесо- и нефтепереработки.

В 1977 г. во ВНИИЖелезобетоне впервые в нашей стране был получен первый отечественный суперпластификатор 10-03 на основе меламина. Институтом также были разработаны и масштабно реализованы в строительстве другие эффективные суперпластификаторы на основе лигносульфатов (20-03, 30-03) и на основе продуктов нефтепереработки (40-03 и ФОК). Как показали производственные испытания, применение разработанных ВНИИЖелезобетоном суперпластификаторов обеспечивало существенно больший эффект по сравнению с наиболее распространенным суперпластификатором С-3.



Завод ООО «ЮНИКОН-ЗСК» (Москва, ул. 2-я Владимирская, 62А)

За исследование, разработку и внедрение высокоэффективных химических добавок для интенсификации и повышения качества бетонных работ в строительстве институт был удостоен премии Ленинского комсомола (1986 г.).

Большое значение в развитии технологии бетонов во второй половине 80-х гг. XX в. сыграли впервые разработанные ВНИИжелезобетоном совместно с предприятием Минобороны при участии НИИЦемент, НИИЖБ уникальные вяжущие низкой водопотребности (ВНВ), получившие отечественное и зарубежное признание. Высокая тонина помола ВНВ в сочетании с низкой водопотребностью цементного теста позволяла получать на нем бетоны прочностью более 100 МПа или обеспечивать снижение расхода цемента в 2–3 раза при получении бетонов с прочностью 30–50 МПа.

ВНИИжелезобетон в течение многих лет выполнял работы в области экономики сборного железобетона, научной организации труда, техники безопасности, планово-предупредительного ремонта оборудования. Были разработаны и распространены на заводах отрасли соответствующие инструктивно-нормативные документы.

Большое влияние на развитие заводской технологии сборного железобетона институт оказывал путем активного участия в разработке общесоюзных нормативных документов (ГОСТы, СНИИПы, инструкции, рекомендации).

Как головная организация ВНИИжелезобетон внес важный вклад в совершенствование технологии и оборудо-

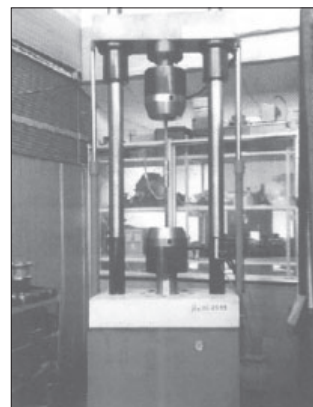
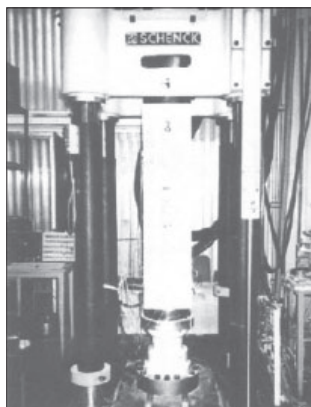
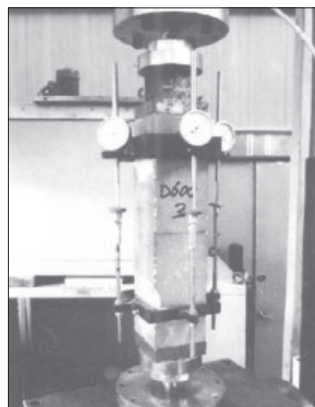
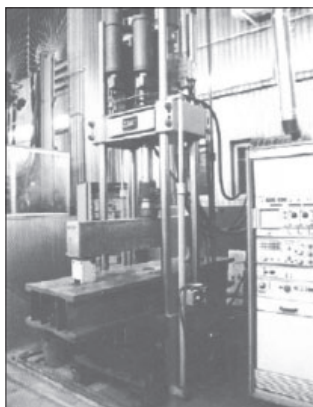
вания для производства сборных изделий из спецжелезобетона – железобетонных шпал, напорных и безнапорных труб, опор линий электропередачи и освещения, мостовых конструкций, туннелей и др. На основе комплексных эксплуатационных испытаний, проведенных ВНИИжелезобетоном с ЦНИИ МПС, были разработаны усовершенствованные железобетонные шпалы и новые рельсовые скрепления для магистральных железных дорог и отработана технология их заводского производства и применения.

При производстве напорных железобетонных виброгидропрессованных труб получила широкое внедрение технология кольматации, обеспечивающая за счет применения жидкостекольных композиций повышение их водонепроницаемости. Разработанные вододисперсные пленкообразующие составы и добавки – депрессоры влагонепроницаемости использовались при строительстве и ремонте автодорог, мостов, взлетно-посадочных полос в аэропортах Москвы, Ленинграда, Киева, Свердловска.

За создание и внедрение эффективных конструкций железобетонных напорных труб со стальным сердечником и полуавтоматизированных линий по их изготовлению институту была присуждена премия Совета Министров СССР (1980 г.).

С учетом бурного развития в период перестройки малоэтажного домостроения институт разработал и внедрил эффективные технологии и оборудование для изготовления мелкоштучных бетонных изделий – стеновых камней и мелких блоков, черепицы, облицовочной плитки. Была создана и внедрена технология и оборудование для производства мелких стеновых блоков из безавтоклавного ячеистого бетона плотностью 600–800 кг/м³ по резательной технологии и из поризованных легких бетонов плотностью 600–900 кг/м³.

В 1994 г. по приглашению Мэра г. Москвы ВНИИжелезобетон перешел в ведение г. Москвы на правах головной научной организации (ППМ от 25.10.1994 г. № 952) и в составе городского строительного комплекса в короткие сроки создал научно-техническую, нормативную и производственную базу для городского строительства энергоэффективных жилых и общественных зданий.



Лабораторно-испытательная база института «ВНИИжелезобетон» (испытания полистиролбетонных образцов, изделий и арматуры)



Панорама зданий, построенных по системе «Юникон»

В этот период одной из важнейших проблем в строительстве, вызванной энергетическим кризисом, стало энергосбережение – создание наружных ограждающих конструкций зданий, уменьшающих энергозатраты на их отопление. В связи с этим институт с середины 1990-х гг. приступил к крупным исследованиям в области энергоэффективности зданий, к созданию новых эффективных инновационных технологий и материалов и разработал научную концепцию по строительству теплоэффективных сборно-монолитных средне- и многоэтажных жилых и общественных зданий.

Были разработаны особо легкие **полистиролбетоны** с уникальными свойствами и в 1999 г. выпущен первый в отечественной и зарубежной практике стандарт на этот материал; разработана строительная система энергосберегающих зданий с ограждающими конструкциями «Юникон» для жилых и общественных зданий и создан первый импортозамещающий отечественный завод ЗАО «ЮНИКОН-ЗСК» для изготовления комплектных полистиролбетонных изделий из сверхлегких полистиролбетонов плотностью 150–600 кг/м³, обеспечивающих исключительные возможности повышения теплозащиты ограждающих конструкций жилых и общественных зданий.

Импортозамещающая отечественная технология строительства «теплых домов» на основе однослойных наружных стен из полистиролбетона системы «Юникон» опередила требования времени по теплозащите зданий и обеспечила высокую экономичность ограждающих конструкций, полностью отвечающих современным повышенным требованиям по ресурсосбережению в соответствии с целевой программой города Москвы по энергосберегающему домостроению. Для этих условий разработана и реализуется концепция строительства нового поколения зданий повышенной энергоэффективности системы «Юникон-2».

На начальном этапе г. Москва при участии Московской области явились лидерами внедрения этой технологии при городской застройке в Куркино, Братеево, Южном Бутово, Новокосино, Митино, пос. Коммунарка в Новой Москве, а также в подмосковных городах: Мытищи, Балашиха, Королев, Электросталь, Долгопрудный, Жуковский, Химки, Щелково и других районах массовой и точечной застройки, а с ее использованием по всей России и в странах СНГ по системам «Юникон» и «Юникон-2» в настоящее время построено более 16 млн м² энергоэффективного жилья нового поколения.

В этой связи можно считать, что институт выполнил задачу, поставленную перед ним московским правительством.

Комплекс работ по созданию, освоению производства и применения технологии «Юникон» при массовом строительстве энергоэффективных зданий удостоен премии Правительства РФ в области науки и техники в 2010 г.

В последние годы коллектив института «ВНИИжелезобетон» продолжает активную творческую работу по модернизации технологии производства изделий из особо легкого полистиролбетона нового поколения и развитие строительства энергоэффективных зданий с его применением.

По этому главному направлению институтом были разработаны – новый национальный (2012 г.) и межгосударственный (2016 г.) стандарты на полистиролбетоны, показатели которых на 15–25% превосходят значения первого стандарта (1999 г.), что еще более повышает эффективность применения этих материалов.

В 2021 г. институтом была запатентована прорывная технология **получения особо легкого негорючего полистиролбетона** и разработана новая редакция межгосударственного стандарта на материал для применения в энергосберегающих ограждающих конструкциях по значительно более эффективной строительной системе

«Юникон-3» при возведении средне- и высокоэтажных жилых и общественных зданий.

И сегодня импортозамещающая наукоемкая технология «Юникон» (54 патента) продолжает лидировать среди отечественных и зарубежных разработок. Производство изделий из полистиролбетона на основе разработанных институтом стандартов на полистиролбетон внедрено более чем на 60 заводах страны.

В качестве одного из важнейших направлений работ института по созданию инновационных материалов и технологий XXI в. на данный момент и перспективу следует отметить разработку технологии оперативного восстановления (санации) и реконструкции трубопроводов теплотрасс как одного из элементов важнейшей проблемы энергосбережения.

В 2010 г. институт «ВНИИЖелезобетон» и его завод ООО «ЮНИКОН-ЗСК» совместно с ОАО «МОЭК» и рядом других подрядчиков разработали технологию санации трубопроводов тепловодоснабжения с использованием специальных цементно-полимерных смесей, выпускаемых ООО «ЮНИКОН-ЗСК» для нанесения методом центробежного набрызга защитного покрытия на внутреннюю поверхность стальных трубопроводов систем теплоснабжения.

В 2017 г. по заказу АО «Мосводоканал» была разработана технология санации трубопроводов питьевого водоснабжения и канализации с использованием специальных цементно-полимерных смесей «ЮНИКОН ПРОФИ Водопровод». В 2018 г. после успешных испытаний и выполнения пилотного проекта данная технология была включена в реестр технических требований АО «Мосводоканал».

В период 2015–2022 гг. было восстановлено более 30 км трубопроводов диаметром от 300 до 2000 мм.

Крупными заказчиками данной технологии являются: ОАО «Теплосеть Санкт-Петербурга», ООО «Краснодар Водоканал», АО «Мосводоканал», МУП «Межрайонный Щелковский Водоканал», АО «Норильско-Таймырская энергетическая компания», МП «Водоканал г. Рязани».

Проверка состояния нанесенного в 2015 г. покрытия проводилась на объекте ОАО «Теплосеть Санкт-Петербурга» в 2021 г. По результатам контроля качества комиссией заказчика подготовлен акт с положительным заключением.

В 2021 г. были выполнены работы по нанесению цементно-песчаной смеси «ЮНИКОНПРОФИ Водопровод» при санации трубопровода в районе Крайнего Севера. Несмотря на сложные климатические условия, разработанная технология позволила выполнить работы на циркуляционных водоводах ТЭЦ ДУ=2000 мм в сжатые сроки без потери качества. Важно отметить, что при производстве работ используются только отечественные материалы, прошедшие предварительные лабораторные испытания, и постоянно выполняются работы по улучшению характеристик специальных ремонтных цемент-

но-полимерных смесей для решения любой задачи заказчика.

Как показали опытно-промышленные испытания трубопроводов, saniрованных данным методом, материал оказался стойким к температурным деформациям, не растрескивается под воздействием температурных перепадов теплоносителя, не вымывается, не оказывает влияния на работу теплообменного и котельного насосного оборудования; химический состав теплоносителя предотвращает образование известковых и других отложений на внутренней поверхности труб. Материал может эффективно работать в системах теплоснабжения при рабочих давлениях в трубопроводе до 1,6 МПа и при гидравлических испытаниях до 2,6 МПа, а также при рабочем диапазоне температуры теплоносителя 15–150°C.

С началом создания института было разработано и выпущено около 470 различных инструкций, рекомендаций, пособий. Опубликовано более 250 монографий, около 4 тыс. статей в профильных журналах, в том числе более 90 в последнее пятилетие. Как головная организация или соисполнитель институт подготовил порядка 160 национальных и межгосударственных стандартов на сборные бетонные и железобетонные конструкции, бетоны, заполнители, химдобавки – модификаторы свойств бетонов и методы их испытаний, а также порядка 15 СНиПов, сводов правил и методических пособий по проектированию бетонных и железобетонных конструкций.

Институт принимает активное участие в международных, всесоюзных и российских конференциях, симпозиумах, совещаниях, семинарах по бетону и железобетону. Разработки института, регулярно демонстрируемые на международных и российских выставках, получили широкое отечественное и международное признание. Как было указано выше, они были удостоены Ленинской премии СССР, трех премий Совета Министров СССР и премии Ленинского комсомола, премии Правительства РФ по науке и технике, конкурсных медалей и дипломов Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), золотых и серебряных медалей ВДНХ, дипломов Международных организаций и выставок. Институтом получено более 500 авторских свидетельств и патентов на изобретения и полезные модели. С 1996 г. ВНИИЖелезобетон – ассоциированный член РААСН.

В связи с 70-летием ВНИИЖелезобетон получили почетные грамоты, благодарственные письма и поздравления, в том числе: от Председателя Совета Федерации РФ В.И. Матвиенко, Председателя Комитета Госдумы РФ по науке и высшему образованию С.В. Кобышева, Мэра Москвы С.С. Собянина, первого заместителя Мэра Москвы в 2001–2011 г., депутата Госдумы РФ В.И. Ресина, губернатора Московской области А.Ю. Воробьева, министра строительства и ЖКХ РФ И.Э. Файзуллина, министра строительного комплекса и ЖКХ Московской области В.А. Локтева, заместителя Мэра Москвы по вопросам градостро-

ительной политики и строительства А.Ю. Бочкарева, руководителя Департамента градостроительной политики г. Москвы С.И. Левкина, Президента РААСН Д.О. Швидковского, Президента Российской инженерной академии Б.В. Гусева, Президента Российского Союза строителей (РСС) В.А. Яковлева, Председателя Президиума Российского общества инженеров строительства (РОИС) В.М. Серова, Генерального директора АО «НИЦ «Строительство» В.Г. Крючкова, руководителей НИУ МГСУ – Почетного президента В.И. Теличенко и ректора П.А. Акимова, а также других ведущих строительных организаций и институтов.

В становлении и развитии института «ВНИИЖелезобетон» как головной научной организации в области заводской технологии сборного железобетона большую роль сыграли его первые руководители: В.П. Королев, П.К. Балатьев, В.М. Наседкин, А.М. Горшков, а также плеяда высокоавторитетных специалистов, докторов и кандидатов наук. В их числе: В.И. Сорокер, В.Б. Ратинов, И.С. Вайншток, М.М. Холмянский, Э.Г. Ратц, О.Ю. Цейтлин, Г.А. Обьещенко, Л.А. Кайсер, В.Г. Довжик, Д.Ф. Толорая, Ю.И. Долинский, М.Н. Горбовец, А.Э. Гордон, С.Н. Левин, Г.Я. Амханицкий, С.К. Казарин, А.И. Козловский, В.И. Мелихов, Р.В. Вегенер, Н.Н. Долгополов и многие другие.

Особую роль в развитии ВНИИЖелезобетона сыграл ведущий ученый и организатор строительной науки В.А. Рахманов, проработавший в институте более сорока лет.

Под руководством и при непосредственном участии В.А. Рахманова во ВНИИЖелезобетоне было создано новое научное направление – технологическая механика материалов с заданными свойствами, моделирующих на основе лабораторных испытаний образцов эксплуатационные условия в замкнутых электрогидравлических испытательных системах с обратной связью. Для этих работ В.А. Рахмановым в институте была создана испытательная база с уникальным оборудованием Научно-исследовательского центра динамической прочности и долговечности строительных материалов и конструкций

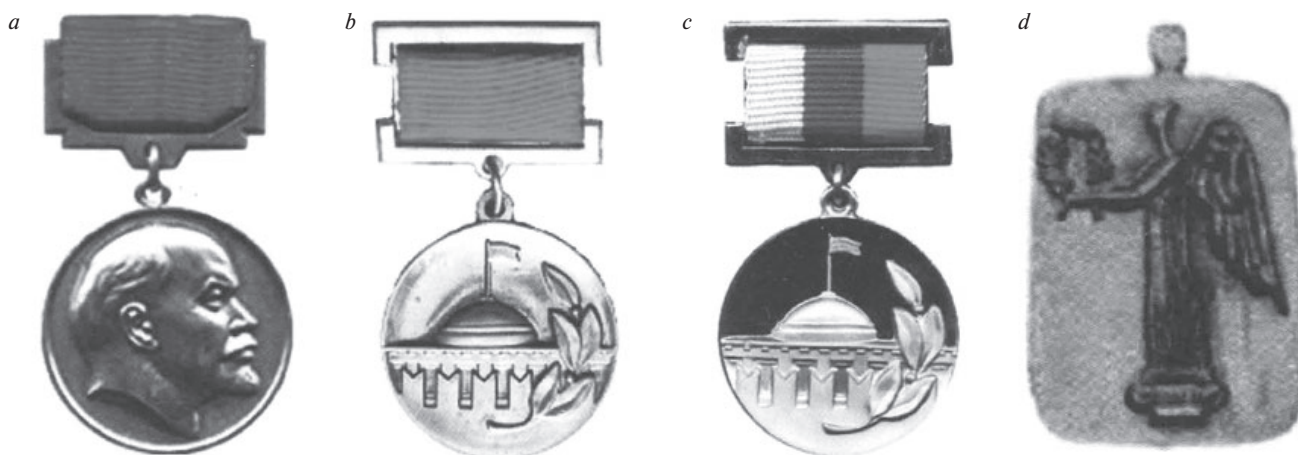
НИЦстром – ведущей в стране организации, включающей Сертификационный испытательный центр.

На основе новых методов и средств эксплуатационных испытаний выпущен целый ряд нормативных документов по методике автоматизированных ресурсных динамических, в том числе ускоренных циклических, испытаний арматуры и бетона, по оценке усталостных характеристик арматурных стержней и динамической прочности железобетонных конструкций. Это позволило создать для специального и транспортного строительства с применением методов технологической механики целый ряд новых высокоэффективных материалов и изделий, в том числе высокопрочные бетоны на основе вяжущих низкой водопотребности (ВНВ), бетонополимеры, сталефибробетоны и новые высокопрочные арматурные стали.

Институт кардинально усилил свою работу с назначением в 1982 г. генеральным директором ВНИИЖелезобетона члена-корреспондента РААСН, профессора В.А. Рахманова, построившего для этого новый Опытный завод, Испытательную базу и офисно-лабораторный корпус. В период перестройки, в начале 1990-х гг., В.А. Рахманов сохранил институт, и в постсоветское время ВНИИЖелезобетон удерживает лидирующие позиции среди институтов строительной отрасли.

В составе института успешно функционируют Испытательный и Сертификационный центры, оснащенные высокоэффективным импортным оборудованием для испытаний строительных материалов и конструкций, включая в том числе крупноразмерные. В состав Опытной базы «ВНИИЖелезобетона» входит завод «ЮНИКОН-ЗСК» по выпуску полистиролбетонных изделий и конструкций и специальных добавок для ремонта стальных трубопроводов теплотрасс.

Многолетний опыт, высококвалифицированные кадры, уникальное испытательное оборудование и собственная производственная база позволяют институту ВНИИЖелезобетон успешно решать крупные научно-технические задачи, стоящие перед строительной отраслью.



Медали ВНИИЖелезобетона: а – Ленинская премия СССР, 1961 г.; б – премии Совета Министров СССР, 1974, 1977, 1980 гг.; в – премия Правительства РФ в области науки и техники, 2010 г.; д – медали РААСН, 2007, 2009, 2010 гг.

В.И. ТРАВУШ¹, д-р техн. наук, профессор, вице-президент РААСН (info@gorproject);
Д.В. КУЗЕВАНОВ², канд. техн. наук (sdn-2@mail.ru),
С.С. КАПРИЕЛОВ², д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (kapriellov@cstroy.ru),
Ю.С. ВОЛКОВ², канд. техн. наук, почетный член РААСН (volkov@cstroy.ru)

¹ ЗАО «Горпроект» (105064, г. Москва, Нижний Сусальный пер., 5, стр. 5А)

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

Бетон как экологический фактор снижения углеродного следа в среде обитания

В разработанной Минстроем России «Стратегии развития строительной отрасли до 2030 года и на перспективу до 2035 года» указано, что одной из целей развития строительства на данную перспективу является снижение углеродного следа от воздействия строительной отрасли на окружающую среду. В работе анализируются факторы, которые позволяют основному строительному материалу – бетону внести существенный вклад в снижение углеродного следа по отношению к окружающей среде. Приводятся примеры европейских практик по решению этой проблемы, указана необходимость проведения соответствующих научно-исследовательских работ, касающихся оценки влияния производства цемента и бетона на повышение уровня углеродного следа, разработки методов решения указанной проблемы и учета этого фактора для практических нужд.

Ключевые слова: бетон, экология, окружающая среда, углеродный след.

Для цитирования: Травуш В.И., Кузеванов Д.В., Каприелов С.С., Волков Ю.С. Бетон как экологический фактор снижения углеродного следа в среде обитания // *Бетон и железобетон*. 2022. № 3 (611). С. 10–14. DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-611-3-10-14>

V.I. TRAVUSH¹, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Vice-President of RAACS (info@gorproject);

D.V. KUZEVANOV², Candidate of Sciences (Engineering) (sdn-2@mail.ru),

S.S. KAPRIELOV², Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Academician of the RAASN (kapriellov@cstroy.ru),

Yu.S. VOLKOV², Candidate of Sciences (Engineering), Honorary Member of the RAASN (volkov@cstroy.ru)

¹ CJSC “Gorproekt” (building 5A, 5, Nizhny Susalny lane, Moscow, 105064, Russian Federation)

² Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete – NIIZhB named after A.A. Gvozdev,

JSC “Research Center “Construction” (building 5, 6, 2nd Institutskaya, Moscow, 109428, Russian Federation)

Concrete as an Ecological Factor in Reducing the “Carbon Footprint” in the Living Environment

The “Strategy for the development of the construction industry until 2030 and for the future until 2035” developed by the Ministry of Construction of Russia indicates that one of the goals of construction development for this future is to reduce the carbon footprint from the impact of the construction industry on the environment. The article analyzes the factors that allow the main building material – concrete to make a significant contribution to reducing the carbon footprint in relation to the environment. Examples of European practices in solving this problem are given, the need for appropriate research work is indicated regarding the assessment of the impact of cement and concrete production on increasing the carbon footprint, the development of methods to solve this problem and taking this factor into account for practical needs.

Keywords: concrete, ecology, environment, carbon footprint.

For citation: Travush V.I., Kuzevanov D.V., Kapriellov S.S., Volkov Yu.S. Concrete as an ecological factor in reducing the “carbon footprint” in the living environment. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022. No. 3 (611), pp. 10–14. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-611-3-10-14>

К 2050 г. население земного шара, по прогнозу, возрастет до 9,8 млрд человек. Мировое строительство развивается в беспрецедентных объемах. Только в Китае ежегодно возводится 15 млн новых домов, в пять раз больше, чем в США и Европе. Мировое промышленное развитие сопровождается ростом экологических проблем. За последние 50 лет средняя тем-

пература атмосферы земного шара увеличилась на 2 градуса, это явление вызывает таяние арктических и антарктических льдов, подъем уровня Мирового океана, возмущения атмосферы (ураганы, торнадо, лесные пожары и др.). Причиной потепления атмосферы считается повышение содержания в ней углекислого газа CO₂, создающего парниковый эффект [1].

Следует отметить, однако, что существуют и другие точки зрения на причину потепления климата планеты, в частности отдельные специалисты считают, что потепление является результатом изменения угла наклона (осцилляция) оси вращения планеты относительно орбиты ее движения вокруг Солнца.

