



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр



ЦНИИСК
И.А. БАЖЕНКО



НИИЖБ
И.М. А.А. ГВОЗДЕВА



НИИОСП
И.М. А.А. ГВОЗДЕВА

ISSN 2224-9494 (Print)
ISSN 2782-3938 (Online)

№ 2(33) 2022

ВЕСТНИК

НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

с 1927 ГОДА
95
ЛЕТ



НИИЖБ

И.М. А.А. ГВОЗДЕВА

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН – ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр

с 1927 года
95
ЛЕТ

ВЕСТНИК

НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

№ 2(33) 2022

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН – ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Издается с 1932 г. под названием «Исследования по теории сооружений»,
с 2009 г. – ВЕСТНИК ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко «Исследования по теории сооружений»,
с 2010 г. – ВЕСТНИК НИЦ «Строительство»
Выходит четыре раза в год

Вестник НИЦ «Строительство» включен в перечень ВАК с 03.10.2019 г. по научным специальностям:

- 2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения;
- 2.1.2 – Основания и фундаменты, подземные сооружения;
- 2.1.5 – Строительные материалы и изделия.

Учредитель: АО «НИЦ «Строительство»

Адрес редакции: 109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, дом 6
тел.: +7 (495) 602-00-70, доб. 1022/1023
e-mail: vestnikstroy@list.ru

При цитировании ссылка обязательна.
Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции.





**RESEARCH CENTER
OF CONSTRUCTION**
Joint Stock Company



BULLETIN

of Science and Research Center
of Construction

No. 2(33) 2022

CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE: CURRENT ISSUES AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Since 1932, the Journal had been published under the title Studies into the Theory of Constructions;
since 2009 – under the title Bulletin of Kucherenko Scientific and Research Center of Constructions.
Since 2010, the Journal has been published under the title Bulletin of Science and Research Center of Construction
Frequency: Quarterly

Since 2019, Bulletin of Science and Research Center of Construction has been included
into the List of the Higher Attestation Commission in the following branches of science:

- 2.1.1 – Building constructions, buildings and structures;
- 2.1.2 – Foundations, underground structures;
- 2.1.5 – Building materials and products.

Publisher: JSC Research Center of Construction

Address: 6, 2nd Institutskaya st., Moscow, 109428, Russian Federation
Tel. +7 (495) 602-00-70 add. 1022/1023
E-mail: vestnikstroy@list.ru

When citing a reference is required
Reprinting of materials is allowed only with the written permission of the Journal



Главный редактор
ЗВЕЗДОВ Андрей Иванович, д-р техн. наук, профессор

Научный редактор
СМИРНОВА Любовь Николаевна, канд. техн. наук

БАЖЕНОВ Валентин Георгиевич, академик АИН,
д-р физ.-мат. наук, профессор
НИИМ ННГУ им. Лобачевского,
Нижний Новгород, Российская Федерация

VAL Dimitri V., Dr., Professor
School of the Built Environment, Edinburgh, UK

ВОЛКОВ Андрей Анатольевич,
д-р техн. наук, профессор
АО «НИЦ «Строительство»,
Москва, Российская Федерация

ВЕДЯКОВ Иван Иванович, д-р техн. наук, профессор
ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»,
Москва, Российская Федерация

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

ДАВИДЮК Алексей Николаевич, д-р техн. наук
Москва, Российская Федерация

ЕРЕМЕЕВ Павел Георгиевич, д-р техн. наук, профессор
ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»,
Москва, Российская Федерация

КОЛЫБИН Игорь Вячеславович, канд. техн. наук
НИИОСП им. Н.М. Герсманова
АО «НИЦ «Строительство»,
Москва, Российская Федерация

КОНДРАТЬЕВА Лидия Никитовна,
д-р техн. наук, профессор
СПбГАСУ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

КУЗЕВАНОВ Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»,
Москва, Российская Федерация

КУРБАЦКИЙ Евгений Николаевич,
д-р техн. наук, профессор
РУТ МИИТ, Москва, Российская Федерация

LYAMIN Andrei, Dr., Professor
School of Engineering, Callaghan, Australia

МАИЛЯН Дмитрий Рафаэлович,
д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический
университет», Ростов-на-Дону, Российская Федерация

МОНДРУС Владимир Львович,
д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», Москва, Российская Федерация

НЕМЧИНОВ Юрий Иванович,
академик АИН, АСУ, д-р техн. наук, профессор
ГП НИИСК, Киев, Украина

НЕСВЕТАЕВ Григорий Васильевич,
д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВО «Донской государственный
технический университет»,
Ростов-на-Дону, Российская Федерация

ОБОЗОВ Владимир Иванович,
д-р техн. наук, профессор
ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»,
Москва, Российская Федерация

PUZRIN Alexander, Dr., Professor
Institute for Geotechnical Engineering,
Zurich, Switzerland

ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ Константин Пантелеевич,
д-р техн. наук, профессор
ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»,
Москва, Российская Федерация

СТАВНИЦЕР Леонид Рувимович,
д-р техн. наук, профессор
НИИОСП им. Н.М. Герсманова
АО «НИЦ «Строительство»,
Москва, Российская Федерация

ТАМРАЗЯН Ашот Георгиевич,
д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», Москва, Российская Федерация

ТЕР-МАТИРОСЯН Армен Заветович, д-р техн. наук
ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», Москва, Российская Федерация

ТРАВУШ Владимир Ильич, вице-президент РААСН,
д-р техн. наук, профессор
ЗАО «Горпроект», Москва, Российская Федерация

ФАРФЕЛЬ Михаил Иосифович, канд. техн. наук
ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»,
Москва, Российская Федерация

ХАЧИЯН Эдуард Ефремович, академик НАН РА,
д-р техн. наук, профессор
Национальный университет архитектуры
и строительства Армении, Ереван, Республика Армения

ЧЕЛЫШКОВ Павел Дмитриевич, д-р техн. наук, доцент
АО «НИЦ «Строительство»,
Москва, Российская Федерация

Вестник НИЦ «Строительство»
Бетон и железобетон – проблемы и перспективы
Вып. 2(33) / под ред. А.И. Звездова. –
М.: АО «НИЦ «Строительство», 2022. – 222 с.
ISSN 2224-9494 [Print] ISSN 2782-3938 [Online]
DOI журнала: <https://doi.org/10.37538/2224-9494>
DOI выпуска: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33))
В действующем Перечне ВАК от 25.05.2022 г. под номером 505.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации средства массовой
информации ПИ № ФС77-75188 от 22 февраля 2019 г.
Свидетельство о регистрации средства массовой
информации Эл № ФС77-82129 от 18 октября 2021 г.
Содержит статьи, посвященные актуальным
проблемам и перспективам бетона и железобетона,
непосредственно связанные с решением практических
задач. Для научных работников, инженеров-
проектировщиков, преподавателей, аспирантов.

ISSN 2224-9494 [Print]
ISSN 2782-3938 [Online]
© АО «НИЦ «Строительство»,
«Вестник НИЦ «Строительство», 2022

EDITORIAL BOARD

UDC 69; 624; 55; 550.34; 531.01; 531.03

Editor in Chief

ZVEZDOV Andrey I., Dr. Sci. (Engineering), Professor

Scientific Editor

SMIRNOVA Lyubov' N., Cand. Sci. (Engineering)

BAZHENOV Valentin G., Academician of AES, Dr. Sci. (Physical and Mathematical), Professor Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (UNN), Nizhni Novgorod, Russian Federation

VAL Dimitri V., Dr., Professor School of the Built Environment, Edinburgh, UK

VOLKOV Andrey A.,

Dr. Sci. (Engineering), Professor JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

VEDYAKOV Ivan I., Dr. Sci. (Engineering), Professor Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

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

DAVIDYUK Aleksey N., Dr. Sci. (Engineering) Moscow, Russian Federation

YEREMEYEV Pavel G., Dr. Sci. (Engineering), Professor Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

KOLYBIN Igor V., Cand. Sci. (Engineering) Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOBP) named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

KONDRAT'EVA Lidia N., Dr. Sci. (Engineering), Professor Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russian Federation

KUZEVANOV Dmitry V., Cand. Sci. (Engineering) Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, Moscow, Russian Federation

KURBATSKY Evgeny N., Dr. Sci. (Engineering), Professor Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russian Federation

LYAMIN Andrei, Dr., Professor School of Engineering, Callaghan, Australia

MAILYAN Dmitry R., Dr. Sci. (Engineering), Professor Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russian Federation

MONDRUS Vladimir L., Dr. Sci. (Engineering), Professor Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

NEMCHINOV Yuri I., Academician of AES, Dr. Sci. (Engineering), Professor State Enterprise "State Research Institute of Building Constructions", Kyiv, Ukraine

NESVETAIEV Grigoriy V., Dr. Sci. (Engineering), Professor Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russian Federation

OBOZOV Vladimir I., Dr. Sci. (Engineering), Professor Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

PUZRIN Alexander, Dr., Professor Institute for Geotechnical Engineering, Zurich, Switzerland

PYATIKRESTOVSKY Konstantin P., Dr. Sci. (Engineering), Professor Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

STAVNITSER Leonid R., Dr. Sci. (Engineering), Professor Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOBP) named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

TAMRAZYAN Ashot G., Dr. Sci. (Engineering), Professor Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

TER-MARTIROSYAN Armen Z., Dr. Sci. (Engineering)

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

TRAVUSH Vladimir I., vice president RAASN, Dr. Sci. (Engineering), Professor CJSC "Gorproject", Moscow, Russian Federation

FARFEL Mikhail I., Cand. Sci. (Engineering) Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

KHACHIYAN Eduard E., Dr. Sci. (Engineering), Academician of NAN RA, Professor National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, Republic of Armenia

CHELYSHKOV Pavel D., Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

Bulletin of Science and Research Center of Construction Concrete and reinforced concrete: current issues and development prospects.

Issue 2(33) / edited by A.I. Zvezdov. –

M.: JSC Research Center of Construction, 2022. – 222 p.

ISSN 2224-9494 (Print) ISSN 2782-3938 (Online)

DOI journal <https://doi.org/10.37538/2224-9494>

DOI issue [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33))

In the current version of List of HAC from May 25, 2022 our journal has a number 505.

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

Mass media registration certificate PI No. FS77-75188 dated February 22, 2019.

Mass media registration certificate EI No. FS77-82129 dated October 18, 2021.

The journal publishes articles covering theoretical and practical problems of concrete and reinforced concrete structures.

For scientists, engineers, teachers, postgraduate students.

ISSN 2224-9494 (Print)

ISSN 2782-3938 (Online)

© JSC Research Center of Construction, Bulletin of Science and Research Center of Construction, 2022

Содержание

Бетон и железобетон – проблемы и перспективы

Доктору технических наук, профессору Е.А. Чистякову исполнилось 95 лет!..... 9

Адегова Л.А., Бобрышева М.В., Щербинина А.Е.

Оценка влияния укладки слоев композиционного материала на потерю устойчивости цилиндрической оболочки 20

Арленинов П.Д.

Сравнение методов испытаний на ползучесть бетона по российским и зарубежным нормативным документам.
Часть 2. Проведение испытаний и обработка результатов 32

Баранник Н.В., Котов С.В., Потапова Е.С., Малахин С.С.

Определение тепловыделения бетона при его твердении в изотермических условиях 44

Беппаев З.У., Аствацатурова Л.Х., Колодяжный С.А., Вернигора С.А., Лопатинский В.В.

Определение нормируемых характеристик рециклингового щебня из боя силикатного кирпича и перспективы его применения..... 63

Бучкин А.В, Кудяков К.Л., Епихин С.Д., Хлебников С.К.

Исследование прочности штифтового соединения Leimet ABB+ 400 для сборных железобетонных свай 74

Зенин С.А.

Анализ нормативных документов по проблеме установления данных для выполнения вероятностных расчетов железобетонных конструкций 83

Иванов С.И., Невский А.В., Чесноков Д.А.

Особенности определения прочности бетона методом погружения стальных дюбелей 97

Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Аль-Омаис Джалаль, Зайцев А.С., Амиров Р.А.

Технология возведения конструкций каркасов высотных зданий из высокопрочных бетонов классов В60–В100 106

Мозголов М.В., Козлова Е.В.

О применении жесткостей аналитического метода расчета прямых железобетонных кессонных перекрытий 122

Мухамедиев Т.А., Зенин С.А., Жарких А.С.

Оценка надежности метода расчета прочности наклонных сечений
железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения 139

Мухамедиев Т.А., Майоров С.А.

Расчет прочности внецентренно сжатых бетонных элементов с композитной
полимерной арматурой 150

Никитин А.Е.

Мониторинг международных стандартов в области деятельности ИСО/ТК 71
«Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон» 161

Степанова В.Ф., Мухамедиев Т.А., Кудяков К.Л., Бучкин А.В., Юрин Е.Ю.

Экспериментальные исследования прочности сжатых бетонных элементов,
армированных композитной полимерной арматурой 173

Степанова В.Ф., Чехний Г.В., Паршина И.М., Орехов С.А., Круглов А.И.

Исследование морозостойкости/морозосолеустойкости высокопрочного бетона
класса В60–В100 183

Фаликман В.Р., Сиротин П.Н.

Оценка возможности использования щебня по ГОСТ 32703
для производства бетонов общегражданского строительства 194

Наука и философия

Никитин В.И.

Философия техники 213

Contents

Concrete and reinforced concrete: current issues and development prospects

On the 95th anniversary of Dr. Sci. (Engineering), Prof. E.A. Chistyakov..... 9

Adegova L.A., Bobrysheva M.V., Shcherbinina A.E.

Effects of composite material layering on the buckling mode of a cylindrical shell 20

Arleninov P.D.

Comparison of concrete creep test methods as per Russian and foreign normative documents. Part 2. Testing and processing of results..... 32

Barannik N.V., Kotov S.V., Potapova E.S., Malakhin S.S.

Determination of the concrete heat emission during its hardening in isothermal conditions 44

Beppaev Z.U., Astvatsaturova L.H., Kolodyazhny S.A., Vernigora S.A., Lopatinsky V.V.

Determination of standard characteristics of recycled crushed aggregate from crushed sand-lime brick and prospects of its application..... 63

Buchkin A.V., Kudryakov K.L., Epikhin S.D., Khlebnikov S.K.

Strength study of Leimet ABB+ 400 pile joints for precast reinforced concrete piles 74

Zenin S.A.

Analysis of regulatory documents regarding data collection for probability calculations of reinforced concrete structures..... 83

Ivanov S.I., Nevskii A.V., Chesnokov D.A.

Specific features of determining concrete strength by stud driving method 97

Kaprielov S.S., Sheynfeld A.V., Al-Omais Dzh., Zaitsev A.S., Amirov R.A.

A technology of erecting high-rise building frame structures using B60–B100 classes high-strength concretes 106

Mozgolov M.V., Kozlova E.V.

Use of analytical method for calculating stiffnesses of straight waffle slabs..... 122

Mukhamediev T.A., Zenin S.A., Zharkikh A.S.

The reliability assessment of the method for calculating the strength of oblique sections in reinforced concrete elements with various cross-sectional shape 139

Mukhamediev T.A., Maiorov S.A.	
Strength calculation of eccentrically compressed concrete elements with a composite polymer reinforcement.....	150
Nikitin A.E.	
Monitoring of international standards in the scope of ISO/TC 71 “Concrete, reinforced concrete, pre-stressed concrete”	161
Stepanova V.F., Mukhamediev T.A., Kudyakov K.L., Buchkin A.V., Yurin E.Yu.	
Experimental studies into the strength of compressed concrete elements reinforced with fiber-reinforced polymer rebars.....	173
Stepanova V.F., Chehniy G.V., Parshina I.M., Orekhov S.A., Kruglov A.I.	
Study into the freeze-thaw/frost-salt resistance of high-strength B60–B100 concrete.....	183
Falikman V.R., Sirotin P.N.	
Prospects of using crushed stone in accordance with GOST 32703 to produce concrete for general civil construction	194
Science and Philosophy	
Nikitin V.I.	
Philosophy of Technology	213

Доктору технических наук, профессору Е.А. Чистякову исполнилось 95 лет! On the 95th anniversary of Dr. Sci. (Engineering), Prof. E.A. Chistyakov!

Известным ученым А. А. Гвоздевым, имя которого носит институт НИИЖБ, в 1944 г. были сформулированы основные принципы, которыми он руководствовался в своей научной работе:

1. Выбирать в области своей специальности наиболее значительные, но вместе с тем и разрешимые задачи.

2. Как можно полнее изучить и осмыслить их, проверив на опыте приемлемость принятых решений.

3. Выявить практическую пользу, вытекающую из добытых знаний.

4. Довести практические результаты до практического применения.

Евгений Александрович Чистяков, 95-летний юбилей которого отпразднован в этом году, является тем ученым, который в полной мере проникся этими принципами и которому в полной мере удалось их реализовать в своей научной деятельности. И не только реализовать, но в определенной мере и преодолеть их, т. к. представляется, что для него не существует неразрешимых задач и проблем. Весь его творческий путь представляет собой череду новых задач и проблем, ряд которых специалистам казались неразрешимыми, но он успешно их решал и решает в настоящее время. Многие результаты его работ увенчиваются практическим применением в самых различных нормативных документах (инструкции, пособия, своды правил и т. д.). Об основных научных задачах и проблемах, которыми занимался и продолжает заниматься юбиляр, рассказывается в сжатом виде ниже по тексту биографического очерка.



Доктор технических наук, профессор Е.А. Чистяков

18 марта 2022 года доктор технических наук, профессор Евгений Александрович Чистяков торжественно отметил 95-летие со дня рождения. Юбилера в этот знаменательный день поздравили коллеги, друзья и, конечно, любимая семья. Евгений Александрович, ровесник АО «НИЦ «Строительство», 57 лет трудился в лаборатории теории железобетона



Е.А. Чистяков (третий справа) с аспирантами лаборатории железобетонных конструкций ЦНИПС, 1954 г.

и конструктивных систем № 1 НИИЖБ им. А. А. Гвоздева. Ученый внес существенный вклад в формирование института как головной организации в области изучения свойств бетона и железобетона. Он и сейчас, находясь на заслуженном отдыхе, не теряет с коллективом исследователей творческую связь, продолжая активно трудиться над дальнейшим развитием существующих норм проектирования бетонных и железобетонных конструкций, решая текущие вопросы, касающиеся теории железобетона.

Е. А. Чистяков родился в 1927 году в деревне Брыково Тургиновского района Калининской области. Его отец, Александр Петрович Чистяков, работал экономистом, а мама, Надежда Ивановна Чистякова, – юристом. Евгений Чистяков в 1943 году, после окончания восьмого класса, поступил в Московский авиамоторостроительный техникум. После его окончания продолжил обучение в Московском строительном институте им. Моссовета. Получив в 1952 году квалификацию «инженер-архитектор», несколько месяцев работал в Моспроекте в должности инженера-проектировщика, а в конце 1952 года поступил в аспирантуру ЦНИПС.

Окончив аспирантуру (1955 г.), чтобы продолжить трудиться над диссертацией, работал сварщиком, потом младшим (с 1957 г.), а затем и старшим научным сотрудником лаборатории теории железобетона и новых видов арматуры НИИЖБ.

Он, являясь учеником профессора А. А. Гвоздева, под его руководством защитил в 1960 году кандидатскую диссертацию «Исследование несущей способности гибких железобетонных колонн, работающих по первому случаю внецентренного сжатия», в 1968 году – докторскую диссертацию «Основы теории, методы расчета и экспериментальные исследования несущей способности сжатых железобетонных элементов при статическом нагружении».



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

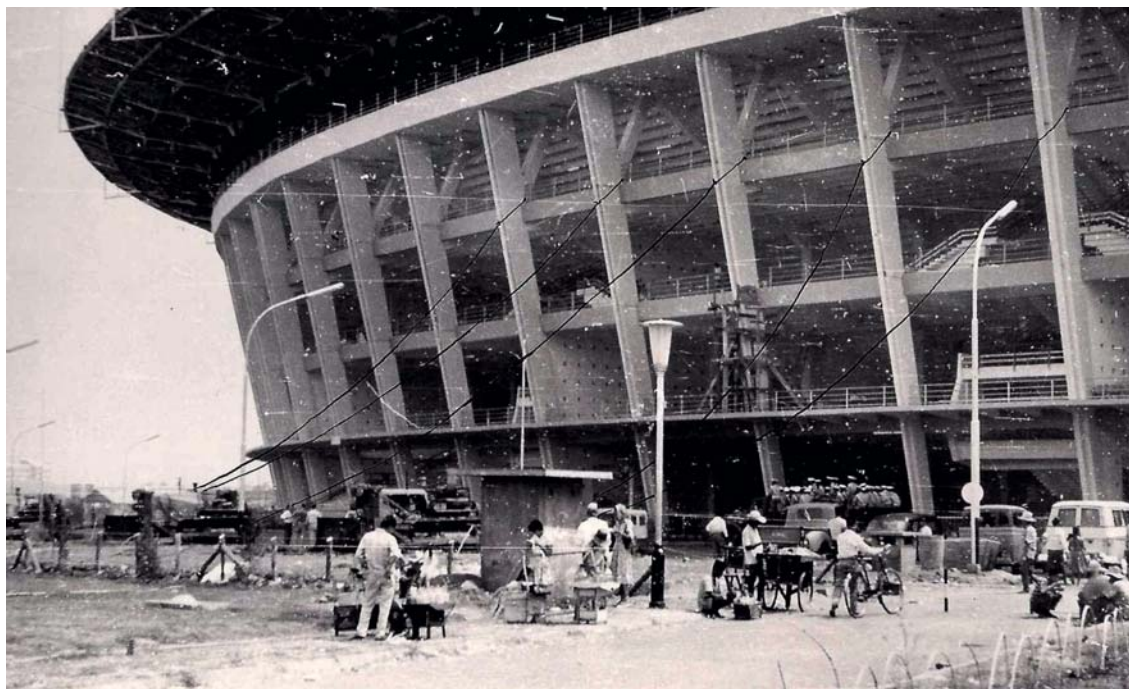
Признанный в научном сообществе ученый Евгений Александрович Чистяков на протяжении многих лет является ведущим специалистом в области теории железобетона и конструкций. Он разработал методы расчета железобетонных элементов, эксплуатируемых при сложных режимах нагружения с различными вариантами армирования,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

Евгений Александрович участвовал в разработке метода предельного равновесия и его применения для статически неопределимых линейных и плоскостных железобетонных конструкций, что позволило на практике в строительстве учитывать перераспределение усилий в статически неопределимых железобетонных конструкциях.

Им предложен общий случай расчета по прочности нормальных сечений железобетонных элементов, который позволяет производить расчет изгибаемых, внецентренно сжатых и растянутых элементов для любых форм поперечного сечения, любых внешних усилий и любом армировании. Этот метод был включен в СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции», получив широкое применение при проектировании железобетонных конструкций.

Ученый Е. И. Чистяков принимал активное участие в реализации важнейших научных тем института за рубежом. Так, в 1961 году он совместно с известным ученым доктором технических наук, профессором В. А. Клевцовым проводил испытания железобетонных несущих конструкций строящегося стадиона в Джакарте (Индонезия).

Для Е. А. Чистякова важным направлением в укреплении авторитета отечественной науки представляется работа в международных организациях по бетону и железобетону (РИЛЕМ, ЕКБ, СЭВ и др.). Он принимает активное участие в деятельности постоянного комитета



Испытание специалистами НИИЖБ конструкций стадиона в Джакарте, 1961 г.



Профессор Е. А. Чистяков на совещании постоянного комитета РИЛЕМ, Буэнос-Айрес, Аргентина, 1971 г.

РИЛЕМ в Аргентине (Буэнос-Айрес, 1971 г.), совещаниях ЕКБ в Германии (Кельн, 1975), Испании (Гранада, 1979 г.), Югославии (Белград, 1988 г.), Великобритании (Лондон), совещаниях СЭВ в Польше (Варшава, 1977 г.) и других странах.

Евгений Александрович, как ведущий специалист в своей области, выступал с лекциями по тематике советских норм проектирования железобетонных конструкций в Алжире (Рабат, 1970 г.), Кубе (Гавана, 1971 г.).

Е. А. Чистяков принимал деятельное участие в координационных совещаниях по проблемам проектирования бетонных и железобетонных конструкций, проводимых в различных городах: Москве, Вильнюсе, Алма-Ате, Ровно, Новополоцке и других.

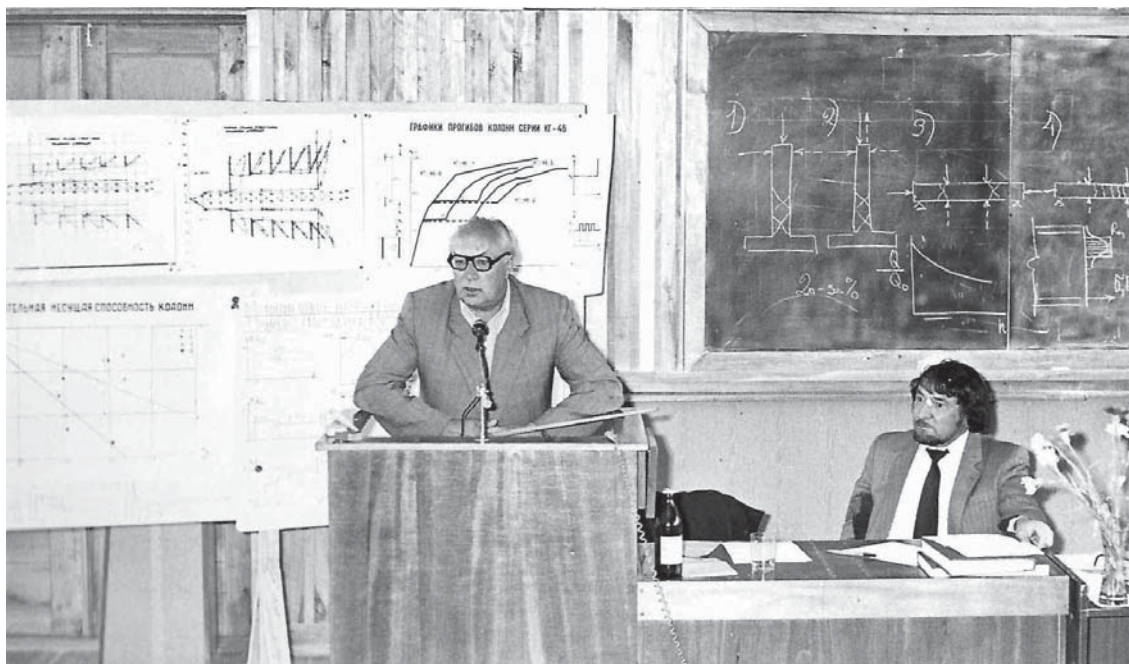
Евгений Александрович – один из главных разработчиков основных нормативных документов по проектированию бетонных и железобетонных конструкций – СНиП 2.03.01-84* «Бетонные и железобетонные конструкции»,



Ученый Е.А. Чистяков (первый слева) на рабочем совещании комиссии СЭВ по нормам проектирования в Варшаве, 1977 г.



Е.А. Чистяков (первый справа) с участниками совещания ЕКБ в Белграде (Югославия), 1988 г.



Профессор Е.А. Чистяков выступает с докладом на координационном совещании в Ростове, 1984 г.



Работа координационного совещания с участием профессора Е.А. Чистякова в Вильнюсе, 1985 г.



Е. А. Чистяков (первый слева) в кругу участников совещания в Алма-Ате, 1986 г.



Коллектив участников координационного совещания (Е. А. Чистяков в первом ряду третий справа) в Новополюцке, 1991 г.

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», СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003» и ряда пособий к ним.

Евгений Александрович вспоминает, что исследователям в сложный период 1990-х гг. пришлось отказаться от испытаний натуральных железобетонных элементов в лабораторных условиях, сосредоточив усилия на теоретических разработках по совершенствованию методов расчета и конструирования различных конструкций и сооружений, а также на составлении нормативных документов.

Тогда в институте разворачивалась работа по подготовке сводов правил СНиП 52-01-2003, СП 52-101-2003, СП 52-102-2004, в которой профессор Чистяков и доктор технических наук, профессор Александр Сергеевич 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 15 лет. В поисках наилучшего решения А. С. Залесов и Е. А. Чистяков разработали проекты:

– расширенного СНиП, включающего все виды бетонов и арматуры, типы железобетонных конструкций, нагрузки и воздействия;



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

- сокращенного СНиП, включающего основные положения по расчету, конструированию и эксплуатации, распространяющегося на все железобетонные конструкции;
- СП для обычных бетонных и железобетонных конструкций;
- СП для предварительно напряженных железобетонных конструкций.

Учеными были успешно подготовлены указанные Своды правил, которые стали новыми нормативными документами по проектированию бетонных и железобетонных конструкций. В них осуществлен переход на так называемую деформационную модель расчета нормальных сечений, комплексно учитывающую упругопластические свойства железобетонных элементов вплоть до наступления предельного состояния. 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 впоследствии были включены в более поздний и действующий в настоящее время нормативный документ по проектированию – СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения», который представляет собой объединенный и 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, подвергающимся длительным, многократно повторяющимся и сейсмическим воздействиям.

Евгений Александрович вносит значительный вклад в совершенствование методов расчета и конструирования элементов, образующих конструктивную систему монолитных зданий (перекрытий, стен, колонн), разработал оптимальные методы расчета монолитных многоэтажных зданий на стадии их возведения с учетом технологических факторов. Он 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, контактных соединений сборных и монолитных элементов с учетом их нелинейных свойств. Кроме того, ученый разработал метод моделирования и расчета сборных конструктивных систем с учетом податливости стыковых сопряжений.

Колоссальный опыт и навыки Е. А. Чистякова в области теории железобетона помогают коллективу института выполнять научно-исследовательские работы высокого уровня, повышая авторитет и профессиональный уровень АО «НИЦ «Строительство» на строительном рынке. Так, начиная с 2015 года Евгений Александрович постоянно участвует в выполнении научно-исследовательских работ, разработке нормативных документов (Сводов правил и методических пособий) по линии ФАУ «ФЦС».

При деятельном участии доктора технических наук Е. А. Чистякова за последнее время были разработаны важные 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».

Е. А. Чистяков научную работу успешно сочетает с педагогической деятельностью. Под его научным руководством соискателями подготовлено и успешно защищено девять кандидатских диссертаций. Он оказывает консультативную помощь молодым сотрудникам лаборатории теории железобетона и конструктивных систем № 1 НИИЖБ им. А. А. Гвоздева. Профессор Чистяков – автор более 200 научных трудов и публикаций, продолжает научно-исследовательскую деятельность, пишет новые статьи. Он многие годы являлся ученым секретарем специализированного кандидатского совета К 033.03.01 НИИЖБ Госстроя СССР.

По достоинству отмечены заслуги Евгения Александровича перед строительной наукой. Он – лауреат премии Совета Министров СССР, в 1986 году награжден орденом «Дружбы народов», в 2007 году удостоен звания «Почетный строитель России». Награжден медалями «Ветеран труда», «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 годов», а за свой вклад в разработку СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции» удостоен золотой медали ВДНХ СССР.

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

Евгений Александрович! Поздравляем Вас со знаменательным юбилеем! Искренне и от всей души желаем Вам крепкого здоровья, творческих успехов, воплощения в жизнь самых смелых целей и проектов совместно с единомышленниками по научным исследованиям, новых открытий и побед на благо Отечества. Всего наилучшего Вам и Вашим близким!

Коллектив АО «НИЦ «Строительство»

УДК 624.046

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-20-31](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-20-31)

EDN: APUHRI

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УКЛАДКИ СЛОЕВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ПОТЕРЮ УСТОЙЧИВОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Л.А. АДЕГОВА, канд. техн. наук

М.В. БОБРЫШЕВА

А.Е. ЩЕРБИНИНА 

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин),
Ленинградская ул., д. 113, г. Новосибирск, 630008, Российская Федерация*

Аннотация

Введение. Использование композиционных материалов в конструкциях и деталях востребовано. Актуальность работы определяется исследованием устойчивости оболочечной конструкции из углепластика. Задача анализа на механическое поведение расположения слоев намотки оболочки остается недостаточно исследованной, хотя имеется опыт в создании геометрических моделей конечно-элементных сеток и исследовании потери устойчивости конструкции, выполненной из оболочки. Поэтому вопрос влияния на форму потери устойчивости при варьировании расположения слоев намотки актуален для их регламентации при различной комбинации углов, так как нет полных данных.

Цель исследования – выявление расположения слоев намотки, при котором будут действовать максимальная и минимальная критические силы.

Материалы и методы. Объект исследования – цилиндрическая оболочка радиусом 300 мм, высотой 600 мм и толщиной стенки 1,56 мм из восьми слоев углеродного волокна различной ориентации, пропитанного эпоксидной смолой. Моделирование конструкции проводилось с помощью метода конечных элементов. Стенки цилиндрической оболочки моделировались плоскими элементами типа Laminate, учитывающими слои укладки композита. По нижнему торцу цилиндр имел жесткое защемление, по верхнему – прикладывалась осевая сжимающая сила 100 кН. С использованием программного комплекса получены различные варианты потери устойчивости для дальнейшего анализа.

Результаты. Методом конечных элементов получены данные, описывающие потерю устойчивости цилиндрической оболочки, – коэффициент критической нагрузки при первой форме потери устойчивости, также приведены графики зависимости критической силы от вариантов укладок слоев. В зависимости от величины критической силы и формы потери устойчивости выбраны наиболее и наименее благоприятные варианты укладок слоев в пакете композиционного материала.

Выводы. Установлено, что ориентация слоев в пакете композиционного материала влияет на форму потери устойчивости и величину критической силы. Зная условия нагружения и закрепления конструкции, можно рационально выбирать ориентацию слоев, что увеличивает критическую силу в 2,25 раза.

Ключевые слова: устойчивость, композиционный материал, критическая сила, цилиндрическая оболочка, углепластик

Для цитирования: Адегова Л.А., Бобрышева М.В., Щербинина А.Е. Оценка влияния укладки слоев композиционного материала на потерю устойчивости цилиндрической оболочки. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;33(2):20–31. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-20-31](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-20-31)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 11.02.2022

Поступила после рецензирования 19.05.2022

Принята к публикации 24.05.2022

EFFECTS OF COMPOSITE MATERIAL LAYERING ON THE BUCKLING MODE OF A CYLINDRICAL SHELL

L.A. ADEGOVA, Cand. Sci. (Engineering)

M.V. BOBRY SHEVA

A.E. SHCHERBININA✉

*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin),
Leningradskaya str., 113, Novosibirsk, 630008, Russian Federation*

Abstract

Introduction. At present, composite materials are widely used in building structures and their components. The relevance of the work is determined by the buckling study of a shell structure made of a carbon fiber reinforced polymer. Despite the available experience in creating geometric models of finite element grids and studying the buckling of shell structures, the task of analyzing the mechanical behavior of shell layers remains insufficiently investigated. Therefore, research into the effects caused by polymer layering variations on a buckling mode appears to be urgent for regulating the layering process at various angle combinations due to a lack of sufficient data.

Aim. The study was aimed at identifying a layering pattern, under which maximum and minimum critical forces operate.

Materials and methods. The object of the study involves a cylindrical shell with a radius of 300 mm, a height of 600 mm, and a wall thickness of 1.56 mm made of eight variously-oriented carbon fiber layers impregnated with epoxy resin. The design modeling was performed using the finite element method. The cylindrical shell walls were modeled in terms of Laminate type flat elements, taking into account the composite layers. At the lower end, the cylinder was rigidly fixed and 100 kN axial compressive force was applied to the upper end of the cylinder. Using a software package, the variants of buckling modes were obtained for further analysis.

Results. The data, describing the buckling of a cylindrical shell, including the critical load coefficient at the first buckling mode were obtained by the finite element method. In addition, the dependence of a critical force on layering patterns was determined. Depending on the critical force value and the buckling mode, the most and least favorable patterns of layering in a package of a composite material were selected.

Conclusions. The orientation of layers in a composite material package affects the buckling mode and the value of critical force. An optimal selection of the layer orientation increases the critical force value by 2.25 times based on the information about the conditions of structural loading and fastening.

Keywords: buckling, composite material, critical force, cylindrical shell, carbon plastic

For citation: Adegova L.A., Bobrysheva M.V., Shcherbinina A.E. Effects of composite material layering on the buckling mode of a cylindrical shell. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):20–31. (In Russ.) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-20-31](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-20-31)

Author contribution statements

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

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 11.02.2022

Revised 19.05.2022

Accepted 24.05.2022

Введение

В мире во многих сферах деятельности человека применяются композиционные материалы (КМ) благодаря их достоинствам и экономической целесообразности. Они обладают высокими характеристиками усталостной прочности и устойчивости к циклическому растрескиванию по сравнению с монолитными сплавами, при этом композиционные материалы имеют низкую плотность и высокую стойкость [1, 2]. Композиционные материалы широко используются в строительстве зданий и сооружений, транспортной инфраструктуры, жилищно-коммунальном хозяйстве [3]. Наиболее часто используются в этих отраслях следующие материалы: стеклопластики, текстолиты, углепластики, полимерные бетоны, органоластические композиты [4–7].

В строительной отрасли композиционные материалы могут использоваться в создании несущих и ограждающих конструкций, при усилении конструкций, в отделке внутренних и внешних поверхностей, производстве строительного инвентаря и элементов территориального благоустройства.

Одним из преимуществ композиционных материалов является то, что строитель может адаптировать материал в соответствии с его требованиями к жесткости и прочности в определенном направлении [8–10].

В данной работе был рассмотрен углепластик, обладающий следующими достоинствами применения: толщина составляет несколько миллиметров, не создает дополнительной нагрузки, прочность на растяжение выше в 5–6 раз по сравнению с железобетонной арматурой, легкий и быстрый монтаж, высокая коррозионная стойкость [11–13].

Внедрение конструкции из композиционного материала с широким диапазоном механических и физических свойств зависит от назначения конструкции. Для каждой конструкции необходимо разрабатывать расчетную модель и методику, учитывающую особенности структуры и характеристик этого материала. Механические свойства композиционного материала зависят от расположения армирующих элементов, поэтому может быть получена конструкция с направленной анизотропией механических свойств.

Для конструкций, выполненных из композиционных материалов, проводятся расчеты потери устойчивости, анализа напряженно-деформированного состояния и растяжения

материала, влияния трещин на состояние этих конструкций. Также расчет конструкции из композитного материала с широким диапазоном механических и физических свойств зависит от назначения конструкции [14–16].

Ранее одним из авторов было проведено исследование конструкций из композиционного материала, в работе с использованием метода конечных элементов (МКЭ) проведено исследование влияния высоты цилиндрического конструктивного элемента на форму потери устойчивости. Для элементов рассмотрена зависимость критической силы от геометрических характеристик и материала [17].

В прошлом исследовании не рассмотрена зависимость критической силы от расположения углов укладок композиционного материала.

Новая работа отличается от ранее проведенного исследования тем, что рассмотрена зависимость критической силы от углов укладок композиционного материала при использовании цилиндрической оболочки из определенного материала – углепластика, с фиксированными геометрическими характеристиками, что позволяет использовать модель в реальных конструкциях.

Задача анализа на механическое поведение расположения слоев намотки оболочки остается недостаточно исследованной, хотя имеется опыт в создании геометрических моделей конечно-элементных сеток и исследовании потери устойчивости конструкции, выполненной из оболочки. К примеру, нет полных данных о влиянии на форму потери устойчивости при варьировании расположения слоев намотки для их регламентации под различной комбинацией углов [18, 19].

Основные цели работы:

- рассмотрение первой формы потери устойчивости цилиндрической оболочки и расчет величины критических сил в зависимости от расположения слоев намотки в пакете композиционного материала;
- выявление расположения слоев намотки, при котором будут действовать максимальная и минимальная критические силы.

Выбор расчетной схемы

В работе приведены результаты потери устойчивости короткого отсреза замкнутой цилиндрической оболочки высотой 600 мм и радиусом 300 мм (рис. 1).

Цилиндрическая оболочка из композиционного материала изготавливается методом непрерывной намотки. Согласно этому методу ленту, образованную системой нитей или волокон, пропитывают клеем и помещают на вращающуюся оправку под определенным углом. По достижении заданной толщины и структуры материала производится полимеризация связующего и удаление

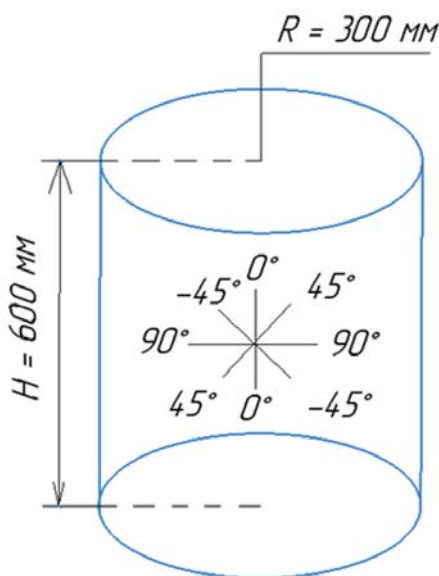


Рис. 1. Параметры оболочки и ориентация слоев намотки материала

Fig. 1. Shell parameters and material layering orientation

правки. Таким образом можно получить конструкцию с необходимой схемой армирования [20, 21].

Свойства композиционного материала соответствуют свойствам пластины, пропитанной эпоксидной смолой и выполненной из однонаправленного восьмислойного углеродного волокна с толщиной каждого слоя 0,195 мм. Рассматриваемый композиционный материал имеет следующие характеристики:

- продольный модуль упругости, $E_1 = 147000$ МПа;
- поперечные модули упругости, $E_2 = E_3 = 7580$ МПа;
- модуль сдвига в плоскости пластинки, $G_{12} = 3960$ МПа;
- межслоевой модуль сдвига, $G_{13} = 3960$ МПа;
- межслоевой модуль сдвига, $G_{23} = 3000$ МПа;
- коэффициент Пуассона в плоскости пластинки, $\mu_{12} = 0,33$;
- коэффициент Пуассона в межслоевом направлении, $\mu_{13} = 0,33$;
- коэффициент Пуассона в межслоевом направлении, $\mu_{23} = 0,38$;
- продольное растягивающее напряжение, $X_t = 2860$ МПа;
- продольное сжимающее напряжение, $X_c = 2860$ МПа;
- поперечное растягивающее напряжение, $Y_t = 1550$ МПа;
- поперечное сжимающее напряжение, $Y_c = 1550$ МПа;
- напряжение сдвига, $S = 104$ МПа.

Анализ устойчивости с использованием пакета конечно-элементного анализа

Для исследования потери устойчивости цилиндрической оболочки был проведен расчет конструкции с использованием пакета конечно-элементного анализа [22–24].

Для моделирования характеристик композита использовался двумерный ортотропный материал, с помощью которого заданы свойства слоев композита в двух ортогональных направлениях на плоскости. Нулевой угол укладки слоя композита совпадает с направлением продольной оси цилиндра.

Стенки цилиндрической оболочки смоделированы плоскими четырехугольными элементами типа Laminate, определяющими слои укладки композита. Элементы типа Laminate учитывают все внутренние силовые факторы и воспринимают мембранные, сдвиговые, поперечные и изгибные нагрузки.

Условия нагружения и закрепления модели реализуются с помощью двух Rigid элементов по торцам цилиндра. Независимые узлы Rigid элементов располагаются на оси цилиндра, зависимые узлы – на дуге верхнего и нижнего оснований цилиндра. Независимые узлы связываются с зависимыми по поступательным степеням свободы. Этим достигается условие сохранения формы торцов цилиндра при возможных деформациях.

По нижнему торцу цилиндра независимый узел закрепляется по шести степеням свободы. Этим обеспечивается закрепление оболочки.

Распределение сжимающей нагрузки выполнено с учетом гипотезы плоских сечений. Для этого по верхнему торцу цилиндра к независимому узлу прикладывается произвольная нагрузка, равномерно распределенная по верхнему торцу оболочки, в виде осевой сжимающей силы $F = 100$ кН (рис. 2).

В модели оболочки заданы 8 слоев намотки, для каждого слоя создано направление, выбранное из углов намотки материала -45° , 0° , 90° , 45° . Общая толщина оболочки составила 1,56 см.

С использованием метода комбинаторики было определено количество вариантов намоток композита с различными углами ориентации слоев по формуле:

$$P_8(2,2,2,2) = \frac{8!}{2! \cdot 2! \cdot 2! \cdot 2!}, \quad (1)$$

где 8 – количество укладок слоев, 2 укладки с углом 0° , 2 укладки с углом 90° , 2 укладки с углом 45° , 2 укладки с углом -45° .

Для композита, состоящего из 8 слоев, количество вариантов намоток составило 2520 вариаций.

В представленной работе было рассмотрено 200 вариантов, из которых 24 – с симметричной укладкой слоев и 176 – с несимметричной укладкой.

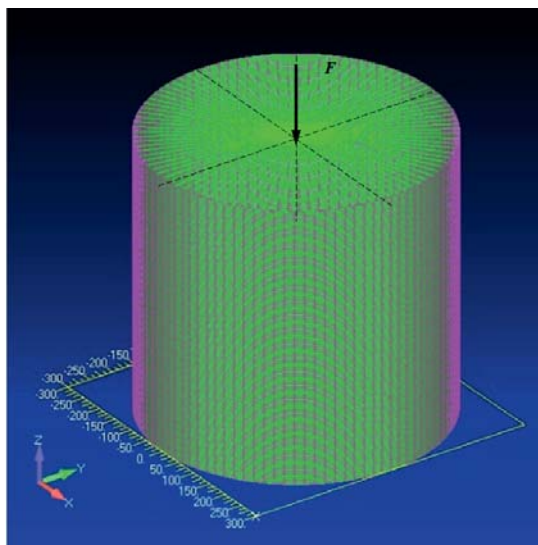


Рис. 2. Конечно-элементная модель
Fig. 2. Finite element model

Механическое поведение оболочки

В данной работе рассмотрена первая форма потери устойчивости цилиндрической оболочки и определена первая критическая сила в пакете конечно-элементного анализа [25].

Теоретическое значение критической нагрузки потери устойчивости цилиндрической оболочки при нагружении осевой силой определяется соотношением:

$$F_{cr} = \frac{2\pi E \delta^2}{\sqrt{3(1-\nu^2)}}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости, МПа;
 δ – толщина стенки оболочки;
 ν – коэффициент Пуассона.

В данной работе расчет критической нагрузки, представленный по формуле выше, проводился не в теоретическом определении критических сил, а с помощью программного комплекса метода конечных элементов. Также при моделировании конструкции в данном комплексе автоматически учитываются такие параметры, как размеры поперечного сечения, изменение длины и упругие характеристики материала [26].

Критическая сила, при которой происходит потеря устойчивости, с использованием программного комплекса определялась соотношением:

$$F_{cr} = F \times \lambda, \quad (3)$$

где $F = 100\,000$ Н – сжимающая сила;

λ – коэффициент критической нагрузки при первой форме потери устойчивости, который равен собственному значению, вычисленному с помощью МКЭ.

Результаты

Методом конечно-элементного анализа были получены формы потери устойчивости при симметричной укладке и несимметричной укладке слоев в пакете композиционного материала. Благодаря использованному методу получена не только величина критической силы, при которой произойдет потеря устойчивости, но и форма потери устойчивости цилиндрической оболочки.

При разных вариантах укладки слоев композиционного материала оболочка имеет различную форму потери устойчивости и величину критической силы. Наибольшая критическая сила, равная 466,865 кН, достигается для симметричной укладки слоев композита: -45° ; 45° ; 0° ; 90° ; 90° ; 0° ; 45° ; -45° , схема расположения слоев представлена на рис. 3 и имеет деформацию скручивания, которая представлена на рис. 4 (а). Наименьшая критическая сила, равная 206,994 кН, выявлена при несимметричной укладке слоев композита: -45° ; -45° ; 0° ; 0° ; 90° ; 90° ; 45° ; 45° , и имеет также деформацию скручивания, которая показана на рис. 4 (b).

На рис. 5 и 6 показаны графики для симметричных и несимметричных укладок слоев, которые показывают зависимость изменения критической силы от вариантов намотки.

Графики начинаются с укладки, где критическая сила имеет максимальное значение, и заканчиваются, где критическая сила минимальна.

Заключение

Представленной работой доказано, что величина критической силы цилиндрической оболочки зависит от расположения углов укладки композиционного материала. Конечно-элементный анализ позволил оценить форму потери устойчивости. Зная условия нагружения

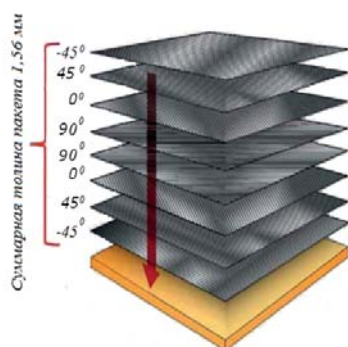


Рис. 3. Схема расположения слоев композиционного материала

Fig. 3. Layout of composite material layers

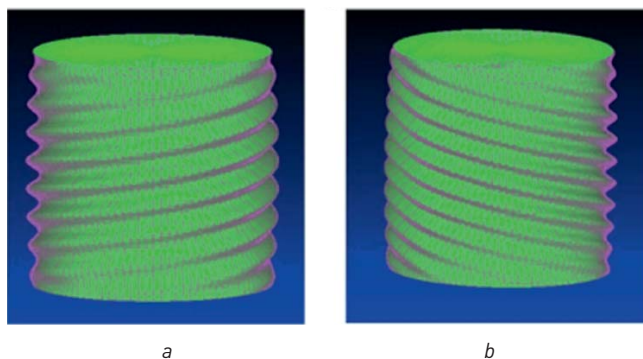


Рис. 4. Формы потери устойчивости при максимальной критической силе (а) и минимальной критической силе (b)

Fig. 4. Buckling modes at the maximum (a) and minimum critical force (b)

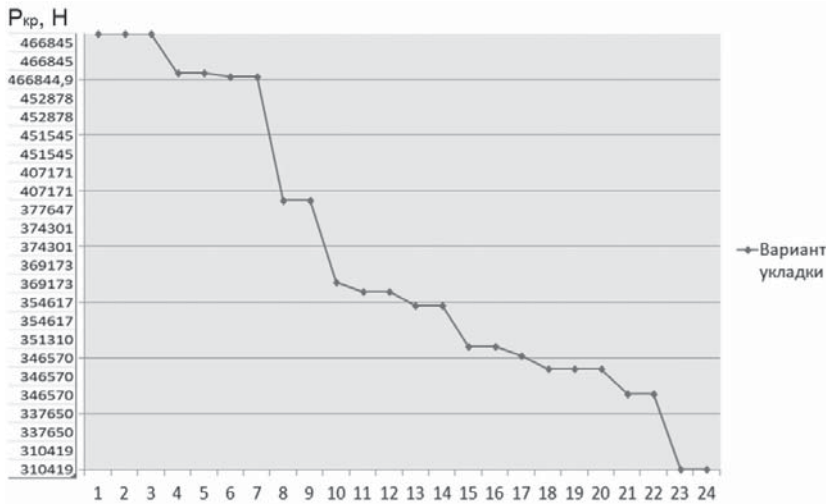


Рис 5. Зависимость критической силы от вариантов симметричных укладок слоев

Fig. 5. Dependence of the critical force on the variants of symmetrical layering

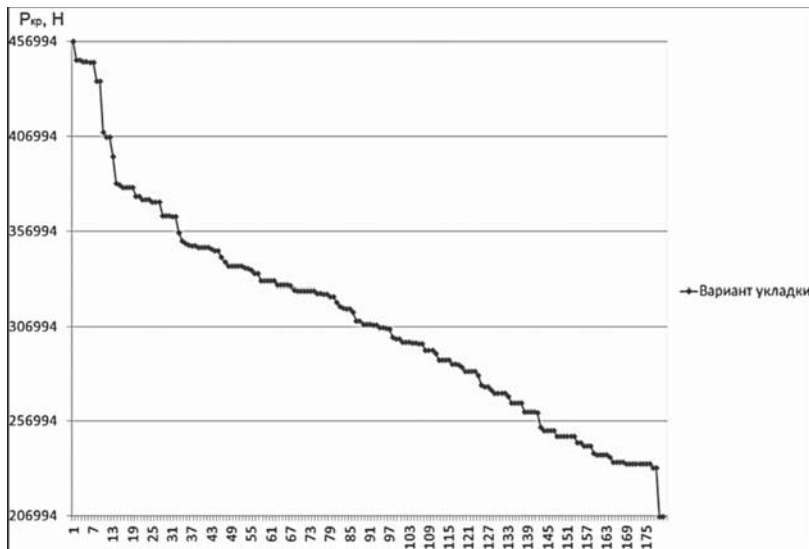


Рис. 6. Зависимость критической силы от вариантов несимметричных укладок слоев

Fig. 6. Dependence of the critical force on the variants of non-symmetrical layering

конструкции, выполненной из композиционного материала, необходимо рационально выбирать ориентацию слоев композита для получения наибольшей критической силы.

Результаты исследования помогут регламентировать допустимую осевую нагрузку в создании деталей с наиболее оптимальными показателями устойчивости для машиностроения и других областей, в которых используются цилиндрические оболочки.

Таким образом, у композиционного материала с одинаковым количеством слоев укладки можно увеличить величину критической силы в 2,25 раза за счет различного расположения углов укладки в пакете.

Список литературы

1. *Rah K., Van Paepegem W., Habraken A.M., Degrieck J.* A mixed solid-shell element for the analysis of laminated composites. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 2012;89(7):805–828. <https://doi.org/10.1002/nme.3263>
2. *Sofiye A.H., Avcar M.* The stability of cylindrical shells containing an FDM layer subjected to axial load on the pasternak foundation. *Engineering*. 2010;02(04):228–236. <https://doi.org/10.4236/eng.2010.24033>
3. *Цыгвинцев И.В., Постникова П.И., Сенцов И.В.* Применение композитных материалов в строительстве. *Инновационное развитие*. 2017;(7):26–29.
4. *Корбова А.А.* Проектирование легкой катерной надстройки из полимерных композиционных материалов. *Труды Крыловского государственного научного центра*. 2020;(S2):242–249.
5. *Малаховский С.С., Панафидникова А.Н., Костромина Н.В., Осипчик В.С.* Углепластики в современном мире: их свойства и применения. *Успехи в химии и химической технологии*. 2019;33(6):62–64.
6. *Quintelier J., Samyn P., De Baets P., Tuzolana T., Van Paepegem W., Van den Abeele F., Vermeulen J.* Wear behavior of carbon fiber-reinforced poly (phenylene sulfide). *Polymer Composites*. 2006;27(1):92–98. <https://doi.org/10.1002/pc.20165>
7. *Samyn P., Van Schepdael L., Leendertz J.S., Gerber A., Van Paepegem W., De Baets Degrieck J.* Deformation of reinforced polymer bearing elements on full-scale compressive strength and creep tests under yielding conditions. *Polymer Testing*. 2006;25(2):230–245. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2005.10.004>
8. *Давлетчин Д.И.* Композиционные материалы для авиастроения, энергетики, машиностроения. *Наукоемкие технологии*. 2019;20(2):34–39.
9. *Aimenov Zh.T., Khudyakova T.M., Sarsenbayev B.K.* Composite cements production and their economic and technological advantages. In: *Industrial Technologies and Engineering (ICITE-2017): IV International Conference*, Shymkent, Kazakhstan, 26–27 октября 2017 года. Shymkent, Kazakhstan: Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова»; 2017. p. 301–306.
10. *Stepanova M.Y., Baurova N.I.* Analysis of methods for determining the biostability of polymer composite materials used in mechanical engineering. *Polymer Science. Series D*. 2020;13(3):345–348. <https://doi.org/10.1134/s1995421220030193>
11. *Lamberti M., Pedata P., Sannolo N., Porto S., Caraglia M., De Rosa A.* Carbon nanotubes: properties, biomedical applications, advantages and risks in patients and occupationally-exposed workers. *International Journal of Immunopathology and Pharmacology*. 2015;28(1):4–13. <https://doi.org/10.1177/0394632015572559>
12. *Neumeister J., Jansson S., Leckie F.* The effect of fiber architecture on the mechanical properties of carbon/carbon fiber composites. *Acta Materialia*. 1996;44(2):573–585. [https://doi.org/10.1016/1359-6454\(95\)00184-0](https://doi.org/10.1016/1359-6454(95)00184-0)
13. *Vasilescu A., Gáspár S., Hayat A., Marty J.-L.* Advantages of carbon nanomaterials in electrochemical aptasensors for food analysis. *Electroanalysis*. 2018;30(1):2–19. <https://doi.org/10.1002/elan.201700578>
14. *Аношкин А.Н., Федоровцев Д.И., Писарев П.В., Осокин В.М.* Расчет напряженно-деформированного состояния фланца из полимерных композиционных материалов с дефектом в виде расслоения. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника*. 2015;(43):116–130.
15. *Карташова Е.Д., Муйземнек А.Ю.* Расчет межслойных напряжений в композиционных оболочках с двоякой положительной кривизной. *Вестник Пензенского государственного университета*. 2017;(2):105–111.
16. *Кудряшов А.Б., Кутышов В.Ф.* Методика расчета и проектирования створок люков летательных аппаратов из композиционных материалов. *Ученые записки ЦАГИ*. 1985;16(5):74–83.
17. *Адегова Л.А., Голдаева А.В., Паршин И.В.* Исследование потери устойчивости конструктивных элементов. В: *Интеллектуальный потенциал Сибири: сборник научных трудов*. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет; 2018. с. 155–157.
18. *Артемова А.А., Баранова М.С., Кибец А.И., Романов В.И., Рябов А.И., Шошин Д.В.* Конечно-элементный анализ устойчивости упругопластической сферической оболочки при всестороннем сжатии. *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. 2011;(3):158–162.
19. *Косицын С.Б., Акулич В.Ю.* Определение критической нагрузки потери устойчивости стержневой и плоской моделей круговой цилиндрической оболочки, взаимодействующей с основанием. *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2019;15(4):291–297.

20. Гумерова Х.С. Модель потери устойчивости термочувствительной оболочки вращения, полученной путем намотки. Вестник Технологического университета. 2019;22(4):122–124.
21. Рач В.А., Могильный Г.А., Малков И.В. Способ изготовления сложнопрофильных изделий из композиционных материалов методом непрерывной намотки: Патент № 2089444 С1 Российская Федерация. Опубл. 10.09.1997.
22. Попова А.П. Исследование устойчивости сжатой анизотропной цилиндрической оболочки. Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2018;1(14):266–268.
23. Рытова Т.Г. К вопросу потери устойчивости предварительно-напряженных тонкостенных цилиндрических оболочек. Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2019;(4):111–118.
24. Li C., Liu Z.-H., Zheng Y.-P. Effect of anisotropy of composite material plate on hole-edge stresses of rectangle hole. Jilin Daxue Xuebao (Gongxueban). 2007;37(6):1327–1331.
25. Васильев В.В. К задаче устойчивости цилиндрической оболочки при осевом сжатии. Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2011;(2):5–15.
26. Рычков С.П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. Москва.: ДМК Пресс; 2013. 784 с.: ил.