Источники выброса CO_2 многолики, это теплоэлектростанции, металлургия, автотранспорт и т. д. Не остается в стороне и строительная отрасль.

В разработанной Минстроем России «Стратегии развития строительной отрасли до 2030 года и на перспективу до 2035 года» указано, что одной из целей развития строительства на обозримую перспективу является «снижение углеродного следа от воздействия строительной отрасли на окружающую среду», хотя строительство по этому показателю находится не в первых рядах среди остальных отраслей промышленности [2].

Основная доля повышения содержания CO_2 в атмосфере приходится на тепловые электростанции и автомобильный транспорт. Производство строительных материалов тем не менее вносит свой вклад: на производство цемента приходится 7% общемировых выбросов CO_2 [3].

Рост потребления природных ресурсов в строительной отрасли ведет к увеличению различных отходов самой этой отрасли. Производство 1 т цемента сопровождается выбросом в атмосферу одной тонны углекислого газа (CO_2). Возведение 1 м² жилой площади в пересчете на все виды использованных строительных материалов приводит к выбросу в атмосферу 1,8 т диоксида углерода [3].

Учитывая огромные объемы производства цемента в мире – 2,5 млрд т/г., на его производство приходится 7% всех мировых выбросов CO_2 , или 1,2 млрд т, или 200 кг на одного жителя Земли; кроме того, мировая цементная промышленность дает 3,7 млн т выбросов в атмосферу окиси азота (ингредиента кислых дождей), что ведет к загрязнению воздушного и водного бассейнов.

Общественную значимость борьбы против изменений климата применительно к Европе можно проиллюстрировать фактом избрания представителей партии «зеленых», которая проповедует эту доктрину, в коалиционное правительство такой страны, как Федеративная Республика Германия. В рекомендациях программы этой партии указано на необходимость преимущественного строительства ветровых и солнечных установок, гидроэлектростанций и атомных станций с соответствующим снижением числа (а в отдаленной перспективе и отказ от них) тепловых станций, работающих на угле, производящих как попутный продукт углекислый газ CO_2 , который накапливаясь в атмосфере, дает упомянутый парниковый

эффект. Строительство ветровых и солнечных установок требует использования таких дорогих энергоемких материалов, как алюминий и медь, которые для своего производства также нуждаются в немалых затратах энергии.

В «Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» [4] не даны предложения по применяемым строительным материалам, которые могут внести свой вклад в снижение углеродного следа, а такой материал есть и выпускается в значительных объемах. Это бетон, и он может сыграть ощутимую роль в решении проблем экологии. Бетон и железобетон являются доминирующим строительным материалом. В настоящее время 70% населения земного шара живет в домах, построенных с применением железобетона [5].

В октябре 2021 г. в Лондоне сорок крупнейших мировых компаний – производителей цемента (80% мирового производства, исключая Китай) взяли обязательство сократить к 2030 г. выбросы CO_2 на 25%, что отвечает целям ограничения глобального потепления. Это означает, что выбросы в атмосферу CO_2 к этому сроку сократятся на 5 млрд т. Намеченное снижение выбросов CO_2 гипотетически эквивалентно объему выбросов от двигателей пассажирских авиалайнеров за 15 млрд рейсов по маршруту Париж – Нью-Йорк [6].

Недавно созданная Европейская объединенная ассоциация цемента и бетона (Global Cement and Concrete Association – GCCA, (www.gccassociation.org)) поставила задачу к 2050 г. достичь углеродной нейтральности производства цемента и бетона в Евросоюзе. Иными словами, достичь положения, когда выбросы CO_2 в процессе производства цемента и бетона не будут приводить к увеличению его содержания в атмосфере. В качестве первого шага в этом направлении намечено уже к 2030 г. снизить на 25% выбросы CO_2 при производстве цемента и бетона. Стартовое заседание Ассоциации GCCA, на которой было принято указанное решение, собрал более тысячи специалистов из различных стран [7]. Подготовленный по результатам заседания документ собрал более 800 тыс. просмотров в Интернете. Отметим, что за последние тридцать лет, по данным Ассоциации, выбросы CO_2 при производстве цемента снизились на 20%. В период до 2030 г., то есть за 8 лет, намечено снижение сразу еще на 25%.

На долю строительного сектора приходится 14% общемирового ВВП. Мировой объем производства цемента и бетона в денежном выражении оценивается в 440 млрд долл. США в год. В мире для изготовления бетона ежегодно расходуется более 1 млрд т цемента [8].

В мире за 2020 г. было произведено 14 млрд м³ бетона, из них 40%, или 5,6 млрд м³, ушло на возведение жилья; к 2050 г. этот объем по прогнозу возрастет до 9,8 млрд м³. Европейская цементная промышленность насчитывает 200 заводов при числе работников 35 тыс. человек. Ежегодная производительность заводов составляет 180 млн т при обороте 15 млрд евро, что составляет 4,4% общемирового объема производства цемента. На долю промышленности по производству бетона приходится 10% от общеевропейского ВВП при числе занятых 1,3 млн человек.

В России эта отрасль также развивается успешно: по данным Минпромторга, в 2021 г. производство товарного бетона выросло на 43% по отношению к 2020 г., в то время как производство кирпича возросло лишь на 2,7%.

Производство стройматериалов в Европе является высокодоходной отраслью. Один евро, вложенный в производство цемента и бетона, дает мультипликативный эффект в 2,8 евро в общем ВВП. Продукция этого сектора составляет 10% совокупного общественного продукта в странах ЕС, в отрасли занято 13 млн работников.

В этих отраслях промышленности намечено снизить выброс парниковых газов на 55% к 2050 г., при этом планируется ежегодно обновлять не менее 3% общеевропейского жилого фонда. Все эти меры направлены на то, что окружающая среда должна стать углеродно-нейтральной, т. е. выбросы должны быть нейтрализованы в том числе путем расширения площадей зеленых насаждений.

Снижение расхода вяжущего на единицу объема бетона также может внести свой вклад в снижение выбросов CO₂. Подсчитано, что таким путем может быть получено снижение выбросов дополнительно на 5%.

На стадии эксплуатации готовых строительных объектов экологические требования в части снижения выбросов CO₂ можно выполнить путем повышения тепловой защиты зданий и снижения расхода энергии для поддержания комфортной среды обитания, но финансовые затраты вряд ли будут оправданы. На стадии проектирования и строительства конкретных объектов одним из ключевых факторов решения задачи снижения выбросов CO₂ является переход на преимущественное применение бетона как строительного материала. Основанием для такого перехода является то, что производство бетона требует значительно меньших затрат энергии, чем производство кирпича или металла.

Применение бетона в транспортном строительстве, помимо повышения надежности и долговечности сооружений, позволяет снизить выбросы парникового газа CO₂ от выхлопа движущегося автотранспорта суммарно на одну тонну в год на один

километр автодороги за счет пониженного расхода автомобильного топлива. Перспективно применение инновационных бетонов в транспортном строительстве, поскольку в России свыше трети протяженности автомобильных дорог федерального значения и мостовых сооружений на них требуют ремонта из-за ускоренной деградации примененных материалов. Анализ фактических сроков службы дорожных покрытий показывает, что в сопоставимых условиях эксплуатации цементобетонные дорожные покрытия имеют в среднем в два раза более продолжительный срок эксплуатации, чем асфальтобетонные.

В Евросоюзе в 2021 г. введен в действие евро-стандарт EN16757 «Экологичное строительство. Экологическая декларация строительных материалов. Правила для бетона и железобетона (Sustainability of construction work – Environmental product, declaration – Product category rules for concrete and concrete elements)» [9]. Стандарт содержит комплекс процедур по оценке экологичности бетона и железобетона на различных этапах жизненного цикла конструкций, начиная от изготовления и кончая утилизацией. Всего по вопросам экологической оценки строительных материалов и строительных работ (sustainability of construction) в настоящее время действуют шесть стандартов кроме упомянутого выше, которые касаются только бетона.

Это важный шаг к достижению Европой эконейтральной промышленности производства строительных материалов. К 2050 г. производство главного строительного материала – бетона должно в Евросоюзе выйти на нулевые показатели: тезис – «эконейтральный бетон».

Что касается в целом цементной промышленности, то, как уже указывалось, на ее долю приходится 7% общемирового объема выброса парниковых газов. В Европе выбросы CO₂ на 1 т производимого цемента в 1990 г. составляли 783 кг, но к 2030 г. эта цифра должна снизиться до 472 кг, а к 2050 г. выброс парниковых газов планируется снизить еще на 55%. Полностью исключить выбросы CO₂ пока невозможно, но достижение указанных показателей будет ощутимым вкладом в снижение углеродного следа. Страны Евросоюза намерены достичь углеродной нейтральности промышленного производства к 2050 г. [7].

Британский научно-исследовательский институт по строительству – British Research Establishment выполнил анализ экологической эффективности применения бетона на рециклированном заполнителе. За эталонный наиболее широко применяемый бетон был принят бетон класса по прочности при сжатии C28/35 (в числителе прочность, определенная по цилиндрам, в знаменателе – определенная по кубам, или кубико-

вая, МПа). Виды рециклированного заполнителя для бетона следующие:

- заполнитель из дробленого бетона;
- заполнитель из дробленого кирпича;
- смесь этих двух видов рециклированного заполнителя.

Кроме того, был рассмотрен бетон этого же класса с заполнителем из природных материалов.

Было показано, что абсорбция бетоном углекислого газа зависит главным образом от содержания цемента в единице его объема. Тип и порода крупного заполнителя оказывают небольшое влияние на этот показатель. При замене природного заполнителя на дробленый бетонный заполнитель в 100% объеме поглощение CO_2 на одну тонну бетона было всего на 10 кг ниже за расчетный период 100 лет [8].

В разделе упомянутой ранее «Стратегии развития строительной отрасли до 2030 года и на перспективу до 2035 г.» [2], посвященном строительным материалам, дана общая картина состояния этой отрасли без выделения приоритетов. Между тем необходимо было отметить, что применение в строительстве материалов, обладающих высокими прочностными показателями при изгибе и растяжении, а также высокой прочностью при сжатии, – один из важных путей выполнения требований экологии, улучшения качества строительства, повышения долговечности зданий и сооружений, в том числе и с учетом заданных климатических особенностей, и в конечном итоге повышение безопасности среды обитания человека. Первым по объемам применения в мире среди строительных материалов является бетон, с использованием которого выполняются разнообразные конструкции для гражданского и промышленного строительства. Средний расход энергии на отопление в железобетонных зданиях за счет тепловой инерции ограждающих конструкций вдвое ниже, чем в обычных.

Бетон вносит значимый вклад в достижение цели создания углеродно-нейтральной среды обитания, так как объемы применения бетона и железобетона более чем вдвое превышают объемы применения всех остальных строительных материалов, вместе взятых. На производство сборного и монолитного железобетона идет более 70% всего выпускаемого цемента и 30% нерудных строительных материалов, а в стоимостном выражении на бетон и железобетон приходится около 60% стоимости всех применяемых в строительстве материалов. Не последнюю роль играют экологические характеристики бетона.

Одним из важнейших экологических показателей стройматериалов является расход энергии на единицу продукции, который для железобетона на одну тонну в 16 раз ниже, чем для стали, и вдвое ниже, чем

количество энергии, необходимой для производства одной тонны кирпича. Снижение энергозатрат в определенной степени эквивалентно снижению выбросов в атмосферу CO_2 .

Таким образом, по уровню экологических, технических и экономических показателей железобетон является основным конструкционным материалом современности, лидируя в общей структуре мирового производства строительной продукции.

Абсолютный объем всего нового строительства ведется из бетона и железобетона. Инновации в этой области определяют прогресс всей отрасли производства строительных материалов.

Выводы

Бетон играет важную роль в снижении углеродного следа по отношению к окружающей среде, но в свете постановки экологических критериев как ключевых вопросы экологии бетона должны быть выделены в самостоятельную научную дисциплину. На повестку дня должно быть поставлено формулирование проблемы и проведение соответствующих научно-исследовательских работ, касающихся качественной и количественной оценки влияния производства бетона на повышение уровня углеродного следа.

Далее необходима разработка мер по снижению выбросов CO_2 на стадии производства исходных составляющих (цемента, заполнителей, добавок). Целесообразна подготовка методик по численному измерению поглощения CO_2 различными видами бетонов с различным расходом цемента, на различных заполнителях на стадии эксплуатации. Предстоит разработка нормативных документов, определяющих методы решения указанной проблемы и учета этого фактора для практических нужд [10].

Список литературы / References

1. Jenisch J., Gullot T. Our Concrete Future. Global Cement and Concrete Association – GCCA. Issue No. 21. October 2021.
2. Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Проект. Минстрой, 2021. <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/18723/>
2. Strategy for the development of the construction industry and housing and communal services of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035. Project. Minstroy, 2021. <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/18723/> (In Russian)
3. Isidoro Miranda, Cemburo President. Concrete 2030 – Challenges and Opportunities. Amsterdam, ERMCO Representative Meetings, 2021.

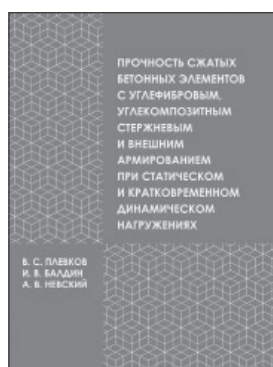
4. Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 19 апреля 2017 г. № 176. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41879>
4. Ecological security strategy of the Russian Federation for the period up to 2025, approved by Decree of the President of the Russian Federation of April 19, 2017 No. 176. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41879> (In Russian)
5. EN ISO 52016-3 Energy performance of buildings. Energy needs for heating and cooling, internal temperature and sensitive and latent heat loads. Part 2. Calculation proceedings regarding adaptive building envelope elements (ISO/DIS 520/c-3-2022)
6. Global Cement and Concrete Industry Announces Roadmap to Achieve Net-Zero CO₂ emissions by 2050. Global Cement and Concrete Association. London, 2021. <https://gccassociation.org>
7. Concrete Future. The GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete. <https://gccassociation.org/concretefuture>
8. Abbe O. Assessing the Impact of Recycled Aggregate on Concrete. BRE Global, 2010, Report No 262127. www.breglobal.com
9. EN16757 Sustainability of construction work – Environmental product, declaration – Product category rules for concrete and concrete elements (Экологичное строительство. Экологическая декларация строительных материалов. Правила для бетона и железобетона CEN. 2021).
10. Травуш В.И., Шарипов Р.Ш., Волков Ю.С. Вопросы совершенствования строительных норм // Бетон и железобетон. 2021. № 4 (606). С. 3–7.
10. Travush V.I., Sharipov R.Sh., Volkov Yu.S. On the technical regulation of the construction process. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 4 (606), pp. 3–7. (In Russian).

Прочность сжатых бетонных элементов с углефибровым, углекомпозитным стержневым и внешним армированием при статическом и кратковременном динамическом нагружениях

Авторы — В.С. Плевков, И.В. Балдин, А.В. Невский

ISBN 978-5-6048004-3-0

Томск, Издательство ТГАСУ. 2022, 176 с.



Монография посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям сжатых бетонных конструкций с углекомпозитным стержневым армированием при статическом и кратковременном динамическом нагружениях. Приведены результаты испытаний и диаграмма состояния углекомпозитной арматуры при растяжении и сжатии. Рассмотрены наиболее рациональные способы реализации ее высокого прочностного потенциала в статически и динамически нагруженных сжатых бетонных элементах при помощи углеродного фибрового и углекомпозитного внешнего армирования бетона. На основе опытных данных и результатов теоретических исследований сформулирован инженерный метод расчета прочности сжатых бетонных элементов с углеродным фибровым, углекомпозитным стержневым и внешним армированием. Приведены результаты численных и экспериментальных исследований сжатых бетонных элементов с различными параметрами углефибрового, стержневого и внешнего углекомпозитного армирования при статическом и кратковременном динамическом нагружениях.

Монография предназначена для научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских и проектных организаций.

ЧЕСТВУЕМ РОВЕСНИКА НИИЖБ им. А.А. ГВОЗДЕВА, ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ПРОФЕССОРА Е.А. ЧИСТЯКОВА!

Доктор технических наук, профессор Евгений Александрович Чистяков торжественно отметил свое 95-летие 18 марта 2022 г. Поздравления в этот знаменательный день адресовали юбиляру коллеги, друзья и семья. Будучи ровесником НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 57 лет своей жизни Евгений Александрович трудился в лаборатории теории железобетона и конструктивных систем № 1 института. Внес и продолжает вносить существенный вклад в формирование института как головной организации в области бетона и железобетона.



Лауреат премии Совета Министров СССР, Евгений Александрович Чистяков в 1986 г. награжден орденом Дружбы народов, а в 2007 г. за большой личный вклад в развитие строительной отрасли, долголетнюю и плодотворную работу удостоен звания «Почетный строитель России». Награжден медалями «Ветеран труда» и «За доблестный труд», а за свой вклад в разработку СНиП 2.03.01–84 «Бетонные и железобетонные конструкции» удостоен Золотой медали ВДНХ СССР. Вот далеко не полный перечень наград юбиляра за свои заслуги перед строительной наукой и Отечеством.

Научную работу Е.А. Чистяков успешно сочетает с педагогической работой. Под его научным руководством подготовлено и успешно защищено девять кандидатских диссертаций, а сейчас он оказывает консультативную помощь молодым сотрудникам лаборатории теории железобетона и конструктивных систем (№ 1) НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. Евгений Александрович – автор более двухсот научных трудов и публикаций, в настоящее время принимает активное участие в подготовке ряда научно-исследовательских работ и написании новых статей. Многие годы являлся ученым секретарем специализированного кандидатского Совета К 033.03.01 НИИЖБ Госстроя СССР.

После своего ухода из института юбиляр не теряет с ним творческую связь и продолжает активно трудиться над развитием норм проектирования бетонных и железобетонных конструкций и решением текущих проблем теории железобетона.

Евгений Александрович пользуется глубоким уважением коллег и учеников. Его знания и компетенции востребованы и сегодня – опыт и навыки Евгения Александровича в области теории железобетона помогают консультировать различных специалистов института, которые обращаются к нему за помощью в решении сложных вопросов и задач. Его отлича-

ет высочайший профессионализм, научная логика, аналитический склад ума, порядочность, ответственность, оперативность, пунктуальность, умение убеждать и доказывать свою точку зрения.

Евгений Александрович родился в 1927 г. в деревне Брыково Тургиновского района Калининской области. Отец, Александр Петрович Чистяков, трудился экономистом, мама, Надежда Ивановна Чистякова, работала юристом. Евгений Александрович в 1943 г., после окончания восьмого класса, поступил в Московский авиамоторостроительный техникум, после окончания которого продолжил обучение в Московском строительном институте им. Моссовета. Получив в 1952 г. квалификацию «инженер-архитектор», несколько месяцев отработал в Моспроекте в должности инженера-проектировщика, а в конце 1952 г. поступил в аспирантуру ЦНИПС.

Окончил аспирантуру в 1955 г., но для того чтобы иметь возможность и дальше трудиться над диссертацией, работал сварщиком, потом младшим (с 1957 г.), а затем и старшим научным сотрудником лаборатории теории железобетона и новых видов арматуры НИИЖБ.



Е.А. Чистяков (третий слева) среди аспирантов лаборатории железобетонных конструкций ЦНИПС, 1954 г.



Коллектив лаборатории теории железобетона и новых видов арматуры, 1967 г. (Е.А. Чистяков первый слева в третьем ряду)

Являясь одним из учеников профессора А.А. Гвоздева, в 1960 г. под его руководством защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Исследование несущей способности гибких железобетонных колонн, работающих по первому случаю внецентренного сжатия», а в 1968 г. докторскую диссертацию на тему: «Основы теории, методы расчета и экспериментальные исследования несущей способности сжатых железобетонных элементов при статическом нагружении».

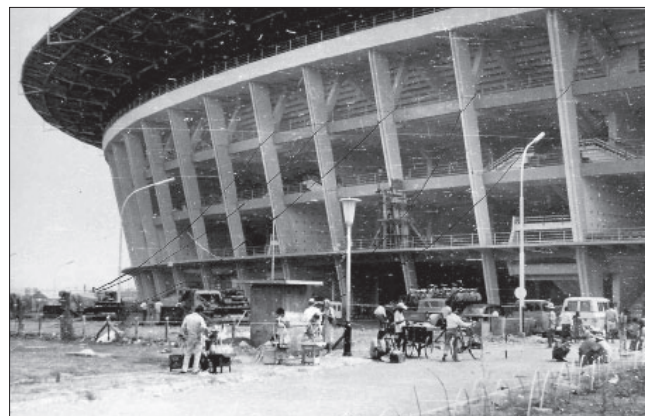
Евгений Александрович Чистяков на протяжении многих лет является ведущим специалистом в области теории железобетона и конструкций. Им были разработаны методы расчета железобетонных элементов, эксплуатируемых при сложных режимах нагружения с различными вариантами армирования, направленные на снижение затрат материальных ресурсов. Включение этих методов в строительные нормы и правила (СНиПы) дало возможность широкого внедрения прогрессивных конструкций, в том числе с высокопрочной арматурой, при экономии стали до 40%. Участвовал в развитии методов расчета железобетонных конструкций при переходе на расчет по предельным состояниям полуввероятностными методами, основанными на учете изменчивости характеристик бетона, арматуры и внешних нагрузок.

В свое время он участвовал в разработке метода предельного равновесия и его применения для статически неопределимых линейных и плоскостных железобетонных конструкций, что дало возможность учитывать перераспределение усилий в статически неопределимых железобетонных конструкциях.

Им же был предложен общий случай расчета, который позволяет производить расчет изгибаемых, внецентренно сжатых и растянутых элементов для любых форм поперечного сечения, при любых внешних усилиях и любом армировании. Этот метод был включен в СНиП 2.03.01–84 «Бетонные и железобетонные конструкции» и получил широкое применение в практике проектирования железобетонных конструкций.

Евгений Александрович принимает активное участие в одной из важнейших работ института за рубежом: совместно с другим известным ученым НИИЖБ, д-ром техн. наук, профессором В.А. Клевцовым, выполняет испытания железобетонных несущих конструкций стадиона в Джакарте (Индонезия) в 1961 г.

Одним из важнейших направлений своей деятельности юбиляр считает работу в международных организациях по бетону и железобетону (РИЛЕМ, ЕКБ, СЭВ и др.). Он принимал активное участие в работе постоянного комитета РИЛЕМ в Аргентине (Буэнос-



Испытание конструкций стадиона в Джакарте, 1961 г.



На совещании постоянного комитета РИЛЕМ, Буэнос-Айрес, Аргентина, 1971 г.

Айрес, 1971), совещаниях ЕКБ в Германии (Кёльн, 1975), Испании (Гранада, 1979), Югославии (Белград, 1988), Великобритании (Лондон), совещаниях СЭВ в Польше (Варшава, 1977) и др.

Кроме того, Евгений Александрович выступал с циклами лекций по советским нормам проектирования железобетонных конструкций в Алжире (Рабат, 1970) и на Кубе (Гавана, 1971).

Е.А. Чистяков принимал деятельное участие в целом ряде координационных совещаний по проблемам проектирования бетонных и железобетонных конструкций, проводимых в различных городах СССР: Вильнюс, Алма-Ата, Москва, Ровно, Новополоцк и др.

Евгений Александрович вместе со своим ближайшим коллегой доктором технических наук, профессором Александром Сергеевичем Залесовым является одним из главных разработчиков основных нормативных документов по проектированию бетонных и железобетонных конструкций: СНиП 2.03.01–84* «Бетонные и железобетонные конструкции»; СНиП 52-01–2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»; СП 52-101–2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры»; СП 52-102–2004 «Предварительно напряженные железобетонные конструкции»;



Совещание комиссии СЭВ по нормам проектирования в Варшаве (Польша), 1977 г.



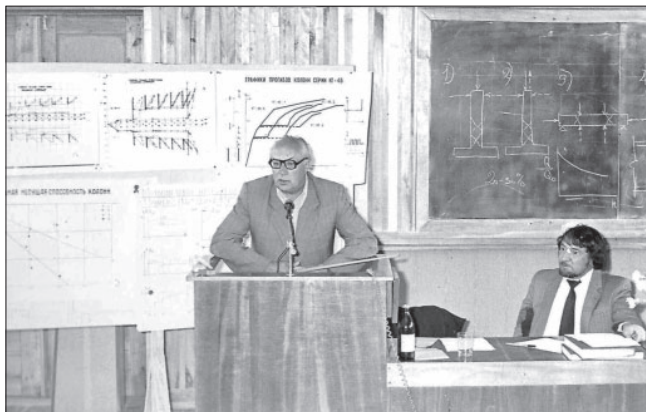
Среди участников совещания ЕКБ в Белграде (Югославия), 1988 г.



В кулуарах одного из совещаний

СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» (актуализированная редакция СНиП 52-01–2003) и ряда пособий к ним.

Юбиляр рассказывает, что в сложный период 1990-х гг. от испытаний натурных железобетонных элементов в лабораторных условиях пришлось практически совсем отказаться и сосредоточить усилия на теоретических разработках по совершенствованию методов расчета и конструирования различных



Доклад на координационном совещании в Ровно, 1984 г.



Работа координационного совещания в Вильнюсе, 1985 г.

конструкций и сооружений, а также на составлении нормативных документов.

В это время как раз начиналась работа по подготовке указанных выше сводов правил СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»; СП 52-101-2003; СП 52-102-2004, в которой юбиляр и А.С. Залесов становятся основными разработчиками. Выяснилось, что к этому времени основной нормативный документ по проектированию бетонных и железобетонных конструкций СНиП 2.03.01-84* не подвергался пересмотру и развитию более пятнадцати лет. Причиной этому было отсутствие твердой позиции Госстроя РФ в том, каким должен быть этот документ.

В поисках наилучшего решения А.С. Залесовым и Е.А. Чистяковым были разработаны проекты:

- расширенного СНиПа, включающего все виды бетонов и арматуры, типы железобетонных конструкций, нагрузки и воздействия;
- сокращенного СНиПа, включающего основные положения по расчету, конструированию и эксплуатации, распространяющегося на все железобетонные конструкции;
- свода правил для обычных бетонных и железобетонных конструкций;
- свода правил для предварительно напряженных железобетонных конструкций.

В результате указанные Своды правил были разработаны и стали новыми нормативными документа-



Участники координационного совещания в Новополюцке, 1991 г.



Творческий тандем: доктор технических наук, профессор Александр Сергеевич Залесов (справа) и доктор технических наук, профессор Евгений Александрович Чистяков (слева) в канун нового 1998 года

ми по проектированию бетонных и железобетонных конструкций.

При подготовке данных нормативных документов одним из важных шагов стал переход на так называемую деформационную модель расчета нормальных сечений, комплексно учитывающую упругопластические свойства железобетонных элементов вплоть до наступления предельного состояния, для которой были разработаны основные расчетные зависимости. Деформационная модель, являясь логическим развитием общего случая расчета, позволяет с единых позиций производить расчет как по прочности, так и по деформациям, образованию и раскрытию нормальных трещин, для сечений любой формы, с любым расположением арматуры, элементов с различными видами бетона и арматуры, предварительно напряженных, сборно-монолитных и усиливаемых железобетонных конструкций.

На основе общей деформационной модели разработаны упрощенные методы расчета по прочности, деформациям, образованию и раскрытию трещин. Деформационная модель и упрощенные методы расчета позднее были включены в действующий в настоящее время нормативный документ по проектированию – СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения», который представляет собой объединенный и одновременно усовершенствованный вариант сводов правил СНиП 52-01–2003, СП 52-101–2003 и СП 52-102–2004.

В дальнейшем при непосредственном участии Е.А. Чистякова были изучены и предложены методы расчета железобетонных конструкций на основе деформационной модели в приложении к сталежелезобетонным и усиливаемым конструкциям с учетом начальных напряжений, а также к конструкциям, под-

вергающимся длительным, многократно повторяющимся и сейсмическим воздействиям.

Его колоссальный опыт и навыки в области теории железобетона помогают выполнять научно-исследовательские работы высокого уровня, а также повышают авторитет и профессиональный уровень АО «НИЦ «Строительство» на строительном рынке. Так, начиная с 2015 г. Евгений Александрович постоянно участвует в выполнении научно-исследовательских работ и разработке нормативных документов (сводов правил и методических пособий) по линии ФАУ ФЦС. При деятельном участии юбиляра в последнее время были разработаны следующие нормативно-технические документы:

- СП 335.1325800.2017 «Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования»;
- СП 337.1325800.2017 «Конструкции железобетонные сборно-монолитные. Правила проектирования»;
- СП 430.1325800.2018 «Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования»;
- СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» (со всеми последними изменениями);
- методическое пособие (к СП 63.13330.2018) «Конструкции железобетонные монолитные с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном. Правила проектирования».

Юбиляр вносит значительный вклад в совершенствование методов расчета и конструирования конструкций, образующих конструктивную систему монолитных зданий (перекрытий, стен, колонн), разрабатывал оптимальные методы расчета монолитных многоэтажных зданий на стадии их возведения с учетом технологических факторов. Работал и продолжает работать над развитием методов расчета составных (сборных и сборно-монолитных) конструктивных систем многоэтажных железобетонных зданий с учетом нелинейных свойств железобетонных элементов и их стыковых сопряжений; им были созданы более совершенные методы оценки прочностных и деформационных характеристик стыковых сопряжений сборных элементов и контактных соединений сборных и монолитных элементов с учетом их нелинейных свойств, была произведена разработка методов моделирования и расчета сборных конструктивных систем с учетом податливости стыковых сопряжений.

Дорогой и многоуважаемый Евгений Александрович! Коллектив НИИЖБ им. А.А. Гвоздева выражает огромную признательность за Ваш вклад в развитие института. Поздравляя с юбилеем, желаем счастья и здоровья Вам и Вашей семье, а также продолжать Вашу яркую творческую деятельность!

В.В. РЕМНЁВ, д-р техн. наук (rema97776952@yandex.ru)

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

Возможность применения в бетонах строительных материалов повторного использования

Повторное использование строительных материалов, изделий и конструкций в новом строительстве и при реконструкции позволит сократить потребление сырьевых ресурсов, снизить количество полигонов захоронения отходов, повысить экологию окружающей среды. Рассмотрены свойства дробленых заполнителей – крупных и мелких – с целью возможности повторного применения в тяжелых бетонах.

Ключевые слова: повторное использование строительных отходов, вторичное сырье, дробленые заполнители, осадка конуса, плотность бетона, плотность заполнителя.

Для цитирования: Ремнёв В.В. Возможность применения в бетонах строительных материалов повторного использования // Бетон и железобетон. 2022. № 3 (611). С. 20–22. DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-611-3-20-22>

V.V. REMNEV, Doctor of Sciences (Engineering)

Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete – NIIZhB named after A.A. Gvozdev, JSC “Research Center “Construction” (building 5, 6, 2nd Institutskaya, Moscow, 109428, Russian Federation)

Possibility of Using Reusable Building Materials in Concretes

The reuse of building materials, products and structures in new construction and reconstruction will make it possible to reduce the consumption of raw materials, reduce the number of waste disposal sites, and improve the environment. The properties of crushed aggregates are considered: large and small, so that they can be used in heavy concrete.

Keywords: reuse of construction waste, secondary raw materials, crushed aggregates, cone sediment, concrete density, aggregate density.

For citation: Remnev V.V. Possibility of using reusable building materials in concretes. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022. No. 3 (611), pp. 20–22. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-611-3-20-22>

Использование строительных отходов в качестве вторичного сырья позволит снизить затраты на новое строительство и реконструкцию объектов, сократить потребление сырьевых ресурсов, уменьшить нагрузку на полигоны захоронения отходов, исключить образование несанкционированных свалок, сократить количество земельных ресурсов, отводимых под размещение новых полигонов, а также снизить выбросы загрязняющих веществ от автотранспорта после сокращения грузопотоков строительных отходов [1, 2].

Анализ накопленного опыта вторичного использования бетона в строительстве [3–6] показывает, что за счет применения рациональных технологических схем переработки отходов бетона и железобетона может быть обеспечена конкурентоспособность с природным щебнем и песком.

В НИИЖБ им. А.А. Гвоздева проведены исследования по изучению свойств бетона, приготовленного на заполнителях из бетонных отходов. В качестве природного мелкого заполнителя использовался речной кварцевый песок, полученный гидронамывом

(табл. 1). В качестве крупных заполнителей применялись гранитный или известняковый щебень (табл. 2). Крупный и мелкий заполнители отвечают требованиям ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия»; ГОСТ 8736–93 «Песок для строительных работ. Технические условия»; ГОСТ 26633–2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия».

Для получения дробленых заполнителей были приготовлены бетоны на гранитном щебне ($R_{сж}=56,6$ МПа; $\rho=2436$ кг/м³) и на известняковом ($R_{сж}=22,1$ МПа; $\rho=2230$ кг/м³). После достижения марочной прочности бетонные образцы подвергались дроблению на щековой дробилке и рассеивались на мелкий и крупный заполнители (табл. 1, 2). Плотность зерен крупного заполнителя из дробленого бетона на 10–15% меньше, чем плотность природного крупного заполнителя. Мелкий заполнитель из дробленого бетона имеет плотность на 6–10% меньше, чем у природного кварцевого песка. Водопоглощение крупного заполнителя из дробленого бетона составляет 6–8% от массы за-

Таблица 1
Table 1

Основные характеристики мелких заполнителей
Main characteristics of fine aggregates

Заполнитель	Гранулометрический состав						Модуль крупности	Содержание глины, ила и мелких пылевидных частиц, определяемых отмучиванием, % по массе	Плотность в рыхлонасыпном состоянии, кг/м³	Плотность, кг/м³	Водопоглощение, % по массе
	полные остатки на ситах, %										
	2,5 мм	1,25 мм	0,64 мм	0,315 мм	0,14 мм	прошло через 0,14 мм					
Песок кварцевый природный	1,7	4,3	15,1	52	93,8	6,2	1,67	1	1531	2650	0,5
Мелкий заполнитель из дробленого бетона на гранитном щебне	22,5	45,1	61,9	77	88,3	11,7	2,95	7,3	1332	2490	7,5
Мелкий заполнитель из дробленого бетона на известняковом щебне	27,1	48,1	62,4	76	87	13	3,01	8,9	1228	2160	9,3

Таблица 2
Table 2

Основные характеристики крупных заполнителей
Main characteristics of large aggregates

Заполнитель	Гранулометрический состав				Плотность в рыхлонасыпном состоянии, кг/м ³	Плотность, кг/м ³	Пустотность, %	Водопоглощение, % по массе	Марка щебня по дробимости
	20 мм	10 мм	5 мм	прошло через 5 мм					
Гранитный щебень	1	66,5	99,1	0,9	1454	2600	44,1	0,86	1200
Известняковый щебень	–	60,4	98,9	1,1	1283	2420	47	4,4	600
Щебень из дробленого бетона на гранитном щебне	1,7	68,8	98,7	1,3	1210	2320	47,8	6	600
Щебень из дробленого бетона на известняковом щебне	1,3	63,5	98,4	1,6	1140	2060	44,7	7,8	300

полнителя. Для мелкого заполнителя из дробленого бетона значение водопоглощения равно 7–11%.

Исследованиями предусмотрены оценка и сравнение свойств бетона на заполнителях:

- 1) природного происхождения;
- 2) полученных при дроблении бетонов;
- 3) смешивания 1-го и 2-го вариантов.

Бетонные образцы готовились при одинаковом абсолютном объеме заполнителей и с постоянным соотношением объемов мелкого и крупного заполнителей.

Результаты эксперимента показали (рис. 1, 2), что особенностью бетонных смесей на заполнителях из дробленого бетона является более быстрая потеря подвижности, преимущественно в начальные сроки после приготовления.

При использовании искусственного щебня в сочетании с природным песком подвижность смеси в момент приготовления была примерно равна подвижности эталонного состава (гранитный щебень,

кварцевый песок). Однако через 30 мин после приготовления снижение осадки конуса (ОК) для исследуемого состава стало 6,5–7,5 см, тогда как уменьшение ОК для эталона равнялось 4,5–5,5 см. В большей степени изменяется значение ОК смесей, в которых используется дробленый мелкий заполнитель. Причем снижение ОК наблюдается как при природном крупном заполнителе (снижение ОК на 9–9,5 см), так и при дробленном крупном заполнителе (снижение ОК на 10–10,5 см).

Таким образом, установлено, что подвижность бетонных смесей на заполнителях из дробленого бетона, равная в момент приготовления подвижности бетонной смеси на природных заполнителях, через 20–30 мин резко уменьшается и разница в значениях ОК равна:

- 2–3 см для смесей на кварцевом песке и крупном заполнителе из дробленого бетона;
- 4–5 см для смесей на мелком заполнителе из дробленого бетона и природном щебне.

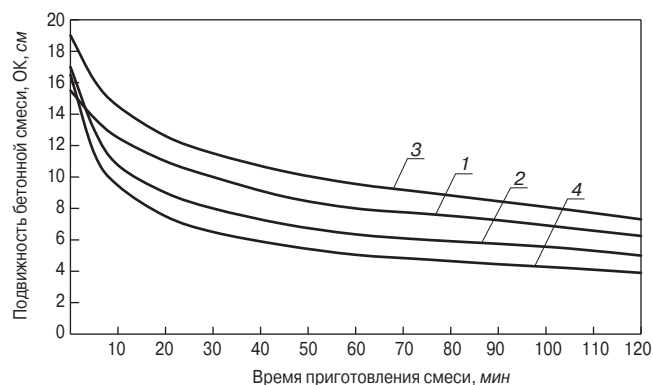


Рис. 1. Влияние вида заполнителей на темпы потери подвижности бетонной смеси. Состав бетона: В/Ц=0,55; Ц=400 кг/м³: крупный заполнитель в составах: 1, 2 – гранитный щебень; 3, 4 – дробленый бетон на гранитном щебне; мелкий заполнитель в составах: 1, 3 – кварцевый песок; 2, 4 – дробленый бетон на известняковом щебне

Fig. 1. Influence of the type of aggregates on the rate of loss of concrete mix mobility. Concrete composition: W/C=0.55; C=400 kg/m³: coarse aggregate in compositions 1, 2 – crushed granite; in compositions 3, 4 – crushed concrete on crushed granite; fine aggregate in compositions 1, 3 – quartz sand; in compositions 2, 4 – crushed concrete on crushed granite

Плотность бетонной смеси на заполнителях из дробленого бетона ниже значения плотности бетонной смеси на природных заполнителях на 6–12%.

Учитывая вышеизложенное, следует при подборе составов бетонов на искусственных заполнителях использовать пластифицирующие добавки.

Кроме того, в технологической цепочке получения дробленых заполнителей желательно предусмотреть вариант получения низкомарочного вяжущего по технологии механохимической активации мелкого дробленого заполнителя.

Список литературы

1. Колосков В.Н., Олейник П.П., Тихонов А.Ф. Разборка жилых зданий и переработка их конструкций и материалов повторного использования. М.: АСВ, 2004. 199 с.
2. Производство и использование строительных материалов, изделий и систем: Т. 3. Остатки деятельности: мусор и отходы. Обращение с отходами, их рециклинг и использование. Сер. Инфографические основы функциональных систем (ИОФС) / Под ред. В.О. Чулкова. М.: СвР-АРГУС, 2011. 288 с.
3. Олейник П.П. Единая система переработки строительных отходов. М.: СвР-АРГУС, 2006.
4. Олейник П.П., Олейник С.П. Организация системы переработки строительных отходов. М.: МГСУ, 2009. 250 с.
5. Олейник П.П., Бродский В.И. Организация управления переработкой строительных отходов // Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. 2013. № 10. С. 20–28.

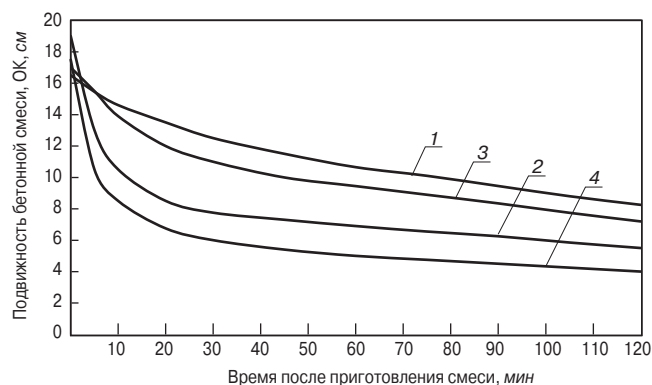


Рис. 2. Влияние вида заполнителей на темпы потери подвижности бетонной смеси. Состав бетона: В/Ц=0,55; Ц=400 кг/м³: крупный заполнитель в составах: 1, 2 – известняковый щебень; 3, 4 – дробленый бетон на известняковом щебне; мелкий заполнитель в составах: 1, 3 – кварцевый песок; 2, 4 – дробленый бетон на известняковом щебне

Fig. 2. Influence of the type of aggregates on the rate of loss of concrete mix mobility. Concrete composition: W/C=0.55; C=400 kg/m³: coarse aggregate in compositions 1, 2 – limestone rubble; in compositions 3, 4 – crushed concrete on limestone rubble; fine aggregate in compositions 1, 3 – quartz sand; in compositions 2, 4 – crushed concrete on limestone rubble

6. Hendriks C.F., Janssen G.M.T. Use of recycled materials in constructions. *Materials and Structures*. 2003. No. 36, pp. 604–608. <https://doi.org/10.1007/BF02483280>

References

1. Koloskov V.N., Oleinik P.P., Tikhonov A.F. Razborka zhilykh zdaniy i pererabotka ikh konstruktssii i materialov povtornogo ispol'zovaniya [Disassembly of residential buildings and recycling of their structures and reuse materials]. Moscow: ASV, 2004. 199 p.
2. Proizvodstvo i ispol'zovanie stroitel'nykh materialov, izdelii i sistem: Tom 3. Ostatki deyatel'nosti: musor i otkhody. Obrashchenie s otkhodami, ikh retsikling i ispol'zovanie. Seriya «Infograficheskie osnovy funktsional'nykh sistem» (IOFS) [Production and use of building materials, products and systems: Vol. 3. Remnants of activity: garbage and waste. Waste management, recycling and use. Series "Infographic fundamentals of functional systems" (IOFS)]. Edited by V.O. Chulkov. Moscow: SvR-ARGUS, 2011. 288 p.
3. Oleinik P.P. Edinaya sistema pererabotki stroitel'nykh otkhodov [Unified system of processing of construction waste]. Moscow: SvR-ARGUS, 2006.
4. Oleynik P.P., Oleynik S.P. Organizatsiya sistemy pererabotki stroitel'nykh otkhodov [Organization of the system of processing of construction waste]. Moscow: MGSU, 2009. 250 p.
5. Oleinik P.P., Brodsky V.I. Organization of management of processing of construction waste. *Vestnik Pridneprovskoi gosudarstvennoi akademii stroitel'stva i arkhitektury*. 2013. No. 10, pp. 20–28. (In Russian).
6. Hendriks C.F., Janssen G.M.T. Use of recycled materials in constructions. *Materials and Structures*. 2003. No. 36, pp. 604–608. <https://doi.org/10.1007/BF02483280>

С.С. ЖОРОБАЕВ, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории температуростойкости и диагностики бетона и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (1747139@mail.ru);
И.С. КУЗНЕЦОВА, канд. техн. наук, зав. лабораторией температуростойкости и диагностики бетона и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, почетный строитель Москвы (1747139@mail.ru)

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

Эффективный способ конвективного прогрева монолитных железобетонных конструкций при зимнем бетонировании

Рассматривается один из наиболее простых и эффективных способов конвективного прогрева бетона стен и колонн в условиях зимнего бетонирования. Актуальность данного вопроса обусловлена потребностью в качественной термообработке бетона при заданных режимах прогрева и сокращении энергетических затрат за счет экономичного использования горячего воздуха, вырабатываемого в замкнутом прогреваемом пространстве. Новизна представленного способа прогрева бетона в условиях зимнего бетонирования заключается в одновременном использовании нагревательного и вентиляторного устройств, эффективно устанавливаемых в рационально организованном обогреваемом пространстве. При этом обеспечивается однородность температуры по высоте и в объеме прогреваемого пространства. Приведена методика расчета параметров выдерживания бетона монолитных конструкций в зимних условиях с использованием конвективного прогрева, принцип работы и конструктивные особенности устройства.

Ключевые слова: метод зимнего бетонирования, монолитные железобетонные стены и колонны, воздушный конвективный прогрев, конвективно-вентиляционный прогрев.

Для цитирования: Жоробаев С.С., Кузнецова И.С. Эффективный способ конвективного прогрева монолитных железобетонных конструкций при зимнем бетонировании // Бетон и железобетон. 2022. № 3 (611). С. 23–29. DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-611-3-23-29>

S.S. ZHOROBAEV, Candidate of Sciences (Engineering), Leading Researcher of the Laboratory of Temperature Resistance and Diagnostics of Concrete and Reinforced Concrete Structures of NIIZHB named after A.A. Gvozdev (1747139@mail.ru);
I. S. KUZNETSOVA, Candidate of Sciences (Engineering), Head of the Laboratory for Temperature Resistance and Diagnosis of Concrete and Reinforced Concrete Structures of NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Honorary Builder of Moscow (1747139@mail.ru)
Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete – NIIZhB named after A.A. Gvozdev,
JSC “Research Center “Construction” (building 5, 6, 2nd Institutskaya, Moscow, 109428, Russian Federation)

An Efficient Method of Convective Heating of Monolithic Reinforced Concrete Structures During Winter Concreting

The article discusses one of the simplest and most effective methods of convective heating of concrete walls and columns in winter concreting conditions. The relevance of this issue is due to the need for high-quality heat treatment of concrete under specified heating conditions and reduction of energy costs due to the economical use of hot air generated in a closed heated space. The novelty of the presented method of heating concrete in winter concreting conditions lies in the simultaneous use of heating and fan devices, effectively installed in a rationally organized heated space. This ensures uniformity of temperature in height and in the volume of the heated space. The method of calculating the parameters of concrete retention of monolithic structures in winter conditions using convective heating, the principle of operation and the design feature of the device are given.

Keywords: winter concreting method, monolithic reinforced concrete walls and columns, air convective heating, convective ventilation heating.

For citation: Zhorobaev S.S., Kuznetsova I.S. An efficient method of convective heating of monolithic reinforced concrete structures during winter concreting. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022. No. 3 (611), pp. 23–29. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-611-3-23-29>

В современной России строительство зданий и сооружений из монолитного бетона является приоритетным и по объему значительно опережает сборное строительство. Как один из эффективных способов интенсификации темпов строительства зданий и сооружений, монолитное строительство наиболее полно отвечает современным функциональным и

архитектурным требованиям, позволяет создавать большое разнообразие объемно-планировочных и архитектурных решений объектов различного назначения.

В современных рыночных условиях производство строительно-монтажных работ (СМР) осуществляется круглый год и как минимум 40% общего

объема СМР, включая процессы бетонирования, выполняются в зимних условиях. От качества бетона и сроков его твердения зависят качество монолитных железобетонных конструкций и сроки строительства. При возведении зданий и сооружений из монолитного бетона наиболее продолжительным по времени и завершающим по производственному циклу этапом является период набора прочности бетона.

Основной процесс формирования бетонной структуры – гидратация цемента. Повышение температуры играет роль катализатора в этом процессе и обеспечивает ускорение формирования окончательной структуры и набора прочности бетона.

Оптимальной для набора прочности бетона является температура окружающей среды 18–20°C, при которой через 28 сут после бетонирования происходит набор 100% проектной прочности бетона. Снижение температуры замедляет процесс гидратации цемента, и при температуре укладываемой бетонной смеси +5°C бетон через четыре недели достигает только 70% необходимой прочности. При температуре ниже 0°C гидратация цементного камня приостанавливается из-за замерзания воды в порах, без которой этот процесс невозможен. Свободная и физически связанная вода превращается в лед, увеличиваясь в объеме приблизительно на 9%; в результате в бетоне возникают напряжения, нарушающие его структуру и вызывающие микротрещинообразование. При оттаивании процесс гидратации цемента возобновляется, но из-за нарушений структуры бетон может не набрать проектную прочность. Если бетон до замерзания набрал 30–50% от проектной прочности, то дальнейшее воздействие низкой температуры не оказывает существенного влияния на его физико-механические характеристики [1].