References

1. Rah K., Van Paepegem W., Habraken A.M., Degrieck J. A mixed solid-shell element for the analysis of laminated composites. International Journal for Numerical Methods in Engineering. 2012;89(7):805–828. <https://doi.org/10.1002/nme.3263>
2. Sofiyev A.H., Avcar M. The stability of cylindrical shells containing an FDM layer subjected to axial load on the pasternak foundation. Engineering. 2010;02(04):228–236. <https://doi.org/10.4236/eng.2010.24033>
3. Tsygvintsev I.V., Postnikova P.I., Sentsov I.V. The use of composite materials in construction. Innovatsionnoe razvitiye [Innovative development]. 2017;(7):26–29 (in Russian).
4. Korbova A.A. Designing a light boat superstructure made of polymer composite materials. Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra = Transactions of the Krylov State Research Centre. 2020;(S2):242–249 (in Russian).
5. Malakhovsky S.S., Panafidnikova A.N., Kostromina N.V., Osipchik V.S. Carbon fiber plastics in the modern world: their properties and applications. Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii = Advances in chemistry and chemical technology. 2019;33(6):62–64 (in Russian).
6. Quintelier J., Samyn P., De Baets P., Tuzolana T., Van Paepegem W., Van den Abeele F., Vermeulen J. Wear behavior of carbon fiber-reinforced poly (phenylene sulfide). Polymer Composites. 2006;27(1):92–98. <https://doi.org/10.1002/pc.20165>
7. Samyn P., Van Schepdael L., Leendertz J. S., Gerber A., Van Paepegem W., De Baets Degrieck J. Deformation of reinforced polymer bearing elements on full-scale compressive strength and creep tests under yielding conditions. Polymer Testing. 2006;25(2):230–245. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2005.10.004>
8. Davletchin D.I. Composite materials for aircraft construction, power engineering, mechanical engineering. Naukoemkie tekhnologii Science Intensive Technologies. 2019;20(2):34–39 (in Russian).
9. Aimenov Zh.T., Khudyakova T.M., Sarsenbayev B.K. Composite cements production and their economic and technological advantages. In: Industrial Technologies and Engineering (ICITE-2017): IV International Conference, Shymkent, Kazakhstan, October 26–27, 2017. Shymkent, Kazakhstan: Republican state Enterprise on the right of economic management “M. Auezov South Kazakhstan State University”; 2017. p. 301–306.
10. Stepanova M.Y., Baurova N.I. Analysis of methods for determining the biostability of polymer composite materials used in mechanical engineering. Polymer Science. Series D. 2020;13(3):345–348. <https://doi.org/10.1134/s1995421220030193>
11. Lamberti M., Pedata P., Sannolo N., Porto S., Caraglia M., De Rosa A. Carbon nanotubes: properties, biomedical applications, advantages and risks in patients and occupationally-exposed workers. International Journal of Immunopathology and Pharmacology. 2015;28(1):4–13. <https://doi.org/10.1177/0394632015572559>
12. Neumeister J., Jansson S., Leckie F. The effect of fiber architecture on the mechanical properties of carbon/carbon fiber composites. Acta Materialia. 1996;44(2):573–585. [https://doi.org/10.1016/1359-6454\(95\)00184-0](https://doi.org/10.1016/1359-6454(95)00184-0)

13. Vasilescu A., Gáspár S., Hayat A., Marty J.-L. Advantages of carbon nanomaterials in electrochemical aptasensors for food analysis. *Electroanalysis*. 2018;30(1):2–19. <https://doi.org/10.1002/elan.201700578>
14. Anoshkin A.N., Fedorovtsev D.I., Pisarev P.V., Osokin V.M. Calculation of the stress-strain state of a flange made of polymer composite materials with a defect in the form of a bundle. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Aerokosmicheskaya tekhnika = PNRPU Aerospace Engineering Bulletin*. 2015;43:116–130 [in Russian].
15. Kartashova E.D., Muyzemnek A.Yu. Calculation of interlayer stresses in composite shells with double positive curvature. *Vestnik Penzenskogo gosudarstvennogo universiteta = Vestnik of Penza state university*. 2017;(2):105–111 [in Russian].
16. Kudryashov A.B., Kutyshev V.F. Methodology of calculation and design of hatch doors of aircraft made of composite materials. *Uchenye zapiski TsAGI [Scientific notes of TsAGI]*. 1985;16(5):74–83 [in Russian].
17. Adegova L.A., Goldaeva A.V., Parshin I.V. Study of structural elements stability loss. In: *Intellectual potential of Siberia: Collection of scientific papers*. Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University; 2018. p. 155–157 [in Russian].
18. Artemyeva A.A., Baranova M.S., Kibets A.I., Romanov V.I., Ryabov A.I., Shoshin D.V. Finite element analysis of the stability of an elastic-plastic spherical shell under comprehensive compression. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im N.I. Lobachevskogo = Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*. 2011;(3):158–162 [in Russian].
19. Kositsyn S.B., Akulich V.Yu. Determination of the critical load of the loss of stability of the rod and plane models of a circular cylindrical shell interacting with the base. *Construction mechanics of engineering structures and structures*. 2019;15(4):291–297 [in Russian].
20. Gumerova H.S. Model loss of stability of the thermosensitive shell of rotation obtained by winding. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Technological University*. 2019;22(4):122–124 [in Russian].
21. Rach V.A., Mogilny G.A., Malkov I.V. Method of manufacturing composite products from composite materials by continuous winding: Patent No. 2089444 C1 Russian Federation. Publ. date 10 September 1997 [in Russian].
22. Popova A.P. Investigation of the stability of a compressed anisotropic cylindrical shell. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики [Actual problems of aviation and cosmonautics]*. 2018;1(14):266–268 [in Russian].
23. Rytova T.G. On the issue of loss of stability of prestressed thin-walled cylindrical shells. *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. I.Ya. Yakovleva. Seriya: Mekhanika predel'nogo sostoyaniya = Bulletin of the Yakovlev Chuvash State Pedagogical University. Series: Mechanics of Limit State*. 2019;(4):111–118 [in Russian].
24. Li C., Liu Z.-H., Zheng Y.-P. Effect of anisotropy of composite material plate on hole-edge stresses of rectangle hole. *Jilin Daxue Xuebao (Gongxueban)*. 2007;37(6):1327–1331.
25. Vasiliev V.V. To the problem of stability of a cylindrical shell under axial compression. *Mechanics of Solids*. 2011;46(2):161–169 [in Russian]. <https://doi.org/10.3103/s0025654411020026>
26. Rychkov S.P. Modeling of structures in the Femap environment with NX Nastran. Moscow: DMK Press Publ.; 2013 [in Russian].

Информация об авторах / Information about the authors

Людмила Алексеевна Адегова, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительная механика» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет», Новосибирск
Scopus Author ID: 57213838719
ORCID ID: 0000-0003-3234-0977
e-mail: l.adegova@sibstrin.ru

Lyudmila A. Adegova, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Constructional Mechanics, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk
Scopus Author ID: 57213838719
ORCID ID: 0000-0003-3234-0977
e-mail: l.adegova@sibstrin.ru

Мария Викторовна Бобрышева, студент, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет», Новосибирск

ORCID ID: 0000-0002-3565-7294

e-mail: m.bobrysheva@edu.sibstrin.ru

Maria V. Bobrysheva, student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk

ORCID ID: 0000-0002-3565-7294

e-mail: m.bobrysheva@edu.sibstrin.ru

Александра Евгеньевна Щербинина✉, студент, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет», Новосибирск

ORCID ID: 0000-0002-8813-0912

e-mail: shherbinina-sash@mail.ru

Alexandra E. Scherbinina✉, student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk

ORCID ID: 0000-0002-8813-0912

e-mail: shherbinina-sash@mail.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

УДК 624.046.4, 624.046.3, 624.071.34

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-32-43](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-32-43)

EDN: BRADOF

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ НА ПОЛЗУЧЕСТЬ БЕТОНА ПО РОССИЙСКИМ И ЗАРУБЕЖНЫМ НОРМАТИВНЫМ ДОКУМЕНТАМ. ЧАСТЬ 2. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

П.Д. АРЛЕНИНОВ, канд. техн. наук

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

Аннотация

Введение. Анализируются основные подходы к проведению длительных испытаний по определению ползучести бетона, которые регламентирует ГОСТ 24544-2020, действующий на территории РФ, а также зарубежные стандарты ISO, ASTM, EN.

Цель. Определение принципиальных отличий в проведении испытаний по российским и западным стандартам. Такая работа является нужной и актуальной, поскольку для использования на территории РФ результатов испытаний, полученных за рубежом, необходима гармонизация методик проведения испытаний и исходных параметров испытаний (образцы, измерительное и испытательное оборудование и т. д.).

Материалы и методы. В статье рассматривается процесс проведения испытаний, контролируемые параметры и обработка результатов, в первой части статьи были разобраны область применения, испытательное и измерительное оборудование, процесс изготовления, параметры и оснастка образцов, подготовка к испытаниям.

Результаты. ISO, ASTM, EN достаточно близки между собой и по отдельным позициям сильно отличаются от ГОСТ 24544, в частности по параметрам образцов и методам их установки в испытательное устройство.

Выводы. Необходима дополнительная гармонизация ГОСТ 24544 с указанными зарубежными стандартами.

Ключевые слова: бетон, железобетон, ползучесть, релаксация, усадка

Для цитирования: Арленинов П.Д. Сравнение методов испытаний на ползучесть бетона по российским и зарубежным нормативным документам. Часть 2. Проведение испытаний и обработка результатов. Вестник НИЦ «Строительство». 2022;33(2):32–43. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-32-43](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-32-43)

Вклад авторов

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

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 16.03.2022

Поступила после рецензирования 30.03.2022

Принята к публикации 05.04.2022

COMPARISON OF CONCRETE CREEP TEST METHODS AS PER RUSSIAN AND FOREIGN NORMATIVE DOCUMENTS.

PART 2. TESTING AND PROCESSING OF RESULTS

P.D. ARLENINOV, Cand. Sci. (Engineering)

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

Abstract

Introduction. The main approaches to long-term creep tests of concrete regulated by GOST 24544-2020, valid in the Russian Federation, as well as foreign ISO, ASTM, and EN standards, are analyzed.

Aim. In this work, fundamental differences in conducting tests following Russian and foreign standards are determined. These efforts are essential and urgent, since, in order to use test results obtained abroad in Russia, it is necessary to harmonize test methods and initial test parameters (samples, measuring and test equipment, etc.).

Materials and methods. The article reviews testing procedures, controlled parameters, and processing of result; part 1 of the article covered the application, testing and measuring equipment, manufacturing process, sample parameters and fittings, and test preparation.

Results. ISO, ASTM, and EN are comparable; however, they differ greatly from GOST 24544 in some respects, in particular, regarding the sample parameters and the methods of their installation in the testing equipment.

Conclusion. Further harmonization of GOST 24544 with the aforementioned foreign standards is necessary.

Keywords: concrete, reinforced concrete, creep, relaxation, shrinkage

For citation: Arleninov P.D. Comparison of concrete creep test methods as per Russian and foreign normative documents. Part 2. Testing and processing of results. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):32–43. (In Russ.) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-32-43](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-32-43)

Author contribution statement

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

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 16.03.2022

Revised 30.03.2022

Accepted 05.04.2022

Введение

Данная публикация представляет собой продолжение статьи [2], вышедшей в журнале «Вестник НИЦ «Строительство» в 2020 г., в которой подробно рассмотрены отличия зарубежных стандартов ISO, ASTM, EN от ГОСТ 24544-81* в части области применения, испытательного и измерительного оборудования, процесса изготовления, параметров и оснастки образцов, подготовки к испытаниям. В отличие от зарубежных стандартов [7–19] ГОСТ 24544, с момента разработки практически не изменялся и все основные исследования в этом направлении в нашей стране проводились достаточно давно [1, 3, 4, 5]. За время подготовки статьи вышла новая редакция ГОСТ 24544 от 2020 г., но рассматриваемые в данной публикации разделы нового ГОСТ относительно ГОСТ 24544-81* остались практически без изменений.

По аналогии с первой частью статьи производится сравнение по отдельным позициям ГОСТ 24544-2020 с тремя зарубежными стандартами:

- ISO 1920-9 Testing of concrete. Part 9: Determination of creep of concrete cylinders in compression (Испытания бетона. Часть 9. Определение ползучести бетонных цилиндров при сжатии).
- ASTM C512 Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression (Стандарт по методам испытаний. Ползучесть бетона при сжатии).
- EN 12390-17 Testing hardened concrete. Part 17: Determination of creep of concrete in compression (Испытания затвердевшего бетона. Часть 17. Определение ползучести бетона при сжатии).

Требования к испытательным помещениям и возрасту бетона

ISO – регламентирует проведение испытаний бетонных образцов в возрасте более 28 сут в климатических условиях в соответствии с п. 5.1 стандарта ISO 1920-8. В соответствии с этим документом образцы должны испытываться в климатической камере с постоянными параметрами температуры и влажности (22 ± 2) °C и (55 ± 5) % соответственно. В описании параметров климатической камеры приведены требования по циркуляции воздуха – измеряется объем испаряемой воды из тарированной емкости, требования по попаданию солнечного света отсутствуют.

ASTM – регламентирует проведение испытаний затвердевших бетонных образцов в возрасте 28 сут для сравнительных испытаний бетонов разных классов и испытания в возрасте 2, 7, 28, 90, 365 сут для получения полных данных по ползучести испытываемого бетона. Испытания проводятся при постоянной температуре и влажности (23 ± 1) °C и (50 ± 4) % соответственно. Стандарт также регламентирует проведение испытаний по определению базовой ползучести, при которых образцы еще в процессе твердения помещаются в запаянные влагозащитные кожухи (медные или каучуковые) для предотвращения испарения влаги, в которых они остаются в период хранения и последующего испытания.

EN – регламентирует проведение испытаний бетонных образцов в климатической камере с контролируемой температурой и влажностью (20 ± 2) °C и ($50-70 \pm 5$) % соответственно. Регистрация температуры и влажности должна проводиться не реже одного раза в сутки.

Скорость движения воздуха вблизи образцов не должна превышать 0,5 м/с. Возраст образца к началу испытаний не регламентируется.

ГОСТ – регламентирует проведение испытаний на ползучесть затвердевших образцов в возрасте 28 сут в помещении или климатической камере, в которых постоянно поддерживается температура $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительная влажность воздуха $(60 \pm 5)\%$. Попадание прямых солнечных лучей на образцы не допускается.

Величина нагрузки на образец

ISO – регламентирует определение разрушающей нагрузки образцов в тот же день, когда начинаются испытания на ползучесть. Нагрузка, прикладываемая на образец при испытании на ползучесть, составляет $(1/3 \pm 2)\%$ от разрушающей нагрузки, допускается испытывать при более низких нагрузках при соответствующей записи в журнале испытаний.

ASTM – регламентирует определение разрушающей нагрузки на образец непосредственно перед установкой образцов на ползучесть в соответствии с C39/C39M (определение прочности на сжатие цилиндрических образцов). Нагрузка, прикладываемая на образец при испытании на ползучесть, составляет $(0,4 \pm 2)\%$ от разрушающей нагрузки.

EN – четких указаний, что разрушающая нагрузка должна определяться в день испытаний, нет, но указано, что такая нагрузка (прочность на сжатие) определяется в соответствии с EN 12390-3. Нагрузка, прикладываемая на образец при испытании на ползучесть, составляет $(1/3 \pm 3)\%$ от разрушающей нагрузки, допускается испытывать при более низких нагрузках при соответствующей записи в журнале испытаний.

ГОСТ – регламентирует нагрузку на образец, равную $0,3 \pm 0,005$ от призменной прочности бетона, установленную перед началом испытаний. Однозначных указаний, что испытания по определению призменной прочности следует проводить в один день с испытаниями на ползучесть, нет. Допускается другая нагрузка, но при этом должна быть сделана соответствующая запись в журнале испытаний.

Обжатие, выравнивание образцов и режимы нагружения

ISO – регламентирует загрузку образца согласно стандарту ISO 1920-4, в котором указывается, что нагрузка на образец должна прикладываться плавно, без ударов и увеличиваться с постоянной скоростью $(0,15\text{--}1,0)$ МПа/с до заданного значения. Величина обжатия не должна превышать 1 МПа. Указывается, что образцы должны быть аккуратно выровнены, чтобы избежать эксцентриситета при приложении нагрузки. Оценка ровности установленных образцов определяется по разнице деформаций по различным граням, в пределах усилия обжатия (конкретных цифр не приводится), далее указывается, что при необходимости нагрузку обжатия можно снять и выровнять образцы.

ASTM – скорость приложения нагрузки не регламентируется (напрямую это не указано, но предполагается монотонное нагружение образца). Величина обжатия не должна превышать 1380 кПа. Оценка ровности установленных образцов определяется по разнице деформаций «вокруг образца» в пределах усилия обжатия (конкретных цифр не приводится), далее указывается, что при необходимости нагрузку обжатия можно снять и выровнять образцы.

EN – регламентирует плавное монотонное нагружение образца с максимально возможной скоростью, но не быстрее 30 с. Для выравнивания образца прикладывается нагрузка, равная 1/4 от испытательной нагрузки (то есть 1/12 от разрушающей нагрузки), если при такой нагрузке деформации по разным граням превышают 20 %, то образец разгружается и центрируется повторно, при невозможности получить меньшую разницу деформаций образец бракуется.

ГОСТ – регламентирует нагружение образца согласно ГОСТ 24452, то есть ступенями по 10 % от разрушающей нагрузки с выдержкой 4–5 мин на каждой ступени, сохраняя в пределах каждой ступени скорость нагружения $(0,6 \pm 0,2)$ МПа/с. Величина обжатия, которую принимают за условный нуль, должна быть не более 2 % от разрушающей нагрузки. При центрировании образцов необходимо, чтобы в начале испытания от условного нуля до полной загрузки отклонения деформаций по каждой грани (образующей) не превышали 15 % их среднего арифметического значения. При несоблюдении этого требования при нагрузке, равной или большей (15 ± 5) % R_p , следует разгрузить образец, сместить его относительно центральной оси разметки плиты пресса в сторону больших деформаций и вновь проверить его центрирование по показаниям приборов. Образец бракуют после пяти неудачных попыток его центрирования.

Контролируемые параметры, журнал испытаний

ISO – бланков для заполнения журнала испытаний в стандарте не приведено, но указан перечень контролируемых параметров при проведении испытания (величины нагрузок, расчетные длины, результаты измерений, результаты расчетов и т. д.), также указано, что при необходимости записывается дополнительная информация с описанием бетонной смеси и ее компонентов.

ASTM – бланков для заполнения журнала испытаний в стандарте не приведено, но указан перечень контролируемых параметров при проведении испытания (тип и характеристики заполнителя, положение образца при заливке, возраст бетона в момент нагружения, результаты измерений, результаты расчетов и т. д.).

EN – бланков для заполнения журнала испытаний в стандарте не приведено, но указан перечень обязательных контролируемых параметров при проведении испытания (характеристики образцов, сведения о хранении, результаты измерений, и т. д.), а также перечень дополнительных параметров, которые могут быть занесены в отчет (способ уплотнения бетона, условия хранения образцов после распалубливания и во время транспортировки, способы герметизации и т. д.).

ГОСТ – регламентирует ведение журнала испытаний, состоящего из двух листов (в стандарте приведены бланки для их заполнения):

- на первом листе (титульном) указываются основные параметры испытания, параметры бетонной смеси (состав бетонной смеси по массе, виды добавок и их количество, подвижность воздуховодержания, вид и марка цемента, тонкость помола цемента, параметры заполнителей и т. д.) и образцов (размеры, возраст, масса в начале и в конце испытаний, прочность и т. д.);
- на втором листе приводится таблица с основными параметрами помещения (температура, влажность и т. д.) для записи показаний с индикаторов, установленных на нагруженных и контрольных образцах (отсчеты и приращения), также в таблице предусмотрены графы для расчета относительных деформаций ползучести и усадки.

Съемка показаний и общий срок испытаний

ISO – регламентирует снятие показаний приборов на нагруженных образцах для определения деформаций ползучести через 2 ч, затем через 6 ч. Последующее снятие отсчетов один раз в день в течение недели, затем один раз в неделю до конца месяца, затем один раз в месяц в течение трех месяцев. Дополнительно указывается возможность определения деформаций в другое время, но это должно быть зафиксировано. Дополнительная информация по снятию показаний с образцов, установленных без нагрузки на усадку, не приведена. Общий срок проведения испытаний – 4 месяца.

ASTM – регламентирует снятие показаний приборов на нагруженных образцах для определения деформаций ползучести непосредственно после загрузки, затем в промежутки времени 2–6 часов. Последующее снятие отсчетов один раз в день в течение недели до конца месяца, затем один раз в месяц до конца года. Общий срок проведения испытаний – 1 год.

EN – регламентирует снятие показаний приборов на нагруженных образцах для определения деформаций ползучести через 2–6 часов после загрузки. Последующее снятие отсчетов три раза в первую неделю, затем раз в неделю до конца месяца, затем один раз в месяц. Общий срок проведения испытаний должен быть не менее 6 месяцев, предпочтительнее 1 год.

ГОСТ – регламентирует снятие показаний приборов на нагруженных образцах для определения деформаций ползучести непосредственно после загрузки (начальный отсчет) и затем через 1 ч. Последующее снятие отсчетов рекомендуется производить через 1, 3, 7, 14 сут, последующие 6 недель – еженедельно, затем в течение 10 недель – один раз в 2 недели и далее до конца испытаний – один раз в 4 недели. Одновременно с определением деформаций ползучести следует проводить определение деформаций усадки на незагруженных образцах с той же периодичностью и продолжительностью. При этом начальный отсчет деформаций усадки следует производить непосредственно после загрузки образцов на ползучесть. Общий срок проведения испытаний – не менее 6 месяцев.

Обработка результатов – определение деформаций ползучести

ISO – регламентирует вначале определить мгновенный модуль упругости, который рассчитывается как приложенное напряжение (МПа), деленное на среднюю деформацию сразу после загрузки; затем определяется деформация ползучести как разница между полной деформацией нагруженных образцов, деформацией контрольных образцов (незагруженных) и средней деформации сразу после загрузки; затем определяется коэффициент ползучести как произведение деформаций ползучести и модуля упругости (формулы в стандарте приведены в представленном ниже виде). База измерения в формулах не фигурирует:

$$\text{Specific creep} = \frac{\text{average loaded strain} - \text{average control strain} - \text{average immediate strain}}{\text{applied stress}}$$

$$\text{Creep coefficient} = \text{specific creep} \times \text{instantaneous elastic modulus}$$

ASTM – регламентирует определение вначале общей деформации на единицу напряжения в любой момент времени как разницу между средними значениями деформаций нагруженных и контрольных образцов, разделенных на среднее напряжение (данные формулы в стандарте отсутствуют и приведены только в виде текста). Для определения деформации ползучести на единицу напряжения в любом возрасте необходимо из общей полученной деформации на единицу напряжения вычесть деформации на единицу напряжения сразу после нагружения.

EN – регламентирует вычисление трех видов ползучести:

полная ползучесть – деформация, измеренная при постоянной нагрузке в определенных условиях температуры и относительной влажности после вычитания деформации сразу после нагружения (упругой деформации) и деформации усадки:

$$\varepsilon_{cc}(t, t_0) = \varepsilon_{cc}(t) - [\varepsilon_{cs}(t, t_0) + \varepsilon_{cc}(t_0)], \quad (1)$$

базовая ползучесть – деформация, измеренная при постоянной нагрузке в изотермических условиях и при отсутствии влагообмена между образцом и окружающей средой:

$$\varepsilon_{bc}(t, t_0) = \varepsilon_{bc}(t) - [\varepsilon_{ca}(t, t_0) + \varepsilon_{bc}(t_0)], \quad (2)$$

ползучесть при высыхании – разница между полной и базовой ползучестью:

$$\varepsilon_{dc}(t, t_0) = \varepsilon_{cc}(t, t_0) - \varepsilon_{bc}(t, t_0), \quad (3)$$

где $\varepsilon_{cc}(t)$ – деформация образца под нагрузкой в момент времени (t) ;

$\varepsilon_{cs}(t, t_0)$ – средняя деформация контрольных образцов (только усадка без нагрузки) в момент времени (t) с момента нагружения (t_0) ;

$\varepsilon_{cc}(t_0)$ – деформация сразу после нагружения (упругая деформация);

$\varepsilon_{bc}(t_0)$ – деформация изолированных (от влагообмена с окружающей средой) образцов под нагрузкой в момент времени (t) ;

$\varepsilon_{ca}(t, t_0)$ – автогенная усадка в момент времени (t) ;

$\varepsilon_{bc}(t_0)$ – деформация сразу после нагружения изолированных образцов.

ГОСТ – по результатам испытаний вычисляют средние значения абсолютных деформаций мм для каждого загруженного и незагруженного образца как среднеарифметическое приращение (по отношению к начальному отсчету) показаний приборов по четырем граням соответствующего образца. По средним абсолютным значениям деформаций вычисляют относительные значения деформаций после полной загрузки образца по формуле:

$$\varepsilon_1(t) = \Delta l_1(t) / l_1.$$

Относительные деформации ползучести каждого образца $\varepsilon_{in}(t)$ вычисляют по формуле, состоящей из двух слагаемых: $\varepsilon_1(t) - \varepsilon_{yc}(t)$ – деформации ползучести во времени, а $\varepsilon_1 - \varepsilon_{1y}$ – учитывает быстронатекающую ползучесть во время нагружения:

$$\varepsilon_{in}(t) = \varepsilon_1 - \varepsilon_{1y} + \varepsilon_1(t) - \varepsilon_{yc}(t),$$

где ε_1 – средние значения полных деформаций, определяемых в процессе ступенчатого нагружения согласно ГОСТ 24452;

ε_{1y} – средние значения упругих деформаций, определяемых в процессе ступенчатого нагружения согласно ГОСТ 24452.

Относительные деформации серии образцов определяются как среднее арифметическое относительных деформаций отдельных образцов.

Обработка результатов – определение дополнительных параметров:

ISO – позволяет определить скорость натекающей деформации ползучести $F(K)$ из уравнения для полной деформации:

$$\varepsilon = 1/E + F(K) \cdot \log_e(t + 1),$$

где E – модуль упругости (МПа);

t – время после загрузки образца (дни).

ASTM – предлагает следующее уравнение, из которого графически (в координатах деформации на единицу напряжения – время) можно определить постоянные величины $1/E$ и $F(K)$. В стандарте отсутствуют уточнения, но, анализируя размерности в формулах ниже, можно предположить, что имеются в виду относительные, а не абсолютные деформации.

$$\varepsilon = (1/E) + F(K) \ln(t+1),$$

где ε – полная деформация на единицу напряжения МПа⁻¹;

E – мгновенный модуль упругости МПа;

$F(K)$ – показатель скорости ползучести, определяемый графически как наклон кривой ползучести на графике;

t – время испытания с момента нагружения, дни.

EN – позволяет определить коэффициент ползучести через уравнение для деформаций полной ползучести:

$$\varepsilon_{cc}(t, t_0) = \left[\frac{\sigma_c(t_0)}{E_c} \right] \varphi(t, t_0),$$

где $\varphi(t, t_0)$ – коэффициент ползучести;

E_c – касательный модуль упругости, который принимается 1,05 от начального модуля упругости, определяемого в соответствии с EN 12390-13.

ГОСТ – позволяет определить предельные значения деформаций ползучести и усадки графически через построение диаграммы. Для этого вычисляют значения приращений по формуле:

$$\Delta t / \varepsilon_{yc}(t), \Delta t / \varepsilon_{in}(t),$$

где Δt – продолжительность проведения испытаний с момента его начала (снятия начального отсчета), сут.

Затем по диаграмме по оси ординат откладывают значения, вычисленные по формулам выше, а по оси абсцисс – значения Δt , начиная с момента времени Δt , равного 30 сут для усадки и 50 сут для ползучести. По полученным точкам строят прямую регрессии, котангенс угла которой принимают за предельное значение деформаций усадки $\varepsilon_{yc}(\infty)$ или ползучести $\varepsilon_{in}(\infty)$, а отрезок, отсекаемый этой прямой на продолжении оси абсцисс, за параметр скорости нарастания деформаций a_{yc} или a_{in} .

Таблица

Переходные коэффициенты для образцов разных размеров

Table

Transition coefficients for samples of different sizes

Размер ребра поперечного сечения образца, см	Переходные коэффициенты при определении	
	усадки	ползучести K_2
7	0,90	0,83
10	0,95	0,90
15	1,0	1,0
20	1,05	1,10

Уникальные разделы по каждому из стандартов

- ISO – соответствующая информация отсутствует.
- ASTM – в стандарте в виде отдельного раздела приведены основные требования к точности получаемых результатов (нормируется разница в результатах по различным образцам), однородности свойств образцов (коэффициенты вариации) и т. д.
- EN – соответствующая информация отсутствует.
- ГОСТ – использование переходных коэффициентов при проведении испытаний на образцах, отличных от базовых (базовым считается образец размерами 150 × 150 × 600 мм), предельные значения деформаций усадки и ползучести следует умножать на коэффициенты K_1 и K_2 .

Альтернативные методики проведения испытаний, примеры расчетов, приложения и дополнения к стандартам

- ISO – в стандарте имеется примечание, что условия хранения, твердения, времени загрузки и другие параметры могут быть изменены при необходимости получения свойств материалов при различных исходных параметрах, перечисленных ранее. Но при этом также указывается, что такие испытания не будут соответствовать требованиям данного стандарта ISO, и любое отклонение должно быть зафиксировано в протоколе испытаний.
- ASTM – стандарт допускает испытание образцов при специальных условиях хранения во время твердения для моделирования наиболее близких условий к реальной конструкции (адиабатические условия твердения и т. д.). Также допускается при испытании бетонных образцов для специфических объектов отступление от требований стандарта и проведение испытаний таким образом, чтобы работа испытываемого образца была максимально приближена к работе конструкции в части термической обработки, вида воздействия, возраста загрузки, конструкции объекта.
- EN – соответствующая информация отсутствует.
- ГОСТ – позволяет проведение испытаний образцов, насыщенных водой и нефтепродуктами, допускает альтернативный способ (упрощенный) определения ползучести бетона в режиме изгиб (приложение Е) – испытываются образцы балки, шарнирно лежащие на двух опорах, гравитационной нагрузкой, измеряется прогиб в середине пролета и просадки опор. В приложении Д приведена методика определения температурной усадки и ползучести бетона при нагреве. В приложении Е приведен пример обработки результатов испытаний и определения предельных значений деформаций ползучести.