Таким образом, создание благоприятных условий твердения бетона в начальный период, особенно в зимних условиях, является важным аспектом для обеспечения требуемого качества монолитных железобетонных конструкций.

При возведении монолитных зданий производство бетонных работ в зимних условиях (при среднесуточной температуре наружного воздуха ниже +5°C и минимальной суточной температуре ниже 0°C согласно п. 5.11.1 СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции») требует применения технологических приемов зимнего бетонирования. Разработка технологий зимнего бетонирования – залог повышения эффективности и надежности бетонных работ [2].

Выбор метода зимнего бетонирования производят в зависимости от ожидаемой температуры наружного воздуха, применяемых цементов, наличия

на строительстве источников тепла, химических добавок, а также от размеров и назначения конструкций [3].

При выборе рациональных методов выдерживания бетона из числа технически возможных в первую очередь рассматривают наиболее экономичный метод термоса. При невозможности получения указанным методом требуемой прочности бетона в заданные сроки последовательно рассматривают возможность применения методов термоса с применением противоморозных добавок, горячего термоса, термообработки, электротермообработки, обогрева паром, горячим воздухом или в тепляках [4–12].

Распространенным методом тепловой обработки бетона является конвективный прогрев забетонированных конструкций с устройством вокруг них ограждения с обогревом образованного пространства [13]. Такие сооружения называют тепляками. Обогрев бетона в тепляках (замкнутых ограждениях) производят для создания температурно-влажностных условий, необходимых для выдерживания бетона многоярусных конструкций (по высоте расположения блоков бетонирования) и конструкций, имеющих значительные размеры в плане. Внутри тепляков размещают нагревательные приборы: печи, калориферы и пр. Устройство и размеры тепляков не должны препятствовать циркуляции внутри их теплоносителя. Ограждения обогреваемого пространства должны иметь хорошую теплоизоляцию и не пропускать испаряющуюся из бетона влагу при его обогреве. Для повышения влажности воздуха в обогреваемом пространстве в тепляки помещают сосуды с водой или смачивают водой забетонированную конструкцию. Для бетонирования используют обычные бетонные смеси. Возводят тепляк до начала бетонирования конструкций.

Метод термообработки бетона в различных опалубках путем воздушного конвективного прогрева отличается универсальностью, низкой трудоемкостью и возможностью комбинирования с другими методами.

Значительная часть (до 65%) монолитных железобетонных конструкций жилых и общественных зданий являются тонкостенными (плиты перекрытий, стены с модулем поверхности $M_p > 10$). Как показывает практика, при термообработке монолитных тонкостенных конструкций в большинстве случаев применяется конвективный прогрев [4, 13].

По принципу подведения теплового потока к прогреваемой конструкции методы конвективного прогрева подразделяются на следующие группы [4, 14]:

- камерный прогрев;
- камерный прогрев с воздуховодами;

– конвективный прогрев с приопалубочными шторами.

Источниками тепла при конвективном прогреве, как правило, служат теплогенераторы, превращающие электрическую энергию в тепловую; пар; продукты сгорания топлива и т. п.

При камерном прогреве тепловой поток от теплогенератора подается в замкнутое прогреваемое пространство, образуемое между опалубкой конструкций и открытыми вертикальными поверхностями, которые закрыты тепло- и влагоизолирующими шторами. Далее передача тепла от теплогенератора к поверхности опалубки осуществляется конвекцией, и за счет теплопроводности бетона происходит нагрев внутренних слоев возводимой конструкции.

Несмотря на ряд имеющихся достоинств, камерный прогрев не лишен недостатков:

– большая часть тепла тратится на нагрев воздуха, так как объем воздуха в прогреваемом пространстве (тепляках) значительно больше, чем сам предмет нагрева – бетон;

– поскольку теплоемкость нагреваемого воздуха или продуктов сгорания невелика, прогрев таким методом требует больше времени из-за невысокой температуры прогрева (обычно 40–50°C) при значительном расходе электрической энергии или сжигаемого топлива;

– прогрев конструкций с неопалубленной поверхностью нагретыми газами приводит к быстрому испарению влаги с поверхности бетона и опасности его обезвоживания;

– для устройства замкнутого пространства требуется значительное количество материалов укрытия и трудозатраты на их устройства;

– внутри прогреваемого пространства образуется высокая влажность воздуха и обильное конденсатообразование на поверхностях опалубки и тепло- и влагозащитного укрытия;

– так как тепловой поток всегда стремится вверх, на потолке прогреваемого пространства температура всегда выше, чем в нижней части, что обуславливает неравномерное распределение температуры прогрева бетона по высоте конструкции. Соответственно в прогреваемом теле бетона образуется неравномерное температурное поле, приводящее к возникновению температурного и влажностного градиентов, образованию термонапряженного состояния в теле еще не затвердевшего бетона, которое отрицательно сказывается на формировании его конечной структуры.

Перечисленные недостатки метода камерного прогрева бетона частично были исключены в методе камерного прогрева с воздуховодами, когда

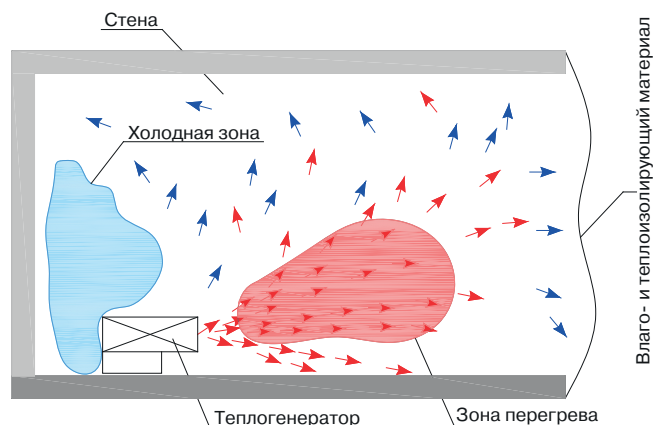


Рис. 1. Зона перегрева и холодная зона при камерном прогреве
Fig. 1. Overheating zone and cold zone during chamber heating

тепловой поток поступает в распределитель и далее в воздухопроводы по периметру возводимых конструкций стен. Несмотря на то что тепло напрямую подается на конструкцию, значительная часть тепла уходит в прогреваемое пространство (камеры тепляка).

Эта проблема решается с применением метода конвективного прогрева с приопалубочными шторами [14], при котором уход тепла в сторону пространства камеры тепляка изолируется шторами и опалубкой. Таким образом достигается значительное уменьшение объема прогреваемого пространства, и, соответственно вырабатываемое теплогенератором тепло эффективно тратится на прогрев бетона самой конструкции. Этот метод выгодно отличается от традиционного камерного прогрева в тепляках, позволяя сократить время термообработки бетона до 20% в условиях зимнего бетонирования [13].

Наряду с неоспоримым преимуществом метод конвективного прогрева с приопалубочными шторами также имеет недостатки, характерные для методов воздушного конвективного прогрева, а именно:

– неравномерное распределение температуры по высоте;

– интенсивное конденсатообразование на поверхностях опалубки и материалов тепло- и влагозащиты.

К отмеченным недостаткам при камерном прогреве с воздуховодами и конвективном прогреве с приопалубочными шторами можно добавить также неравномерность нагрева в пространстве тепляка с образованием зон перегрева из-за направленного потока горячего воздуха к опалубке конструкции (зоны повышенной температуры) и так называемых мертвых (холодных) зон в месте установки теплогенератора (рис. 1).

Из вышеизложенного очевидно, что потенциал совершенствования методов конвективного воздушно-го прогрева не исчерпан.

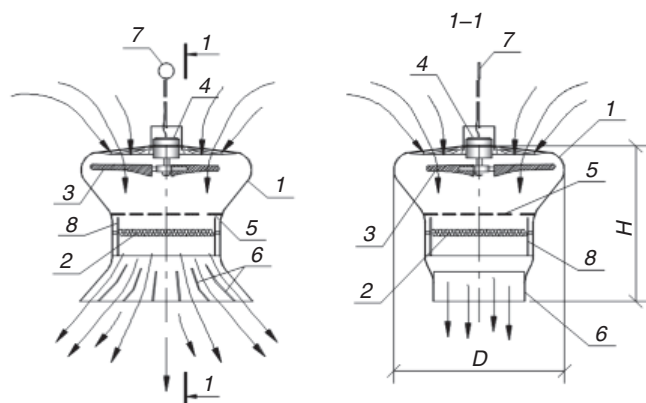


Рис. 2. Принципиальная схема устройства воздушного конвективно-вентиляторного прогрева (УВКП)
Fig. 2. Schematic diagram of the device for air convective-fan heating (UVKP)

Техническое решение, предложенное сотрудниками НИИЖБ им. А.А. Гвоздева [15] по совершенствованию метода конвективного прогрева бетона при бетонировании стен и колонн, позволяет устранить ряд указанных выше недостатков, таких как градиент температуры и влажности по высоте обогреваемой конструкции за счет принудительного смешивания теплого воздуха в максимально уменьшенном пространстве обогрева (тепняка). Это достигается применением устройства воздушного конвективно-вентиляторного прогрева (УВКП).

Устройство воздушного конвективно-вентиляторного прогрева (УВКП) состоит из наружного 1 и внутреннего 8 корпусов, изготовленных из прочной стали; электронагревателей 2; осевого вентилятора 3 с электродвигателем 4; металлического щита 5; сопла 6; петли для вывешивания и крепления устройства 7. Сопло 6 может быть выполнено направленным вниз и в сторону от устройства, а также под заданным углом. Принципиальная схема устройства воздушного конвективно-вентиляторного прогрева приведена на рис. 2.

Принцип работы устройства УВКП заключается в следующем. Осевой вентилятор засасывает нагретый воздух и побуждает его двигаться вниз, направляя в наименее нагретые нижние зоны пространства тепняка. За счет естественного стремления теплого потока воздуха вверх и принудительного его движения вниз в пространстве тепняка образуется воздушная масса с однородной температурой, значение которой может регулироваться электронагревателем, установленным в устройстве УВКП.

Устройство УВКП, как и традиционный теплогенератор, отличается простотой установки, высоким КПД, низкой стоимостью, возможностью быстрой замены в случае выхода из строя и безопасностью для здоровья обслуживающего персонала.

Мощность устройства зависит от количества тепла $Q_{\text{УВКП}}$, необходимого для нагрева, которое рассчитывается исходя из объема обогреваемого воздушного пространства, теплоемкости опалубочной системы, бетона и основания, величин теплопотерь в окружающую среду и эффективности теплоизолирующего материала (см. таблицу):

$$Q_{\text{УВКП}} > Q_{\text{огр}} + Q_{\text{н.возд}} + Q_{\text{н.оп}} + Q_{\text{н.б}} - Q_{\text{экз}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{огр}}$ – теплопотери через наружные ограждения камеры (тепняка); $Q_{\text{н.возд}}$ – расход тепла на нагрев воздуха внутри камеры; $Q_{\text{н.оп}}$ – расход тепла на нагрев щитов опалубки; $Q_{\text{н.б}}$ – расход тепла на нагрев бетона; $Q_{\text{экз}}$ – тепловыделение бетона за счет экзотермии.

Теплопотери через наружные ограждения определяются:

$$Q_{\text{огр}} = \sum [(t_{\text{Ti}} - t_{\text{ni}}) \cdot F_i / R_i], \quad (2)$$

где t_{Ti} – расчетная температура воздуха внутри камеры; t_{ni} – температура наружного воздуха при расчете потерь теплоты через наружные ограждения камеры (тепняка); F_i – площадь ограждения; R_i – сопротивление теплопередаче ограждения.

Эффективные влаго- и теплоизолирующие материалы и их характеристики Effective moisture and heat insulating materials and their characteristics

Технические характеристики	Виды и марки укрывного материала			
	Энергофлекс	Изолон	Изофлекс	Пенотерм НПП
Толщина, мм	10, 13, 20, 25	2–10	2, 3, 4, 5, 8, 10	2–15
Плотность, кг/м ³	20–30	25–200	20–40	20–40
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,039–0,043	0,032	0,035	0,034
Водопоглощение по объему, не более, %	0,07–0,094	1	не более 2	0,9
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	–	0,001	0,00	0,001
Удельная теплоемкость, Вт/(м·°С)	–	1,35	–	–
Прочность при сжатии на 25%, МПа	–	0,035	–	–
Диапазон рабочей температуры, °С	–40 – +95	–60 – +75	–60 – +90	–50 – +150

Расход тепла на нагрев воздуха внутри камеры (тепняка) определяется:

$$Q_{\text{н.возд}} = G \cdot n \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{Ti}} - t_{\text{нач.и}}), \quad (3)$$

где G – производительность одного УВКП; n – необходимое количество УВКП для нагрева согласно требованиям (6); $c_{\text{в}}$ – массовая удельная теплоемкость воздуха; $t_{\text{нач.и}}$ – начальная температура воздуха внутри прогреваемого пространства.

Расход тепла на нагрев щитов опалубки определяется:

$$Q_{\text{н.о}} = V_0 \cdot c_0 \cdot \rho_0 \cdot (t_{\text{нач.о}} - t_{\text{T}}), \quad (4)$$

где c_0 – удельная теплоемкость материала внутренних щитов опалубки; V_0 , ρ_0 – соответственно объем и плотность материала внутренних щитов опалубки; $t_{\text{нач.о}}$ – начальная температура материала внутренних щитов опалубки.

Расход тепла на нагревание бетона, уложенного в опалубку, определяется:

$$Q_{\text{н.б}} = V_6 \cdot c_6 \cdot \rho_6 \cdot (t_{\text{нач.б}} - t_{\text{T}}^{\text{с}}), \quad (5)$$

где c_6 – удельная теплоемкость бетона; V_6 , ρ_6 – объем и плотность бетона соответственно; $t_{\text{нач.б}}$, $t_{\text{T}}^{\text{с}}$ – средняя температура бетона в начальный момент нагрева и через определенный период времени t .

Тепловыделение бетона за счет экзотермии определяется:

$$Q_{\text{экз}} = V_6 \cdot \text{Ц} \cdot \text{Э}, \quad (6)$$

где Ц – расход цемента в бетоне, кг/м³; Э – тепловыделение цемента, кДж/кг, за время твердения бетона при заданной температуре.

Проблема снижения потерь тепла в окружающую среду решается путем применения эффективных теплоизолирующих материалов при их плотном прилегании к основанию, отсутствии щелей, неплотностей и др.

Эффективность конвективного воздушного прогрева с применением УВКП значительно увеличивается при укрытии прогреваемого пространства эффективными теплоизолирующими и влаготеплоизолирующими материалами с улучшенными теплотехническими характеристиками. Некоторые современные эффективные влаготепло- и теплоизолирующие материалы и их характеристики приведены в таблице.

При устройстве обогреваемого пространства тепляка следует стремиться минимизировать параметр его ширины b , тем самым уменьшая объем прогреваемого воздушного пространства.

Во избежание влаготеплопотерь из твердеющего бетона открытые участки твердеющего бетона конструкций должны быть изолированы влаготеплозащитным покрытием.

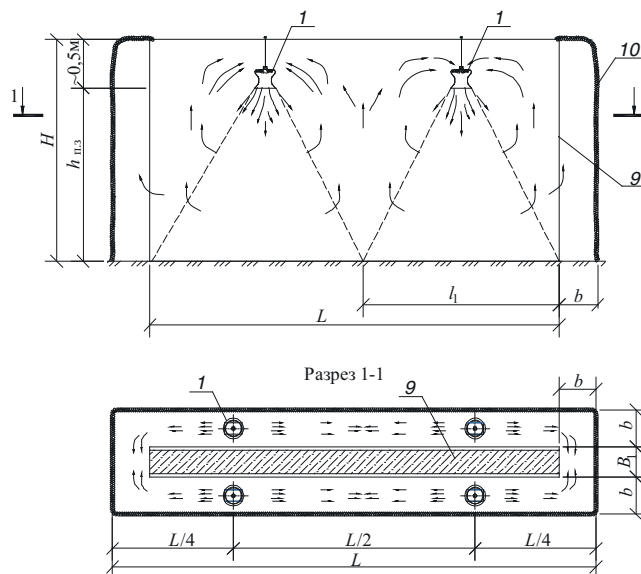


Рис. 3. Схема размещения УВКП для прогрева монолитной железобетонной стены. Обозначения см. на рис. 2

Fig. 3. Scheme of placement of UVKP for heating a monolithic reinforced concrete wall. Designations see fig. 2

Для минимизации или исключения теплотерь при устройстве тепляка вокруг возводимой конструкции необходимо соблюдать нижеприведенные правила:

- обеспечение плотности стыков между полотнами укрывного материала;
- плотное прилегание укрывного материала к основанию, без образования щелей, отверстий, неплотностей.

Очень важным является рациональное размещение устройства УВКП в пространстве тепляка. Устройство УВКП следует размещать в припотолочной части пространства тепляка и в верхней зоне обогреваемой конструкции (9, рис. 3), подвешивая его через петлю к заранее предусмотренному крепежу. Если в обогреваемом пространстве предусмотрена установка нескольких устройств УВКП, то их необходимо располагать симметрично и равномерно по площади потолка прогреваемого пространства.

Рациональное расположение устройства УВКП в верхней зоне прогреваемого воздушного пространства и конструкции позволяет предотвратить скопление нагретого воздуха, образовавшегося за счет конвекции, в верхних частях пространства тепляка, снизить относительную влажность более чем на 20% и устранить образование конденсата (рис. 3).

Требуемое количество устройств УВКП зависит от геометрических параметров пространства тепляка и определяется из условия обслуживания тепляка одним устройством УВКП:

$$\frac{2 \cdot \sqrt{l_1 \cdot b}}{h_{\text{п.з}}} = 0,6 - 1,2, \quad (7)$$

где l_1 и b – длина и ширина прогреваемой зоны одним устройством УВКП, м; $h_{п.з}$ – высота прогреваемой зоны до низа устройства УВКП.

Для прогрева бетона монолитных конструкций целесообразно применять «мягкий режим» прогрева в интервале температуры $+25 - +60^\circ\text{C}$. Расчетный перепад температур Δt_0 между температурой в зоне установки устройства УВКП и в нижней зоне тепляка в пределах диапазона рационального применения УВКП составляет $\Delta t_0 = 3 - 5^\circ\text{C}$. Время набора необходимой температуры прогрева по данному методу составляет 3–6 ч, что связано с малой теплоемкостью нагреваемого воздуха.

Использование «мягкого режима» твердения, характерное для данного способа, позволяет обеспечить благоприятное термонапряженное состояние в бетоне конструкции и исключить образование трещин вследствие экзотермии, что обуславливает целесообразность применения этого метода для массивных и среднемаассивных конструкций при условии поддержания и контроля температуры в периферийных слоях прогреваемой конструкции на уровне температуры в ядре сечения [17].

Устройство УВКП должно устанавливаться на расстоянии не менее 100 мм от опалубки и теплоизолирующего укрытия. При этом следует также избегать прямое попадание струи горячего воздуха на стенки опалубки конструкций во избежание образования зон перегрева.

Для контроля температуры нагревателя используются термодатчики, которые располагаются на разной высоте прогреваемого пространства и поверхности нагреваемой конструкции, а также могут быть установлены в самом бетоне согласно указаниям СП 435.1325800.2018 «Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приемки работ».

Выводы

Применение метода конвективного прогрева с использованием устройства конвективно-вентиляционного прогрева (УВКП) и его рациональным располо-

жением на верхней зоне обогреваемого воздушного пространства тепляка позволяет обеспечить заданный уровень температуры и равномерность ее распределения по высоте прогреваемой конструкции.

За счет равномерности распределения температуры в пространстве тепляка и уменьшения объема прогреваемого воздушного пространства повышается эффективность использования тепловой энергии и обеспечивается равномерный по площади обогрев бетона конструкции. Равномерность прогрева бетонной поверхности по высоте позволит получить однородный бетон требуемого качества.

Уменьшение потерь тепла в окружающую среду достигается за счет применения эффективных теплоизолирующих материалов при их плотном прилегании к основанию, отсутствии щелей, неплотностей и др.

Использование «мягкого режима» твердения обеспечивает благоприятное термонапряженное состояние в бетоне конструкции, исключая образование трещин вследствие экзотермии в массивных и среднемаассивных конструкциях.

Предложенный метод конвективного прогрева с использованием устройства конвективно-вентиляционного прогрева также может применяться для нагрева опалубки, арматурного каркаса, грунта перед бетонированием в зимних условиях, будет способствовать сохранению тепла в свежееуложенном бетоне при предварительном разогреве бетонной смеси, а при совмещении с методом термоса или электродного прогрева будет создавать тепловую завесу (теплоизолирующий слой) между твердеющим бетоном в опалубке и окружающей средой.

Метод конвективного прогрева с использованием устройства конвективно-вентиляционного прогрева особенно актуален для специфических суровых климатических условий районов Крайнего Севера, Урала, Сибири и Дальнего Востока, Арктической зоны России, а также в условиях сухого жаркого климата при производстве бетонных работ в ночное время, когда отсутствует солнечная энергия. При этом будет обеспечиваться непрерывность изотермического режима прогрева бетона в конструкции.