Заключение

Выводы, сделанные в первой части сравнительного обзора испытательного оборудования (статья от 2020 г.), полностью применимы и ко второй части обзора, выполненного в данной статье в части проведения испытаний и обработки результатов.

Все рассмотренные западные стандарты – европейские, американские, международные – в той или иной мере гармонизированы между собой в отличие от действующего в нашей стране ГОСТ 25544. Необходима дальнейшая гармонизация ГОСТ 25544 с западными нормами (частично такая работа была проведена в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева при актуализации данного стандарта в 2020 г.).

В первой части обзора обращалось внимание, что при сравнении западных стандартов между собой наиболее четкие и логичные указания по проведению испытаний приведены в американском стандарте ASTM. Развивая данную мысль, необходимо отметить, что американские стандарты являются также и наиболее прагматичными в части удешевления и упрощения процесса проведения испытаний. Так, например, нормируемая влажность в климатической камере при проведении испытаний в ГОСТ составляет 60 %, в EN – 50–70 %, в ISO – 55 %, а в ASTM – 50 %. Создать влажность 50 % быстрее, легче и дешевле относительно более высоких значений; еще одной интересной особенностью является временная вилка снятия показаний в 2–6 часов в американском стандарте, это выглядит правильным, поскольку при проведении настоящих испытаний снять показания точно в срок удастся не всегда.

Список литературы

1. Александровский С.В. Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций. Москва: Стройиздат; 1976.
2. Арленинов П.Д., Крылов С.Б., Корнюшина М.П. Сравнение методов проведения длительных испытаний на ползучесть бетона в соответствии с российскими и зарубежными нормативными документами. Часть 1. Образцы и оборудование. Вестник НИЦ «Строительство». 2020;27(4):5–17. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4\(27\)-5-17](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4(27)-5-17)
3. Арутюнян Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести. Москва: Гостехиздат; 1952.
4. Прокопович И.Е. Основы прикладной линейной теории ползучести. Киев: Вища школа; 1978.
5. НИИЖБ Госстроя СССР. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций. Москва: Стройиздат; 1988. с. 5–15.
6. ГОСТ 24544-2020 Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести. Москва: Стандартинформ; 2021.
7. ISO 1920-3 Testing of concrete – Part 3: Making and curing test specimens. Geneva; 2019.
8. ISO 1920-4 Testing of concrete – Part 3: Strength of hardened concrete. Geneva; 2020.
9. ISO 1920-9 Testing of concrete – Part 9: Determination of creep of concrete cylinders in compression. Geneva; 2009.
10. ISO 1920-8 Testing of concrete – Part 8: Determination of drying shrinkage of concrete for samples prepared in the field or in the laboratory. Geneva; 2009.
11. ASTM C512/C512M Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression. ASTM International; 2015.
12. ASTM C617/C617M Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens ASTM International; 2015.
13. ASTM C192/ C192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. ASTM International; 2015.
14. ASTM C39/C39M Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM International; 2021.

15. ASTM C470/C470M Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically. ASTM International; 2015.
16. ASTM C157/C157M Standard Test Method Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete. ASTM International; 2017.
17. CEN-EN 12390-2 Testing hardened concrete – Part 2: Making and curing specimens for strength test. European Committee for Standardization; 2019.
18. CEN-EN 12390-3 Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens. European Committee for Standardization; 2019.
19. EN 12390-17 Testing hardened concrete – Part 17: Determination of creep of concrete in compression. European Committee for Standardization; 2017.

References

1. *Aleksandrovsky S.V.* Creep and shrinkage of concrete and reinforced concrete structures. Moscow: Stroiizdat Publ.; 1976 (in Russian).
2. *Arel'nikov P.D., Krylov S.B., Korniyushina M.P.* Comparison of methods of conducting long-term tests for concrete creep in accordance with Russian and foreign regulatory documents. Part 1. Samples and equipment. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2020;27(4): 5–17 (in Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4\(27\)-5-17](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4(27)-5-17)
3. *Arutyunyan N.Kh.* Some questions in creep theory. Moscow: Gostekhizdat Publ; 1952 (in Russian).
4. *Prokopovich I.E.* Fundamentals of applied linear theory of creep. Kyiv: Vishcha shkola Publ.; 1978 (in Russian).
5. NIIZHB Gosstroy USSR. Recommendations for taking into account the creep and shrinkage of concrete in the calculation of concrete and reinforced concrete structures. Moscow: Stroiizdat Publ.; 1988. pp. 5–15 (in Russian).
6. State Standard 24544-2020. Concrete. Methods for determining shrinkage and creep strains. Moscow: Standartinform Publ.; 2021 (in Russian).
7. ISO 1920-3 Testing of concrete – Part 3: Making and curing test specimens. Geneva; 2019.
8. ISO 1920-4 Testing of concrete – Part 3: Strength of hardened concrete. Geneva; 2020.
9. ISO 1920-9 Testing of concrete – Part 9: Determination of creep of concrete cylinders in compression. Geneva; 2009.
10. ISO 1920-8 Testing of concrete – Part 8: Determination of drying shrinkage of concrete for samples prepared in the field or in the laboratory. Geneva; 2009.
11. ASTM C512/C512M Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression. ASTM International; 2015.
12. ASTM C617/C617M Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens ASTM International; 2015.
13. ASTM C192/ C192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. ASTM International; 2015.
14. ASTM C39/C39M Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM International; 2021.
15. ASTM C470/C470M Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically. ASTM International; 2015.
16. ASTM C157/C157M Standard Test Method Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete. ASTM International; 2017.
17. CEN-EN 12390-2 Testing hardened concrete – Part 2: Making and curing specimens for strength test. European Committee for Standardization; 2019.
18. CEN-EN 12390-3 Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens. European Committee for Standardization; 2019.
19. EN 12390-17 Testing hardened concrete – Part 17: Determination of creep of concrete in compression. European Committee for Standardization; 2017.

Информация об авторе / Information about the author

Петр Дмитриевич Арленинов, канд. техн. наук, заместитель заведующего лабораторией механики железобетона НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: arleninoff@gmail.com

тел.: +7 (499) 174-74-07

Petr D. Arleninov, Cand. Sci. (Engineering), Deputy chief of the laboratory of reinforced concrete mechanics, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: arleninoff@gmail.com

tel.: +7 (499) 174-74-07

УДК 691.32; 691.535

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-44-62](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-44-62)

EDN: CBSOIY

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ БЕТОНА ПРИ ЕГО ТВЕРДЕНИИ В ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Н.В. БАРАННИК

С.В. КОТОВ[✉], канд. техн. наук

Е.С. ПОТАПОВА

С.С. МАЛАХИН

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

Аннотация

Введение. Тепловыделение бетона при его твердении в адиабатических условиях определяется по ГОСТ 24316. Данный метод сильно ограничен в исследовательских возможностях, т. к. в условиях постоянно повышающейся температуры невозможно адекватно оценить влияние различных компонентов или условий твердения на процессы, происходящие при твердении бетона. Оценка тепловыделения при твердении в изотермических условиях позволяет получать гораздо больше информации о процессе твердения исследуемого материала. Напрямую определить тепловыделение бетона при твердении в изотермических условиях технически крайне сложно.

Цель: разработка способа определения тепловыделения бетона в изотермических условиях.

Материалы и методы. В работе были использованы портландцемент ЦЕМ I 52,5Н ГОСТ 31108-2016; кварцевый песок; щебень габбро диабаз; вода затворения по ГОСТ 23732-2011. Определение прочности образцов бетона выполняли согласно ГОСТ 10180-2012. Для калориметрических исследований в работе использован изотермический калориметр TAM Air (TA Instruments).

Результаты. Разработан способ определения тепловыделения бетонов в изотермических условиях путем определения тепловыделения при твердении модельных смесей, отражающих состав исследуемого бетона. Оптимальный размер фракций частиц песка и щебня для изготовления модельных смесей составляет от 0,16 до 0,315 мм. Определено тепловыделение при твердении в изотермических условиях 10 модельных смесей, отражающих состав исследуемых бетонов. Исследован класс прочности 10 составов бетона, различающихся содержанием цемента. Определена зависимость тепловыделения модельных смесей и классов прочности исследуемых составов бетонов. Тепловыделение при твердении в изотермических условиях модельных смесей находится в прямой зависимости от прочности исследуемых составов бетона.

Выводы. Определение тепловыделения при твердении в изотермических условиях модельных смесей, отражающих состав бетонных смесей, является полезным испытанием, значительно ускоряющим, удешевляющим и облегчающим процесс контроля и проектирования составов бетонов.

Ключевые слова: бетон, тепловыделение бетона, изотермическая калориметрия

Для цитирования: Баранник Н.В., Котов С.В., Потапова Е.С., Малахин С.С. Определение тепловыделения бетона при его твердении в изотермических условиях. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;33(2):44–62. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-44-62](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-44-62)

Вклад авторов

Баранник Н.В. – обзор литературных данных, обработка результатов экспериментальной работы, выводы. Котов С.В. – обзор литературных данных и нормативных документов по методам испытания, определение тепловыделения исследуемых материалов, обработка результатов экспериментальной работы.

Потапова Е.С. – изготовление образцов для определения тепловыделения, обработка результатов экспериментальной работы.

Малахин С.С. – изготовление образцов бетона, определение классов прочности бетона, обработка результатов экспериментальной работы.

Финансирование

Работа выполнена за счет средств АО «НИЦ «Строительство».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 25.03.2022

Поступила после рецензирования 14.04.2022

Принята к публикации 19.04.2022

DETERMINATION OF THE CONCRETE HEAT EMISSION DURING ITS HARDENING IN ISOTHERMAL CONDITIONS

N.V. BARANNIK

S.V. KOTOV✉, Cand. Sci. (Engineering)

E.S. POTAPOVA

S.S. MALAKHIN

*Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev,
JSC Research Center of Construction, 2nd Institut'skaya str., 6, Moscow, 109428, Russian Federation*

Abstract

Introduction. The heat emission of concrete during its hardening in adiabatic conditions is typically determined according to the GOST 24316 State Standard. This method is quite limited in research possibilities, since under the conditions of constantly increasing temperature, it appears impossible to adequately assess the influence of various components or hardening conditions on the processes occurring during the concrete hardening. The assessment of the heat emission during the isothermal hardening allows much more information about the hardening process of the studied material to be obtained. The direct determination of the concrete heat emission during hardening in isothermal conditions appears to be extremely difficult in technical aspect.

Aim. The study is aimed at developing a method for determining the heat emission of the concrete in isothermal conditions.

Materials and methods. The GOST 31108-2016 TsEM I 52.5N portland cement, quartz sand, crushed gabbro-diabase, and the GOST 23732-2011 mixing water were used in the study. The strength of concrete samples was determined in accordance with the GOST 10180-2012 State Standard. The TAM Air (TA Instruments) isothermal calorimeter was used for calorimetric studies.

Results. As a result of the performed studies, a method for determining the concrete heat emission in isothermal conditions was developed on the basis of assessment of the heat emission during the hardening of model mixtures reflecting the composition of the studied concrete. The optimal particle size of the sand and crushed stone fractions for model mixtures comprises 0.16–0.315 mm. The heat emission during the isothermal hardening of 10 model mixtures reflecting the composition of the studied concrete grades was determined.

The strength class of 10 concrete compositions differing in cement content was established. The dependence of the heat emitted by model mixtures on the strength classes of the studied concrete compositions was determined. The heat emission of model mixtures during the isothermal hardening was established to be directly dependent on the strength of the studied concrete compositions.

Conclusions. The determination of the amount of heat emitted by model mixtures reflecting the composition of concrete mixtures during the isothermal hardening represents a useful cost-effective test significantly accelerating and facilitating the process of control and design of concrete compositions.

Keywords: concrete, concrete heat emission, isothermal calorimetry

For citation: Barannik N.V., Kotov S.V., Potapova E.S., Malakhin S.S. Determination of the concrete heat emission during its hardening in isothermal conditions. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):44–62. (In Russ.) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-44-62](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-44-62)

Author contribution statements

Barannik N.V. – literature review, processing of experimental results, conclusions.

Kotov S.V. – literature review, review of regulatory documents on test methods, heat emission determination, processing of experimental results.

Potapova E.S. – preparation of samples for heat emission determination, processing of experimental results.

Malakhin S.S. – preparation of concrete samples, determination of concrete strength classes, processing of experimental results.

Funding

The study was carried out at the expense of the JSC Research Center of Construction.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 25.03.2022

Revised 14.04.2022

Accepted 19.04.2022

Введение

Практически все процессы, наблюдаемые в природе, так или иначе связаны с превращением энергии – выделением или поглощением тепла. Исследования в этой области позволяют изучать тепловые эффекты физических процессов или химических реакций, биологические явления, оптимизировать производственные процессы и, учитывая энтропию, выявлять условия химических равновесий. Данные о значениях тепловых эффектов и о характере их протекания являются одними из основных как в практике научных исследований, так и при оптимизации или контроле многочисленных производственных технологических процессов.

Изучение тепловых эффектов химических реакций и физико-химических процессов – задача термохимии, одного из разделов химической термодинамики. Основным экспериментальным методом в термохимии, с помощью которого измеряются тепловые эффекты, является калориметрия. Таким образом, калориметрия – это совокупность методов и средств измерения тепловых эффектов, сопровождающих различные физические, химические и биологические процессы.

Процесс твердения любого строительного материала на основе цемента происходит с выделением тепла, особенно в начальные этапы твердения. Тепловыделение цемента при его

твердении отражает развитие процесса гидратации, от которого зависят все технические свойства цементных растворов и бетонов.

В целом гидратация цемента представляет собой совокупность сложных физических и химических процессов, обусловленных полиминеральностью цемента [1–4]. Таким образом, реакции гидратации отдельных цементных минералов протекают одновременно и параллельно, при этом данные реакции накладываются одна на другую и взаимно влияют друг на друга.

Несмотря на сложность процесса гидратации, равновесие в системе твердеющего цемента неизбежно наступает, но в достаточно отдаленный промежуток времени, так как при гидратации цемента образуются промежуточные соединения и метастабильные фазы, постепенно превращающиеся в устойчивые соединения. Примером такого процесса является образование гидратов, вступающих в реакцию друг с другом с образованием цементного геля, переходящего в пористый материал, который растет в насыщенном водой пространстве, в случае цементного раствора и бетона – в пространстве между частицами заполнителя. Дальнейшие реакции повышают прочность, снижают пористость и проницаемость цементной структуры. Для большинства материалов на основе цемента скорость реакций гидратации значительно снижается после первого дня гидратации [5, 6]. Однако процесс гидратации продолжается годами при условии наличия пространства для роста продуктов гидратации. Именно отсутствие пространства для роста продуктов гидратации является лимитирующим фактором долгосрочной гидратации цемента в структуре материала [7].

Классическим примером долгосрочной гидратации материалов на основе цемента является эффект постоянного повышения прочности бетона с возрастом твердения [8, 9]. В среднем прочность рядового строительного бетона при твердении в течение одного года превышает на 30 % прочность того же бетона, твердевшего один месяц [1].

В основе методов оценки тепловыделения материалов на основе цемента заключается необходимость в обеспечении постоянства отношений между количеством тепла, накапливаемом в образце материала, и тепла, рассеиваемого в окружающей среде. Поставленному условию удовлетворяют два температурных режима твердения материала:

- адиабатический режим, в котором процесс тепловыделения развивается в условиях закономерно повышающейся температуры;
- изотермический режим, в котором температура образца исследуемого материала все время остается постоянной.

Оценка развития гидратации цемента и твердения бетона в адиабатических условиях является весьма сложной. Отсутствие теплообмена со средой, в которой происходит испытание и обусловленное этим непрерывное повышение температуры бетона, приводит к самоускорению процесса тепловыделения, закономерности которого трудно поддаются анализу [10]. Фактически при твердении в адиабатических условиях бетон достигает некоторой максимальной температуры разогрева, при этом темп достижения данного теплового эффекта будет значительно отличаться от темпа тепловыделения в изотермических условиях твердения.

Общий принцип определения тепловыделения при твердении материала в изотермических условиях заключается в фиксировании разницы в тепловых потоках между исследуемым образцом и образцом сравнения. При этом тепловыделение из исследуемого образца рассеивается достаточно быстро до уровня температуры в термостате калориметра,

что позволяет поддерживать температуру исследуемого образца на постоянном уровне. Любые посторонние воздействия будут оказывать влияние как на исследуемый образец, так и на образец сравнения, которые дифференциально связаны между собой, поэтому данные воздействия будут взаимно исключаться и не окажут влияния на ход эксперимента [11].

Часто указывают, что одним из преимуществ адиабатических калориметров по сравнению с изотермическими является то, что в реальных условиях при возведении строительных конструкций температура твердеющего материала постоянно повышается. Однако это не является однозначным преимуществом, так как в разных частях любой строительной конструкции температура твердеющего материала повышается по-разному. Таким образом, для изучения и оценки процесса тепловыделения при твердении строительных материалов целесообразно применять именно изотермическую калориметрию, так как изотермические калориметры имеют техническую возможность в изменении температурных условий твердения исследуемого материала, что позволяет гораздо более детально исследовать процесс гидратации материалов на основе цемента [11].

В целом изотермическая калориметрия представляет собой подходящий метод для изучения различных длительных процессов и имеет следующие преимущества [11, 12]:

- универсальный метод изучения практически всех процессов (физических, химических и биологических), проходящих с выделением тепла;
- высокая чувствительность современных изотермических калориметров, способность детектирования крайне низкого аналитического сигнала;
- высокая стабильность, надежные калибровочные коэффициенты и базовые линии при измерении;
- изотермические калориметры проводят прямое измерение тепловыделения, которое пропорционально проходящим в материале реакциям;
- нет необходимости точного знания теплоемкости исследуемых материалов;
- нет необходимости в знании энергии активации процесса гидратации;
- современные изотермические калориметры очень стабильны во времени и не требуют калибровки чаще двух раз в год;
- температура при гидратации исследуемого материала в изотермическом калориметре никогда не достигает невозможных на практике значений (в адиабатическом калориметре температура может достигать 90 °С, что значительно превышает условия в реальных конструкциях);
- именно информация о зависимости тепловыделения от времени гидратации образца, твердеющего при постоянной температуре в изотермических условиях, применяется в расчете развития прочности бетона и риска образования трещин из-за высоких температур.

В области исследования процесса гидратации цемента изотермическая калориметрия широко используется для количественного анализа реакций гидратации на ранних этапах твердения [13–15]. Существуют примеры работ, показывающих, что прочность цементного раствора примерно линейно соотносится с тепловыделением при твердении данного материала [16–19].

Несмотря на все достоинства изотермической калориметрии, единственным возможным ограничением данного метода является размер анализируемого образца [12, 20]. Тепловыделение больших образцов бетона может быть определено только в адиабатических калориметрах.

Однако размер образца не является причиной невозможности исследования тепловыделения бетона в изотермических калориметрах. Существуют примеры работ, подтверждающие возможность исследования тепловыделения в изотермических условиях не только цемента и цементного раствора, но и мелкозернистого бетона [11]. Тепловыделение бетона с крупным заполнителем также возможно исследовать в изотермических условиях, одним из путей решения данного вопроса является отделение крупного заполнителя на этапе подготовки пробы к анализу [11].

В настоящий момент определение тепловыделения цемента и его мощности при гидратации определяется согласно ГОСТ 310.5-88 «Цементы. Метод определения тепловыделения». В данном стандарте предусмотрено использование изотермических калориметров для определения тепловыделения при твердении цемента. Так, согласно ГОСТ 310.5, тепловыделение при гидратации цемента следует определять в течение 3 суток с последующей экстраполяцией экспериментальных данных до 7 суток.

Процесс экстраполяции экспериментальных данных является устаревшим, так как современные изотермические калориметры позволяют проводить с высокой точностью измерение тепловыделения при твердении материалов на основе цемента в течение практически неограниченного промежутка времени. Данный факт подтверждается тем, что в международных стандартах ASTM C1702-17 «Standard Test Method for Measurement of Heat of Hydration of Hydraulic Cementitious Materials Using Isothermal Conduction Calorimetry» и BS EN 196-11:2018 «Method of testing cement heat of hydration. Isothermal conduction calorimetry method», которые также регламентируют определение тепловыделения материалов на основе цемента с помощью изотермических калориметров, определение тепловыделения выполняется в течение 7 суток без какой-либо экстраполяции экспериментальных данных.

ASTM C1702 и BS EN 196-11:2018 являются гораздо более современными документами по сравнению с ГОСТ 310.5 и предоставляют более широкую информацию об устройстве изотермических калориметров, процессу их калибровки и общему функционированию, что значительно облегчает проведение калориметрических испытаний. ASTM C1702 дополняет ASTM C1679-17 «Standard Practice for Measuring Hydration Kinetics of Hydraulic Cementitious Mixtures Using Isothermal Calorimetry», данный стандарт также посвящен определению тепловыделения при твердении в изотермических условиях материалов на основе цемента, таких как цементные пасты и цементные растворы.

Определение тепловыделения при твердении в изотермических условиях цементного раствора нормируется европейским стандартом NT Build 505 «Measurement of heat of hydration of cement with heat conduction calorimetry». Основные положения данного стандарта в целом совпадают с BS EN 196-11:2018, ASTM C1679 и ASTM C1702.

Определение тепловыделения при твердении бетона в РФ проводится согласно ГОСТ 24316-80 «Бетоны. Метод определения тепловыделения при твердении». Данный стандарт распространяется на бетоны на основе цемента и устанавливает метод определения удельного тепловыделения цемента в бетоне, твердеющем в адиабатических условиях, путем установления величины подъема температуры во времени и последующего проведения необходимых расчетов. Сложность расчетов по методу, изложенному в ГОСТ 24316, заключается в необходимости точного определения удельных теплоемкостей каждого компонента бетонной смеси.

Экспериментальная часть

Для изготовления бетонных смесей и смесей, моделирующих составы исследуемого бетона, были использованы следующие материалы:

- ЦЕМ I 52,5Н ГОСТ 31108-2016;
- кварцевый песок;
- щебень габбро диабаз;
- вода затворения по ГОСТ 23732-2011.

Определение тепловыделения при твердении исследуемых материалов

Примененное общее лабораторное оборудование (колбы, стаканы, сита и т. д.) соответствует требованиям действующих нормативных документов.

Основное примененное оборудование:

- весы OHAUS AR 2140;
- сухожаровые шкафы с естественной конвекцией Binder ED 53;
- вибрационная дисковая мельница Retsch RS 200;
- мельница-ступка Retsch RM 200;
- изотермический калориметр TAM Air со специальными перемешивающими устройствами, обеспечивающими затворение водой и перемешивание исследуемого материала в изотермических условиях внутри калориметрической ячейки.

TAM Air представляет собой восьмиканальный изотермический калориметр, регистрирующий тепловые эффекты в микроваттном диапазоне. У прибора имеются восемь калориметрических каналов, собранных в одном блоке с единым теплоотводом, расположенным в воздушном термостате, который обеспечивает работу прибора в условиях контролируемой температуры.

Общий принцип измерения теплового потока основан на том, что каждый калориметрический канал имеет двойную конфигурацию. Одна сторона канала предназначена для исследуемого образца, другая – для образца сравнения (эталоны).

Исследуемый образец материала без воды затворения помещают в стеклянные ампулы емкостью 20 мл. Вес образца с учетом воды затворения не превышает 15 г. Для смешивания исследуемого образца с водой затворения ампулу с образцом оснащают специальной насадкой с перемешивающим устройством, которая поставляется в комплекте с калориметром. Конструкция насадки с перемешивающим устройством позволяет термостатировать и изолировать ампулы и шприцы в калориметре до фактического начала процесса реакции.

Образец сравнения представляет собой навеску прокаленного при 300 °С кварцевого песка, помещенного в аналогичную, как и для исследуемого образца, герметично закрытую стеклянную ампулу. Масса навески песка для образца сравнения $m_{\text{песка сравнения}}$, г, рассчитывается по формуле 1 для каждого испытуемого образца в зависимости от количества компонентов в исследуемом образце:

$$m_{\text{песка сравнения}} = \frac{m_i * c_i + m_{i+1} * c_{i+1} + m_{i+2} * c_{i+2} + \dots}{C_{\text{песка сравнения}}}, \quad (1)$$

где m_i – масса компонента в исследуемом образце, г;

c_i – удельная теплоемкость компонента в исследуемом образце, Дж/(г*К);
 $c_{\text{песка сравнения}}$ – удельная теплоемкость песка для образца сравнения, Дж/(г*К).

Проведение эксперимента и обработку экспериментальных данных, получаемых на калориметре TAM Air, осуществляли с использованием специального программного обеспечения (ПО) TAM Assistant. Регистрацию результатов измерений тепловых потоков проводили непрерывно в режиме реального времени. Общее время единичного испытания составило 7 суток с момента затворения испытуемого образца. По окончании испытания ПО автоматически проводило обработку экспериментальных данных.

Изготовление и испытание образцов бетона

Смешение компонентов бетонной смеси производили с использованием смесителя бетонного Pemat Zyklos ZK 30HE. Взвешивание компонентов проводили с использованием весов ED-H-15.

Образцы для испытаний изготавливались в разборных металлических формах с размером ячейки 100 × 100 × 100 мм. Перед использованием форм их внутренние поверхности были покрыты тонким слоем смазки.

Образцы после изготовления до их распалубливания хранили в формах, покрытых влажной тканью, в помещении с температурой воздуха $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$. Образцы бетона распалубливали не ранее чем через 24 ч и не позднее чем через 72 ч. После распалубливания образцы помещались в камеру с нормальными условиями твердения: с температурой $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажностью воздуха $(95 \pm 5)\%$.

Определение прочности образцов бетона выполняли согласно ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Результаты и обсуждение

Основным препятствием, ограничивающим исследование твердения цементного раствора и бетона в изотермических условиях, является размер образца для испытания. Исходя из технических возможностей ампулы, соединенной с перемешивающим устройством, было принято решение в ограничении максимального размера частиц заполнителя до 0,5 мм.

С целью определения оптимального размера частиц для моделирования бетонной смеси щебень и песок были измельчены до полного прохождения через сито с размером ячейки 0,5 мм, после чего полученный материал дополнительно был рассеян на 3 фракции: от 0 до 0,16 мм, от 0,16 до 0,315 мм и от 0,315 до 0,5 мм.

Таким образом было подготовлено три цементных раствора, состоящих из трех компонентов: цемент, песок и щебень. Соотношение цемента, песка и щебня составило 1 : 2 : 3 по массе. Водоцементное отношение составляло 0,5.

Изотермические условия твердения растворов были обеспечены при температуре 23°C , так как данная температура проведения эксперимента указана в ASTM C1679 и ASTM C1702.

Результаты определения тепловыделения при твердении в изотермических условиях исследуемых цементных растворов, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Тепловыделение при твердении цементных растворов

Table 1

Heat emission during the cement mortar hardening

Образец	Измеряемый показатель (ИП), ед. измерения	Время испытания, сутки			
		1	2	3	7
Цементный раствор № 1 2 г ЦЕМ I 52,5Н 4 г Песок (фракция 0–0,16 мм) 6 г Щебень (фракция 0–0,16 мм) В/Ц = 0,5	Удельная мощность тепловыделения W_r , Вт/г	0,000217	0,000073	0,000042	0,000011
	Удельное тепловыделение q_r , Дж/г	32,4793	42,7742	47,5916	54,8295
Цементный раствор № 2 2 г ЦЕМ I 52,5Н 4 г Песок (фракция 0,16–0,315 мм) 6 г Щебень (фракция 0,16–0,315 мм) В/Ц = 0,5	Удельная мощность тепловыделения W_r , Вт/г	0,000223	0,000084	0,000047	0,000013
	Удельное тепловыделение q_r , Дж/г	30,8697	42,5516	47,9379	56,3371
Цементный раствор № 3 2 г ЦЕМ I 52,5Н 4 г Песок (фракция 0,315–0,5 мм) 6 г Щебень (фракция 0,315–0,5 мм) В/Ц = 0,5	Удельная мощность тепловыделения W_r , Вт/г	0,000217	0,000072	0,000041	0,000010
	Удельное тепловыделение q_r , Дж/г	32,5108	42,8816	47,6169	54,4673

Зависимость удельной мощности тепловыделения цементных растворов от времени твердения представлена на рис. 1.

Зависимость удельного тепловыделения цементных растворов от времени твердения представлена на рис. 2.

Наибольшее тепловыделение при твердении цементных растворов в изотермических условиях в течение 7 суток наблюдается при использовании фракций заполнителей с размерами частиц от 0,16 до 0,315 мм.

Практически совпадающие результаты тепловыделения у цементных растворов с фракциями заполнителей с размерами частиц от 0 до 0,16 мм и от 0,315 до 0,5 мм объясняется технической сложностью перемешивания цементных растворов при введении воды затворения. Фактически твердение в данном случае происходит по цементной составляющей, и фракции заполнителя не оказывают влияние на процесс тепловыделения.

Таким образом, для моделирования бетонных смесей наиболее эффективно использовать фракции песка и щебня с размерами частиц от 0,16 до 0,315 мм. Моделируемые бетонные смеси должны состоять из тех же самых компонентов, что и реальные бетонные смеси.

Для проведения эксперимента было разработано 10 составов бетона, соотношение компонентов в которых представлено в табл. 2.

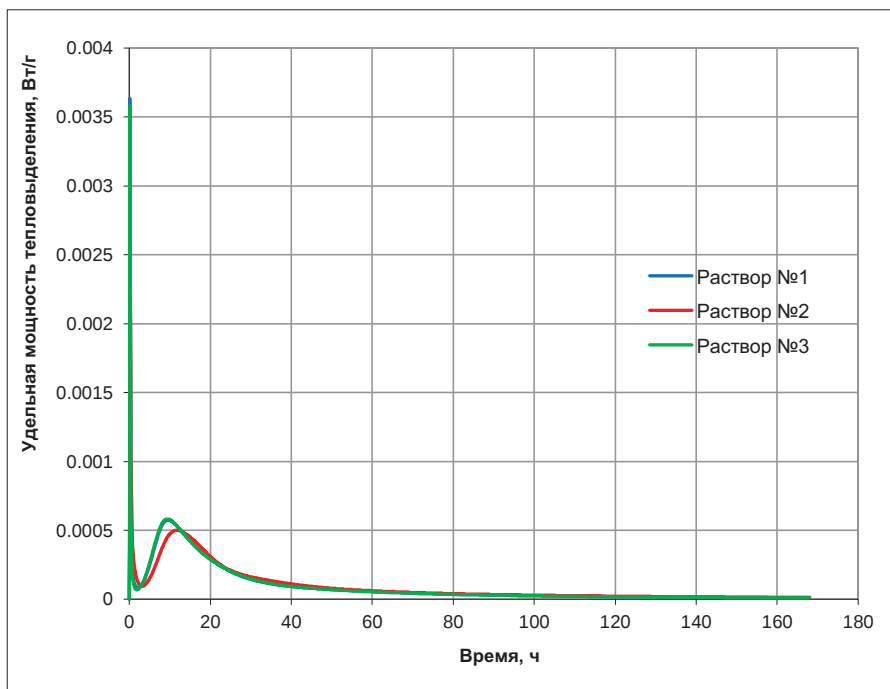


Рис. 1. Удельная мощность тепловыделения цементных растворов
Fig. 1. Specific heat emission rate of cement mortars

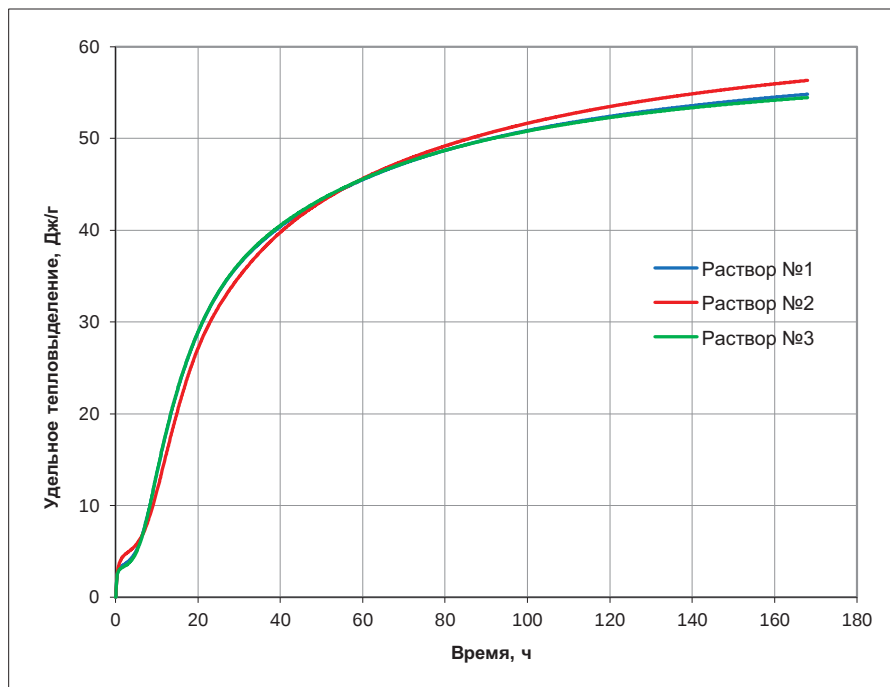


Рис. 2. Удельное тепловыделение цементных растворов
Fig. 2. Specific heat emission of cement mortars

Таблица 2

Составы бетонов

Table 2

Concrete compositions

№ состава	Расход материалов, кг/м³			
	Цемент	Песок	Щебень	Вода
1	200	875	1100	145
2	230	850	1100	150
3	260	825	1100	155
4	290	800	1100	160
5	320	775	1100	175
6	350	750	1100	175
7	380	725	1100	185
8	410	700	1100	185
9	440	675	1100	195
10	470	650	1100	205

Для проведения испытаний по определению тепловыделения при твердении исследуемых бетонов в изотермических условиях были рассчитаны модельные составы таким образом, чтобы общая масса каждого образца составляла 13 г. Для каждого образца модельной смеси была рассчитана масса образца сравнения. Изотермические условия твердения модельных смесей были обеспечены при температуре 23 °С.

Результаты определения тепловыделения при твердении в изотермических условиях модельных смесей, отражающих составы исследуемых бетонов, представлены в табл. 3.

Анализ экспериментальных данных показывает тенденцию к увеличению тепловыделения при твердении в изотермических условиях модельных смесей, отражающих состав исследуемых бетонов при увеличении содержания цемента в бетонной смеси. Удельное тепловыделение при твердении в течение 7 суток Состава № 1, имеющего наименьшее содержание цемента, равное 200 кг/м³, составляет 32,4 Дж/г. Удельное тепловыделение при твердении в течение 7 суток Состава № 10, имеющего наибольшее содержание цемента, равное 470 кг/м³, составляет 66,2 Дж/г.

Зависимость между содержанием цемента в бетоне и тепловыделением при твердении модельных смесей в изотермических условиях в течение 7 суток представлена на рис. 3.

Тепловыделение при твердении модельных смесей в изотермических условиях в течение 7 суток практически линейно возрастает в области содержания цемента в бетоне от 260 до 470 кг/м³. Наблюдаемое отсутствие линейной зависимости при повышении тепловыделения модельных смесей в области содержания цемента в бетоне от 200 до 260 кг/м³ объясняется тем, что тепловыделение при твердении материалов на основе цемента отражает ход процесса физико-химических реакций в твердеющей системе, которые напрямую связаны с конечной прочностью исследуемого затвердевшего образца материала.

Таким образом, необходимо оценить зависимость тепловыделения при твердении модельных смесей в изотермических условиях от прочности образцов бетона исследуемых составов.

Таблица 3

Тепловыделение при твердении модельных составов

Table 3

Heat emission during the hardening of model compositions

Образец	Измеряемый показатель (ИП), ед. измерения	Время испытания, сутки			
		1	2	3	7
Состав № 1	Удельная мощность тепловыделения W_p , Вт/г	0,000115	0,000044	0,000027	0,000006
	Удельное тепловыделение q_p , Дж/г	18,8986	24,8560	27,8576	32,3985
Состав № 2	Удельная мощность тепловыделения W_p , Вт/г	0,000124	0,000049	0,000031	0,000006
	Удельное тепловыделение q_p , Дж/г	21,3230	27,8022	31,1907	36,1408
Состав № 3	Удельная мощность тепловыделения W_p , Вт/г	0,000156	0,000061	0,000041	0,000010
	Удельное тепловыделение q_p , Дж/г	25,3721	33,4235	37,7274	44,7889
Состав № 4	Удельная мощность тепловыделения W_p , Вт/г	0,000167	0,000066	0,000042	0,000010
	Удельное тепловыделение q_p , Дж/г	27,8015	36,6454	41,2341	48,4896
Состав № 5	Удельная мощность тепловыделения W_p , Вт/г	0,000183	0,000074	0,000045	0,000010
	Удельное тепловыделение q_p , Дж/г	29,5435	39,3714	44,3844	51,9537
Состав № 6	Удельная мощность тепловыделения W_p , Вт/г	0,000197	0,000078	0,000044	0,000011
	Удельное тепловыделение q_p , Дж/г	32,4793	42,7742	47,5916	54,8295
Состав № 7	Удельная мощность тепловыделения W_p , Вт/г	0,000207	0,000084	0,000045	0,000009
	Удельное тепловыделение q_p , Дж/г	33,9767	45,3198	50,6380	57,7479
Состав № 8	Удельная мощность тепловыделения W_p , Вт/г	0,000222	0,000090	0,000046	0,000010
	Удельное тепловыделение q_p , Дж/г	35,6982	47,9804	53,5873	60,6937

Продолжение табл. 3
Continuation of the table 3

Образец	Измеряемый показатель (ИП), ед. измерения	Время испытания, сутки			
		1	2	3	7
Состав № 9	Удельная мощность тепловыделения W_p , Вт/г	0,000240	0,000093	0,000045	0,000009
	Удельное тепловыделение q_p , Дж/г	37,8044	50,8389	56,5209	63,3774
Состав № 10	Удельная мощность тепловыделения W_p , Вт/г	0,000245	0,000096	0,000045	0,000009
	Удельное тепловыделение q_p , Дж/г	40,3369	53,6781	59,4453	66,2328

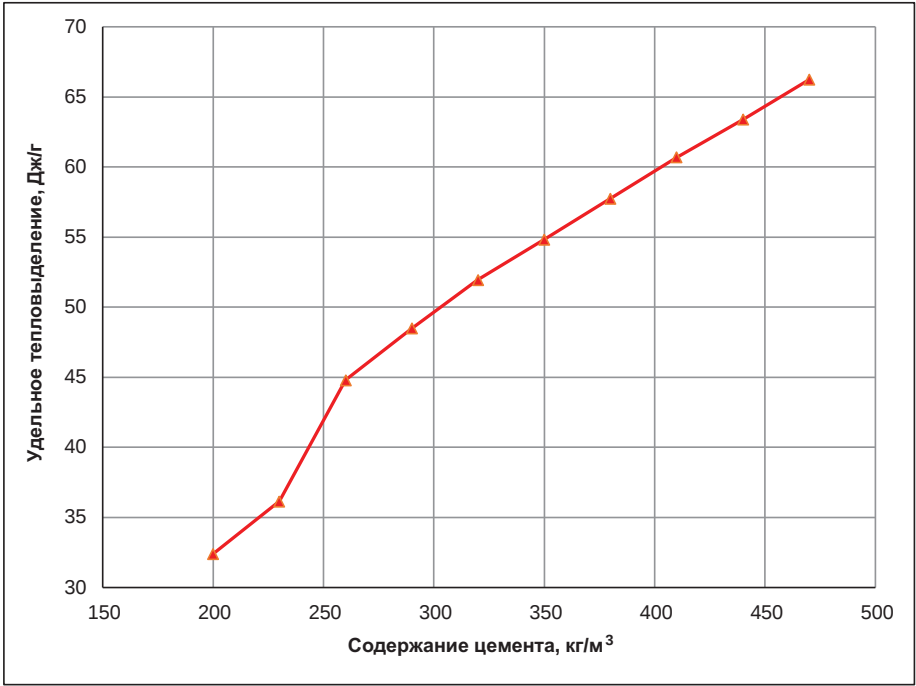


Рис. 3. Зависимость между содержанием цемента в бетоне и тепловыделением при твердении модельных смесей в течение 7 суток
Fig. 3. Dependence between the cement content in the concrete and the heat emission during the 7-day hardening of model mixtures

Результаты определения классов прочности образцов бетона исследуемых составов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Определение классов прочности исследуемых составов бетона

Table 4

Determination of strength classes for tested concrete compositions

№ состава	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте			Класс бетона
	4 суток	7 суток	28 суток	
1	20,2	23,1	27,4	B20
2	25,1	27,0	32,7	B25
3	30,8	33,4	40,7	B30
4	33,0	35,9	43,5	B30
5	34,8	37,6	45,0	B30
6	37,4	39,1	47,7	B35
7	39,3	41,8	48,4	B35
8	40,1	42,3	51,7	B35
9	41,5	44,5	53,6	B40
10	42,3	46,0	55,4	B40

Прочность образцов бетона исследуемых составов повышается во все сроки твердения с увеличением содержания цемента в бетонной смеси.

Зависимость между тепловыделением модельных смесей и прочностью образцов бетона исследуемых составов на сжатие представлена на рис. 4.

Тепловыделение при твердении в течение 7 суток модельных смесей, отражающих составы исследуемого бетона, практически линейно повышается с ростом прочности при твердении в течение 7 суток образцов бетона исследуемых составов (рис. 4). Также тепловыделение при твердении в течение 7 суток модельных смесей возможно соотнести с прочностью образцов бетона исследуемых составов, которые твердели в течение 28 суток (рис. 4), с получением практически схожей линейной зависимости.

Таким образом, сопоставление данных по тепловыделению при твердении модельных смесей и прочности исследуемых образцов бетона подтверждают положение о прямой зависимости тепловыделения при твердении материалов на основе цемента от их прочности.

Анализ экспериментальных данных показывает, что возможно различное использование результатов определения удельного тепловыделения при твердении в изотермических условиях модельной смеси, отражающей состав исследуемого бетона.

Например, при условии использования одного типа цемента при проектировании составов бетона, оценив удельное тепловыделение модельной смеси при твердении в течение 7 суток, возможно сделать прогноз о прочности бетона как в 7, так и в 28 суток твердения.

Сопоставив результаты тепловыделения в изотермических условиях модельной смеси с содержанием цемента в проектируемой бетонной смеси, возможно рассчитать тепловыделение бетона, которое возникнет в строительных конструкциях при повышении или уменьшении содержания цемента в бетоне.

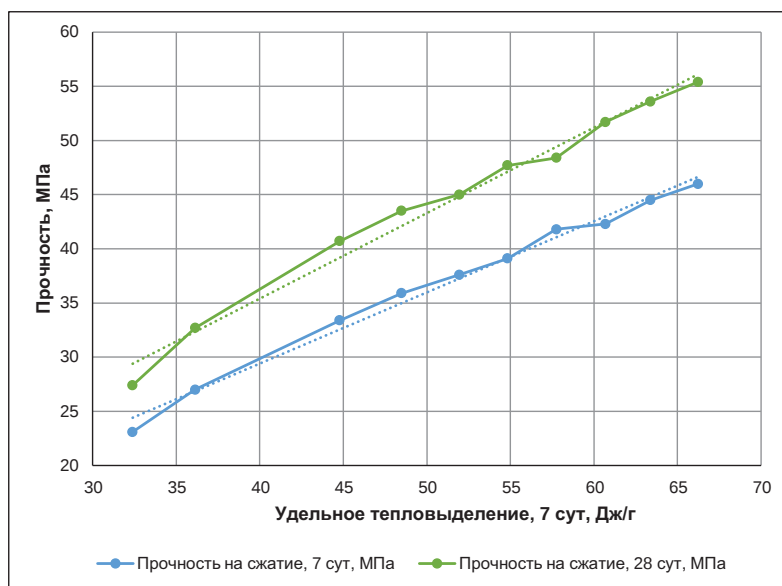


Рис. 4. Зависимость между тепловыделением модельных смесей и прочностью образцов бетона различного состава на сжатие

Fig. 4. Dependence between the heat emission of model mixtures and the compression strength of various-composition concrete samples

При необходимости замены цемента в бетонной смеси на цемент иного типа или состава, сопоставлении тепловыделения при твердении модельной смеси, отражающей исходный состав бетона, и тепловыделения при твердении модельной смеси, отражающей состав бетона с новым цементом, возможно сделать заключение о целесообразности данного действия с прогнозом прочности исследуемых бетонов.

Влияние различных химических и минеральных добавок на процесс твердения бетона также можно оценить путем сопоставления результатов тепловыделения модельной смеси, отражающей исходный состав исследуемого бетона, с тепловыделением модельной смеси, отражающей состав бетона с различными добавками, с возможностью прогноза прочности бетона в разные сроки твердения.

Заключение

На основании результатов выполненной экспериментальной работы можно сделать следующие выводы.

1. Тепловыделение бетона в изотермических условиях возможно измерять путем определения тепловыделения при твердении в изотермических условиях модельных смесей, отражающих состав исследуемого бетона.
2. Оптимальный размер фракций частиц песка и щебня для изготовления данных модельных смесей составляет от 0,16 до 0,315 мм.
3. Результаты тепловыделения при твердении в изотермических условиях смесей, моделирующих составы бетона, находятся в прямой зависимости от прочности исследуемых

составов бетона, что подтверждает надежность предлагаемого метода определения тепловыделения бетона.

4. Разработанный метод определения тепловыделения бетона в изотермических условиях значительно облегчит и ускорит подбор различных составов бетона. Результаты определения удельного тепловыделения позволят сделать прогноз прочности исследуемых составов бетона, изучить влияние модифицирующих добавок на набор прочности бетона. Особенно перспективно применение разработанного метода для определения влияния добавок, действие которых в составе бетона малоизучено, например различных техногенных материалов, продуктов рециклинга строительных материалов и других.

Список литературы

1. *Linderoth O., Wadsö L., Jansen D.* Long-term cement hydration studies with isothermal calorimetry. *Cement and Concrete Research*. 2021;141:106344. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106344>
2. *Scrivener K., Ouzia A., Juilland P., Kunhi Mohamed A.* Advances in understanding cement hydration mechanisms. *Cement and Concrete Research*. 2019;124:105823. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105823>
3. *Ушеров-Маршак А.В.* Калориметрия цемента и бетона. Избранные труды. Харьков: Факт; 2002.
4. *Мчедлов-Петросян О.П., Урженко А.М.* Тепловыделение при твердении вяжущих веществ и бетонов. Москва: Стройиздат; 1984.
5. *De Weerd K., Ben Haha M., Le Saout G., Kjellsen K.O., Justnes H., Lothenbach B.* Hydration mechanisms of ternary Portland cements containing lime stone powder and fly ash. *Cement and Concrete Research*. 2011;41:279–291. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.11.014>
6. *Jansen D., Goetz-Neunhoffer F., Lothenbach B., Neubauer J.* The early hydration of ordinary Portland cement (OPC): an approach comparing measured heat flow with calculated heat flow from QXRD. *Cement and Concrete Research*. 2012;42(1):134–138. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.09.001>
7. *Berodier K., Scrivener K.* Evolution of pore structure in blended systems. *Cement and Concrete Research*. 2015;73:25–35. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.02.025>
8. *Sivasundaram V., Carette G.G., Malhotra V.M.* Long-term strength development of high-volume fly ash concrete. *Cement & Concrete Composites*. 1990;12(4): 263–270. [https://doi.org/10.1016/0958-9465\(90\)90005-i](https://doi.org/10.1016/0958-9465(90)90005-i)
9. *Ding X., Li C., Xu Y., Li F., Zhao S.* Experimental study on long-term compressive strength of concrete with manufactured sand. *Construction and Building Materials*. 2016;108:67–73. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.028>
10. *Запорожец И.Д., Огороков С.Д., Парийский А.А.* Тепловыделение бетона. – Москва: Издательство литературы по строительству; 1966.
11. *Wadsö L.* An experimental comparison between isothermal calorimetry, semi-adiabatic calorimetry and solution calorimetry for the study of cement hydration. Nordtest Techn. Report 522 [Internet]. 2003. Available at: <http://www.nordtest.info/wp/2003/03/28/an-experimental-comparison-between-isothermal-calorimetry-semi-adiabatic-calorimetry-and-solution-calorimetry-for-the-study-of-cement-hydration-nt-tr-522/>
12. *Wadsö L.* Operational issues in isothermal calorimetry. *Cement and Concrete Research*. 2010;40(7):1129–1137. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.03.017>
13. *Bogner A., Link J., Baum M., Mahlbacher M., Gil-Diaz T., Lutzenkirchen J., et al.* Early hydration and microstructure formation of Portland cement paste studied by oscillation rheology, isothermal calorimetry, ¹H NMR relaxometry, conductance and SAXS. *Cement and Concrete Research*. 2020;130:105977. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.105977>
14. *De Matos P.R., Prudencio Jr. L.R., Pilar R., Gleize P.J.P., Pelisser F.* Use of recycled water from mixer truck wash in concrete: effect on the hydration, fresh and hardened properties. *Construction and Building Materials*. 2020;230:116981. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116981>
15. *John E., Epping J.D., Stephan D.* The influence of the chemical and physical properties of C-S-H seed on their potential to accelerate cement hydration. *Construction and Building Materials*. 2019;228:116723. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116723>

16. *Frølich L., Wadsö L., Sandberg P.* Using isothermal calorimetry to predict one day mortar strengths. *Cement and Concrete Research*. 2016;88:108–113. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2016.06.009>
17. *Königsberger M., Carette J.* Validated hydration model for slag-blended cement based on calorimetry measurements. *Cement and Concrete Research*. 2020;128:105950. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105950>
18. *Pichler C., Lackner R.* Post-peak decelerating reaction of Portland cement: monitoring by heat flow calorimetry, modelling by Elovich-Landsberg model and reaction-order model. *Construction and Building Materials*. 2020;231:117107. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117107>
19. *Parrott L.J., Geiker M., Gutteridge W.A., Killoh D.* Monitoring Portland cement hydration: comparison of methods. *Cement and Concrete Research*. 1990;20(6):919–926. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(90\)90054-2](https://doi.org/10.1016/0008-8846(90)90054-2)
20. *Wadsö L.* Temperature changes within samples in heat conduction calorimeters. *Thermochimica Acta*. 2001;366(2):121–127. [https://doi.org/10.1016/s0040-6031\(00\)00738-3](https://doi.org/10.1016/s0040-6031(00)00738-3)

References

1. *Linderoth O., Wadsö L., Jansen D.* Long-term cement hydration studies with isothermal calorimetry. *Cement and Concrete Research*. 2021;141:106344. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106344>
2. *Scrivener K., Ouzia A., Juilland P., Kunhi Mohamed A.* Advances in understanding cement hydration mechanisms. *Cement and Concrete Research*. 2019;124:105823. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105823>
3. *Usharov-Marshak A.V.* Calorimetry of cement and concrete. Selected works. Khar'kov: Fact Publ.; 2002 (in Russian).
4. *Mchedlov-Petrosyan O.P., Usharov-Marshak A.V., Urzhenko A.M.* Heat emission during the hardening of binders and concretes. Moscow: Stroiizdat Publ.; 1984 (in Russian).
5. *De Weerd K., Ben Haha M., Le Saout G., Kjellsen K.O., Justnes H., Lothenbach B.* Hydration mechanisms of ternary Portland cements containing lime stone powder and fly ash. *Cement and Concrete Research*. 2011;41:279–291. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.11.014>
6. *Jansen D., Goetz-Neunhoffer F., Lothenbach B., Neubauer J.* The early hydration of ordinary Portland cement (OPC): an approach comparing measured heat flow with calculated heat flow from QXRD. *Cement and Concrete Research*. 2012;42(1):134–138. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.09.001>
7. *Berodier K., Scrivener K.* Evolution of pore structure in blended systems. *Cement and Concrete Research*. 2015;73:25–35. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.02.025>
8. *Sivasundaram V., Carette G.G., Malhotra V.M.* Long-term strength development of high-volume fly ash concrete. *Cement & Concrete Composites*. 1990;12(4): 263–270. [https://doi.org/10.1016/0958-9465\(90\)90005-i](https://doi.org/10.1016/0958-9465(90)90005-i)
9. *Ding X., Li C., Xu Y., Li F., Zhao S.* Experimental study on long-term compressive strength of concrete with manufactured sand. *Construction and Building Materials*. 2016;108:67–73. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.028>
10. *Zaporozhets I.D., Okorokov S.D., Pariiskii A.A.* Heat emission of concrete. Moscow: Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu; 1966 (in Russian).
11. *Wadsö L.* An experimental comparison between isothermal calorimetry, semi-adiabatic calorimetry and solution calorimetry for the study of cement hydration. Nordtest Techn. Report 522 [Internet]. 2003. Available at: <http://www.nordtest.info/wp/2003/03/28/an-experimental-comparison-between-isothermal-calorimetry-semi-adiabatic-calorimetry-and-solution-calorimetry-for-the-study-of-cement-hydration-nt-tr-522/>
12. *Wadsö L.* Operational issues in isothermal calorimetry. *Cement and Concrete Research*. 2010;40(7):1129–1137. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.03.017>
13. *Bogner A., Link J., Baum M., Mahlbacher M., Gil-Diaz T., Lutzenkirchen J., et al.* Early hydration and microstructure formation of Portland cement paste studied by oscillation rheology, isothermal calorimetry, ¹H NMR relaxometry, conductance and SAXS. *Cement and Concrete Research*. 2020;130:105977. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.105977>
14. *De Matos P.R., Prudencio Jr. L.R., Pilar R., Gleize P.J.P., Pelisser F.* Use of recycled water from mixer truck wash in concrete: effect on the hydration, fresh and hardened properties. *Construction and Building Materials*. 2020;230:116981. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116981>

15. John E., Epping J.D., Stephan D. The influence of the chemical and physical properties of C-S-H seed on their potential to accelerate cement hydration. *Construction and Building Materials*. 2019;228:116723. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116723>
16. Frølich L., Wadsö L., Sandberg P. Using isothermal calorimetry to predict one day mortar strengths. *Cement and Concrete Research*. 2016;88:108–113. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2016.06.009>
17. Königsberger M., Carrette J. Validated hydration model for slag-blended cement based on calorimetry measurements. *Cement and Concrete Research*. 2020;128:105950. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105950>
18. Pichler C., Lackner R. Post-peak decelerating reaction of Portland cement: monitoring by heat flow calorimetry, modelling by Elovich-Landsberg model and reaction-order model. *Construction and Building Materials*. 2020;231:117107. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117107>
19. Parrott L.J., Geiker M., Gutteridge W.A., Killoh D. Monitoring Portland cement hydration: comparison of methods. *Cement and Concrete Research*. 1990;20(6):919–926. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(90\)90054-2](https://doi.org/10.1016/0008-8846(90)90054-2)
20. Wadsö L. Temperature changes within samples in heat conduction calorimeters. *Thermochimica Acta*. 2001;366(2):121–127. [https://doi.org/10.1016/s0040-6031\(00\)00738-3](https://doi.org/10.1016/s0040-6031(00)00738-3)

Информация об авторах / Information about the authors

Наталья Валерьевна Баранник, руководитель группы физико-химических испытаний строительных материалов отдела подготовки и проведения экспериментальных работ № 29 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: nvbarannik@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-76-63

Natalia V. Barannik, Group Head, Group of Physical and Chemical Tests of Construction Materials, Department of Preparation and Conduct of Experimental Works No. 29, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: nvbarannik@mail.ru

tel.: +7 (499) 174-76-63

Сергей Владимирович Котов , канд. техн. наук, зам. руководителя группы физико-химических испытаний строительных материалов отдела подготовки и проведения экспериментальных работ № 29 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: kottoffser@gmail.com

тел.: +7 (499) 174-76-64

Sergey V. Kotov , Cand. Sci. (Engineering), Deputy of the Group Head, Group of Physical and Chemical Tests of Construction Materials, Department of Preparation and Conduct of Experimental Works No. 29, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: kottoffser@gmail.com

tel.: +7 (499) 174-76-64

Елена Станиславовна Потапова, главный специалист группы физико-химических испытаний строительных материалов отдела подготовки и проведения экспериментальных работ № 29 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: potapova96helena@yandex.ru

тел.: +7 (499) 174-76-63

Elena S. Potapova, Chief Specialist, Group of Physical and Chemical Tests of Construction Materials, Department of Preparation and Conduct of Experimental Works No. 29, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: potapova96helena@yandex.ru

tel.: +7 (499) 174-76-63

Сергей Сергеевич Малахин, главный специалист группы физико-химических испытаний строительных материалов отдела подготовки и проведения экспериментальных работ № 29 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева
АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: malakhin2013@yandex.ru

тел.: +7 (499) 174-76-63

Sergey S. Malakhin, Chief specialist, Group of Physical and Chemical Tests of Construction Materials, Department of Preparation and Conduct of Experimental Works No. 29, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: malakhin2013@yandex.ru

tel.: +7 (499) 174-76-63

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

УДК 691.322

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-63-73](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-63-73)

EDN: EZDYZM

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМИРУЕМЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЦИКЛИНГОВОГО ЩЕБНЯ ИЗ БОЯ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

З.У. БЕППАЕВ✉, канд. техн. наук

Л.Х. АСТВАЦАТУРОВА

С.А. КОЛОДЯЖНЫЙ

С.А. ВЕРНИГОРА

В.В. ЛОПАТИНСКИЙ

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

Аннотация

Введение. Предприятия стройиндустрии способны оказывать негативное воздействие на окружающую среду как при добыче природного сырья, так и в процессе реконструкции, капитального ремонта и сноса строительных объектов. Технология производства строительных материалов и непосредственно строительство и эксплуатация различных зданий и сооружений является весьма материало- и энергоемким процессом с образованием различных отходов, которые необходимо утилизировать. В развитых странах мира наиболее предпочтительным путем утилизации бетонных и железобетонных, а также каменных (кирпичных) отходов является их рециклинг, т. е. процесс переработки и возвращения отходов в повторный оборот в качестве кондиционного товара. В связи с этим проблема утилизации строительных отходов (в т. ч. отходов из силикатного кирпича и кирпичной кладки на его основе) приобретает большую актуальность.

Целью работы было определение зернового состава, прочности и насыпной плотности рециклингового щебня из боя силикатного кирпича (без раствора) и из боя кирпичной кладки на основе силикатного кирпича (с раствором) с сопоставлением полученных значений и выявлением перспектив их применения в качестве заполнителей для производства бетонов общестроительного назначения.

Материалы и методы. Для проведения исследований применялся рециклинговый щебень из боя силикатного кирпича (без раствора) и из боя кладки с силикатным кирпичом (вместе с раствором). Испытания рециклингового щебня проводили по ГОСТ 8269.0-97, оценку характеристик щебня – по ГОСТ 8267-93.

Результаты. В результате проведенных работ показана сопоставимость показателей насыпной плотности, зернового состава и марки по дробимости рециклингового щебня, полученного дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором) и щебня, полученного дроблением силикатного кирпича (без раствора).