Список литературы

1. Малахов С.А. Зимнее бетонирование: Дис. ... канд. техн. наук. Н. Новгород, 2001.
2. Хубаев А.О., Байчоров Р.А., Урусов А.А. Системный анализ методов зимнего бетонирования при возведении монолитных жилых зданий и сооружений // *Известия Тульского гос. университета. Технические науки*. 2020. С. 309–312.
3. Юргайтис А.Ю., Царенко А.А. Возможности интенсификации строительного производства на

References

1. Malakhov S.A. Winter concreting. Cand. Diss. (Engineering). Nizhniy Novgorod. 2001.
2. Khubaev A. O., Baichorov R. A., Urusov A. A. System analysis of winter concreting methods in the construction of monolithic residential buildings and structures. *Izvestiya Tul'skogo gos. universiteta. Tekhnicheskije nauki*. 2020, pp. 309–312. (In Russian).
3. Yurgaytis A.Yu., Tzarenko A.A. Possibilities for intensifying construction work's dynamic on objects of the

- объектах годовой программы работ за счет применения технологий зимнего бетонирования // *Вестник Евразийской науки*. 2019. № 4.
4. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях / Под ред. Б.А. Крылова, С.А. Амбарцумяна, А.И. Звездова. НИИЖБ, 2005. 275 с.
5. Киреев И.А. Бетонные работы на морозе. Киев: Изд-во Н.К.З., 1919. 169 с.
6. Староверов В.Д., Соколов И.И., Попов Д.О., Шваб Д.М. Особенности зимнего бетонирования // *Технологии бетонов*. 2010. № 1–2. С. 38–41.
7. Усов Б.А., Волков В.В. Особенности зимнего бетонирования вертикальных элементов монолитных конструкций // *Технологии бетонов*. 2010. № 1–2. С. 56–58.
8. Гнам П.А., Кивихарью Р.К. Технологии зимнего бетонирования в России. *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2016. № 9 (48). С. 7–25.
9. Brund A., Bohlin H. Accelerating hardening of plastic mixtures. U.S. Patent № 1808762. U.S.A: Rock Prod, 1932.
10. Головнев С.Г. Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов. Челябинск: ЮУрГУ, 1999. 156 с.
11. Руководство по зимнему бетонированию с применением метода термоса. М.: Стройиздат, 1975. 192 с.
12. Колчеданцев Л.М., Царенко А.А. Расширение границ применимости способа термоса. *Петербургская школа поточной организации строительства: I Всероссийская научно-практическая конференция*. СПб., 2018. С. 70–73.
13. Мельник А.А. Совершенствование технологии конвективного прогрева монолитных тонкостенных конструкций: Дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2002. 165 с.
14. Мельник А.А. Расчет параметров термообработки бетона при воздушном конвективном прогреве тонкостенных монолитных конструкций. // *Вестник ЮУрГУ. Сер. Строительство и архитектура*. 2021. Т. 21. № 3. С. 29–35.
15. Патент РФ 202192. *Устройство для тепловой обработки монолитных бетонных конструкций* / Жоробаев С.С., Зимин С.Г. Заявл. 26.08.2020.
16. Минаков Ю.А., Сленьков В.А. Возведение зданий из монолитного бетона в термоактивной опалубке. Йошкар-Ола: Марийский ГТУ, 2008. 260 с.
17. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования. М.: Стройиздат, 1975. 700 с.
- annual production program by winter concreting technology. *Vestnik Yevraziyskoy nauki*. 2019. No. 4 (11). (In Russian).
4. Rukovodstvo po progrevu betona v monolitnykh konstruktsiyakh / Pod red. B.A. Krylova, S.A. Ambartsumyana, A.I. Zvezdova [Guidelines for heating concrete in monolithic structures / Edited by B.A. Krylov, S.A. Ambartsumyan, A.I. Zvezdov]. Moscow: NIIZHB. 2005. 275 p.
5. Kireyenko I.A. Betonnyye raboty na moroze [Concrete work in the cold]. Kiyev: N.K.Z. 1919. 169 p.
6. Staroverov V.D., Sokolov I.I., Popov D.O., Shvab D.M. Features of winter concreting. *Tekhnologii Betonov*. 2010. No. 1–2, pp. 38–41. (In Russian).
7. Usov B.A., Volkov V.V. Features of winter concreting of vertical elements of monolithic structures. *Tekhnologii betonov*. 2010. No. 1–2, pp. 56–58. (In Russian).
8. Gnam P.A., Kivikhar'yu R.K. Technologies of winter concreting in Russia. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy*. 2016. No. 9 (48), pp. 7–25. (In Russian).
9. Brund A., Bohlin H. Accelerating hardening of plastic mixtures. U.S. Patent №1808762. U.S.A: Rock Prod. 1932.
10. Golovnev S.G. Tekhnologiya zimnego betonirovaniya. Optimizatsiya parametrov i vybor metodov [Winter concreting technology. Optimization of parameters and choice of methods]. Chelyabinsk: YUUrGU. 1999. 156 p.
11. Rukovodstvo po zimnemu betonirovaniyu s primeneniym metoda termososa [Guidelines for winter concreting using the thermos method]. Moscow: Stroyizdat. 1975. 192 p.
12. Kolchedantsev L.M., Tsarenko A.A. Rasshireniye granits primenimosti sposoba termososa. *Peterburgskaya shkola potochnoy organizatsii stroitel'stva: I All-Russian Scientific and Practical Conference*. Saint Petersburg. 2018, pp. 70–73.
13. Melnik A.A. Improving the technology of convective heating of monolithic thin-walled structures. Cand. Diss (Engeneering). Chelyabinsk. 2002. 165 p.
14. Mel'nik A.A. Calculation of parameters of heat treatment of concrete during air convective heating of thin-walled monolithic structures. *Vestnik YUUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i arkhitektura»*. 2021. Vol. 21. No. 3, pp. 29–35. (In Russian).
15. Patent RF 202192. *Ustroystvo dlya teplovoy obrabotki monolitnykh betonnykh konstruktсий* [Device for heat treatment of monolithic concrete structures]. Zhorobaev S.S., Zimin S.G. Declared 26.08.2020. (In Russian).
16. Minakov YU.A., Slen'kov V.A. Vozvedeniye zdaniy iz monolitnogo betona v termoaktivnoy opalubke [Erection of buildings from monolithic concrete in thermoactive formwork]. Yoshkar-Ola: Mariyskiy GTU, 2008. 260 p.
17. Mironov S.A. Teoriya i metody zimnego betonirovaniya [Theory and methods of winter concreting]. Moscow: Stroyizdat. 1975. 700 p.

С.Н. ЛЕОНОВИЧ^{1,2}, д-р техн. наук (leonovichsn@tut.by); Е.Е. ШАЛЫЙ³, инженер (аспирант);
Д.А. ЛИТВИНОВСКИЙ⁴, гл. инженер; А.В. СТЕПАНОВА⁵, инженер; А.В. ЖУРАВСКАЯ¹, инженер;
В.В. МАЛЮК⁶, генеральный директор (mvv.77@mail.ru)

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

² Qingdao University of Technology (266033, China, 11 Fushun Rd, Qingdao)

³ Дальневосточный федеральный университет (690091, г. Владивосток, пос. Аякс, корп. 12)

⁴ ООО «ИнжСпецСтройПроект» (РБ, 220114, г. Минск, ул. П. Мстиславца, 22, пом. 210)

⁵ Белорусский государственный университет транспорта (РБ, Гомель, 246653, ул. Кирова, 34)

⁶ ООО «Трансстрой-Трест» (Сахалинская обл., Корсаковский р-н, г. Корсаков, ул. Вокзальная, 19Г)

Влияние карбонизации на диффузионность хлоридов в бетоне: анализ эксперимента и применение в расчете

Рассматривается влияние карбонизации на диффузионность хлоридов в бетоне на основе экспериментального и теоретического анализа. Испытания на проникновение хлоридов проводились на бетонах с обычным портландцементом (ОПЦ) и комплексными вяжущими (СЗС), с карбонизацией и без нее. Кажущаяся диффузионная способность хлоридов оценивалась с помощью усовершенствованной диффузионной модели. Было исследовано влияние карбонизации поверхности на проникновение хлорида с точки зрения таких влияющих факторов, как структура пор, сорбция хлорида и химический состав порового раствора. Результаты применяются в проектировании композитных плит, подвергающихся воздействию морской атмосферы. Исследование показывает, что после карбонизации сорбция хлоридов бетонов ОПЦ больше, чем бетонов СЗС со сложными вяжущими. Около 50% сорбционной способности остается у бетонов СЗС после карбонизации; карбонизация способствует диффузии хлоридов, увеличивая ее до 80%, и влияет на изменения структуры пор с позиции диффузионности хлоридов; в требованиях к долговечности следует учитывать влияние карбонизации бетонной поверхности при воздействии морских воздушных сред, но защищенной от естественных осадков.

Ключевые слова: долговечность бетона, карбонизация, диффузионная способность, проникновение хлоридов, портландцемент, комплексное вяжущее.

Для цитирования: Леонович С.Н., Шалый Е.Е., Литвиновский Д.А., Степанова А.В., Журавская А.В., Малюк В.В. Влияние карбонизации на диффузионность хлоридов в бетоне: анализ эксперимента и применение в расчете // Бетон и железобетон. 2022. № 3 (611). С. 30–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-611-3-30-40>

S.N. LEONOVICH^{1,2}, Doctor of Sciences (Engineering) (leonovichsn@tut.by); E.E. SHALY³, Engineer (postgraduate student);

D.A. LITVINOVSKIY⁴, Main engineer; A.V. STEPANOVA⁵, Engineer;

A.V. ZHURAVSKAYA¹, Engineer; V.V. MALYUK⁶, General Director (mvv.77@mail.ru)

¹ Belarusian National Technical University (220013, Belarus, Minsk, Nezavisimosty Avenue, 65)

² Qingdao University of Technology (266033, China, 11 Fushun Rd, Qingdao)

³ Far Eastern Federal University (E920, 12, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690091, Russian Federation)

⁴ InzhSpetsStroyProekt LLC (22, room 210, P. Mstislavtsa Street, Minsk, 220114, Belarus)

⁵ Belarusian State University of Transport (34, Kirova Street, Gomel, 246653, Belarus)

⁶ Transstroy-Trest LLC (19G, Vokzalnaya Street, Korsakov District, Sakhalin Region, Korsakov, Russian Federation)

The Effect of Carbonation on the Diffusion of Chlorides in Concrete: Experimental Analysis and Application in the Calculation

The article discusses the effect of carbonation on the diffusion of chlorides in concrete based on experimental and theoretical analysis. Chloride penetration tests were carried out on concrete with conventional Portland cement (OPC) and complex binders (SZC), with and without carbonation. The apparent diffusion capacity of chlorides was estimated using an improved diffusion model. The effect of surface carbonation on chloride penetration was investigated in terms of such influencing factors as pore structure, chloride sorption and chemical composition of the pore solution. The results are applied in the design of composite plates exposed to the marine atmosphere. The study shows that: after carbonation, the chloride sorption of OPC concretes is greater than that of SZC concretes with complex binders. About 50% of the sorption capacity remains in SZC concretes after carbonation; carbonation promotes the diffusion of chlorides, increasing it to 80%, and affects changes in the pore structure from the perspective of the diffusion of chlorides; the durability requirements should take into account the effect of carbonation of the concrete surface when exposed to marine air environments, but protected from natural precipitation.

Keywords: durability of concrete, carbonation, diffusion ability, chloride penetration, portland cement, complex binder.

For citation: Leonovich S.N., Shaly E.E., Litvinovsky D.A., Stepanova A.V., Zhuravskaya A.V., Malyuk V.V. The effect of carbonation on the diffusion of chlorides in concrete: experimental analysis and application in calculation. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022. No. 3 (611), pp. 30–40. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-611-3-30-40>

Карбонизация бетона вызвана CO_2 в атмосфере, где его концентрация около 380 [1], его диффузией в поры и последующими реакциями с гидратами цемента [2]. Все конструкционные бетоны в атмосфере подвергаются воздействию CO_2 , поэтому карбонизация является фоном для других процессов долговечности [3]. Совместное действие CO_2 и хлоридов довольно часто, поскольку конструкционные бетоны подвергаются воздействию аэрозольных хлоридов или противообледенительных солей. Хлориды аэрозолей в виде содержащих хлориды капель морской воды задерживаются на бетонной поверхности одновременно с происходящей карбонизацией [4].

Действие противообледенительных солей относится к прерывистому, или сезонному, применению. Хлоридсодержащие соли на бетонных конструкциях при карбонизации действуют постоянно [5]. В лабораторных исследованиях выявлены последствия этого действия путем ускоренных испытаний с использованием чередующихся схем карбонизации – хлоридного проникновения и обнаружен дальнейший перенос хлоридов в бетон [6–8].

Это комбинированное действие исследовано в литературе [8–11]. Карбонизация влияет на проникновение хлоридов благодаря изменению микроструктуры бетона [12], химии пор [13], состоянию влажности пор [14] и сорбционным свойствам хлоридов [14, 15]. Для микроструктуры бетона осаждение кальцита (CaCO_3) в порах в результате карбонизации снижает пористость [12]. Однако изменение связывающих свойств при переносе характеризуется сложными закономерностями:

- более высокая диффузионная способность кислорода и хлорида для карбонизированного цементного камня;

- пониженная электропроводность, но повышенная газопроницаемость, что объясняется изменением перколяции пор при карбонизации (Европейский комитет по стандартизации Цемент – Часть 1: Состав, технические характеристики и критерии соответствия для обычных цементов (EN197-1).

Что касается сорбции хлоридов, то карбонизация разрушает сорбционную способность хлоридов, потребляя гидраты адсорбента, гидраты силиката кальция (CSH) и соль Фриделя (AFm) [15], высвобождая связанные хлориды в поры, содействуя проникновению хлоридов [16]. Цементные пасты, содержащие различные вяжущие вещества, полностью теряют сорбционную способность хлоридов после полной карбонизации [15]. После карбонизации наблюдалось увеличение насыщенности пор бетонной поверхности с 0,2 до 0,5 [18], падение pH с 13 до 9 [19].

Количественная оценка воздействия карбонизации на диффузионную способность хлоридов – ключевой параметр для инженерного использования, но

она далеко не достаточна. Различные механизмы воздействия карбонизации на диффузионность хлоридов никогда не поддавались систематической количественной оценке. Исследование представляет собой набор тестов на проникновение хлоридов на образцах карбонизированного и некарбонизированного бетона и количественно оценивает диффузионную способность хлоридов в карбонизированных бетонах как с экспериментальной, так и с теоретической стороны. Соответственно, данная работа построена следующим образом:

- анализ экспериментальных данных о проникновении хлоридов;
- теоретический анализ основных влияющих факторов карбонизации на диффузионность хлоридов;
- применение результатов в проектировании композитной плиты;
- количественная оценка долговечности с учетом карбонизации поверхности.

Материалы и эксперименты

Бетонные образцы были изготовлены с двумя водовяжущими отношениями: 0,5 и 0,6 и двумя вяжущими OPC и OPC-FA-SG (отмеченными как SZC) (табл. 1). Используемый цемент OPC соответствует типу CEM-II/A-M (EN197-1). Относительно большие водовяжущие отношения 0,5 и 0,6 были приняты для получения измеримой глубины карбонизации в течение ограниченной экспериментальной продолжительности. Были изготовлены образцы-кубы размером 100×100 мм, которые твердели до 28 и 90 дней для испытаний на прочность при сжатии, ускоренную карбонизацию и погружение в хлориды. Составы бетона приведены в табл. 1.

Двенадцать образцов-кубов были подготовлены для каждого бетона (RH 95%) влажностного твердения при 20°C. Три образца были извлечены через 28 сут для измерения прочности при сжатии, а другие образцы твердели во влажных условиях до 90 сут. Шесть образцов каждого бетона подвергались ускоренной карбонизации с RH=65% и концентрацией 20% в течение 90 сут (Национальный стандарт Китая. Стандарт для метода испытаний на долговечность и долговечность обычного бетона (GB/T 50082). Остальные три образца хранились при RH=65% без карбонизации.

После ускоренной карбонизации раскалывали три карбонизированных образца и определяли глубину карбонизации распылением 2% раствора фенолфталейна. После этого у одного карбонизированного и одного некарбонизированного образца измерялась пористость методом гравиметрии. Оставшиеся два карбонизированных и два некарбонизированных образца каждого бетона погружали в раствор NaCl 165 г/л на 35 дней. Затем пробы с поверхности образца на разной глубине измельчали до порошка,

Таблица 1
Table 1Составы и свойства
Compositions and properties

Пропорции/свойства	OPC		OPC-FA-SG (SZC)	
Отношение В/Ц	0,5	0,6	0,5	0,6
Вода, кг/м ³	206	220	206	220
Цемент РО 42,5, кг/м ³	411	366	321	286
Микрокремнезем, кг/м ³	–	–	33	58
Тонкодисперсные заполнители, кг/м ³	739	739	739	739
Крупные заполнители, кг/м ³	1020	1020	1020	1020
Средняя прочность при сжатии в 28 сут, МПа	46,5	42,8	46,9	40,6
Пористость гравиметрии до карбонизации	0,122	0,112	0,129	0,133
Пористость гравиметрии после карбонизации	0,109	0,101	0,114	0,123
Глубина карбонизации, мм	5,3 ± 2,9	14,1 ± 3,3	6,2 ± 3,1	15,4 ± 3,5

Таблица 2
Table 2Методы испытаний бетонных образцов
Methods of testing concrete samples

Тест	Образцы (OPC, SZC /0.5, 0.6)		Метод
	Геометрия	Число	
Прочность	Куб 100 мм	3	Твердение во влажных условиях 28 сут (относительная влажность 95% / 20°C)
Ускоренная карбонизация	Куб 100 мм	6	Твердение во влажных условиях 90 сут (95% относительная влажность / 20°C), предварительно обработанное эпоксидным покрытием на четырех боковых сторонах с двумя противоположными поверхностями, ускоренная карбонизация 90 сут (65% относительной влажности и 20% концентрации CO ₂)
Погружение в хлориды	Куб 100 мм	2 (C), 2(NC)	Погружение в раствор NaCl 165 г/л на 35 сут с температурой окружающей среды 20°C
Пористость гравиметрии	Срез толщиной 5 мм	3 (C), 3(NC)	Выпиленный из кубических образцов, вакуумно насыщенный (1–5 кПа) водой в течение 48 ч., измеренная масса/объем и 60°C в печи с постоянным весом
Содержание хлоридов и гидроксидов	Образцы порошка по 10 г	3	Порошок измельчается с поверхности куба толщиной 3 мм. Для измерения содержания водорастворимых хлоридов, кислоторастворимых хлоридов и гидроксида.
Примечание: C – для карбонизированных образцов; NC – для некарбонизированных образцов.			

измеряли содержание хлоридов (Технический стандарт Национального промышленного стандарта Китая (2014) для определения содержания хлорид-ионов в бетоне (JGJ/T322). Также из образцов порошка определяли значения pH с помощью иммерсионного метода [20]. В табл. 2 излагается процедура обработки конкретных образцов для различных испытаний.

*Проникновение хлоридов
в карбонизированные бетоны*

В табл. 1 представлены прочность при сжатии, пористость по гравиметрии до и после карбонизации.

Бетоны достигают класса по прочности C30–C35, а пористость от 11,2 до 13,3%. Глубину карбонизации измеряли на поверхностях трех кубических образцов в 30 точках каждой поверхности, при этом среднее и стандартное отклонение приведено в табл. 1. Глубину карбонизации коррелируют с водовязущим отношением. После карбонизации срезы брали в преде-

лах глубины карбонизации и измеренная пористость систематически снижалась примерно на 1%.

После погружения в течение 35 сут в раствор NaCl молотый бетонный порошок извлекали через каждые 3 мм толщины от поверхности до глубины 30 мм. Для каждой глубины измельчения полученные образцы разделяли на три порции по 10 г и измеряли кислоторастворимые хлориды (отношение твердого тела к жидкости 1:10), водорастворимые хлориды (отношение твердого тела к жидкости 1:20) и выполняли измерения значения pH (отношение твердого тела к жидкости 1:20). Такой выбор соотношения твердого тела к жидкости согласуется с международными стандартами (ASTM (2004) Стандартный метод испытаний кислоторастворимого хлорида в растворе и бетоне (ASTM C1152-04); ASTM (1999) Стандартный метод испытаний водорастворимого хлорида в растворе и бетоне (ASTM C1218-99) и практикой [20]. Для каждого материала два куба измельчали, в то время как

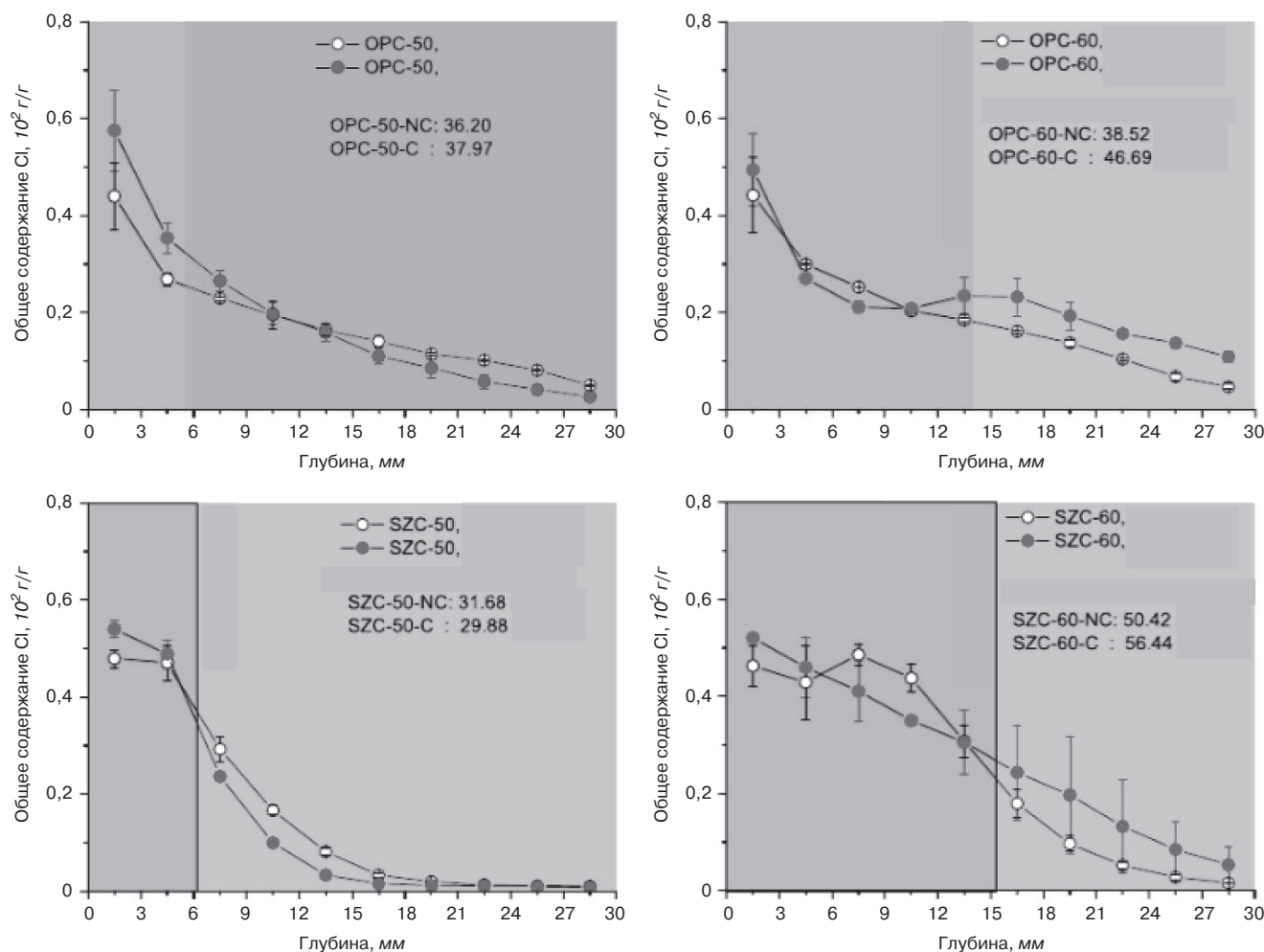


Рис. 1. Общее содержание хлоридов в бетонных образцах из измерения кислоторастворимости
Fig 1. Total chloride content in concrete samples from the acid solubility measurement

значение pH измерялось только на одном кубе. Условно кислоторастворимые хлориды рассматриваются как общие хлориды в бетоне, а водорастворимые значения – как свободные хлориды в поровом растворе. Разница между кислото/водорастворимыми хлоридами и общими/свободными хлоридами будет рассмотрена позднее, в то время как два набора значений хлоридов рассматриваются ниже. Рис. 1 иллюстрирует общее количество хлоридов, давая также общий приток хлоридов во время погружения на 35 сут.

На рис. 2 представлены свободные хлориды и содержание OH. Глубина карбонизации отмечена на обоих рисунках.

Влияние карбонизации на проникновение хлоридов подчиняется довольно сложным закономерностям:

- общее количество хлоридов в карбонизированных зонах выше, чем в некарбонизированных, в пределах глубины 3 мм, затем их значения сопоставимы в оставшейся зоне карбонизации;

- за пределами зоны карбонизации профиль выше ожидаемого для SZC-50 для случаев с карбонизированными образцами. Тем не менее количествен-

ное значение притока хлоридов во время погружения на 35 сут является прямым показателем. За исключением SZC-50 приток хлорида явно выше в карбонизированных образцах, чем в образцах NC. В других терминах, за исключением SZC-50, карбонизация, хотя и на разную глубину, увеличивает проникновение.

Концентрация свободного хлорида, как правило, выше в карбонизированных зонах, чем в случаях NC, из-за низкой сорбционной способности хлоридов в зоне карбонизации. Для образцов OPC-60 и SZC-60 профили свободных хлоридов явно выше, чем у образцов NC. На рис. 2 зафиксировано содержание OH. Из-за особой процедуры измерения OH, т. е. погружения образцов порошка 10 г в 200 мл деионизированной воды до равновесия и измерения концентрации OH из 20 мл экстрагированного раствора, содержание OH в соотношении массы к массе не может быть принято непосредственно как истинное значение в поровом растворе. При таком соотношении твердого и жидкого веществ больше СН должно быть растворено в водном состоянии по сравнению с неповрежденным поровым раствором [21].