Выводы. По результатам проведенной работы выявлено, что рециклинговый щебень, полученный дроблением фрагментов кирпичной кладки из силикатного кирпича (с раствором), и рециклинговый щебень, полученный дроблением силикатного кирпича (без раствора), пригодны (наравне с щебнем из осадочных и метаморфических пород) для применения в качестве крупного заполнителя при производстве бетонов общестроительного назначения. Показана необходимость проведения комплекса экспериментальных работ для разработки нового ГОСТ, что позволит усовершенствовать процессы утилизации силикатного

кирпича, конструкций и изделий на его основе с завершённым сроком эксплуатации для получения качественного, готового к применению строительного материала.

Ключевые слова: утилизация строительных материалов, кладка из силикатного кирпича, рециклинг, щебень из боя силикатного кирпича, безотходность технологического процесса, вторичное использование материалов

Для цитирования: Беппаев З.У., Аствацатурова Л.Х., Колодяжный С.А., Вернигора С.А., Лопатинский В.В. Определение нормируемых характеристик рециклингового щебня из боя силикатного кирпича и перспективы его применения. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;33(2):63–73. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-63-73](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-63-73)

Вклад авторов

Беппаев З.У. – руководство работой, подготовка отчета.

Аствацатурова Л.Х. – подготовка и оформление отчета.

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

Вернигора С.А. – выполнение экспериментальной части.

Лопатинский В.В. – выполнение экспериментальной части.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 21.04.2022

Поступила после рецензирования 19.05.2022

Принята к публикации 24.05.2022

DETERMINATION OF STANDARD CHARACTERISTICS OF RECYCLED CRUSHED AGGREGATE FROM CRUSHED SAND-LIME BRICK AND PROSPECTS OF ITS APPLICATION

Z.U. BEPPAEV✉, Cand. Sci. (Engineering)

L.H. ASTVATSATUROVA

S.A. KOLODYAZHNY

S.A. VERNIGORA

V.V. LOPATINSKY

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

Abstract

Introduction. Construction enterprises can adversely affect the environment during the extraction of natural raw materials, as well as during the reconstruction, overhaul, and demolition of buildings. The manufacturing of construction materials, the actual erection, and maintenance of various buildings and structures comprise highly material- and energy-intensive processes characterized by waste generation, which need to be disposed.

In developed countries, recycling wastes as a commercial commodity represents the preferable way of recovering concrete, reinforced concrete, and masonry (brick) waste. In this regard, the disposal of construction waste (including waste from sand-lime brick and brickwork) is becoming increasingly important.

Aim. In this work, the grain-size distribution, strength, and bulk density of recycled crushed aggregate from crushed sand-lime bricks (open stone mix) and brickwork (containing mortar) were determined and compared, and the prospects of its use as aggregates in the production of general-purpose concrete were identified.

Materials and methods. Recycled crushed aggregate from crushed sand-lime bricks (open stone mix) and brickwork (containing mortar) was used for the studies. The recycled crushed aggregate was tested as per GOST 8269.0-97, its characteristics were evaluated as per GOST 8267-93.

Results. This work shows the correlation between the bulk density, grain-size distribution, and crushing capacity of recycled crushed aggregate produced by crushing fragments of brickwork (containing mortar) and sand-lime bricks (open stone mix).

Conclusions. It is shown that recycled crushed aggregate obtained by crushing fragments of brickwork (containing mortar) and sand-lime bricks (open stone mix) are suitable (along with crushed stone from sedimentary and metamorphic rocks) for use as a coarse aggregate in the production of general-purpose concrete. It is shown that it is necessary to carry out comprehensive experimental work in order to develop a new GOST, which will improve the recycling of sand-lime bricks, as well as structures and products based on them following the end of their operation lifetime, and allow high-quality ready-to-use construction material to be obtained.

Keywords: recycling of construction materials, sand-lime brickwork, recycling, crushed aggregate from crushed sand-lime brick, zero-waste process, material recycling

For citation: Beppaev Z.U., Astvatsaturova L.H., Kolodyazhny S.A., Vernigora S.A., Lopatinsky V.V. Determination of standard characteristics of recycled crushed aggregate from crushed sand-lime brick and prospects of its application. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):63–73. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-63-73](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-63-73)

Author contribution statements

Beppaev Z.U. – work supervision, report preparation.

Astvatsaturova L.H. – report preparation.

Kolodyazhny S.A. – experimental work, report preparation.

Vernigora S.A. – experimental work.

Lopatinsky V.V. – experimental work.

Received 21.04.2022

Revised 19.05.2022

Accepted 24.05.2022

Введение

Предприятия стройиндустрии, как и любые промышленные объекты, способны оказывать негативное воздействие на окружающую среду как при добыче природного сырья, так и в процессе реконструкции, капитального ремонта и сноса строительных объектов. Технология производства строительных материалов, строительство и эксплуатация различных зданий и сооружений является весьма материалоемким и энергоемким процессом с образованием различных отходов, которые необходимо утилизировать.

Проблема утилизации строительных отходов остро стоит во всех цивилизованных странах мира. По данным международной организации RILEM, в странах ЕС, США и Японии ежегодный объем только бетонного и кирпичного лома составляет более 360 млн т. В США

значительная часть таких отходов (около 20 млн т) ежегодно перерабатывается в щебень, используемый в строительстве.

Начиная с 1970-х гг. во многих странах ведутся широкомасштабные исследования в области переработки бетонных и железобетонных, а также каменных (кирпичных) отходов, изучение технико-экономических, социальных и экологических аспектов использования получаемых из них вторичных продуктов. По сведениям из иностранных источников [1, 2], энергозатраты при добыче природного щебня в 8 раз выше, чем получение щебня из бетона и кирпичей, а себестоимость бетона при использовании вторичного щебня снижается на 25 %.

Таким образом, в развитых странах мира наиболее предпочтительным путем утилизации бетонных и железобетонных, а также каменных (кирпичных) отходов является их рециклинг, т. е. процесс переработки и возвращения отходов в повторный оборот в качестве кондиционного товара.

В бывшем СССР внимание к этому вопросу было привлечено в конце XX века. Тогда считалось, что утилизация имеющихся отходов позволила бы вовлечь в хозяйственный оборот около 40 млн т бетонного и кирпичного лома, однако эти цели (в основном в связи с распадом СССР) реализованы не были.

По данным различных источников, на территории Российской Федерации построено около 260 млн м² жилого фонда в виде 5-этажных многоквартирных домов. Стены и перегородки значительной части этих домов выполнены из кладки с применением силикатного кирпича. Эти дома физически и морально устарели и подлежат сносу. Основным экономическим фактором от сноса пятиэтажных жилых домов является высвобождение городских территорий под новое современное строительство. Другим важным резервом улучшения экологии, а также экономии материальных и энергетических ресурсов в строительстве является переработка кирпичного лома и использование его в качестве заполнителей для бетонов общестроительного назначения. Для Российской Федерации использование вторичных ресурсов и внедрение системы рециклинга в производственный процесс является весьма перспективным направлением. В настоящее время переработка вторичных ресурсов не выделена в обособленный объект государственного регулирования: Федеральный закон № 89-ФЗ от 24 июня 1998 года «Об отходах производства и потребления» с изменениями, внесенными Федеральным законом от 28 июля 2012 г. № 128-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» [3], не рассматривает отходы как вторичные материальные ресурсы. В то же время в Распоряжении Правительства Российской Федерации № 868-р от 10 мая 2016 г. «Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года» [4] отмечается низкий уровень вовлечения отходов производства и потребления в новое производство (п. 8, стр. 19).

Использование вторичных ресурсов, а также масштабное освоение и внедрение системы рециклинга в производственный процесс Российской Федерации отвечает основным положениям Указа Президента Российской Федерации «Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 г.». № 176 от 19 апреля 2017 г. [5].

Приоритетными направлениями в этом документе, в частности, являются:

- развитие системы эффективного обращения с отходами производства и потребления, создание индустрии утилизации, в том числе повторного применения таких отходов;
- стимулирование внедрения наилучших доступных технологий, создание удовлетворяющих современным экологическим требованиям и стандартам объектов, используемых

для размещения, утилизации, переработки и обезвреживания отходов производства и потребления, а также увеличение объема повторного применения отходов производства и потребления за счет субсидирования и предоставления налоговых и тарифных льгот, других форм поддержки.

В настоящее время только в Москве ежегодно образуется 1500 тыс. т строительных отходов, в т. ч. в виде боя из силикатного кирпича. Только 70–80 тыс. т из них перерабатывается, остальное вывозится на полигоны, либо скапливается на десятках несанкционированных свалок. Этот сектор рынка все еще находится в стадии становления. Целесообразность переработки боя силикатного кирпича от сносимых зданий и получения вторичного щебня экономически оправдано. Наибольшим спросом пользуются фракции щебня 10–20 и 20–40 мм, которые в настоящее время используются для отсыпки, благоустройства территорий, а также для производства низкомарочных бетонов.

Рециклинговый щебень из боя силикатного кирпича представляет собой материал (продукт), получаемый дроблением некондиционного силикатного кирпича, силикатных камней, фрагментов кирпичной кладки на их основе, а также конструкций и изделий из мелкозернистого силикатного бетона. Рециклинговый щебень, получаемый из некондиционного силикатного кирпича и силикатных камней, состоит из зерен кирпичного боя различных фракций. Рециклинговый щебень, получаемый дроблением фрагментов кирпичной кладки на основе силикатного кирпича, силикатных камней, а также конструкций и изделий из мелкозернистого силикатного бетона, состоит преимущественно из зерен кирпичного боя, зерен раствора, а также агрегированных в единый конгломерат зерен кирпичного боя и раствора различных фракций. Рециклинговый щебень из боя силикатного кирпича представляет собой ценный ресурс для производства бетонных, а также железобетонных конструкций и изделий. Его использование для замены природных и традиционных искусственных заполнителей в бетоне может принести значительные экономические, энергетические и экологические преимущества. Повторное использование вторичного рециклингового кирпичного щебня во многих случаях весьма целесообразно и отвечает принципам концепции «устойчивого развития» («sustainable development»), основные положения которой предусматривают экономию материалов и энергии, а также уменьшение негативного воздействия на окружающую среду, в том числе сохранение невозполнимых источников природных ресурсов.

Если бетоны на основе рециклингового щебня из боя керамического кирпича в Российской Федерации применялись при строительстве различных зданий и сооружений с конца XIX до 60-х гг. XX века, то бетоны на основе рециклингового щебня из боя силикатного кирпича практически не производились. Действующие нормативные документы, регламентирующие требования к щебню из боя силикатного кирпича, на сегодняшний день в Российской Федерации практически отсутствуют.

Цель

Целью работы было определение зернового состава, прочности и насыпной плотности рециклингового щебня из боя силикатного кирпича с выявлением перспектив его применения в качестве заполнителей для производства бетонов общестроительного назначения.

Материалы и методы

Для определения насыпной плотности, зернового состава и марки по дробимости щебня из боя силикатного кирпича сотрудниками Лаборатории № 9 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева были проведены комплексные экспериментальные исследования. Для проведения работ из стен реконструируемого здания (построенного в середине XX века) были отобраны фрагменты кирпичной кладки, затем дроблением этих фрагментов были получены пробы рециклингового щебня двух видов (типов):

- рециклинговый щебень непосредственно из кирпичной кладки с раствором;
- рециклинговый щебень из кирпича без наличия раствора.

Для изготовления рециклингового щебня использовали щековую дробилку марки ЩДС 180 × 250 производства ООО «Уральский Завод Котельного Оборудования». Размер выходной щели щековой дробилки составлял 20 мм. Общий вид щековой дробилки приведен на рис. 1.

Общие виды рециклингового щебня из боя силикатного кирпича приведены на рис. 2.

Осмотр проб показал, что рециклинговый щебень, полученный дроблением кирпичной кладки, состоит из зерен кирпича, зерен раствора, а также агрегированных в единый конгломерат зерен кирпича и раствора различных фракций. Рециклинговый щебень, полученный из кирпича без наличия раствора, состоит из зерен кирпича различных фракций. Инородные примеси в рециклинговом щебне отсутствовали.

Определение насыпной плотности, зернового состава и марки по дробимости рециклингового щебня проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний».



Рис. 1. Общий вид щековой дробилки ЩДС 180 × 250

Fig. 1. General view of JCS 180 × 250 jaw crusher

Требования к насыпной плотности, зерновому составу и марке по дробимости рециклингового щебня определяли в соответствии с ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия».



Рис. 2. Общие виды рециклингового щебня из боя силикатного кирпича:
 а – рециклинговый щебень, полученный из кирпича (без раствора);
 б – рециклинговый щебень, полученный из кирпичной кладки с раствором
Fig. 2. General view of recycled crushed aggregate from crushed sand-lime brick:
 а – recycled crushed aggregate from bricks (open stone mix);
 б – recycled crushed aggregate from brickwork (containing mortar)

Результаты

Результаты определения насыпной плотности, зернового состава и марки по дробимости рециклингового щебня приведены в табл. 1–6.

Таблица 1

Результаты определения насыпной плотности рециклингового щебня, полученного дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором)

Table 1

Bulk density of recycled crushed aggregate obtained by crushing brickwork fragments (containing mortar)

№	Щебень фракций, мм	Объем пробы, м³	Масса цилиндра, кг	Масса пробы, кг	Насыпная плотность пробы, кг/м³	Среднее значение насыпной плотности щебня, кг/м³
1	5–20	0,005	1,965	5,800	1160	1149
2	5–20	0,005	1,965	5,690	1138	

Таблица 2

Результаты определения насыпной плотности рециклингового щебня, полученного дроблением кирпича без наличия раствора

Table 2

Bulk density of recycled crushed aggregate obtained by crushing bricks (open stone mix)

№	Щебень фракций, мм	Объем пробы, м³	Масса цилиндра, кг	Масса пробы, кг	Насыпная плотность пробы, кг/м³	Среднее значение насыпной плотности щебня, кг/м³
1	5–20	0,005	1,965	5,879	1176	1180
2	5–20	0,005	1,965	5,920	1184	

Таблица 3

Результаты определения зернового состава рециклингового щебня, полученного дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором)

Table 3

Grain-size distribution of recycled crushed aggregate obtained by crushing brickwork fragments (containing mortar)

№	Диаметр отверстий контрольных сит, мм	Остатки на ситах			Требования ГОСТ 8267-93, % по массе (полные остатки фр. 5-20)
		масса, м, г	% по массе		
			частные, а _і	полные	
1	20	251	4,99	4,99	До 10
2	12,5	1502	29,88	34,87	30-60
3	10	576	11,46	46,33	–
4	7,5	522	10,38	56,71	–
5	5	432	8,59	65,30	90–100
6	2,5	457	9,09	74,39	95–100
7	Поддон	1287	25,6	100	–

Таблица 4

Результаты определения зернового состава рециклингового щебня, полученного дроблением кирпича без наличия раствора

Table 4

Grain-size distribution of recycled crushed aggregate obtained by crushing bricks (open stone mix)

№	Диаметр отверстий контрольных сит, мм	Остатки на ситах			Требования ГОСТ 8267-93, % по массе (полные остатки фр. 5-20)
		масса, m _i , г	% по массе		
			частные, a _i	полные	
1	20	173	3,45	3,45	До 10
2	12,5	1302	25,95	29,4	30–60
3	10	530	10,56	39,96	–
4	7,5	531	10,59	50,55	–
5	5	461	9,19	59,74	90–100
6	2,5	515	10,27	70,01	95–100
7	Поддон	1505	29,99	100	–

Таблица 5

Результаты определения марки по дробимости (прочности) рециклингового щебня, полученного дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором)

Table 5

Crushing capacity (strength) grade of recycled crushed aggregate obtained by crushing brickwork fragments (containing mortar)

№	Размер фракции/ сита Ø, мм	Масса, г		Дробимость, Др, %	Ср. значения дробимости, Др _{ср} , %	Дробимость смеси фрак- ций, Др, %	Марка по дро- бимости
		пробы, m	остатка на сите, m ₁				
1	<u>от 5 до 10</u> 1,25	251	155	38,20	38,03	37,00	200
		251	156	37,85			
2	<u>от 10 до 20</u> 2,5	236	150	36,44	35,98		
		245	158	35,51			

Таблица 6

Результаты определения марки по дробимости (прочности) рециклингового щебня, полученного дроблением кирпича без наличия раствора

Table 6

Crushing capacity (strength) grade of recycled crushed aggregate obtained by crushing bricks (open stone mix)

№	Размер фракции/ сита Ø, мм	Масса, г		Дробимость, Др, %	Ср. значения дробимости, Др _{ср} , %	Дробимость смеси фрак- ций, Др, %	Марка по дро- бимости
		пробы, m	остатка на сите, m ₁				
1	<u>от 5 до 10</u> 1,25	237	143	39.66	39.28	37.70	200
		252	154	38.89			
2	<u>от 10 до 20</u> 2,5	241	153	36.51	36.11		
		252	162	35.71			

Выводы

1. Насыпная плотность рециклингового щебня, полученного дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором), составляет 1138–1160 кг/м³. Насыпная плотность рециклингового щебня, полученного дроблением кирпича без наличия раствора, составляет 1176–1184 кг/м³. Наличие в составе рециклингового щебня раствора незначительно (на 2–3 %) уменьшает насыпную плотность щебня.

2. Рециклинговый щебень, полученный дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором), по зерновому составу не удовлетворяет требованиям ГОСТ 8267-93. Полные остатки на ситах Ø5 (65,30 %) и Ø2,5 (74,39 %) меньше минимальных нормируемых значений 90 и 95 %. Рециклинговый щебень, полученный дроблением кирпича без наличия раствора, не удовлетворяет требованиям ГОСТ 8267-93. Полные остатки на ситах Ø5 (59,74 %) и Ø2,5 (70,01 %) меньше минимальных нормируемых значений 90 и 95 %. Наличие в составе рециклингового щебня раствора на 17 % уменьшает количество мелких (менее 2,5 мм) зерен.

3. Независимо от наличия растворной части в рециклинговом щебне из кирпичного боя основной фракцией щебня являются зерна с размерами от 12,5 до 10 мм, их доля составляет 29,4 и 34,87 %, а также мелкие (менее 2,5 мм) фракции, их доля составляет 25,6 и 29,99 %.

4. Марка по дробимости (прочность) рециклингового щебня, полученного дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором), и рециклингового щебня, полученного дроблением кирпича без наличия раствора, составляет М200. При этом наличие в щебне растворной части практически не влияет на ее дробимость.

5. По показателям насыпной плотности, зернового состава и марки по дробимости рециклинговый щебень, полученный дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором), и рециклинговый щебень, полученный дроблением силикатного кирпича без наличия раствора, пригодны (наравне с щебнем из осадочных и метаморфических пород) для применения в качестве крупного заполнителя при производстве бетонов общестроительного назначения.

6. В настоящее время в Российской Федерации документы, нормирующие требования к рециклинговому щебню из дробленого кирпича и кирпичной кладки (на основе силикатного кирпича), практически отсутствуют. Для широкого применения в строительной отрасли рециклингового щебня необходимо проведение комплекса экспериментальных работ с разработкой нового ГОСТ, что позволит усовершенствовать процессы утилизации каменных, кирпичных конструкций и изделий с завершенным сроком эксплуатации для получения качественного и готового к применению строительного материала. Энергетические затраты на производство рециклингового (вторичного) дробленного кирпичного щебня в разы меньше, чем обычного. Небольшая цена и простота получения создают широкую сферу применения рециклингового (вторичного) щебня из силикатного кирпича. Кроме этого, применение рециклингового (вторичного) щебня существенно снижает техногенную нагрузку на природную среду, а его нейтральность при использовании не загрязняет окружающую среду.

Список литературы

1. *Kikuchi M., Dosho Y., Narikawa M., Ohshima Y., Koyama A., Miura T.* Application of Recycled Concrete for Structural Concrete. Experimental Study on the Quality of Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. In: SP-179: Fourth CANMET/ACI/JCI Conference: Advances in Concrete Technology. Tokushima. Japan; 1998. p.1073–1101. <https://doi.org/10.14359/6087>
2. *Donavan C.T.* Recycling of construction waste. The new solutions of old problems. Resource Recycling. 1991;(8):146–155.
3. Об отходах производства и потребления (с изменениями и дополнениями): Федеральный закон № 89-ФЗ от 24 июня 1998 года [Интернет]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/
4. Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации № 868-р от 10 мая 2016 г. [Интернет]. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/RnBfAw072e3tmmykU2lrh1L11HaHeG0q.pdf>
5. Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года: Указ Президента Российской Федерации № 176 от 19 апреля 2017 г. [Интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420396664>

References

1. *Kikuchi M., Dosho Y., Narikawa M., Ohshima Y., Koyama A., Miura T.* Application of Recycled Concrete for Structural Concrete. Experimental Study on the Quality of Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. In: SP-179: Fourth CANMET/ACI/JCI Conference: Advances in Concrete Technology. Tokushima. Japan; 1998. p.1073–1101. <https://doi.org/10.14359/6087>

2. *Donavan C.T.* Recycling of construction waste. The new solutions of old problems. *Resource Recycling*. 1991;(8):146–155.
3. On Production and Consumption Waste: Federal Law No. 89-FZ of June 24, 1998 [Internet]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ [in Russian].
4. Strategy for the development of the construction materials industry for the period up to 2020 and further prospects up to 2030: Decree of the Government of the Russian Federation No. 868-r dated May 10, 2016 [Internet]. Available at: <http://static.government.ru/media/files/RnBfAw072e3tmmkyU2lrh1LI1HaHeG0q.pdf> [in Russian].
5. Strategy of environmental safety of the Russian Federation for the period up to 2025: Decree of the President of the Russian Federation No. 176 dated April 19, 2017 [Internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/420396664> [in Russian].

Информация об авторах / Information about the authors

Замир Узаирович Беппаев✉, канд. техн. наук, зав. лабораторией обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций № 9 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: beton61@mail.ru

Zamir U. Beppaev✉, Cand. Sci. (Engineering), Head of Laboratory of Inspection and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures No. 9, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: beton61@mail.ru

Лидия Хореновна Аствацатурова, старший научный сотрудник лаборатории обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций № 9 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Lydia H. Astvatsaturova, Senior Researcher of Laboratory of Inspection and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures No. 9, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Сергей Алексеевич Колодяжный, научный сотрудник лаборатории обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций № 9 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Sergei A. Kolodyazhny, Researcher of Laboratory of Inspection and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures No. 9, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Сергей Анатольевич Вернигора, младший научный сотрудник лаборатории обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций № 9 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Sergey A. Vernygora, Junior Researcher of Laboratory of Inspection and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures No. 9, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Владислав Владимирович Лопатинский, инженер лаборатории обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций № 9 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Vladislav V. Lopatinsky, Engineer of Laboratory of Inspection and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures No. 9, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

УДК 624.078

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-74-82](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-74-82)

EDN: FHOTLS

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ШТИФТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ LEIMET ABB+ 400 ДЛЯ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ

А.В. БУЧКИН¹, канд. техн. наук

К.Л. КУДЯКОВ^{1,2,✉}, канд. техн. наук

С.Д. ЕПИХИН¹

С.К. ХЛЕБНИКОВ^{1,2}

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

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

Аннотация

Введение. Технология устройства стыков секций сборных железобетонных свай при помощи штифтовых соединений перспективна: в ряде ранее выполненных исследований отмечается, что применение штифтового соединения Leimet ABB+ обеспечивает значительное сокращение материало- и трудоемкости, а также времени на их стыковку при достаточно высоких показателях прочности и долговечности. В настоящее время широкое применение данной технологии ограничено, в т. ч. по причине недостаточной изученности механических характеристик штифтового соединения. В настоящей статье приведены результаты исследования прочностных свойств штифтового соединения Leimet ABB+ 400 в конструкциях стыков секций сборных железобетонных свай.

Цель исследования – экспериментальная проверка показателей прочности штифтового соединения Leimet ABB+ 400 при сжатии, растяжении, поперечном сдвиге и изгибе.

Материалы и методы. Для проведения исследований были использованы серии образцов, представляющих собой два фрагмента секций составных железобетонных свай по типовой серии 1.011.1–10, соединенных при помощи четырехзамкового штифтового соединения Leimet ABB+ 400. Испытания нагружением образцов выполнены по ГОСТ 8829–2018.

Результаты. Получены количественные и качественные параметры разрушения опытных образцов. Разрушение всех испытанных образцов происходило по бетонному телу сваи без признаков разрушения металлического штифтового соединения и без образования выколов бетона в районе штифтового соединения.

Выводы. Сделан вывод о равнопрочности штифтового соединения Leimet ABB+ 400 бетонному телу свай при рассматриваемых воздействиях. Полученные результаты, характеризующие прочность штифтового соединения свай, могут быть использованы при разработке проектных решений.

Ключевые слова: штифтовое соединение Leimet ABB+, стыки сборных железобетонных свай, механические испытания конструкций, прочность, равнопрочность соединения

Для цитирования: Бучкин А.В., Кудяков К.Л., Епихин С.Д., Хлебников С.К. Исследование прочности штифтового соединения Leimet ABB+ 400 для сборных железобетонных свай. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;33(2):74–82. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-74-82](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-74-82)

Вклад авторов

Бучкин А.В. – общее руководство работой.

Кудяков К.Л. – разработка и реализация программы испытаний, обработка и анализ результатов.

Епихин С.Д., Хлебников С.К. – реализация программы испытаний, обработка и анализ результатов.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках договорных работ АО «НИЦ «Строительство» и ООО «Коперник».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 19.04.2022

Поступила после рецензирования 17.05.2022

Принята к публикации 24.05.2022

STRENGTH STUDY OF LEIMET ABB+ 400 PILE JOINTS FOR PRECAST REINFORCED CONCRETE PILES

A.V. BUCHKIN¹, Cand. Sci. (Engineering)

K.L. KUDYAKOV^{1,2,✉}, Cand. Sci. (Engineering)

S.D. EPIKHIN¹

S.K. KHEBNIKOV^{1,2}

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

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

Abstract

Introduction. The technology of connecting precast reinforced concrete piles using pile joints is a promising method in construction. According to some previous studies, the use of Leimet ABB+ pile joints provides for a significant reduction in material and labor intensity, as well as the time required for connecting the piles under sufficiently high strength and durability. Currently, the application of this technology is limited due to the insufficient knowledge of mechanical characteristics of pin connections. This article presents the results of strength tests of Leimet ABB+ pile joints for recast reinforced concrete piles.

Aim. Experimental testing of the strength parameters of Leimet ABB+ pile joints under compression, tensile, transverse shear, and bending.

Methods and materials. Experiments were performed using test samples represented by two fragments of recast reinforced concrete piles of the 1.011.1-10 standard, which were joined by a 4-lock Leimet ABB+ 400 pile joint. Loading tests of the samples were carried out in accordance with the GOST 8829-2018.

Results. The qualitative and quantitative destruction parameters of the test samples were obtained. The destruction of all the test samples occurred along the concrete body of piles with no signs of destruction of the metal pin connection. In addition, no signs of concrete indents in the area of the pin connection were observed.

Conclusions. Leimet ABB+ 400 pile joints were concluded to be of the uniform strength to the concrete pile body under the considered conditions. The test results of the pile joint strength are applicable when developing design projects.

Keywords: Leimet ABB+ pile joint, recast reinforced concrete piles, mechanical tests, strength, uniform strength of a joint

For citation: Buchkin A.V., Kudyakov K.L., Epikhin S.D., Khlebnikov S.K. Strength study of Leimet ABB+ 400 pile joints for precast reinforced concrete piles. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):74–82. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-74-82](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-74-82)

Author contribution statements

Buchkin A.V. – general supervision

Kudyakov K.L. – development and implementation of the test program, processing and analysis of the results

Epikhin S.D., Khlebnikov S.K. – implementation of the test program, processing and analysis of the results

Funding

The study was carried out within the framework of contractual works of JSC Research Center of Construction and LLC Kopernik.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 19.04.2022

Revised 17.05.2022

Accepted 24.05.2022

Введение

Штифтовое соединение Leimet ABB+ представляет собой металлический оголовник, состоящий из пластины и обечайки по ее контуру и имеющий встроенные анкерные выпуски с замковыми элементами (фиксирующими штырями и гнездами) для заведения заклинивающих забивных штифтов при стыковании двух секций сборных железобетонных свай на строительной площадке [1]. Технология устройства стыков секций сборных железобетонных свай при помощи штифтовых соединений является перспективной и обеспечивает значительное сокращение материал- и трудоемкости, а также времени на их стыковку при достаточно высоких показателях прочности и долговечности [1–7]. Применение данной технологии сдерживается в т. ч. недостаточной изученностью механических характеристик штифтового соединения. В настоящей работе выполнены исследования прочностных свойств штифтового соединения Leimet ABB+ 400.

Цель

Целью исследования являлась экспериментальная проверка показателей прочности штифтового соединения Leimet ABB+ 400 при сжатии, растяжении, поперечном сдвиге и изгибе.