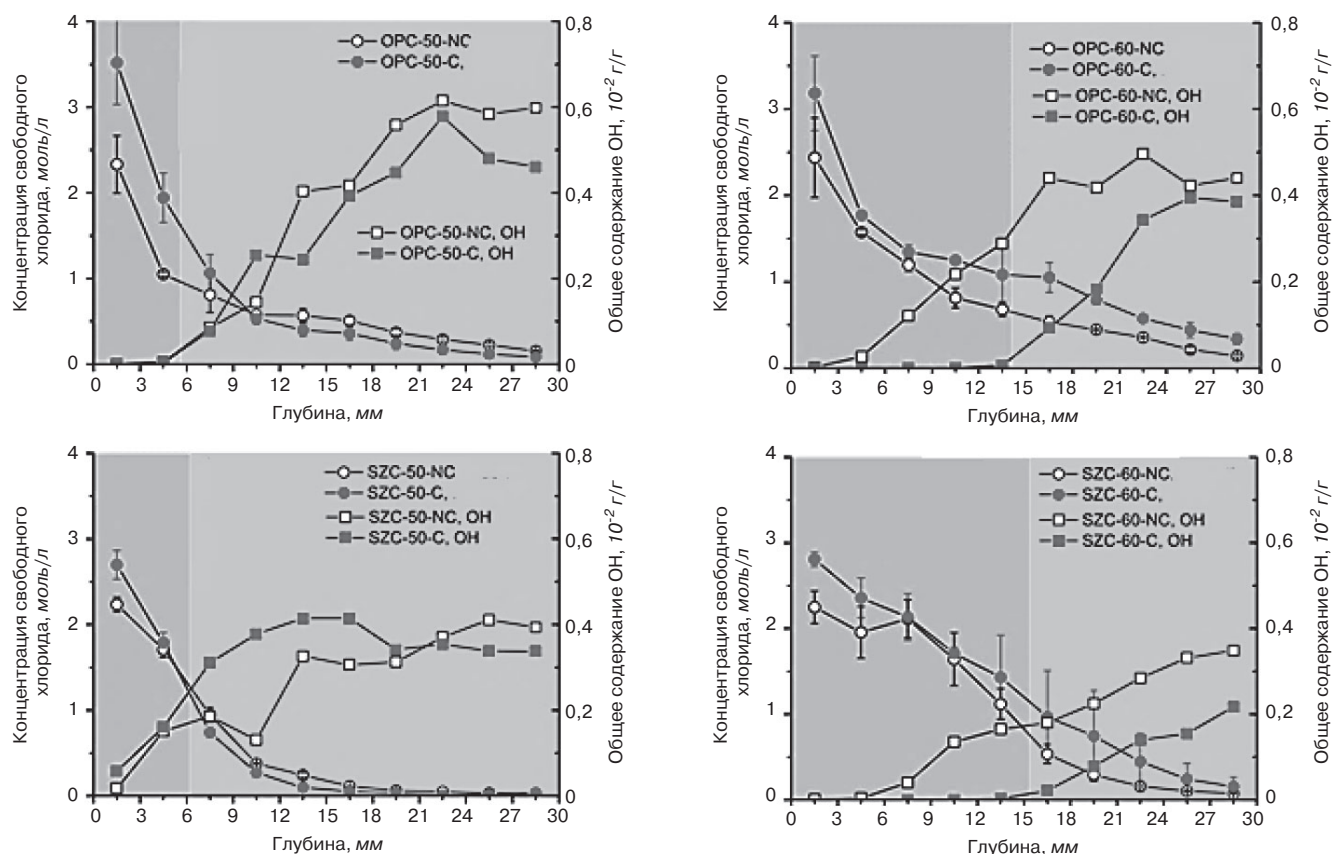


Рис. 2. Водорастворимые хлориды и содержание ОН в бетонных образцах
Fig. 2. Water-soluble chlorides and OH content in concrete samples

Таким образом, значения ОН имеют лишь сравнительный смысл. Первое наблюдение заключается в том, что содержание ОН уменьшается от внутренней части поверхности для обоих NC/C. Это связано с переносом ОН к раствору NaCl во время погружения на 35 сут. Во-вторых, содержание ОН находится на очень низком уровне в зоне карбонизации и постепенно поднимается до нормального уровня за глубиной карбонизации. В образцах SZC-50 не зафиксировано систематической разницы между случаями NC/C с точки зрения содержания ОН.

Сорбционный анализ хлоридов

Из общего и свободного содержания хлоридов можно определить одну важную величину – хлоридную сорбцию. Общие хлориды, свободные хлориды могут быть рассчитаны через массовую плотность и хлоридную сорбцию:

$$C_{Cl} = M_{Cl}/\rho_c (S_1 \phi_c C_{Cl} + S_{Cl}), \quad (1)$$

где общее содержание хлоридов C_{Cl} принимает единицу массового соотношения к бетону (–); термин C_{Cl} относится к концентрации хлоридов в поровом растворе (моль/м³); S – пористость бетона; S_1 – объемное насыщение жидкости (воды) в порах; S_{Cl} – хлоридная сорбционная способность бетона (моль/м³ бето-

на); M_{Cl} – молярная масса хлорида (0,0355 кг/моль); ρ_c – плотность бетона (кг/м³).

В представленном исследовании бетонные образцы полностью насыщены, т. е. $S_1=1$. Было установлено, что величина S_{Cl} зависит от концентрации водного хлорида в поровом растворе [22]. Наиболее часто используемым законом сорбции является линейаризованный:

$$S_{Cl} = \alpha_{Cl}^L + C_{Cl} + S_{Cl}^0, \quad (2)$$

где α_{Cl}^L – коэффициент линейаризации сорбции; S_{Cl}^0 – начальный коэффициент сорбции.

Первый термин в правой части уравнения (2) описывает линейную физическую сорбцию хлоридов бетонной матрицей, а второй термин относится к химической сорбции хлорида, например путем образования солей Фриделя [23].

При систематическом изучении соотношения между водорастворимыми и свободными хлоридами установлено, что важную роль играют такие особенности приготовления во время жидкой экстракции, как время перемешивания, температурная обработка и отношение твердого вещества к раствору [24–26]. Из-за отсутствия калиброванного соотношения для бетонов в этом исследовании водорастворимые хлориды принимаются как свободные хлориды в поровом

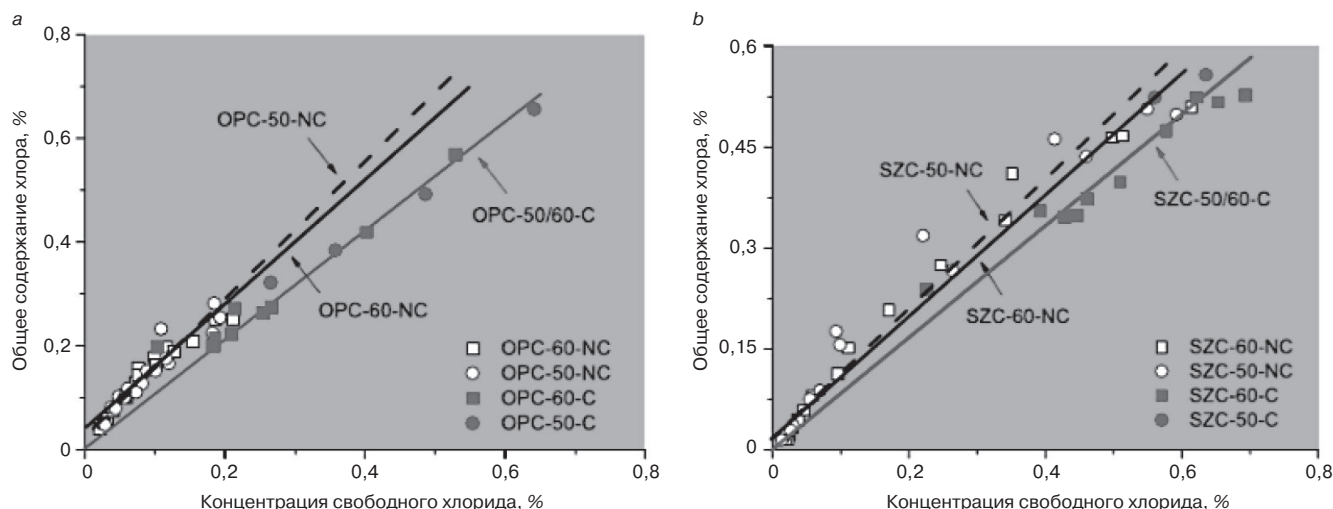


Рис. 3. Линеаризованный анализ сорбции хлоридов для некарбонизированных и карбонизированных бетонов: OPC (a) и SZC (b)
Fig. 3. Linearized analysis of chloride sorption for non-carbonized and carbonized concrete: OPC (a) and SZC (b)

Таблица 3
Table 3

Анализ влияния карбонизации на диффузионную способность хлоридов в зависимости от различных факторов
Analysis of the effect of carbonation on the diffusion capacity of chlorides from various factors

Материал	$D_{Cl}^{appNC}/D_{Cl}^{app};$ ($10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$)	Общее изменение (%)	Изменение сорбции (%)	Изменение химического состава пор (%)	Изменение структуры пор (-) (%)	Соотношение $f_{p,C}/f_{p,NC}$ (-) (%)
OPC-50	9,4/14,9	+59	+16	+11	+32	+28
OPC-60	19,3/35,4	+83	+9	+11	+63	+52
SZC-50	9,3/9,9	+7	+12	+11	-16	-14
SZC-60	34,4/52,8	+54	+8	+11	+35	+32

растворе. Более того (рис. 2), в некарбонизированных образцах OPC/SZC-60 возникает эффект выщелачивания от ионного профиля OH^- . Поскольку значение pH влияет на сорбцию хлоридов [27], точки с очень низким содержанием OH^- , например точки 1,5/4,5 мм, не учитываются в сорбционном анализе. При использовании этих допущений, линеаризованный закон сорбции регрессирует между общими и водорастворимыми хлоридами для NC/C бетонов (рис. 3), с регрессированными параметрами и коэффициентами сорбции, приведенными в табл. 3.

Для некарбонизированных образцов общие и свободные хлориды довольно хорошо подчиняются линейной зависимости, за исключением узкого диапазона значений для свободных хлоридов ($<0,05\%$). Этот диапазон может включать растворение солей Фриделя, отличное от физической сорбции хлоридов твердой матрицы [28]. Что касается коэффициента линеаризации сорбции α_{Cl}^L , то для бетонов OPC/SZC систематической разницы не наблюдается, а начальная сорбционная емкость S_{Cl}^0 согласуется с литературными значениями [5]. Для карбонизированных образцов перехват линейной регрессии установлен равным нулю (рис. 3) исходя из предположения, что соли Фриделя не могут образовываться в зоне карбонизации при низких значениях pH. При сравнении коэффициента сорбции α_{Cl}^L до и после карбонизации об-

разцы OPC теряют от 60% (OPC-50) до 75% (OPC-60) сорбционной емкости в результате карбонизации, в то время как образцы SZC-50/60 теряют около 50% сорбционной емкости. Таким образом, значительное количество адсорбента хлоридов все еще остается в образцах после ускоренной карбонизации.

Влияние карбонизации на проникновение хлоридов

Интерпретация диффузии хлоридов

Для оценки влияния глубины карбонизации на проникновение хлорида используется аналитическое решение задачи диффузии в составной полубесконечной области: полубесконечный домен плюс поверхностный слой толщиной L_C под действием постоянной концентрации C_s на поверхности ($x=0$) (рис. 4). Концентрация хлорида $c(x,t)$ относится к концентрации в поровом растворе с размерностью моль/ м^3 или моль/л.

При диффузии рассматривается поверхностный слой с постоянной диффузионной способностью D_1 , отличной от диффузионной D_2 в полубесконечной области.

Теоретическая модель воздействия карбонизации

Различные значения D_{Cl}^{app} или D_{Cl}^{eff} одного и того же бетона до и после карбонизации отражают влияние карбонизации на диффузионную способность хлоридов. Считается, что карбонизация изменяет

диффузионность хлоридов с помощью следующих механизмов [29–35]:

- осаждение кальцита CaCO_3 из реакций карбонизации между растворенным CO_2 и гидратами портландита (CH) и силиката кальция (CSH) может заполнять поровое пространство, уменьшать пористость и изменять структуру пор;

- изменение химического состава пор заключается в изменении ионной среды для переноса хлоридов, т. е. водной диффузионной способности;

- потребление CSH/AFm при карбонизации высвобождает адсорбированные хлориды обратно в поровый раствор, тем самым изменяя кажущуюся диффузионную способность хлоридов. В этом исследовании как эффективная, так и кажущаяся диффузия хлоридов были регрессированы для состояния погружения, т. е. $S_1=1$, поэтому изменением насыщения пор от высвобождения свободной воды карбонизацией пренебрегают.

Последний механизм касается снижения сорбционной способности хлоридов бетонной матрицы при карбонизации. Концептуально карбонизация уменьшает сорбцию хлоридов через два механизма: потребление CSH, основного адсорбента хлоридов, и карбонизация соли Фриделя. Следовательно, как физически связанные, так и химически связанные хлориды могут высвобождаться при карбонизации. Свободный хлорид и общий хлорид в карбонизированной зоне бетонных образцов проиллюстрированы на рис. 3 с регрессированными коэффициентами сорбции, приведенными в табл. 3. После карбонизации сорбционная способность OPC существенно снижается до уровня 30% от его первоначальной емкости, в то время как бетоны SZC сохраняют около 50% сорбционной способности хлоридов. Это означает, что после ускоренной карбонизации остается все еще большое количество CSH в обоих образцах OPC/SZC.

Оценка вклада различных факторов

Факторный анализ влияния карбонизации на диффузионность хлоридов при насыщении позволяет использовать результаты эксперимента и моделирования для количественной оценки вклада каждого фактора в изменение кажущейся диффузии хлоридов при карбонизации. Кажущаяся диффузионная способность хлоридов увеличивается на 7–83% при карбонизации, способствует увеличению сорбции на 9–16%. Изменение химического состава пор составляет 11%, а вклад изменения структуры пор колеблется от -14 до 52%.

Результаты, приведенные в табл. 3, подтверждают влияние изменения структуры при карбонизации на диффузионность по сложным закономерностям. Карбонизация способствует перколяции пор, но

уменьшает глобальную пористость. Эффект перколяции доминирует над заполнением пор для бетонов OPC-50, OPC-60 и SZC-60, но для бетона SZC-50 наблюдается обратное. Тем не менее величина изменения структуры пор должна быть принята с осторожностью, потому что в ходе регрессии и анализа было сделано несколько предположений: это граница карбонизации (фронт), закон линеаризованной сорбции хлорида и приблизительный характер анализа химии пор. Тем не менее совершенно очевидно, что карбонизация действительно способствует диффузии хлоридов.

Применение к проектированию

Полученные результаты свидетельствуют о том, что поверхностная карбонизация ускоряет проникновение хлоридов извне. Это реальная проблема для долговечности железобетона (RC), поскольку конструкция в течение длительного срока службы одновременно подвергается карбонизации и проникновению хлоридов.

Проектирование композитных плит на 150 лет

Рассматриваются композитные плиты при воздействии морской атмосферной среды с расчетным сроком службы более 100 лет. На рис. 6 показано поперечное сечение композитных плит и условия экспозиции. Композитные плиты состоят из железобетонных верхних плит и стальных балок в качестве опор.

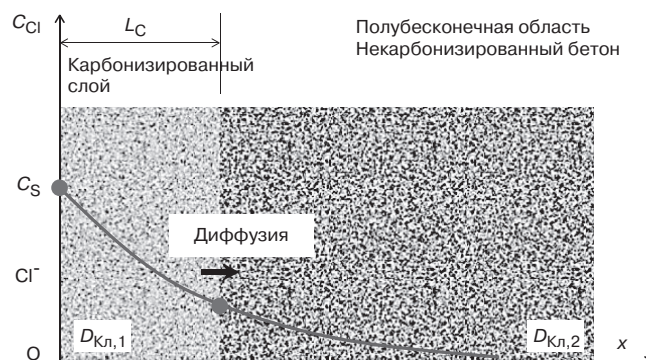


Рис. 4. Иллюстрация составной полубесконечной диффузии
Fig. 4. Illustration of composite semi-infinite diffusion

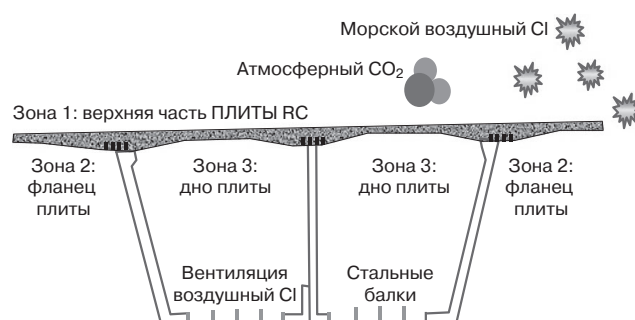


Рис. 5. Поперечное сечение композитных плит и различные условия экспозиции
Fig. 5. Cross-section of composite plates and various exposure conditions

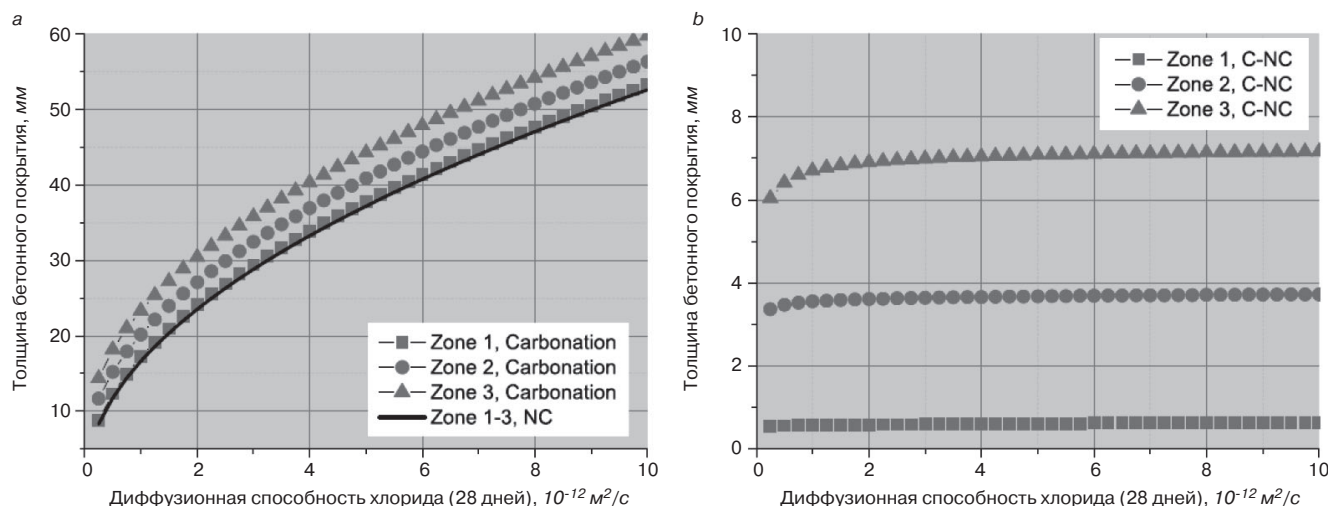


Рис. 6. Толщина защитного слоя бетона (a) и дополнительная толщина слоя с точки зрения диффузионной способности хлорида NC для зоны 1–3 (b)

Fig. 6. The thickness of the protective layer of concrete (a) and the additional layer thickness in terms of the diffusion capacity of NC chloride for zone 1–3 (b)

Таблица 4
Table 4

Параметры прочности конструкции композитных плит с учетом поверхностной карбонизации
Structural strength parameters of composite plates taking into account surface carbonation

Параметр (единица измерения)	Величина/источники
Расчетный срок службы t_{SL} , г	150
Концентрация поверхностных хлоридов C_S , % вяжущего вещества	1,98 [29]
Критическое содержание хлоридов C_{CR} , % вяжущего вещества	0,94 [29]
Глубины карбонизации L_C , мм	0,93, 6,28, 12,56 (Зона 1, 2, 3)
Толщина защитного слоя бетона d , мм	Проект
Кажущаяся диффузионная способность Cl (28 сут), $D_{Cl,NCd}^{28}$ ($10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)	Проект (0,1–10)
Коэффициент диффузионной способности между карбонизированным и некарбонизированным бетоном $D_{Cl,Carbd}^{28} / D_{Cl,NC}^{28}$ (–)	2
Продолжительность диффузии хлоридов, год	30
Показатель диффузии хлоридов n	0,53
Расчетный возраст для диффузии хлоридов t_0 , сут	28

Верхние железобетонные плиты и стальные балки соединены стальными шпильками.

Основное внимание уделяется верхним железобетонным плитам при комбинированном действии карбонизации поверхности атмосферным CO_2 и проникновении хлоридов из морских воздушных масс.

На рис. 5 можно выделить различные условия воздействия:

– верхняя сторона железобетонной плиты (зона 1) накапливает переносимые воздухом хлориды. Она также подвергается сильному воздействию атмосферных осадков (1200 мм/г.). Таким образом, карбонизация будет ограничена высоким содержанием воды, и влияние карбонизации не может быть значительным;

– фланец железобетонной плиты (зона 2) частично защищен от естественных осадков и в большей степени способствует карбонизации поверхности.

Поскольку осаждение хлоридов имеет тот же порядок, что и зона 1, воздействие карбонизации будет более важным, чем в зоне 1;

– нижняя сторона бетонной плиты (зона 3) подвергается воздействию со стороны защищенного от осадков замкнутого пространства между железобетонной плитой и стальными балками. Это пространство вентилируется, поэтому благодаря вентиляции происходит осаждение морских хлоридов и карбонизация развивается быстрее, чем в зонах 1, 2.

Конструкция при комбинированном действии карбонизации и проникновении хлоридов

Сначала оценивается глубина карбонизации для трех зон в течение 150 лет. Используется модель кода *fib* 2006 для расчета глубины карбонизации. Основные параметры: расчетный коэффициент $t_{SL}=150$ лет, коэффициент влажности $k_e=0,618$, ко-

коэффициент твердения для 24 сут $k_c=0,675$, устойчивость к карбонизации; $R_{ACC,0}^{-1}=3,1 \cdot 10^{-11} \text{ (м}^2/\text{с)} / (\text{кг}/\text{м}^3)$, концентрация CO_2 $0,00082 \text{ кг}/\text{м}^3$, погодный фактор $W(t_{SL})=0,0738, 0,5, 1$ для зоны 1, 2, 3 соответственно.

Глубина карбонизации оценивается как 0,93, 6,28 и 12,56 мм для зон 1, 2, 3 соответственно. Однако поверхностная карбонизация и проникновение хлорида происходят одновременно в отличие от вышеупомянутого экспериментального исследования. Расширенная модель Фика применяется к трем зонам с конечной глубиной карбонизации. Таким образом, влияние карбонизации завышено, но направляет проектирование в безопасную сторону.

Расчетное уравнение описывает иницирование коррозии арматурной стали при проникновении хлорида извне:

$$C_{Cl}(x=d; t=t_{SL})|_{L_c=\text{const}} \leq CCR. \quad (3)$$

Содержание хлоридов оценивается в массовом отношении к вяжущему $C_{Cl,CR}$ и обозначает содержание хлорида и критическую концентрацию хлорида для иницирования коррозии стали (г/г), d – толщину защитного слоя бетона к стальной арматуре (мм). При использовании экспериментальных результатов, приведенных в табл. 3, диффузионная способность хлорида в карбонизированном бетоне в два раза выше по сравнению с диффузионной способностью некарбонизированного. Толщина защитного слоя бетона и требуемая хлоридная диффузия для бетона преобразованы в проектные параметры. Для получения реалистичных проектных значений рассмотрена временная зависимость для проектирования диффузии хлоридов:

$$D_{Cl,app}(t_{SL}) = D_{Cl}^{28d} \left(\frac{t_0}{t_a} \right)^n. \quad (4)$$

Используя параметры, приведенные в табл. 4, требуемая толщина защитного слоя бетона и соответствующая диффузионная способность хлоридов рассчитываются с помощью усовершенствованной модели, а затем долгосрочная диффузионная способность приводится к ее значению в возрасте 28 сут.

На рис. 6 показана необходимая хлоридная диффузионная способность и толщина защитного слоя бетона на момент начала коррозии арматурной стали в композитной плите для расчетного срока службы 150 лет в зоне 1–3. Для сравнения также представлены проектные значения без учета карбонизации поверхности. Глубина карбонизации очень мала в зоне 1, и почти нет различий для проектирования с карбонизацией поверхности и без нее.

Из приведенных выше результатов можно получить некоторые важные выводы для данного проекта. Проникновение хлорида сильно зависит от степени поверхностной карбонизации. Это воздействие мо-

жет быть незначительным для бетонной поверхности, подверженной обильным природным осадкам.

Карбонизация в этом случае сильно ограничена. Тем не менее общий риск коррозии стали высок из-за высокой насыщенности бетона и, следовательно, более высокой скорости проникновения хлоридов в воздух, как в случае зоны 1 композитных плит. Для частично защищенных конструктивных частей (зона 2) карбонизация развивается быстрее, и проникновение хлорида должно быть значительно ускорено. Поэтому требования к долговечности должны быть оценены. При той же диффузии хлорида требуемая толщина защитного слоя бетона увеличивается на 3–4 мм для фланца композитных плит. Для полностью защищенных частей (зона 3) карбонизация поверхности оказывает наиболее значительное воздействие. Требуемый бетонный защитный слой может увеличиться на 6–8 мм, что следует учитывать при проектировании долговечности [29–34].

Выводы

1. Из испытаний на образцах карбонизированного бетона профили хлоридов, общие или водорастворимые, показывают различные закономерности в карбонизированной и некарбонизированной зонах. Интегральный поток хлоридов является надежным количественным параметром для представления эффекта карбонизации. Сорбционный анализ показывает, что после карбонизации бетоны ОПС теряют 60–75% сорбционной емкости. Бетоны SZC сохраняют около 50% своей первоначальной сорбционной способности. За исключением очень малого диапазона концентраций сорбция хлорида хорошо подчиняется линейному закону.

2. Расширенная диффузионная модель используется для интерпретации диффузии хлоридов во время испытаний на погружение. Значения диффузионной способности хлоридов регрессируются соответственно для карбонизированных и некарбонизированных образцов. Регрессивная диффузионная способность показывает, что карбонизация ускоряет диффузию хлоридов, а кажущаяся диффузионная способность в карбонизированной зоне обычно на 60% выше. Затем воздействие карбонизации количественно определяется для изменения сорбции, изменения химического состава пор и изменения структуры пор. Изменение структуры пор в результате карбонизации является первым фактором, влияющим на изменение диффузионной способности хлоридов.

3. Усовершенствованная модель применяется к проектированию композитной плиты при воздействии как морских воздушных хлоридов, так и атмосферного CO_2 . Для проектирования выполняется сравнительный анализ для комбинированного действия с

конечной глубиной в виде постоянного карбонизационного слоя. Результаты проектирования показывают, что для открытой верхней стороны железобетонной плиты карбонизация мало влияет на результаты проектирования, в то время как для полностью защищенных частей дополнительная толщина защитного слоя бетона из-за воздействия карбонизации может достигать 8 мм.

Список литературы / References

1. МГЭИК, 2007: Изменение климата 2007 г. Обобщающий доклад Вклад рабочих групп I, II, III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата Пачаури Р.К., Райзингер А. и основная группа авторов. Женева, Швейцария 104 с.
2. IPCC, 2007: Climate Change 2007 Synthesis Report Contributions of Working Groups I, II, III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Pachauri R.K., Reisinger A. and the main group of authors. Geneva, Switzerland 104 p. (In Russian).
3. Papadakis V.G., Vayenas C.G., Fardis M.N. Experimental investigation and mathematical modeling of the concrete carbonation problem. *Chemical Engineering Science*. 1991. Vol. 46. Iss. 5–6, pp. 1333–1338. [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(91\)85060-B](https://doi.org/10.1016/0009-2509(91)85060-B)
4. Salt weathering in residential concrete foundations exposed to sulfate-bearing ground. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2010. Vol. 8 (2), pp. 121–134. DOI: 10.3151/jact.8.121
5. Meira G.R. Pinto W.T.A. Lima E.E.P. Andrade C. Vertical distribution of marine aerosol salinity in a Brazilian coastal area – The influence of wind speed and the impact on chloride accumulation into concrete. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 135, pp. 287–296. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.1815>
6. Kefei Li Durability Design of Concrete Structures: Phenomena, Modeling, and Practice. London. 2017. 288 p.
7. Jun Liu, Qiwen Qiu, Xiaochi Chen, Feng Xing Understanding the interacted mechanism between carbonation and chloride aerosol attack in ordinary Portland cement concrete. *Cement and Concrete Research*. 2017. Vol. 95, pp. 217–225. DOI: 10.1016/j.cemconres.2017.02.032
8. Myung Kue Lee, Sang Hwa Jung, Byung Hwan Oh, Effects of carbonation on chloride penetration in concrete. *Aci Materials Journal*. 2013. Vol. 110 (5), pp. 559–566.
9. Wang Y., Nanukuttan S., Bai Y., Basheer P.A.M. Influence of combined carbonation and chloride ingress regimes on rate of ingress and redistribution of chlorides in concretes. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 140, pp. 173–183. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.121>
10. Castro P., Moreno E.I, Genescá J. Influence of marine micro-climates on carbonation of reinforced concrete buildings. *Cement and Concrete Research*. 2000. Vol. 30. Iss. 10, pp. 1565–1571. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00344-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00344-6)
11. Costa A., Appleton J. Concrete carbonation and chloride penetration in a marine environment. *Concrete Science and Engineering*. 2001. Vol. 3, pp. 242–249.
12. Moreno M., Morris W., Alvarez M.G., Duffo G. Corrosion of reinforcing steel in simulated concrete pore solutions: Effect of carbonation and chloride content. *Corrosion Science*. 2004. Vol. 46 (11), pp. 2681–2699. DOI: 10.1016/j.corsci.2004.03.013
13. Ngala V.T., Page C.L. Effects of carbonation on pore structure and diffusional properties of hydrated cement pastes. *Cement and Concrete Research*. 1997. Vol. 27. Iss. 7, pp. 995–1007. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(97\)00102-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(97)00102-6)
14. Anstice D.J. Page C.L., Page M.M. The pore solution phase of carbonated cement pastes. *Cement and Concrete Research*. 2005. Vol. 35. Iss. 2, pp. 377–383. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.041>
15. Géraldine Villain Mickaël Thierry Gérard Platret Measurement methods of carbonation profiles in concrete: Thermogravimetry, chemical analysis and gammadensimetry. *Cement and Concrete Research*. 2007. Vol. 37. Iss. 8, pp. 1182–1192. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.04.015>
16. Saillio M., Baroghel-Bouny V., Barberon F. Chloride binding in sound and carbonated cementitious materials with various types of binder. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 68, pp. 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.049>
17. Geng J., Easterbrook D., Liu Qing-feng, Li Long-yu. An Effect of carbonation on release of bound chlorides in chloride-contaminated concrete. *Magazine of Concrete Research*. 2016. Vol. 68 (7), pp. 353–363. DOI: 10.1680/mac.15.00234
18. Das B.B., Singh D.N., Pandey S.P. Rapid chloride ion permeability of OPC- and PPC-based carbonated concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2012. Vol. 24 (5), pp. 606–611. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000415
19. T. Mickaël Modelling of atmospheric carbonation of cement based materials considering the kinetic effects and modifications of the microstructure and the hydric state. 2005.
20. Mc Polin D. et al. Carbonation and pH in Mortars Manufactured with Supplementary Cementitious Materials. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2009. Vol. 21, pp. 217–225.

20. Mcpolin D.O., Muhammed Basheer P.A., Long Adrian E., Grattan Kenneth T.V. New test method to obtain pH profiles due to carbonation of concretes containing supplementary cementitious materials. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2007. Vol. 19 (11). DOI: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:11(936)
21. Behnood Ali, Tittelboom Kim Van, Belie Nele De. Methods for measuring pH in concrete: A review. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 105, pp. 176–188. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.032>
22. Luping Tang, Nilsson Lars-Olof Chloride binding capacity and binding isotherms of OPC pastes and mortars. *Cement and Concrete Research*. 1993. Vol. 23. Iss. 2, pp. 247–253. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(93\)90089-R](https://doi.org/10.1016/0008-8846(93)90089-R)
23. Suryavanshi A.K., Scantlebury J.D., Lyon S.B. Mechanism of Friedel's salt formation in cements rich in tri-calcium aluminate. *Cement and Concrete Research*. 1996. Vol. 26. Iss. 5, pp. 717–727. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(96\)85009-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(96)85009-5)
24. Haque M.N., Kayyali O.A. Free and water soluble chloride in concrete. *Cement and Concrete Research*. 1995. Vol. 25. Iss. 3, pp. 531–542. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00042-B](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00042-B)
25. Ishida T., Miyahara S., Corporation T., Maruya T. Chloride binding capacity of mortars made with various portland cements and mineral admixtures. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2008. Vol. 6 (2), pp. 287–301. DOI: 10.3151/jact.6.287
26. Yuan Q., Deng D., Shi C., Schutter G.De. Chloride binding isotherm from migration and diffusion tests. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.* 2013. Vol. 28, pp. 548–556.
27. Machner A.; Hemstad P.; De Weerd K. Towards the understanding of the pH dependency of the chloride binding of portland cement pastes. *Nordic Concrete Research*. 2018, 58 (1), 143–162. DOI: 10.2478/ncr-2018-0009
28. Nguyen Thai. Physicochemical modelling of chloride ingress into cementitious materials. 2007.
29. Леонович С.Н. Алгоритмы расчета долговечности железобетонных конструкций при хлоридной агрессии. *Сборник трудов VII Международного научно-методического семинара* / Под ред. Н.П. Блещика, А.А. Борисевича, Т.М. Пецольда. Брест, БГТУ. 2001.
30. Леонович С.Н. Вероятностная оценка коррозии арматуры в существующих железобетонных конструкциях при хлоридной агрессии. *Сборник трудов VII Международного научно-методического семинара* / Под ред. Н.П. Блещика, А.А. Борисевича, Т.М. Пецольда. Брест, БГТУ. 2001.
30. Leonovich S.N. Probabilistic assessment of reinforcement corrosion in existing reinforced concrete structures under chloride aggression. *Proceedings of the VII International Scientific and Methodological Seminar*. Ed. by Bleschik N.P., Borisevich A.A., Petzold T.M. Brest, BSTU. 2001. (In Russian).
31. Леонович С.Н., Прасол А.В. Железобетон в условиях хлоридной коррозии: деформирование и разрушение // *Строительные материалы*. 2013. № 5. С. 94–95.
31. Leonovich S.N., Prasol A.V. Reinforced concrete under conditions of chloride corrosion: deformation and destruction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 5, pp. 94–95. (In Russian).
32. Шалый Е.Е., Леонович С.Н., Ким Л.В., Румянцева В.Е., Будревич Н.А. Совместное действие карбонизации и хлоридной агрессии на конструкционный бетон: вероятностная модель // *Вестник гражданских инженеров*. 2018. Вып. 15 (3). С. 123–131. DOI: 32.23968/1999-5571-2018-15-3-123-131
32. Shaly E.E., Leonovich S.N., Kim L.V., Rummyantseva V.E., Budrevich N.A. Combined effect of carbonization and chloride aggression on structural concrete: a probabilistic model. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2018. Iss. 15 (3), pp. 123–131. (In Russian). DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-3-123-131
33. Шалый Е.Е., Ким Л.В., Леонович С.Н. Железобетон при воздействии карбонизации и хлоридной агрессии: вероятностная модель расчета прогноза срока службы // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2018. № 6. С. 5–14.
33. Shaly E.E., Kim L.V., Leonovich S.N. Reinforced concrete under the influence of carbonization and chloride aggression: a probabilistic model for calculating and predicting service life. *Vestnik of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2018. No. 6, pp. 5–14. (In Russian).
34. Шалый Е.Е., Леонович С.Н., Ким Л.В. Дegradaция железобетонных конструкций морских сооружений от совместного воздействия карбонизации и хлоридной агрессии // *Строительные материалы*. 2019. № 5. С. 67–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-770-5-67-72>
34. Shalyi E.E., Leonovich S.N., Kim L.V. Degradation of reinforced concrete structures of marine works from the combined impact of carbonation and chloride aggression. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 5, pp. 67–72. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-770-5-67-72>

Е.А. САДОВСКАЯ¹, инженер (elena_koleda@bk.ru),
С.Н. ЛЕОНОВИЧ^{1,2}, д-р техн. наук, иностранный академик РААСН (snleonovich@yandex.ru, CEF@bntu.by)

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

² Qingdao University of Technology (266033, China, 11 Fushun Rd, Qingdao)

Коэффициенты перехода для нанофибробетона

Рассмотрено влияние дисперсного армирования на коэффициенты перехода от прочности при одном виде напряженного состояния к другому. Коэффициенты перехода рассчитываются по результатам испытаний образцов-призм разных матриц с разным дисперсным армированием, причем все испытания проводятся на каждом образце из серии. Установлено, что дисперсное армирование влияет на коэффициенты перехода от прочности при одном виде напряженного состояния к другому. Высокомодульные волокна оказывают большее влияние на изменение коэффициентов перехода, чем низкоимодульные. Количество фибры влияет на изменение коэффициентов перехода.

Ключевые слова: фибробетон, нанофибробетон, фибра, прочность при сжатии, прочность при растяжении, коэффициент перехода.

Для цитирования: Садовская Е.А., Леонович С.Н. Коэффициенты перехода для нанофибробетона // Бетон и железобетон. 2022. № 3 (611). С. 41–48. DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-611-3-41-48>

E.A. SADOVSKAYA¹, Engineer (elena_koleda@bk.ru),
S.N. LEONOVICH^{1,2}, Doctor of Sciences (Engineering), Foreign Academic of RAACS (snleonovich@yandex.ru, CEF@bntu.by)
¹ Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosty Avenue, Minsk, 220013, Belarus)
² Qingdao University of Technology (266033, China, 11 Fushun Rd, Qingdao)

Transition Factors for Nanofiber Concrete

This article discusses the effect of dispersed reinforcement on the coefficients of transition from strength in one type of stress state to another. The transition coefficients are calculated based on the results of tests of prism samples of different matrices with different dispersion reinforcement, and all tests are carried out on each sample from the series. It has been established that dispersed reinforcement affects the coefficients of transition from strength in one type of stress state to another. High modulus fibers have a greater effect on transition coefficients than low modulus fibers. The amount of fiber affects the change in transition coefficients.

Keywords: fiber-reinforced concrete, nanofiber-reinforced concrete, fiber, compressive strength, tensile strength, transition coefficient.

For citation: Sadovskaya E.A., Leonovich S.N. Transition factors for nanofiber Concrete. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022. No. 3 (611), pp. 41–48. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-611-3-41-48>

Бетон – это квазихрупкий материал с низкой деформационной способностью, со связующим веществом в виде цементного теста. Использование углеродных нанотрубок в цементных композитах по большей части направлено на создание армирующего эффекта на наноразмерном уровне (нанобетон) [1–3]. На микроуровне волокна препятствуют зарождению и росту трещин, а после того как микротрещины сольются в макротрещины, волокна создают механизмы, которые снижают их нестабильное распространение, способствуя увеличению прочности при растяжении и вязкости разрушения (нанофибробетон) [4–6].

Введение дисперсных волокон в состав бетонной смеси позволяет изменять прочность бетона при растяжении, его трещиностойкость, ударную прочность и др. [7–10]. Однако повышение прочности при

сжатии менее ощутимо либо отсутствует вообще. В проектировании бетонных изделий распространена практика использования коэффициентов перехода от прочности при одном виде напряженного состояния к другому (ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам»). Как правило, прочность при сжатии определяется испытаниями, а прочность при растяжении с использованием коэффициентов перехода.

Предлагается рабочая гипотеза, заключающаяся в том, что дисперсное армирование оказывает влияние на коэффициенты перехода от прочности при одном виде напряженного состояния к другому.

Цель исследования заключается в оценке сходимости переходных коэффициентов для дисперсно-армированных и неармированных нанобетонов [11, 12].

Условия и описание методики проведения исследования

Для достижения поставленной цели использовались результаты испытаний на прочность образцов-призм $70 \times 70 \times 280$ и $100 \times 100 \times 400$ мм, образцов-кубов $100 \times 100 \times 100$ мм. Образцы-призмы $70 \times 70 \times 280$ мм испытывались на осевое растяжение ($f_{ct,ax}$), на сжатие (f_c) и на раскалывание ($f_{ct,sp}$), причем все испытания проводились на одном образце из серии. Образцы-призмы $100 \times 100 \times 400$ мм испытывались на растяжение при изгибе ($f_{ct,fl}$) по четырехточечной схеме нагружения, полученные половинки испытывались на раскалывание ($f_{ct,sp}$) (рис. 1). Прочность при сжатии (f_c) определялась по образцам-кубам.

Для проведения исследования использовались следующие виды материалов: портландцемент

500Д20 ОАО «Красносельскстройматериалы»; песок строительный I кл.; щебень гранитный III гр.; сульфатно-алюминатная добавка РСАМ; микрокремнезем конденсированный уплотненный (МКУ-85); химическая добавка Реламикс ПК; наномодифицированная химическая добавка АРТ-Конкрет Р (водная суспензия наноструктурированного углерода (0,01–20 мкм) и пластификатора); наномодифицированная химическая добавка «РуФикс-500Б».

Образцы изготавливались из бетонных смесей, состав которых представлен в табл. 1, с добавлением различного типа и количества дисперсных волокон: Ф1 – фибра стальная волновая из листа (80 кг); Ф2 – фибра стальная проволоочная анкерная (80 кг); Ф3 – фибра полимерная волнистая (4 кг); Ф4 – фибра базальтовая (2 кг), микрофибра стальная пря-

Таблица 1
Table 1

Рецептуры исследуемых составов
The formulations of the studied compositions

Состав	Цемент	РСАМ/ МКУ-85	Щебень, фракция 5–20 мм	Щебень, фракция 5–10 мм	Песок	Химическая добавка АРТ-Конкрет Р (% от массы цемента)	Химическая добавка «РуФикс-500Б» (% от массы цемента)	Фибра
А	400	–	1020	–	820	3,2 (0,8)	–	Ф1, Ф2, Ф3
Б	445	–	1035	–	820	2,22 (0,5)	–	Ф1, Ф2, Ф3
В	460	–	–	880	950	3,22 (0,7)	–	Ф1, Ф2, Ф3
Г	485	40/45	–	825	800	4,65 (0,7)	–	Ф1, Ф2, Ф3
Д	400	–	1020	–	800	–	1,7 (0,4)	Ф0, Ф4, Ф8
Ж	445	–	1035	–	820	–	4 (0,9)	Ф0, Ф4, Ф8
И	485	55/0	830	–	835	–	4,32 (0,8)	Ф0, Ф4, Ф8
К	485	40/45	–	825	800	–	5,82 (1)	Ф0, Ф4, Ф8

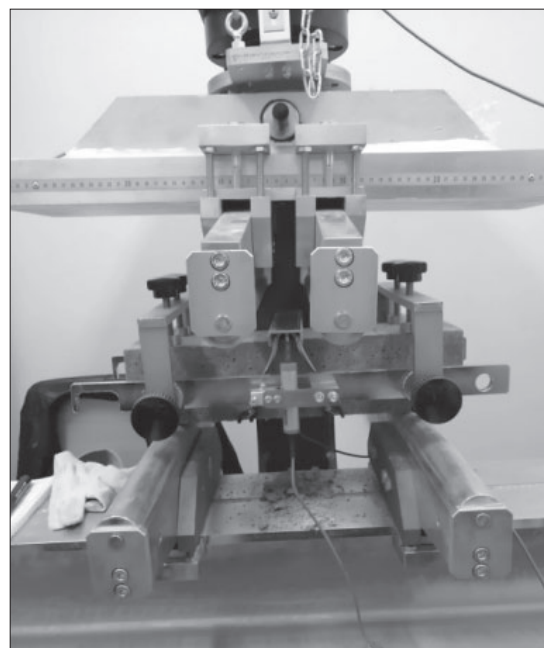
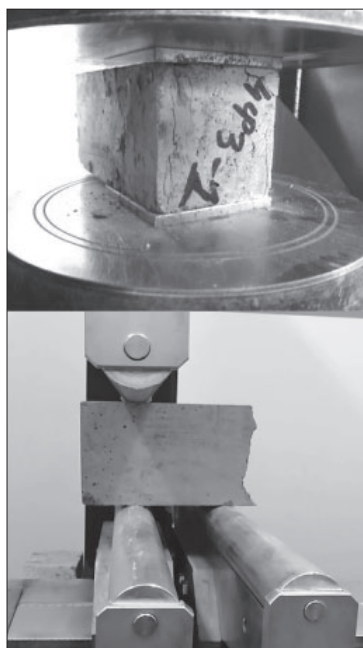
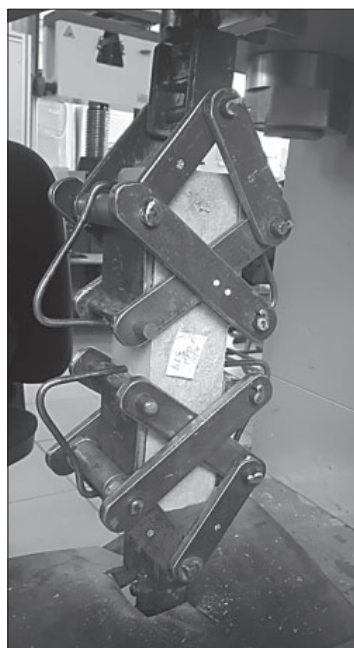


Рис. 1. Испытания образцов-призм
Fig. 1. Testing of specimens-prisms

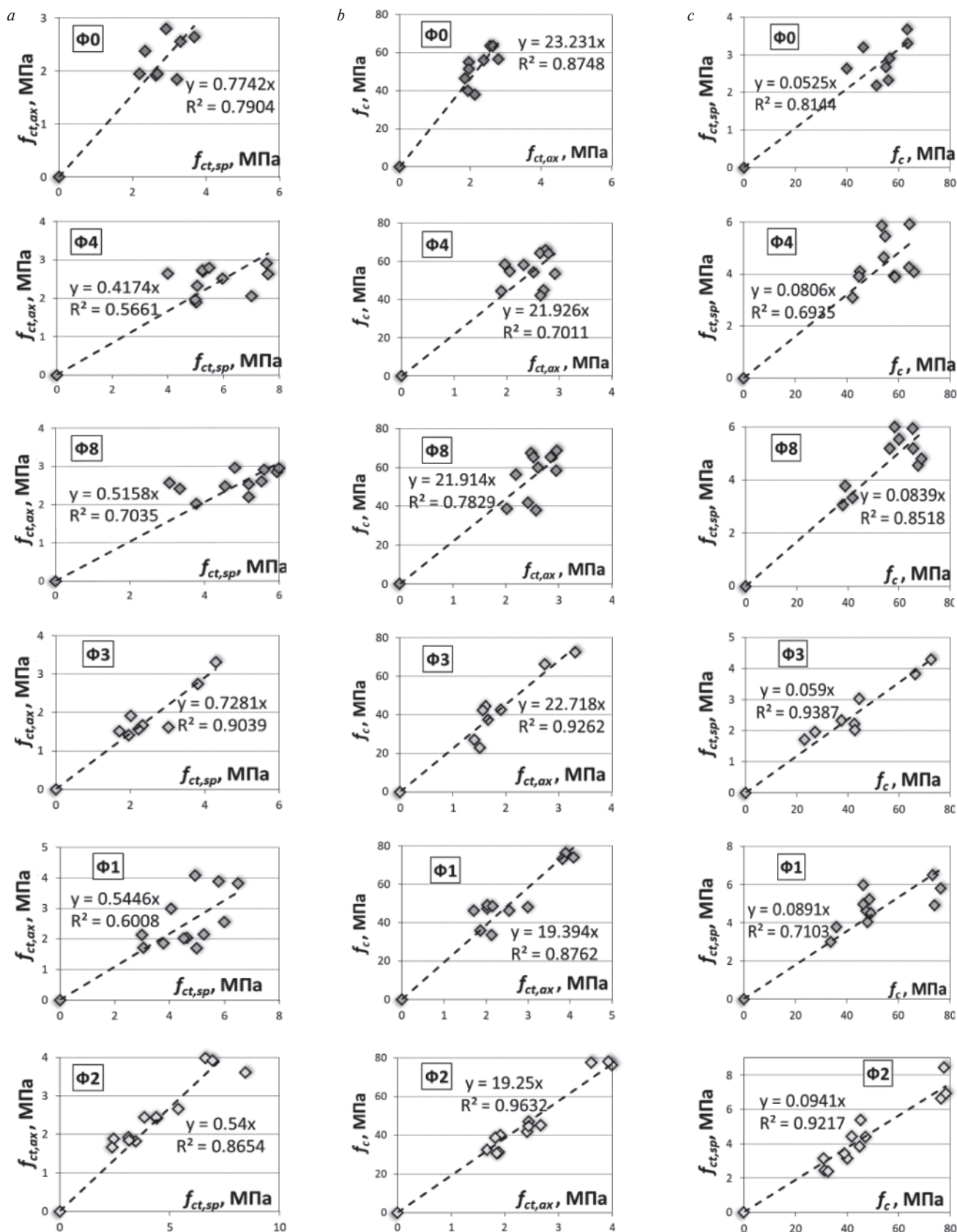


Рис. 2. Расчет коэффициентов перехода по результатам испытаний образцов-призм $70 \times 70 \times 280$ мм: а – от прочности при растяжении при раскалывании к прочности при осевом растяжении; б – от прочности при осевом растяжении к прочности при сжатии; в – от прочности при сжатии к прочности при растяжении при раскалывании

Fig. 2. Calculation of the transition coefficients based on the test results of specimens-prisms $70 \times 70 \times 280$ mm: а – from tensile strength during splitting to axial tensile strength; б – from axial tensile strength to compressive strength; в – from compressive strength to tensile strength when splitting

мая (20 кг), фибра стальная анкерная (20 кг); Ф8 – фибра полипропиленовая (1 кг), микрофибра стальная анкерная (20), фибра стальная анкерная (20).