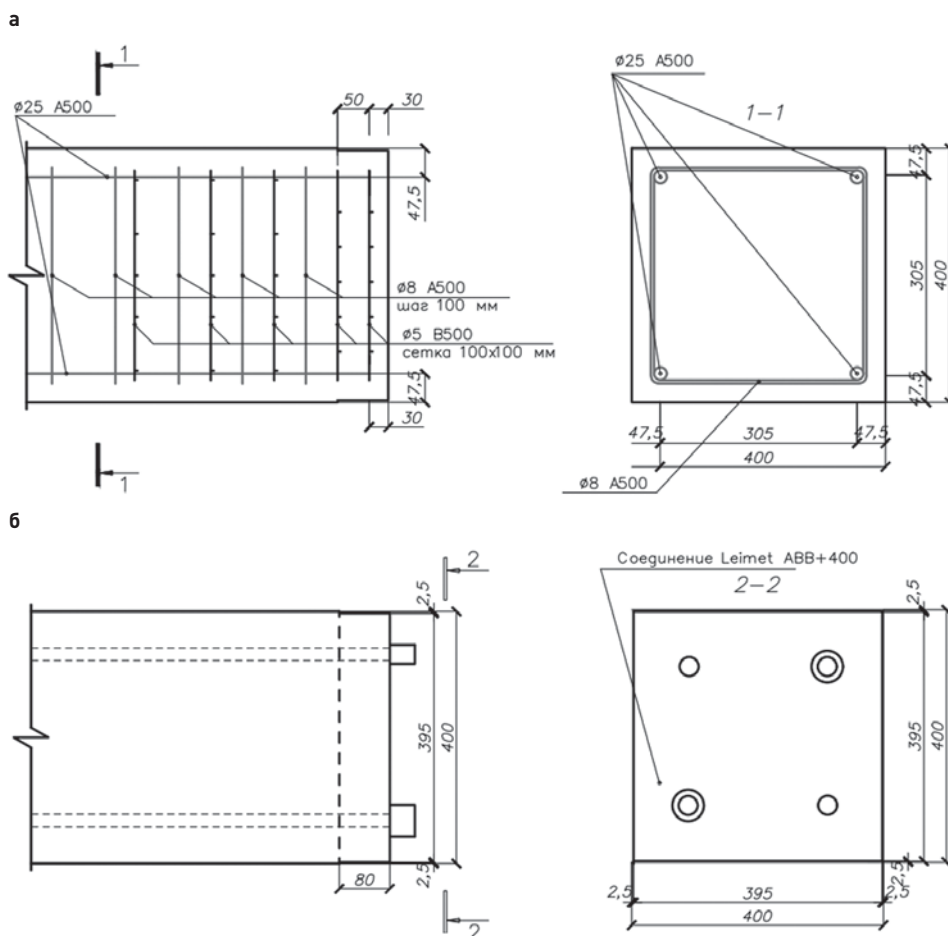
Материалы и методы

Для экспериментальной оценки несущей способности штифтовых соединений типа Leimet ABB+ 400 были проведены исследования в испытательном центре АО «НИЦ «Строительство». В рамках разработанной программы испытаний проводились исследования прочности соединения Leimet ABB+ 400 при следующих вариантах нагружения (по 3 образца на каждый вид нагрузки):

- сжимающая нагрузка – серия СШС-4.4-1 (образцы СШС-4.4-1-1, СШС-4.4-1-2, СШС-4.4-1-3);

- растягивающая нагрузка – серия СШС-4.4-2 (образцы СШС-4.4-2-1, СШС-4.4-2-2, СШС-4.4-2-3);
- на поперечный сдвиг – серия СШС-4.4-3 (образцы СШС-4.4-3-1, СШС-4.4-3-2, СШС-3-3);
- на изгиб – серия СШС-4.4-4 (образцы СШС-4.4-4-1, СШС-4.4-4-2, СШС-4.4-4-3).

Каждый опытный образец стыка свай представлял собой два фрагмента составных железобетонных свай, изготовленных по аналогии с серией 1.011.1-10 [8]: нижнего и верхнего фрагмента, соединенных при помощи штифтового соединения Leimet ABB+ 400 по ТУ 25.11.23-001-92894761-2018 «Соединение штифтовое для свай. Технические условия» [9]. Внутри одной серии образцов верхний и нижний фрагменты свай имели идентичные параметры. Образцы были выполнены из бетона класса В35 по прочности на сжатие; продольной арматуры класса А500 диаметром 25 мм; поперечной арматуры в виде хомутов из арматуры класса А500 диаметром 8 мм; защитный слой продольной арматуры 35 мм.



*размеры указаны в мм

Рис. 1. Принципиальная конструкция опытных образцов: а – схема армирования; б – схема установки штифтового соединения Leimet ABB+ 400

* dimensions are presented in mm

Fig. 1. Conceptual design of tested samples: а – reinforcement scheme; б – Leimet ABB+ 400 pile joint installation scheme

Все серии образцов имели поперечное сечение 400×400 мм. Анкерные выпуски штифтового соединения Leimet ABB+ 400 не имели связи с арматурными каркасами образцов. Опытные образцы серий СШС-4.4-1, СШС-4.4-2, СШС-4.4-3 имели длину (в собранном виде) 1700 мм, а образцы серии СШС-4.4-4 – 4000 мм.

Испытания проводились по ГОСТ 8829-2018 [10] с применением специализированного оборудования. При испытаниях оценивались нагрузка, при которой происходило разрушение опытных образцов, и характер их разрушения. Принципиальные схемы испытаний серий образцов представлены на рис. 2.

Результаты

В результате испытаний все образцы доведены до разрушения, при этом оно происходило по бетонному телу сваи. Для всех образцов визуальных признаков повреждения металлических элементов штифтового соединения Leimet ABB+ 400 не установлено. Характерные схемы разрушения образцов приведены на рис. 3–6. Основные результаты испытаний приведены в табл. 1.

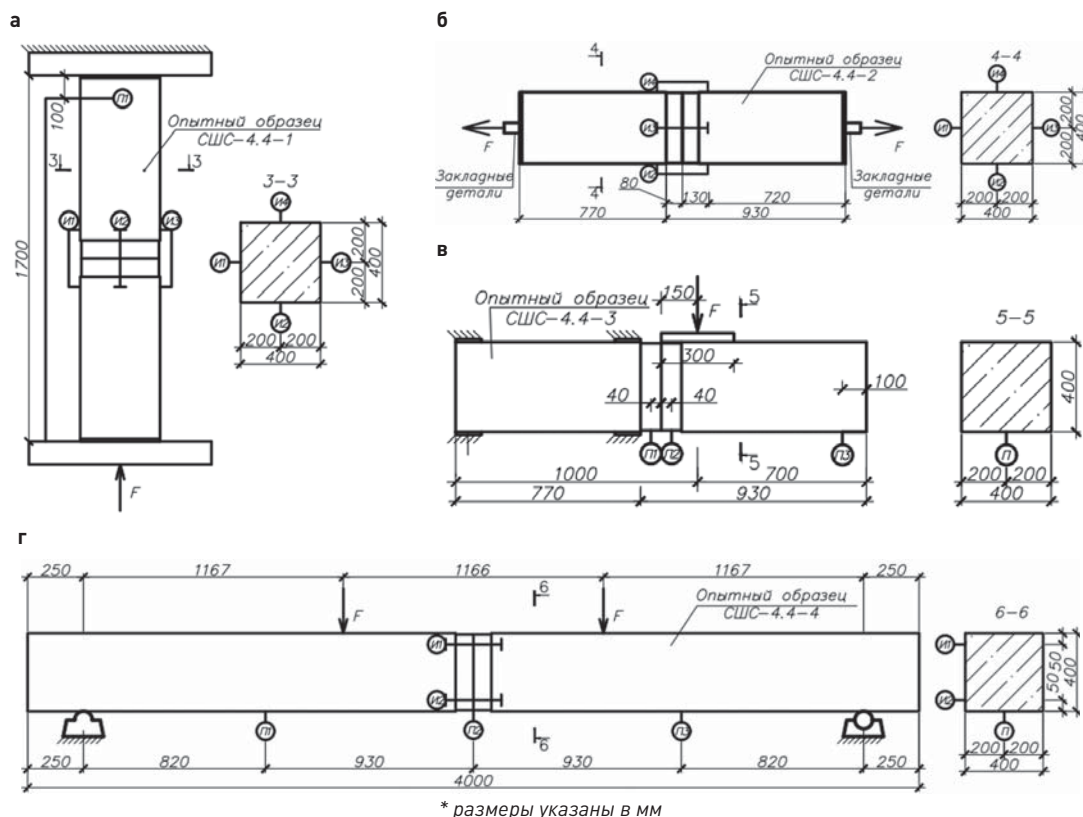


Рис. 2. Принципиальные схемы испытаний образцов свай со штифтовым соединением Leimet ABB+ 400 при определении прочности: а – на сжатие; б – на растяжение; в – на поперечный сдвиг; г – на изгиб

Fig. 2. Conceptual schemes for strength testing of pile samples with Leimet ABB+ 400 pile joints: а – under compression, б – under tensile, в – under transverse shear, г – under bending.



Рис. 3. Характерная схема разрушения опытных образцов серии СШС-4.4-1 при сжатии

Fig. 3. Characteristic destruction scheme of series 4.4-1 samples under the compression



Рис. 4. Общие виды испытаний образцов серии СШС-4.4-2 при растяжении

Fig. 4. General views of series 4.4-2 samples under the tensile



Рис. 5. Характерная схема разрушения опытных образцов серии СШС-4.4-3 при поперечном сдвиге

Fig. 5. Characteristic destruction scheme of series 4.4-3 samples under the transverse shear



Рис. 6. Характерная схема разрушения опытных образцов серии СШС-4.4-4 при изгибе

Fig. 6. Characteristic destruction scheme of series 4.4-4 samples under the bending

Таблица 1

Основные результаты испытаний

Table 1

Main test results

Шифр образца	Тип нагрузки	Максимальная нагрузка, зафиксированная при испытаниях	Характер разрушения образца	Повреждение штифтового соединения
СШС-4.4-1-1	Сжатие	764 т (7494,8 кН)	Разрушение по телу фрагмента секции сваи	Не установлено
СШС-4.4-1-2		775 т (7602,8 кН)		
СШС-4.4-1-3		741 т (7269,2 кН)		
СШС-4.4-2-1	Растяжение	98 т (961,4 кН)		Не установлено
СШС-4.4-2-2		90 т (882,9 кН)		
СШС-4.4-2-3		94,5 т (927 кН)		
СШС-4.4-3-1	Поперечный сдвиг	102,5 т (1005,5 кН)		Не установлено
СШС-4.4-3-2		102,5 т (1005,5 кН)		
СШС-4.4-3-3		107,5 т (1054,6 кН)		
СШС-4.4-4-1	Изгиб	20,4 т×м (200,1 кН×м)		Не установлено
СШС-4.4-4-2		19,3 т×м (183,3 кН×м)		
СШС-4.4-4-3		21,0 т×м (206,0 кН×м)		

Выводы

При испытаниях на сжатие, растяжение, поперечный сдвиг и изгиб установлено, что разрушение опытных образцов происходило по бетонному телу сваи без признаков разрушения металлического штифтового соединения и без образования выколов бетона в районе штифтового соединения Leimet ABB+ 400 на четырех замках, что свидетельствует о его равнопрочности телу фрагмента секции железобетонной составной сваи при указанных воздействиях.

Благодарности

Авторы выражают благодарность АО «НИЦ «Строительство» и ООО «Коперник» за предоставленные материалы.

Acknowledgement

The authors are grateful to JSC Research Center of Construction and LLC Kopernik for the materials provided.

Список литературы

1. Leimet Piling Quality [Интернет]. Режим доступа: <https://leimet.ru/> (дата доступа 20.11.2021).
2. Майер В., Ахатулы А., Альжанова Р., Птухина И.С. Оптимальный вид соединения свай с учетом основных характеристик. Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015;(3):143–151.
3. Степанова М.А., Гайдо А.Н. Опытное обоснование применения штифтового стыка свай. В: Технология и организация строительства. Материалы I Всероссийской межвузовской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры «Строительное производство». Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет; 2020. с. 379–388.
4. Гайдо А.Н. Исследование конструктивно-технологических решений стыков заводских свай [Интернет]. Режим доступа: http://trest28.ru/f/statya_gaydo_a.n._styki_svoy.pdf (дата доступа 10.08.2021).
5. Рытов С.А., Бутин А.А. Опыт динамических испытаний штифтового стыка Leimet 350 ABB PLUS составных сборных железобетонных свай. Вестник НИЦ «Строительство». 2019;23(4):117–120.
6. Бучкин А.В., Кудяков К.Л., Епихин С.Д. Исследование прочности штифтового соединения Leimet ABB+ 350 для сборных железобетонных свай. Вестник НИЦ «Строительство». 2022;32(1):21–29. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-21-29](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-21-29)
7. Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Кудяков К.Л., Моисеева Н.А. Оценка влияния агрессивной среды на долговечность штифтового соединения Leimet ABB+ 400 для составных железобетонных свай. Вестник НИЦ «Строительство». 2022;32(1):65–81. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-65-81](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-65-81)
8. Серия 1.011.1-10. Сваи забивные железобетонные. Выпуск 8. Сваи составные сплошного квадратного сечения с ненапрягаемой арматурой. Рабочие чертежи. Москва: ЦИТП Госстроя СССР; 1989.
9. ТУ 25.11.23-001-92894761-2018 Соединение штифтовое для свай. Технические условия. Екатеринбург: ООО «ГК «Коперник»; 2018.
10. ГОСТ 8829-2018 Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагрузением. Москва: Стандартинформ; 2019.

References

1. Leimet Piling Quality [Internet]. Available at: <https://leimet.ru/> (accessed 20 November 2021) (in Russian).
2. Mayer V., Akhatuly A., Alzhanova R., Ptukhina I.S. Optimal type of pile connection taking into account the main characteristics. Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenii = Construction of unique buildings and structures. 2015;(3):143–151 (in Russian).
3. Stepanova M.A., Gaido A.N. Experimental substantiation of the use of a pin joint of piles. In: Technology and organization of construction. Materials of the I All-Russian interuniversity scientific and practical conference of young scientists dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Department of "Construction Production". St. Petersburg: St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2020. p. 379–388 (in Russian).
4. Gaido A.N. Research of structural and technological solutions of joints of factory piles [Internet]. Available at: http://trest28.ru/f/statya_gaydo_a.n._styki_svoy.pdf (accessed 10 August 2021) (in Russian).
5. Rytov S.A., Butin A.A. Experience of dynamic testing of the pin joint Leimet 350 ABB PLUS composite precast concrete piles. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2019;23(4):117–120 (in Russian).
6. Buchkin A.V., Kudiyakov K.L., Epikhin S.D. Investigation of the strength of the Leimet ABB+ 350 pin joint for precast reinforced concrete piles. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2022;32(1):21–29 (in Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-21-29](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-21-29)
7. Stepanova V.F., Buchkin A.V., Kudiyakov K.L., Moiseeva N.A. Assessment of the influence of an aggressive environment on the durability of the Leimet ABB+ 400 pin joint for composite reinforced concrete piles. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2022;32(1):65–81 (in Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-65-81](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-65-81)
8. Series 1.011.1-10. The piles are driven reinforced concrete. Issue 8. Composite piles of solid square cross-section with non-stressed reinforcement. Working drawings. Moscow: TSITP Gosstroy of the USSR; 1989 (in Russian).

9. TU 25.11.23-001-92894761-2018 Pin connection for piles. Technical conditions. Yekaterinburg: LLC "GC "Copernicus"; 2018 (in Russian).

10. State Standard 8829-2018 Reinforced concrete and factory-made concrete construction products. Methods of loading tests. Moscow: Standartinform Publ.; 2019 (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Андрей Викторович Бучкин, канд. техн. наук, зам. зав. лабораторией коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Andrey V. Buchkin, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Head of the Laboratory of Corrosion and Durability of Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete Structures (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Константин Львович Кудяков[✉], канд. техн. наук, зав. сектором лаборатории коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций НИУ МГСУ, Москва

e-mail: konst_k@mail.ru

Konstantin L. Kudyakov[✉], Cand. Sci. (Engineering), Head of the Sector of the Laboratory of Corrosion and Durability of Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete Structures (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, associate professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

e-mail: konst_k@mail.ru

Сергей Дмитриевич Епихин, инженер лаборатории коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Sergey D. Epikhin, engineer at the Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Сергей Константинович Хлебников, инженер лаборатории коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», студент НИУ МГСУ, Москва

Sergey K. Khlebnikov, engineer at the Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow, student of National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

[✉] Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

УДК 624.012.3/4: 519.2

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-83-96](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-83-96)

EDN: FIGQSY

АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО ПРОБЛЕМЕ УСТАНОВЛЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТНЫХ РАСЧЕТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

С.А. ЗЕНИН, канд. техн. наук

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

Аннотация

Введение. Обоснованная система управления рисками в строительстве в настоящее время является востребованной как для потребителей, так и для поставщиков строительной продукции. Одно из основных направлений такой системы – вероятностные расчеты несущих конструкций, обеспечивающие необходимый уровень надежности и оптимальность конструктивных решений. При этом переход на риск-ориентированное проектирование, включая оценку рисков и управление ими, подразумевает наличие достаточного количества статистических данных, в том числе методы их установления и построения вероятностных моделей. Данное исследование направлено на изучение проблемы установления данных для выполнения вероятностных расчетов.

Целью исследования, результаты которого приведены в статье, является подготовка предложений по совершенствованию отечественной нормативной базы в части выполнения вероятностных расчетов железобетонных конструкций и установления необходимых данных для этого.

Материалы и методы. Основными задачами работы являлись изучение и анализ российского и зарубежного опыта в области оценки и управления рисками применительно к строительным конструкциям и объектам, в том числе на основе вероятностных расчетов. Для решения этих задач был проведен анализ существующих российских и международных документов. В ходе работы были проанализированы отечественные нормативные правовые акты и документы по стандартизации: своды правил и ГОСТ. Дополнительно были проанализированы отечественные нормативно-технические документы, не вошедшие в перечни норм обязательного и добровольного применения, и иные отраслевые нормативно-технические документы. Выполнен анализ зарубежной нормативно-технической базы, регламентирующей указанную область, в частности по вопросам установления характеристик исходных данных для проведения вероятностных расчетов (нагрузок, материалов и расчетных моделей). В общем случае методика анализа нормативно-технических документов включала в себя детальное изучение документа, анализ его положений, касающихся рассматриваемого вопроса, а также оценку полноты и достаточности положений документа по методам установления характеристик исходных данных для проведения вероятностных расчетов железобетонных конструкций в части нагрузок, материалов и расчетных моделей.

Выводы. По результатам проведенного анализа сформулированы конкретные направления и тематики научно-исследовательских работ, направленных на развитие вероятностных методов расчета железобетонных конструкций. Предложена система нормативных документов, позволяющих реализовать положения оптимального риск-ориентированного проектирования железобетонных конструкций.

Ключевые слова: бетон, железобетон, арматура, нагрузка, модель, вероятностный расчет

Для цитирования: Зенин С.А. Анализ нормативных документов по проблеме установления данных для выполнения вероятностных расчетов железобетонных конструкций. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;33(2):83–96. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-83-96](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-83-96)

Вклад автора

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей

Финансирование

Финансирование осуществлялось за счет средств государственного бюджета

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 23.04.2022

Поступила после рецензирования 11.05.2022

Принята к публикации 17.05.2022

ANALYSIS OF REGULATORY DOCUMENTS REGARDING DATA COLLECTION FOR PROBABILITY CALCULATIONS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

S.A. ZENIN, Cand. Sci. (Engineering)

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

Abstract

Introduction. A sustainable system of risk management in construction is in great demand for both consumers and suppliers of construction products. As one of the main elements of such a system, probability calculations of loader-bearing structures provide a necessary level of reliability and optimality of construction solutions. At the same time, the transition towards risk-oriented design, including the assessment and management of risks, implies the presence of sufficient statistic data, along with the methods of data collection and probability modeling. This study is focused on the issues concerned with collecting data for probability calculations.

Aim. To propose suggestions for improving the national regulatory framework as related to probability calculations of reinforced concrete structures and collecting the necessary data.

Materials and methods. The main objectives of the study were to investigate and analyze Russian and foreign experience in the field of risk assessment and management in terms of building structures and facilities based on probability calculations. In order to achieve these objectives, an analysis of existing Russian and international documents was carried out. In the course of the study, national regulatory legal acts and standardization documents including codes of rules and GOSTs were considered. In addition, some national regulatory technical documents, which were not included in the lists of both obligatory and non-obligatory applications, were analyzed, as well as other specialized regulatory technical documents. An analysis of foreign regulatory technical documents was conducted, including those regulating the initial data characteristics to perform probability calculations (loads, materials, and calculation models). In general, the methodology for analyzing regulatory technical documents involved a detailed study of the selected documents, an analysis of their positions concerning the issue under consideration, as well as an assessment of the completeness and sufficiency of the positions of the documents concerning the methods for determining the initial data characteristics for probability calculations of reinforced concrete structures regarding loads, materials and calculation models.

Conclusions. On the basis of the conducted analysis, specific subject areas for research works are formulated focusing on the development of probability calculations of reinforced concrete structures. A system of regulatory documents is proposed enabling an optimal risk-oriented design of reinforced concrete structures to be implemented.

Keywords: concrete, reinforced concrete, reinforcement, load, model, probability calculations

For citation: Zenin S.A. Analysis of regulatory documents regarding data collection for probability calculations of reinforced concrete structures. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):83–96. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-83-96](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-83-96)

Author contribution statement

The author takes responsibility for all aspects of the work on the article.

Funding

The research was funded by the state budget.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 23.04.2022

Revised 11.05.2022

Accepted 17.05.2022

Переход на риск-ориентированное проектирование, включая оценку и управление рисками, является актуальным направлением как в технике, так и в современной экономике. Данный переход подразумевает наличие достаточного количества статистических данных, включая методы их установления и построения вероятностных моделей. Современная нормативная база в строительстве в нашей стране пока не предлагает механизмов для количественной оценки рисков. При этом существуют международные стандарты (ISO, МАГАТЭ) и руководства, позволяющие прогнозировать и оценивать риски разрушения и нарушения эксплуатационной пригодности строительных конструкций в течение всего жизненного цикла.

Для оценки состояния вопроса нормирования вероятностных расчетов железобетонных конструкций специалистами НИИЖБ им. А. А. Гвоздева выполнен мониторинг существующих российских и международных документов, регламентирующих указанную область, в частности по вопросам установления характеристик исходных данных для проведения вероятностных расчетов (нагрузок, материалов и расчетных моделей).

В качестве основной задачи работы были поставлены изучение и анализ российского и зарубежного опыта в области оценки и управления рисками применительно к строительным конструкциям и объектам, в том числе на основе вероятностных расчетов.

Методика исследования нормативно-технических документов включала в себя мониторинг положений документов, касающихся методов установления характеристик исходных данных для проведения вероятностных расчетов, а также оценку полноты и достаточности положений документа по методам установления характеристик исходных данных для проведения вероятностных расчетов железобетонных конструкций в части нагрузок, материалов и расчетных моделей.

Предполагалось, что результатом работы станут предложения по совершенствованию отечественной нормативной базы, в т. ч. по программе необходимых исследований.

Отечественная нормативно-техническая база

Выполненный анализ показал, что среди отечественных нормативных документов, требования которых обязательны к исполнению, а также среди норм добровольного применения отсутствуют стандарты или своды правил, в которых установлены четкие и детальные требования к методам установления характеристик исходных данных для проведения вероятностных расчетов железобетонных конструкций в части нагрузок, материалов и расчетных моделей.

При этом анализ существующей нормативной базы позволил выявить ряд нормативных документов, содержащих общие положения риск-ориентированного подхода в системе управления качеством, а также в ряде случаев основные положения по вероятностным расчетам. Данные документы являются переводами соответствующих стандартов международной системы качества ISO. В общем случае стандарты не имеют прямого отношения к проектированию строительных конструкций и направлены непосредственно на повышение качества товаров и услуг, однако в них имеются предпосылки для развития положений теории рисков и вероятностных расчетов применительно к строительным конструкциям, зданиям и сооружениям, которые могут быть полезны.

Среди указанных стандартов отдельно следует отметить ГОСТ Р ИСО 2394-2016 [2]. Как показал анализ, данный стандарт является достаточно общим в части обеспечения требуемой надежности строительных конструкций, в целом его можно назвать аналогом действующего в настоящее время на территории РФ ГОСТ 27751 [1]. При этом данный стандарт в отличие от ГОСТ 27751 [1] содержит как общие, так и детальные положения по выполнению вероятностных расчетов и предпосылки для его выполнения. Стандарт содержит основные положения для оценки надежности строительных конструкций, включая методы установления характеристик исходных данных для проведения вероятностных расчетов конструкций в части нагрузок, материалов и расчетных моделей.

При этом практическое применение общих правил вышеуказанного стандарта при различных типах строительных материалов (в частности, железобетона) требует специальной проработки и адаптации для обеспечения уровня надежности, который будет наиболее согласованным с требованиями нормативных документов по проектированию бетонных и железобетонных конструкций.

Представляется, что положения рассмотренных стандартов ГОСТ Р ISO могут быть использованы в качестве базы для вероятностных методов расчета железобетонных конструкций на основе риск-ориентированного подхода. Одним из важных факторов вероятностного расчета конструкций на основе риск-ориентированного подхода является получение и анализ статистических данных. Данный фактор оказывает прямое влияние на корректность построения моделей, оценки прочностных характеристик материалов и оценку воздействий на конструкции.

Отдельного внимания заслуживают документы из области статистического контроля качества для различных материалов. В строительной сфере можно выделить следующие документы, регламентирующие процедуры обеспечения качества и разграничения соответствующих рисков: ГОСТ 20522 [4], ГОСТ 18105 [5], ГОСТ 34028 [6], ОСТ 14-34-78 [7], ГОСТ 33080 [8]. Указанная группа документов имеет прямое отношение к регулированию рисков строительной продукции и разработке стандартов, отвечающих за принятие решений о ее качестве.

По результатам анализа этих документов можно отметить, что профильные строительные стандарты в области оценки качества и характеристик материалов не имеют прямых ссылок на общепромышленные стандарты статистического контроля качества. При этом в них отмечены схожие подходы, отличающиеся при оценке ключевых характеристик материалов в зависимости от вида (грунт, бетон, сталь, древесина, камень). Детализация методик статистических принципов оценки в документах различная: наиболее проработанными представляются стандарты для грунтов (методы, приближенные к общепромышленным стандартам статистического контроля), менее проработаны стандарты для каменных конструкций (нормирование по маркам).

Однако подход является общим, при котором остается неизвестной фактическая надежность железобетонных элементов и железобетонной конструктивной системы в целом. Представляется целесообразным в развитии отечественных методов расчета выполнить переход на полный вероятностный расчет железобетонных конструкций. Указанные выше документы могут быть полезны при выполнении такого перехода.

Выполненный анализ смежных отечественных нормативных документов показал, что детальных положений, указаний или требований по выполнению вероятностных расчетов железобетонных конструкций или конструктивной системы сооружений в целом, включая методы установления характеристик исходных данных для проведения вероятностных расчетов конструкций в части нагрузок, материалов и расчетных моделей, в документах не содержится.

Методики профильных СП по расчету конструкций из различных видов материалов опираются на полувариантную систему оценки надежности, включающую нормативные характеристики нагрузок и материалов, учитывающие их изменчивость, и детерминированные коэффициенты надежности, установленные из практических соображений.

Отдельно следует отметить СП 366.1325800.2017 [3], касающийся промышленных трубопроводов, в котором достаточно детально описана процедура оценки рисков применительно к промышленным трубопроводам. Положения СП в целом согласуются с общей системой риск-ориентированного проектирования, заложенного в системе ГОСТ Р ИСО 31000 и ГОСТ Р ИСО 9001. Это свидетельствует о том, что в смежных документах наблюдается тенденция к переходу на риск-ориентированное проектирование.

Зарубежная нормативно-техническая база

Среди международных стандартов следует выделить системы стандартов двух международных организаций по стандартизации: ИСО (Международная организация по стандартизации) и МЭК (Международная электротехническая комиссия).

В табл. 1 приведен перечень действующих стандартов ИСО в области надежности, рисков и механической безопасности, разработанных комитетом 98 ИСО «Основы расчета и проектирования конструкций» и имеющих прямое отношение к строительным конструкциям, а также выполнен анализ на соответствие отечественных стандартов и норм положениям указанных стандартов ИСО.

Как видно из результатов анализа, в отличие от отечественной нормативной базы ряд требований международных стандартов по проектированию приведен в стандартах, тогда как в РФ нормативные положения закреплены преимущественно в виде сводов правил.

Стандарты в отечественной нормативной базе предназначены в первую очередь для производителей какой-либо продукции.

Анализ стандартов Международной электротехнической комиссии (МЭК) показал, что они по вопросу рисков имеют в общем случае техническую направленность и касаются рисков в технике. При этом представляется, что данные стандарты также будут полезны для более детального анализа и поиска подобных или аналогичных решений для оценки рисков в зданиях и их конструкциях.

В настоящее время в Европе действует общая европейская система стандартов и норм, именуемая EN. В общем случае европейские нормы базируются на международной системе стандартов ISO, рассмотренной выше. Для строительных конструкций еврономы представлены системой нормативных документов – Еврокодов, имеющих маркировки EN 1990 – EN 1999. На сегодня комплект Еврокодов включает десять стандартов, каждый из которых в свою очередь делится на части. Общее количество частей в настоящее время составляет 58.

Основным документом системы евроном является Еврокод EN 1990 [9], в котором приведены общие принципы и понятия обеспечения надежности строительных конструкций в области конструктивной безопасности. Также в нем установлены основные положения по проектированию несущих конструкций. Как показал анализ текста норм, в них сохранена соподчиненность международным стандартам, в т. ч. в области надежности. В частности, имеются прямые ссылки на стандарты ISO 2394 [10], ISO 3898 [11], ISO 8930 [12]. В этом случае очевидно, что базовыми документами, определяющими концепцию надежности и рисков в области несущих конструкций в европейской системе нормативных документов, являются международные стандарты системы ISO. Еврокод EN 1990 [9] определяет основные принципы и требования по назначению коэффициентов надежности, сочетанию условий, определяет принципы пригодности к использованию и долговечности несущих конструкций. Можно сказать, что EN 1990 [9] разработан в развитие требований международных стандартов системы ISO.