Так как испытания проводились на образцах небазовых размеров, использовались масштабные коэффициенты по табл. 4 в ГОСТ 10180 для приведения к прочности бетона в образцах базовых размера и формы.

Результаты испытаний

Для определения коэффициента перехода на график наносились результаты испытаний на соответствующий вид напряженного состояния для каждого типа образца с последующим построением линии тренда и рассчитывалась ее достоверность аппроксимации (рис. 2, 3).

Рассчитанные коэффициенты перехода сведены в общую таблицу по аналогии с таблицей в

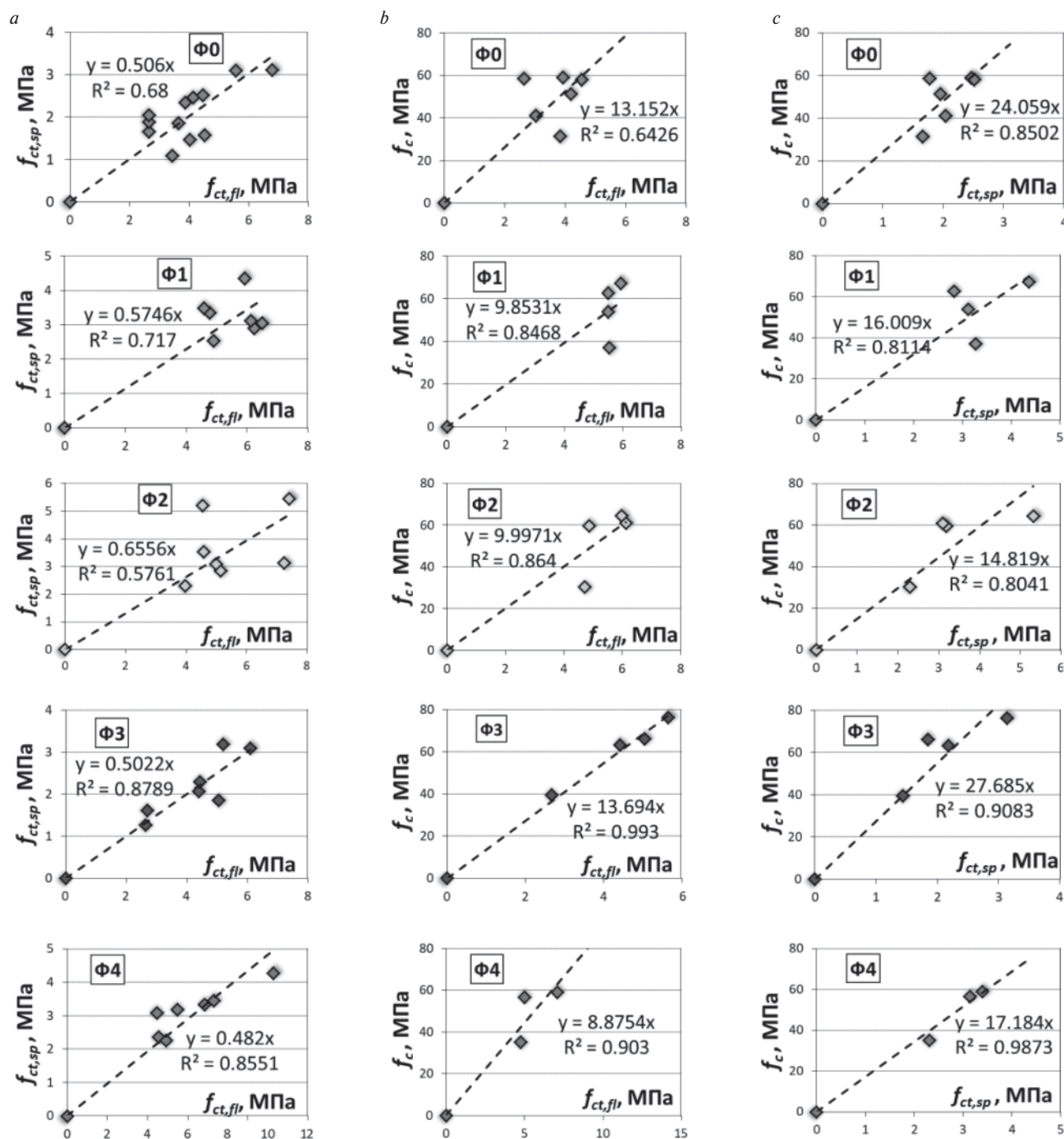


Рис. 3. Расчет коэффициентов перехода по результатам испытаний образцов-призм 100×100×400 мм: а – от прочности при растяжении при изгибе к прочности при растяжении при раскалывании; б – от прочности при растяжении при изгибе к прочности при сжатии; с – от прочности при растяжении при раскалывании к прочности при сжатии

Fig. 3. Calculation of the transition coefficients based on the test results of specimens-prisms 100×100×400 mm: а – from tensile strength in bending to tensile strength in splitting; б – from tensile strength in bending to compressive strength; с – from tensile strength in splitting to compressive strength

Таблица 2
Table 2

Коэффициенты перехода от прочности при одном виде напряженного состояния к другому при испытании образцов-балочек 70×70×280 мм
Transition coefficients from strength under one type of stress state to another when testing specimens-beams 70×70×280 mm

Вид напряженного состояния		Коэффициент перехода											
		Сжатие (f_c)				Растяжение осевое ($f_{ct,ax}$)				Растяжение при раскалывании ($f_{ct,sp}$)			
Д, Ж, И, К		ГОСТ	Ф0	Ф4	Ф8	ГОСТ	Ф0	Ф4	Ф8	ГОСТ	Ф0	Ф4	Ф8
Сжатие	k	1				0,07	0,04	0,04	0,04	0,08	0,05	0,08	0,08
	R^2	1				–	0,87	0,75	0,73	–	0,81	0,69	0,85
Растяжение осевое	k	14,28	23,23	21,92	21,91	1				1,2	1,25	1,78	1,88
	R^2	–	0,87	0,7	0,78	1				–	0,79	0,63	0,77
Растяжение при раскалывании	k	12,5	18,5	11,96	11,22	0,83	0,77	0,42	0,52	1			
	R^2	–	0,8	0,65	0,49	–	0,79	0,57	0,7	1			
А, Б, В, Г		ГОСТ	Ф1	Ф2	Ф3	ГОСТ	Ф1	Ф2	Ф3	ГОСТ	Ф1	Ф2	Ф3
Сжатие	k	1				0,07	0,05	0,05	0,04	0,08	0,09	0,09	0,06
	R^2	1				–	0,89	0,96	0,92	–	0,71	0,92	0,94
Растяжение осевое	k	14,28	19,19	19,25	22,72	1				1,2	1,71	1,81	1,34
	R^2	–	0,87	0,96	0,93	1				–	0,45	0,89	0,9
Растяжение при раскалывании	k	12,5	10,73	10,46	16,7	0,83	0,54	0,54	0,73	1			
	R^2	–	0,76	0,91	0,94	–	0,6	0,86	0,9	1			

Таблица 3
Table 3

Коэффициенты перехода от прочности при одном виде напряженного состояния к другому при испытании образцов-призм 100×100×400 мм
Transition coefficients from strength under one type of stress state to another when testing specimens-prisms 100×100×400 mm

Вид напряженного состояния		Коэффициент перехода																	
		Сжатие (f_c)						Растяжение при изгибе ($f_{ct,l}$)						Растяжение при раскалывании ($f_{ct,sp}$)					
А, Б, В, Г, Д, Ж, И		ГОСТ	Ф0	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	ГОСТ	Ф0	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	ГОСТ	Ф0	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4
Сжатие	k	1						0,12	0,07	0,098	0,096	0,073	0,10	0,08	0,04	0,06	0,064	0,036	0,058
	R^2							–	0,62	0,82	0,84	0,99	0,9	–	0,84	0,80	0,82	0,92	0,99
Растяжение при изгибе	k	8,33	13,15	9,85	10	13,7	8,88	1						0,67	0,5	0,57	0,65	0,5	0,48
	R^2	–	0,64	0,85	0,86	0,99	0,9							–	0,68	0,72	0,58	0,88	0,86
Растяжение при раскалывании	k	12,5	24,01	16	14,82	27,7	17,18	1,5	2,35	1,66	1,4	1,94	2,02	1					
	R^2	–	0,85	0,81	0,8	0,9	0,98	–	0,62	0,7	0,5	0,87	0,88						

ГОСТ 10180. Для сравнения приведены также и нормативные коэффициенты, однако стоит учесть, что нормативные коэффициенты перехода справедливы для тяжелых бетонов классов прочности при сжатии от В15 до В40, поэтому в таблице они несут справочный характер (табл. 2, 3).

Согласно полученным результатам установлено, что у образцов с одним типом фибрового армирования достоверность аппроксимации прямой линии

тренда выше, чем в образцах с комплексным армированием и образцах без фибры.

Коэффициенты перехода от сжатия к осевому растяжению в исследуемых составах с комплексным дисперсным армированием (Ф4, Ф8), с полимерной фиброй (Ф3) и без фибрового армирования (Ф0) одинаковы (0,04); в составах со стальной листовой (Ф1) и проволочной (Ф2) больше на 25% (0,05). При обратном переходе от прочности на осевое растяжение

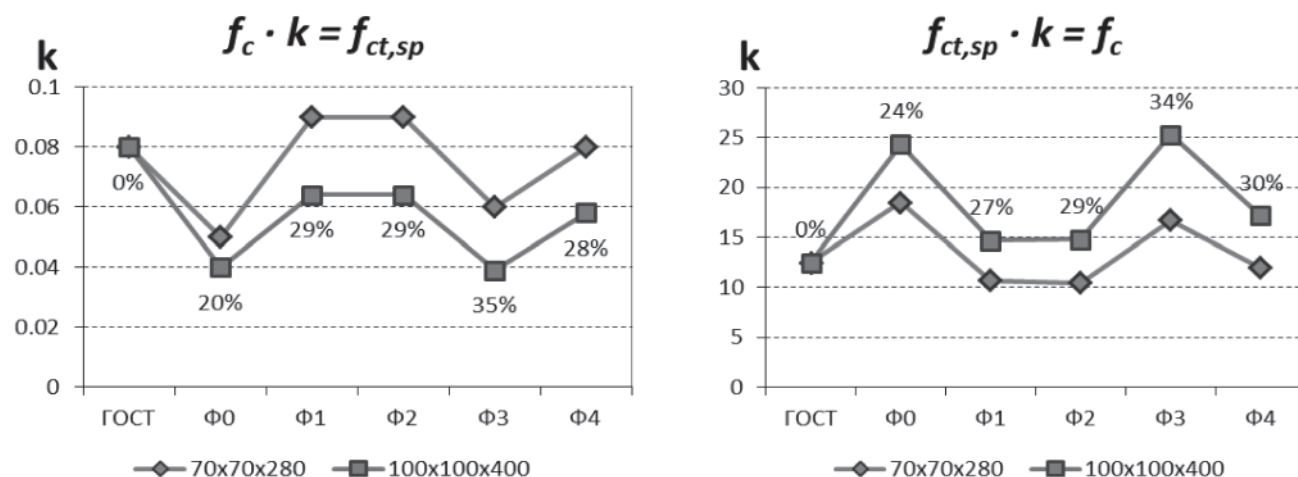


Рис. 4. Сравнение коэффициентов перехода для разных образцов-призм
Fig. 4. Comparison of transition coefficients for different prism samples

к прочности при сжатии наблюдается такая же тенденция: для Ф0, Ф4, Ф8 и Ф3 $k=22-23$; для Ф1 и Ф2 $k \approx 19$.

Коэффициенты перехода от сжатия к растяжению при раскалывании наблюдается группирование составов с одинаковым коэффициентом перехода: при армировании высокомодульными волокнами (Ф1, Ф2) $k=0,09$, при комплексном армировании (Ф4, Ф8) $k=0,08$, при армировании полимерными волокнами (Ф3) $k=0,06$, что наиболее близко к неармированному составу (Ф0) с $k=0,05$. При переходе от растяжения при раскалывании к сжатию коэффициент перехода меняется по такому же принципу.

Коэффициенты перехода от осевого растяжения к растяжению при раскалывании в составах с комплексным армированием (Ф4, Ф8) и с металлическими волокнами (Ф1, Ф2) коэффициент перехода находится в интервале от 1,7 до 1,88. В составе с полимерной фиброй (Ф3) $k=1,3$, что наиболее близко к коэффициенту ($k=1,25$) для состава без армирования (Ф0).

Анализируя полученные результаты можно заключить, что наибольшая достоверность аппроксимации наблюдается в составах с полимерной фиброй (Ф3) и комплексным фибровым армированием (Ф4). Немного меньше, но также достаточно высокое значение достоверности аппроксимации в составах со стальным фибровым армированием: листовая волнистая (Ф1) и проволоочная анкерная (Ф2). В составах без фибрового армирования (Ф0) достоверность аппроксимации линии тренда имеет более низкий и нестабильный характер.

Коэффициенты перехода от сжатия к растяжению при изгибе в исследуемых составах получились меньше, чем предложено в ГОСТ (0,12); так, наиболее близкое значение ($\approx 0,10$) получено в составах, содержащих высокомодульные фибровые волокна Ф1, Ф2, Ф4; для составов без фибрового армирования (Ф0) и с полимерными волокнами (Ф4) коэффи-

циент перехода ($\approx 0,7$) на 40% меньше предложенного в ГОСТе. При обратном переходе от растяжения при изгибе к сжатию коэффициенты перехода для составов без фибры и с полимерной фиброй (Ф0 и Ф3), а также для составов с металлической фиброй (Ф1 и Ф2) оказались одинаковыми (≈ 13 и ≈ 10 соответственно). Для состава с комплексным армированием (Ф4) коэффициент перехода наименьший (8,88) и совпадает с предложенным в ГОСТе (8,33).

Коэффициенты перехода от сжатия к растяжению при раскалывании для составов без фибры (Ф0) и с полимерной фиброй (Ф3) оказались одинаковыми ($\approx 0,04$). В составах с высокомодульными волокнами (Ф1, Ф2, Ф4) коэффициент перехода также совпал ($\approx 0,06$). При обратном переходе от растяжения при раскалывании к сжатию наблюдается похожая тенденция.

Коэффициенты перехода от растяжения при изгибе к растяжению при раскалывании оказались наименее чувствительны к наличию дисперсного армирования и находятся в пределах приблизительно от 0,5 до 0,6, что близко к значению в нормативе (0,67). При обратном переходе от растяжения при раскалывании к растяжению при изгибе для составов Ф0, Ф3 и Ф4 значение коэффициента перехода ≈ 2 и выше, а для составов Ф1 и Ф2 составил $\approx 1,5$. Возможно, оказало влияние количество высокомодульных волокон в составе.

Следующая задача состояла в том, чтобы оценить разницу между переходными коэффициентами при испытании разных образцов: призмы $70 \times 70 \times 280$ и $100 \times 100 \times 400$ мм. Для этого сравнили полученные коэффициенты перехода от сжатия к растяжению при раскалывании и наоборот (рис. 4).

Анализируя сравнительные графики на рис. 4, можно сделать вывод, что размеры образца влияют на коэффициенты перехода от прочности при одном

виде напряженного состояния к другому. Разница между коэффициентами перехода между прочностью при сжатии и прочностью при растяжении при раскалывании составляет ориентировочно 30%.

Выводы

1. Дисперсное армирование влияет на коэффициенты перехода от прочности при одном виде напряженного состояния к другому.

Список литературы

1. Жданок С.А., Полонина Е.Н., Леонович С.Н., Хрусталев Б.М., Коледа Е.А. Физико-механические характеристики бетона, модифицированного пластифицирующей добавкой на основе наноструктурированного углерода // *Инженерно-физический журнал*. 2019. Т. 92. № 1. С. 14–20.
2. Садовская Е.А., Полонина Е.Н., Леонович С.Н. Многоуровневая структура бетона: анализ и классификация уровней организации структуры конгломератных строительных композитов. *Проблемы современного строительства: Материалы Международной научно-технической конференции*, Минск, 28 мая 2019 г. Минск: БНТУ, 2019. С. 285–297.
3. Полонина Е.Н., Леонович С.Н., Коледа Е.А. Физико-механические характеристики нанобетона // *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. 2018. № 4 (37). С. 100–111.
4. Садовская Е.А., Полонина Е.Н., Леонович С.Н., Жданок С.А., Потапов В.В. Критический коэффициент интенсивности напряжений при поперечном сдвиге для нанофибробетона // *Строительные материалы*. 2021. № 9. С. 41–46. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-41-46>
5. Жданок С.А., Полонина Е.Н., Садовская Е.А., Леонович С.Н. Вязкость разрушения цементных материалов, модифицированных углеродными нанотрубками // *Вестник БрГТУ*. 2021. С. 48–53.
6. Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Суханов А.В. Исследование механики работы мелкозернистого шлакобетона при осевом растяжении и сжатии // *Строительные материалы*. 2014. № 12. С. 59–63.
7. Садовская Е.А., Леонович С.Н., Будревич Н.А. Многопараметричная методика оценки показателей качества нанофибробетона для строительной площадки // *Бетон и железобетон*. 2021. № 4 (606). С. 20–28.
8. Садовская Е.А., Леонович С.Н., Жданок С.А., Полонина Е.Н. Прочность нанофибробетона на растяжение // *Инженерно-физический журнал*. 2020. Т. 93. № 4. С. 1051–1055

2. Высокомодульные волокна оказывают большее влияние на изменение коэффициентов перехода, чем низкокомодульные.

3. Количество фибры влияет на изменение коэффициентов перехода.

4. Коэффициенты перехода, полученные при испытании образцов с сечением 70×70 и 100×100 мм, с приведением к базовому (номинальному) размеру отличаются приблизительно на 30%.

References

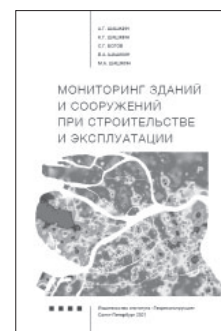
1. Zhdanok S.A., Zhdanok S.A., Polonina E.N., Leonovich S.N., Khrustalev B.M., Koleda E.A. Physical and mechanical characteristics of concrete modified with a plasticizing additive based on nanostructured carbon. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal*. 2019. Vol. 92. No. 1, pp. 14–20. (In Russian).
2. Sadovskaya E.A., Polonina E.N., Leonovich S.N. Multilevel structure of concrete: analysis and classification of levels of organization of the structure of conglomerate building composites. *Problems of modern construction: materials of the International Scientific and Technical Conference*. Minsk, May 28, 2019, pp. 285–297. (In Russian)
3. Polonina E.N., Leonovich S.N., Koleda E.A. Physical and mechanical characteristics of nanoconcrete. *Vestnik Inzhenernoy shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta*. 2018. No. 4 (37). pp. 100–111. (In Russian)
4. Sadovskaya E.A., Polonina E.N., Leonovich S.N., Zhdanok S.A., Potapov V.V. Critical stress intensity coefficient at transverse shear for nanofibrobeton. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 9, pp. 41–46. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-41-46>
5. Zhdanok S.A., Polonina E.N., Sadovskaya E.A., Leonovich S.N. Fraction viscosity of cement materials modified with carbon nanotubes. *Vestnik BrGTU*. 2021, pp. 48–53. (In Russian).
6. Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sukhanov A.V. Investigation of the mechanics of the operation of finegrained cinderblock in axial tension and compression]. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 12, pp. 59–63. (In Russian).
7. Shalyi E.E., Leonovich S.N., Budrevich N.A. Influence of operational loads on the degradation of reinforced concrete of offshore structures. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 4 (606), pp. 4–13. (In Russian).
8. Sadovskaya E.A., Leonovich S.N., Zhdanok S.A., Polonina E.N. Tensile strength of nanofibre-reinforced concrete. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal*. 2020. Vol. 93. No. 4, pp. 1051–1055. (In Russian).

9. Полонина Е.Н., Леонович С.Н., Коледа Е.А., Будревич Н.А. Бетон с добавкой наноструктурированного углерода: физико-механические характеристики. В сборнике: *Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации: Сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета*. 2018. С. 173–178.
10. Бондарев Б.А., Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Стурова В.А. Исследование прочностных свойств сталефиброшлакобетона при осевом растяжении и сжатии с учетом его возраста // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 20–24.
11. Баранова А.А., Гасс Ю. А., Лоншаков И. В. Определение масштабных и поправочных коэффициентов для образцов мелкозернистого бетона // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2019. № 3 (30). С. 502–509.
12. Adams D.F. Current status of compression testing of composite materials. *Proceedings of the 40th International SAMPE Symposium*. Anaheim. Calif. 1995.
9. Polonina E.N., Leonovich S.N., Koleda E.A., Budrevich N.A. Concrete with the addition of nanostructured carbon: physical and mechanical characteristics. In the collection: *Architectural and building complex: problems, prospects, innovations. Collection of articles of the international scientific conference dedicated to the 50th anniversary of the Polotsk State University*. 2018, pp. 173–178. (In Russian).
10. Bondarev B.A., Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sturova V.A. Research in strength properties of steel-fiber-slag concrete in the course of axial tension and compression with due regard for its age. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 20–24. (In Russian).
11. Baranova A.A., Gass Yu.A., Lonshakov I.V. Determination of scale and correction factors for samples of fine-grained concrete. *Izvestiya vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2019. No. 3 (30), pp. 502–509. (In Russian).
12. Adams D.F. Current status of compression testing of composite materials. *Proceedings of the 40th International SAMPE Symposium*. Anaheim. Calif. 1995.

МОНИТОРИНГ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Авторы: А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин, С.Г. Богов, В.А. Шашкин, М.А. Шашкин
(практическое руководство под редакцией д.г.-м.н. Шашкина А.Г.)
Санкт-Петербург: Георекострукция, 2021. 640 с.

В монографии раскрывается содержание мониторинга механической безопасности при новом строительстве, реконструкции и эксплуатации зданий и сооружений. Показывается значение мониторинга не только как средства контроля за сохранностью городской застройки, но и как профилактического средства, позволяющего своевременно обнаружить и диагностировать негативные тенденции и принять адекватные меры по нормализации технического состояния сооружения. Отмечается необходимость построения мониторинга как интерактивного процесса, базирующегося на компьютерной модели взаимодействия сооружения и основания. Это позволяет корректно интерпретировать результаты мониторинга, а также выполнять обратные расчеты для совершенствования исходных расчетных схем и физических моделей материалов и грунтов.



По вопросам приобретения обращайтесь:
E-mail: georeconstruction@gmail.com WWW: geo-bookstore.ru

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

Авторы: Грызлов В.С., Ворожбянов В.Н., Гендлина Ю.Б., Залипаева О.А., Каптюшина А.Г.,
Медведева Н.В., Петровская А.А., Поварова О.А., Чорная Т.Н.
Научный редактор – д-р техн. наук, проф. В.С. Грызлов
Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 276 с.

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



По вопросам приобретения обращайтесь в издательство «Инфра-Инженерия»

Требования к подготовке научно-технической статьи

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

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

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

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

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

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

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

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

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

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

Технические требования к предоставляемым материалам

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

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

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