Выполненный анализ позволяет заключить, что система Еврокодов достаточно гибкая и предусматривает механизмы учета требуемой надежности конструкций с точки зрения качества их изготовления. При этом конкретных методик проведения непосредственно вероятностных расчетов, в т. ч. в части методов установления характеристик исходных данных для проведения вероятностных расчетов конструкций в части нагрузок, материалов и расчетных моделей документы Еврокод не содержат. Однако само наличие возможности дифференцировано подходить к оценке надежности строительных конструкций, тем самым применяя базовые принципы риск-ориентированного проектирования, выгодно отличает европейские нормы от отечественных.

Сравнительный анализ европейской и российской нормативной системы показал, что в российской системе нормативных документов принята более дифференцированная система частных коэффициентов, которая позволяет учесть в проверках более разнообразные условия и обеспечить достаточную надежность конструкций и зданий. При этом в российской системе нормативных документов не регламентированы показатели надежности конструкций или зданий в виде получения ее конкретных вероятностных оценок (например, индекс надежности β). Это усложняет применение в отечественной практике вероятностных методов расчета и дальнейшего развития метода частных коэффициентов. Отдельно следует отметить,

Таблица 1

Действующие стандарты ИСО, разработанные ТК 98, и их соответствие отечественным нормам и стандартам

Table 1

Current ISO standards developed by TC 98 and their compliance with national regulations and standards

Группа	Обозначение стандарта	Оригинальное наименование стандарта	Комитет ИСО, ответственный за разработку	Российский аналог стандарта	Степень соответствия	Примечание
Terminology and symbols	ISO 3898:2013	Bases for design of structures – Names and symbols of physical quantities and generic quantities	ISO/TC 98/SC 1	ГОСТ Р ИСО 3898-2016 Основы проектирования строительных конструкций. Наименования и обозначения физических величин (ИДТ)	IDT	
Terminology and symbols	ISO 8930:2021	General principles on reliability for structures – Vocabulary	ISO/TC 98/SC 1	ГОСТ Р ИСО 8930-2016 Надежность строительных конструкций. Термины и определения	IDT	Соответствует предыдущему стандарту ISO 8930:2016
Reliability of structures	ISO 2394:2015	General principles on reliability for structures	ISO/TC 98/SC 2	ГОСТ Р ИСО 2394-2016 Конструкции строительных. Основные принципы надежности	IDT	
Reliability of structures	ISO/PRF TR 4553	Deformations and displacements of buildings and building elements at serviceability limit states	ISO/TC 98/SC 2	Нет прямого аналога стандарта. Требования нормированы в СП 20.13330		Деформации и перемещения зданий и элементов для предельных состояний второй группы
Reliability of structures	ISO 10137:2007	Bases for design of structures – Serviceability of buildings and walkways against vibrations	ISO/TC 98/SC 2	ГОСТ Р ИСО 10137-2016 Основы расчета строительных конструкций. Эксплуатационная надежность зданий в условиях воздействия вибрации	IDT	
Reliability of structures	ISO 12491:1997	Statistical methods for quality control of building materials and components	ISO/TC 98/SC 2	ГОСТ Р ИСО 12491-2011 Материалы и изделия строительные. Статистические методы контроля качества	IDT	
Reliability of structures	ISO 13822:2010	Bases for design of structures – Assessment of existing structures	ISO/TC 98/SC 2	ГОСТ Р ИСО 13822 (проект, первая редакция – 2017год). Основы проектирования конструкций. Оценка существующих конструкций	IDT	

Продолжение табл. 1
Continuation of the table 1

Группа	Обозначение стандарта	Оригинальное наименование стандарта	Комитет ИСО, ответственный за разработку	Российский аналог стандарта	Степень соответствия	Примечание
Reliability of structures	ISO 13823:2008	General principles on the design of structures for durability	ISO/TC 98/SC 2	Нет прямого аналога стандарта		Общие принципы проектирования строительных конструкций с учетом долговечности
Reliability of structures	ISO 13824:2020	Bases for design of structures – General principles on risk assessment of systems involving structures	ISO/TC 98/SC 2	ГОСТ Р ИСО 13824-2013 Практические аспекты менеджмента риска. Общие принципы оценки риска систем, включающих строительные конструкции	IDT	Соответствует предыдущему стандарту ISO 13824:2009
Reliability of structures	ISO 22111:2019	Bases for design of structures – General requirements	ISO/TC 98/SC 2	Нет прямого аналога стандарта Ближайший аналог ГОСТ 27751		Основы проектирования строительных конструкций. Общие требования
Reliability of structures	ISO/DIS 23618	Bases for design of structures – General principles on seismically isolated structures	ISO/TC 98/SC 2	Нет прямого аналога стандарта. Требования нормированы в СП 14.13330		Основы проектирования строительных конструкций. Общие принципы сейсмически изолированных конструкций
Loads, forces and other actions	ISO 2103:1986	Loads due to use and occupancy in residential and public buildings	ISO/TC 98/SC 3	Нет прямого аналога стандарта. Требования нормированы в СП 20.13330		Нагрузки в жилых и общественных зданиях
Loads, forces and other actions	ISO 2633:1974	Determination of imposed floor loads in production buildings and warehouses	ISO/TC 98/SC 3	Нет прямого аналога стандарта. Требования нормированы в СП 20.13330		Нагрузки в производственных зданиях и складах
Loads, forces and other actions	ISO 3010:2017	Bases for design of structures – Seismic actions on structures	ISO/TC 98/SC 3/WG 9	Нет прямого аналога стандарта. Требования нормированы в СП 14.13330		Сейсмические воздействия на конструкции

Продолжение табл. 1
Continuation of the table 1

Группа	Обозначение стандарта	Оригинальное наименование стандарта	Комитет ИСО, ответственный за разработку	Российский аналог стандарта	Степень соответствия	Примечание
Loads, forces and other actions	ISO 4354:2009	Wind actions on structures	ISO/TC 98/SC 3	Нет прямого аналога стандарта. Требования нормированы в СП 20.13330. Есть аналог ГОСТ Р 56728-2015 Методика определения ветровых нагрузок на ограждающие конструкции		Ветровые воздействия на конструкции
Loads, forces and other actions	ISO 4355:2013	Bases for design of structures – Determination of snow loads on roofs	ISO/TC 98/SC 3	ГОСТ Р ИСО 4355-2016 Определение снеговых нагрузок на покрытия. Требования нормированы в СП 20.13330	IDT	
Loads, forces and other actions	ISO 9194:1987	Bases for design of structures – Actions due to the self-weight of structures, non-structural elements and stored materials – Density	ISO/TC 98/SC 3	Нет прямого аналога стандарта. Требования нормированы в СП 20.13330		Воздействия от собственного веса, неконструктивных элементов и хранения материалов
Loads, forces and other actions	ISO 10252:2020	Bases for design of structures – Accidental actions	ISO/TC 98/SC 3	Нет прямого аналога стандарта. Требования нормированы в СП 296.1325800		Основы проектирования строительных конструкций. Аварийные воздействия
Loads, forces and other actions	ISO 11697:1995	Bases for design of structures – Loads due to bulk materials	ISO/TC 98/SC 3	Нет прямого аналога стандарта. Требования нормированы в СП 20.13330		Нагрузки от сыпучих материалов
Loads, forces and other actions	ISO 12494:2017	Atmospheric icing of structures	ISO/TC 98/SC 3	ГОСТ Р ИСО 12494-2016 Основы проектирования строительных конструкций. Определение гололедных нагрузок, также требования нормированы в СП 20.13330	IDT	
Loads, forces and other actions	ISO/TR 12930:2014	Seismic design examples based on ISO 23469	ISO/TC 98/SC 3	Нет прямого аналога стандарта		Примеры сейсмических расчетов по ISO 23469

Продолжение табл. 1
Continuation of the table 1

Группа	Обозначение стандарта	Оригинальное наименование стандарта	Комитет ИСО, ответственный за разработку	Российский аналог стандарта	Степень соответствия	Примечание
Loads, forces and other actions	ISO 13033:2013	Bases for design of structures – Loads, forces and other actions – Seismic actions on nonstructural components for building applications	ISO/TC 98/SC 3	Нет прямого аналога стандарта. Требования нормированы в СП 14.13330		Сейсмические воздействия на несущие элементы
Loads, forces and other actions	ISO 21650:2007	Actions from waves and currents on coastal structures	ISO/TC 98/SC 3	Нет прямого аналога стандарта. Требования нормированы в СП 38.13330		Воздействия от волн на прибрежные конструкции
Loads, forces and other actions	ISO 23469:2005	Bases for design of structures – Seismic actions for designing geotechnical works	ISO/TC 98/SC 3	Нет прямого аналога стандарта. Требования нормированы в СП 14.13330		Сейсмические воздействия для геотехнических работ

Примечание: IDT – идентичный стандарт
Note: IDT – identical standard

что для более точного и достоверного определения уровня надежности (вероятности отказа, индекса надежности) необходимо уточнять вероятностные модели базисных переменных.

Отдельно следует отметить обобщающий документ по расчету железобетонных конструкций Model Code 2010, выпущенный международной федерацией бетона fib в соответствующих бюллетенях [13, 14]. Он включает разделение методов расчета на уровни их точности. Самый нижний уровень – упрощенные методы оценки и расчетов, самый верхний – вероятностные расчеты. По представлению разработчиков Model Code 2010, для решения практических инженерных задач методы расчета нижних уровней будут востребованными, с чем можно согласиться. При этом развитие методов вероятностного расчета найдет отражение в развивающихся принципах проектирования с учетом жизненного цикла и для оценки остаточного ресурса строительных конструкций.

В документе Model Code 2010 [13, 14] предусмотрен специальный раздел по нормированию основ вероятностного расчета и обеспечения надежности. В частности, указано, что выбор целевого уровня надежности при проектировании должен учитывать возможные последствия отказов в плане рисков жизни, потенциальные экономические потери и влияние последствий отказов. Выбор целевого уровня надежности также учитывает объем расходов и усилий, необходимых для снижения рисков отказа. Из-за больших различий в результатах следует уделять должное внимание дифференциации уровня надежности. Выделяют также понятие надежности конструкций, которые проектируются, а также уже возведенные.

Документом предполагается анализировать меры по снижению рисков для каждого конкретного случая. Указано, что максимальная допустимая вероятность отказа зависит от типа предельного состояния и рассматриваемых последствий отказа. Введены также рекомендуемые целевые показатели надежности для конструкций, нормированы значения индекса надежности β .

В процессе выполнения мониторинга нормативно-технической базы не удалось установить какой-либо системной нормативной базы в США в части документов по оценке рисков либо связанных с обеспечением необходимой механической безопасности строительных конструкций, а также по проведению вероятностных расчетов строительных конструкций. При этом заметно возрастает количество публикаций американских исследователей, посвященных тематике оценки рисков при проектировании и строительстве с применением американских норм.

В целом по результатам анализа можно отметить, что европейская система нормативных и поддерживающих ее научно-технических документов является достаточно проработанной и подготовленной для перехода на риск-ориентированное проектирование и вероятностные расчеты с прямой оценкой надежности.

Часть проанализированных международных стандартов имеет соответствующие аналоги в российской системе стандартизации. Представляется полезным учесть положения приведенных стандартов системы ISO, а также иных стандартов системы МЭК для разработки соответствующих нормативных положений и документов в строительстве в виде установления аналогичных требований или их адаптации к российским условиям.

В общем случае для этого представляется необходимым выполнение ряда научно-исследовательских работ по детальной оценке возможности применения положений указанных стандартов, приведенных в них методов определения надежности и оценки риска непосредственно к строительным конструкциям, зданиям и сооружениям, находящимся на территории

нашей страны. Также следует учитывать, что большая часть положений вышеуказанных стандартов носит общий и теоретический характер, что требует соответствующей проверки предлагаемых в стандартах подходов, в т. ч. на основе большого количества статистических данных.

Выводы

По результатам выполненной работы можно сформулировать следующие предложения:

Рекомендуется для конкретного практического применения вероятностных расчетов выполнение комплекса научно-исследовательских работ, затрагивающих вопросы:

- детального анализа наиболее продвинутых по вопросам риск-ориентированного подхода зарубежных стандартов системы ISO, JCSS в части возможности применения методик и подходов по выполнению вероятностных расчетов в нашей стране с учетом требований отечественной нормативной базы;
- методологии оценки рисков и их критериев для конкретных видов конструкций и конструктивных систем из железобетона;
- методов сбора и анализа статистических данных (комплекс базовых переменных), достаточных в объеме, достоверных и необходимых для проведения вероятностных расчетов конструкций из железобетона;
- разработки вероятностных моделей свойств железобетона;
- разработки вероятностных моделей воздействий;
- разработки вероятностных расчетных моделей;
- общей методологии выполнения вероятностных расчетов железобетонных конструкций;
- верификации расчетов железобетонных конструкций на основе риск-ориентированного подхода и на основе применяемого в настоящее время полув вероятностного метода с установлением критериев применимости.

Вышеуказанные направления следует рассматривать для условий обычной эксплуатации (массовые конструкции, здания и сооружения), а также на различные экстремальные воздействия (здания повышенного уровня ответственности, здания в сейсмических районах, специфические сооружения).

На основе результатов проведенных научно-исследовательских работ по вышеуказанным вопросам представится возможным разработать отдельную систему сводов правил и развивающих пособий к ним, касающуюся оптимального риск-ориентированного проектирования железобетонных конструкций. Состав этих документов и их тематика должна быть согласована со специалистами соответствующих научно-технических, проектных и экспертных организаций.

В качестве предварительных проектов можно рекомендовать следующие своды правил:

- СП «Бетонные и железобетонные конструкции. Правила расчета надежности»;
- СП «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения по вероятностным расчетам»;
- СП «Бетонные и железобетонные конструкции. Правила проектирования с учетом оценки рисков».

Для выполнения указанного выше комплекса работ, а также к разработке соответствующего пакета нормативных документов необходимо привлекать соответствующих

специалистов и экспертов в области надежности сооружений. При этом необходимо отметить, что исследовательские работы по вопросу выполнения вероятностных расчетов и расчетов надежности с учетом своей актуальности следует выполнять и в более долгосрочной перспективе.

Список литературы

1. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. Москва: Стандартинформ; 2015.
2. ГОСТ Р ИСО 2394-2016 Конструкции строительные. Основные принципы надежности. Москва: Стандартинформ; 2016.
3. СП 366.1325800.2017 Промысловые трубопроводы. Оценка технических решений на основе анализа риска. Москва: Стандартинформ; 2018.
4. ГОСТ 20522-2012 Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. Москва: Стандартинформ; 2013.
5. ГОСТ 18105-2010 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. Москва: Стандартинформ; 2012.
6. ГОСТ 34028-2016 Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2019.
7. ОСТ 14-34-78 Отраслевая система управления качеством черной металлургии. Статический контроль качества металлопроката по корреляционной связи между параметрами. Москва: Министерство чёрной металлургии СССР; 1978.
8. ГОСТ 33080-2014 Конструкции деревянные. Классы прочности конструкционных пиломатериалов и методы их определения. Москва: Стандартинформ; 2015.
9. EN 1990:2002/A1:2005 Eurocode – Basis of structural design. Brussels: European Committee for Standardization; 2005.
10. ISO 2394:2015 General principles on reliability for structures. Geneva: International Organization of Standards; 2015.
11. ISO 3898:2013 Bases for design of structures – Names and symbols of physical quantities and generic quantities. Geneva: International Organization of Standards; 2013.
12. ISO 8930:1987 General principles on reliability for structures – List of equivalent terms. Geneva: International Organization of Standards; 1987.
13. The International Federation for Structural Concrete. Model Code 2010 – Final draft. Vol. 1. fib Bulletin N° 65. Ernst & Sohn; March 2012. <https://doi.org/10.35789/fib.bull.0065>
14. The International Federation for Structural Concrete. Model Code 2010 – Final draft. Vol. 2. Fib Bulletin N° 66. Ernst & Sohn; March 2012. <https://doi.org/10.35789/fib.BULL.0066>

References

1. State Standard 27751-2014 Reliability of building structures and foundations. Basic provisions and requirements. Moscow: Standartinform Publ.; 2015 (in Russian).
2. State Standard R ISO 2394-2016 Construction structures. Basic principles of reliability. Moscow: Standartinform Publ.; 2016 (in Russian).
3. SP 366.1325800.2017 Field pipelines. Assessment of technical solutions based on risk analysis. Moscow: Standartinform Publ.; 2018 (in Russian).
4. State Standard 20522-2012 Soils. Methods of statistical processing of test results. Moscow: Standartinform Publ.; 2013 (in Russian).
5. State Standard 18105-2010 Concrete. Rules for strength control and evaluation. Moscow: Standartinform Publ.; 2012 (in Russian).
6. State Standard 34028-2016 Rolled reinforcement for reinforced concrete structures. Technical conditions. Moscow: Standartinform Publ.; 2019 (in Russian).

7. OST 14-34-78 Branch quality management system of ferrous metallurgy. Static quality control of rolled metal by correlation between parameters. Moscow: Ministry of Ferrous Metallurgy of the USSR; 1978 (in Russian).
8. State Standard 33080-2014 Wooden structures. Strength classes of structural lumber and methods of their determination. Moscow: Standartinform Publ.; 2015 (in Russian).
9. EN 1990:2002/A1:2005 Eurocode – Basis of structural design. Brussels: European Committee for Standardization; 2005.
10. ISO 2394:2015 General principles on reliability for structures. Geneva: International Organization of Standards; 2015.
11. ISO 3898:2013 Bases for design of structures – Names and symbols of physical quantities and generic quantities. Geneva: International Organization of Standards; 2013.
12. ISO 8930:1987 General principles on reliability for structures – List of equivalent terms. Geneva: International Organization of Standards; 1987.
13. The International Federation for Structural Concrete. Model Code 2010 – Final draft. Vol. 1. fib Bulletin N° 65. Ernst & Sohn; March 2012. <https://doi.org/10.35789/fib.bull.0065>
14. The International Federation for Structural Concrete. Model Code 2010 – Final draft. Vol. 2. Fib Bulletin N° 66. Ernst & Sohn; March 2012. <https://doi.org/10.35789/fib.BULL.0066>

Информация об авторе / Information about the author

Сергей Алексеевич Зенин, канд. техн. наук, заведующий лабораторией железобетонных конструкций и конструктивных систем НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: lab01@mail.ru
тел.: +7 (499) 174-75-17

Sergey A. Zenin, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory of the Theory of Reinforced Concrete Structures and Constructive Systems of NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: lab01@mail.ru
tel.: +7 (499) 174-75-17

УДК 691.32, 620.179.12

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-97-105](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-97-105)

EDN: FMZOPT

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА МЕТОДОМ ПОГРУЖЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ДЮБЕЛЕЙ

С.И. ИВАНОВ^{1,✉}, канд. техн. наук

А.В. НЕВСКИЙ¹, канд. техн. наук

Д.А. ЧЕСНОКОВ²

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

² АО «Хилти Дистрибьюшн ЛТД», Ленинградская ул., стр. 25, г. Химки, 141402, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Метод контроля прочности бетона на основе погружения стального дюбеля в бетон за счет энергии порохового заряда применяется с 60-х годов прошлого века. В настоящее время рядом организаций указанный метод контроля продвигается в качестве альтернативы прямым неразрушающим методам контроля (метод отрыва со скалыванием и метод скалывания угла), вносятся предложения по внесению рассматриваемого метода в действующий стандарт ГОСТ 22690-2015. В качестве обоснования указывается доступность и дешевизна рассматриваемого метода по сравнению с регламентированными действующими методами в стандартах.

Цель: провести анализ отечественных и зарубежных исследований, нормативных документов, регламентирующих рассматриваемый метод контроля, оценить возможность его нормирования и объем необходимых для стандартизации дополнительных исследований.

Материалы и методы. Выполнен анализ диссертационных работ с середины XX в. по настоящее время, нормативных документов (ASTM C803-02, BS 1881-207, DIN EN 14488-2), инструкций (Z-WP-534. Windsor Probe System, Driving method Hilti DX 450-SCT).

Результаты. Выявлены существенные ограничения для применения метода и факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на точность метода: твердость, вид и крупность заполнителя, разброс мощности порохового заряда, параметры индентора (забиваемого дюбеля). Указанные факторы не оказывают влияния на регламентированные действующими стандартами методы контроля. Доступные для анализа зарубежные стандарты регламентируют применение рассматриваемого метода контроля в качестве косвенного метода, требующего корректировки с учетом результатов испытаний стандартных образцов или кернов, отобранных из конструкций, и не содержат данных по точности метода такого контроля.

Выводы. С учетом выявленных ограничений нормирование метода преждевременно. Исследования необходимо продолжить. Утверждение о существенной доступности и дешевизне рассматриваемого метода по сравнению с методами, регламентированными действующими стандартами, не обоснованно.

Ключевые слова: бетон, прочность, пистолет монтажный, дюбель-гвоздь, пороховой заряд, градуировочная зависимость

Для цитирования: Иванов С.И., Невский А.В., Чесноков Д.А. Особенности определения прочности бетона методом погружения стальных дюбелей. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;33(2):97–105. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-97-105](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-97-105)

Вклад авторов

Авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование выполнялось за счет средств ФАУ «ФЦС» в 2021 году.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 18.04.2022

Поступила после рецензирования 19.05.2022

Принята к публикации 24.05.2022

SPECIFIC FEATURES OF DETERMINING CONCRETE STRENGTH BY STUD DRIVING METHOD

S.I. IVANOV¹, Cand. Sci. (Engineering)

A.V. NEVSKII¹, Cand. Sci. (Engineering)

D.A. CHESNOKOV²

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

² JSC "Hilty Distribution LTD", Leningradskaya st., bld. 25, Khimki, 141402, Russian Federation

Abstract

Introduction. The method of determining concrete strength based on steel stud driving into concrete by firing has been used since the 1960s. At present, several institutions promote this method as an alternative to direct nondestructive testing methods (pullout test and shear angles) and propose to introduce it into the current standard GOST 22690-2015. Its availability and low cost compared to those of the existing standard methods are mentioned to substantiate this proposal.

Aim. In this work, domestic and foreign studies and normative documents regulating the considered test method are analyzed, and its standardization and the volume of additional research are evaluated.

Materials and methods. Theses from the mid-20th century to the present, normative documents (ASTM C803-02, BS 1881-207, DIN EN 14488-2), and instructions (Z-WP-534. Windsor Probe System, Driving method Hilti DX 450-SCT) were reviewed.

Results. Significant limitations for the application and the factors having the most profound influence on the accuracy of the method were identified: hardness, type, and fineness of the filler, variation of firing charge power, and indenter parameters (driven stud). These factors have no influence on the control methods recommended by the existing standards. Foreign standards stipulate the application of this test method as an indirect technique, requiring adjustments based on the testing results of standard samples or test cores extracted from structures; however, no data on its accuracy is provided.

Conclusion. Given the revealed limitations, it is premature to standardize the method. Further research is recommended. The statement about the significant availability and cheapness of the reviewed method relative to the standard regulated methods is unsubstantiated.

Keywords: concrete, strength, powder actuated tool, stud, firing charge, calibration curve

For citation: Ivanov S.I., Nevskii A.V., Chesnokov D.A. Specific features of determining concrete strength by stud driving method. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):97–105. (In Russ.) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-97-105](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-97-105)

Author contribution statements

The authors contributed equally to preparing the manuscript.

Funding

The research was supported by FAO FCA in 2021.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 18.04.2022

Revised 19.05.2022

Accepted 24.05.2022

Введение

Точность и оперативность определения фактического класса бетона при операционном и приемо-сдаточном контроле качества сборных и монолитных железобетонных конструкций имеют важное практическое значение. При этом прямой разрушающий метод определения прочности бетона не всегда позволяет надежно контролировать качество бетона в производственных условиях: прочность бетона в стандартных бетонных образцах может значительно отличаться от фактической прочности в конструкциях, так как их объем составляет ничтожно малую долю от объема конструкций, кроме того, условия уплотнения и твердения бетона образцов также существенно отличаются от их реальных условий в конструкциях.

Эффективный контроль качества бетона состоит в определении его прочности непосредственно в конструкциях и сооружениях без их разрушения, так называемыми неразрушающими методами, многие из которых основаны на современных достижениях физики. Существующие методы неразрушающих испытаний прочности бетона многочисленны и разнообразны по сложности: от простых механических молотков до электронных приборов.

В настоящее время неразрушающие методы контроля прочности бетона широко применяются не только в России и СНГ, но и в странах Западной и Восточной Европы, США, Канаде и т. д., а их развитию уделяется большое внимание.

На данный момент разработаны достаточно точные неразрушающие методы, позволяющие решить практически все вопросы контроля прочности бетона (ГОСТ 17624-2012, ГОСТ 22690-2015, ГОСТ 31914-2012) и оценки его фактического класса (ГОСТ 18105-2018).

В ряде таких случаев, как, например, контроль распалубочной прочности, когда не требуется оценка класса бетона, оправдано применение экспресс-методов оценки прочности, основанных на использовании простых приборов и методик, доступных для строительных организаций – производителей работ. Одним из таких методов может стать метод погружения стальных дюбелей, получивший распространение в Европе и США.

Обзор отечественной и зарубежной литературы

Метод определения прочности бетона путем погружения стальных дюбелей применялся в нашей стране и за рубежом с 60-х гг. прошлого века [1] и основан на погружении стального дюбеля с помощью строительного монтажного пистолета за счет энергии воспламенения порохового заряда. Подробное описание этого метода приведено в патенте на изобретение



Рис. 1. Набор инструментов и приспособлений для применения метода контроля прочности бетона «Windsor-test»
Fig. 1. Windsor Probe System Contents

РФ [2]. Данный метод был рекомендован для контроля прочности тяжелых и легких бетонов и представлен как косвенный, требующий привязки к прямым методам [3, 4].

В зарубежных нормативных документах получили распространение два схожих метода контроля. Первый из них, «Windsor-test» [13], применяется для контроля прочности тяжелого и легкого бетона прочностью на сжатие от 3,6 до 110 МПа и предполагает применение специально изготовленных для этого метода патронов и инденторов, не имеющих широкого распространения и не используемых иначе в строительстве (рис. 1). Применению данного метода посвящены стандарты: ASTM C 803-02 [5] в Северной Америке и BS 1881-207 [6] в Великобритании.

Связь между прочностью бетона и глубиной погружения стандартного индентора указывает производитель прибора с учетом твердости щебня по шкале Мооса [13], где твердость щебня определяется либо в пробах, взятых на заводе-изготовителе бетона, либо по образцам, отобраным из конструкции. Как отмечают авторы [10], часто эта связь недостаточно точна, и требуется построение градуировочной зависимости на стандартных образцах, испытываемых на сжатие в прессе.

Основными факторами, влияющими на изменчивость показаний прочности с применением метода «Windsor-test», по мнению авторов [10], являются: ошибки оператора, неисправность оборудования, размер заполнителя и неоднородность бетона как конструкционного материала, но наибольшую погрешность, как принято считать, привносит размер заполнителя: при крупности заполнителя 20 мм коэффициент вариации может составлять 5 %, при 55 мм – до 14 %. Тем не менее, как отмечают авторы [10], данный метод можно успешно применять в случае определения распалубочной прочности, где требования к точности не столь высоки.

Методика требует выполнения не менее трех выстрелов на участке контроля и содержит требования по допустимой изменчивости проведенных замеров, не содержит требований или ограничений по возрасту, водонепроницаемости или влажности бетона, однако требует либо подтверждения данных по твердости заполнителя, либо уточнения зависимости по результатам испытания стандартных образцов бетона.

Второй метод – комбинированный метод пенетрации и сопротивления вырыву [12] – основан на зависимости прочности бетона от отношения усилия вырыва P к глубине погружения дюбеля L . Наиболее полное описание метода изложено в инструкции по контролю прочности мелкозернистого бетона фирмы Hilti [8]. Методика основана на погружении стандартных стальных дюбелей одной определенной марки с помощью порохового пистолета Hilti-DX-450 и зарядов пониженной мощности (с зеленой и желтой цветовой маркировкой патронов). Инструкция содержит указания по количеству испытаний на участке контроля (10 выстрелов с расстоянием между дюбелями не менее 8 см и расстоянии до края не менее 10 см), указания по измерению глубины погружения, усилия вырыва, отбраковке выпадающих результатов и оценке результатов контроля. Прочность бетона определяется в диапазоне 2–16 МПа при применении зеленого патрона и 17–56 МПа при применении желтого патрона. Прочность бетона (цилиндровая прочность) определяется по универсальным градуировочным зависимостям, представленным на рис. 2, в зависимости от отношения усилия вырыва F к глубине погружения дюбеля L :

$$f_c = (F/L + 2.7)/7.69 \text{ (зеленый патрон)} \quad (1)$$

$$f_c = 0.152 * F/L - 1.82 \text{ (желтый патрон)} \quad (2)$$

Методика Hilti применяется только для мелкозернистого торкретбетона и не имеет ограничений по его влажности, водонепроницаемости и возрасту. Методика содержит требование по оценке результатов контроля по стандарту EN 12504-1, согласно которому все неразрушающие методы, в том числе рассматриваемый метод, являются косвенными и требуют привязки к конкретному объекту испытаний по результатам испытания отобранных из бетона кернов. Методика не содержит данных о точности метода контроля.

Немецкий стандарт DIN EN 14488-2 [9] содержит требования и ограничения к методу контроля, аналогичные требованиям [8], однако содержит градуировочные зависимости для бетонов с различной крупностью заполнителя:

- для тяжелого бетона с крупностью заполнителя 8 мм и менее:

$$R = (F/L + 2.7)/7.69, \quad (3)$$

- для тяжелого бетона с крупностью заполнителя 16 мм и менее:

$$R = (F/L + 0.02)/6.69, \quad (4)$$

- для силикатного бетона с крупностью заполнителя 16 мм и менее:

$$R = (F/L + 3.32)/5.13. \quad (5)$$

Стандарт [9] применяется для контроля прочности бетонов от 3 до 16 МПа. В стандарте отмечается, что в настоящее время нет данных о точности метода.

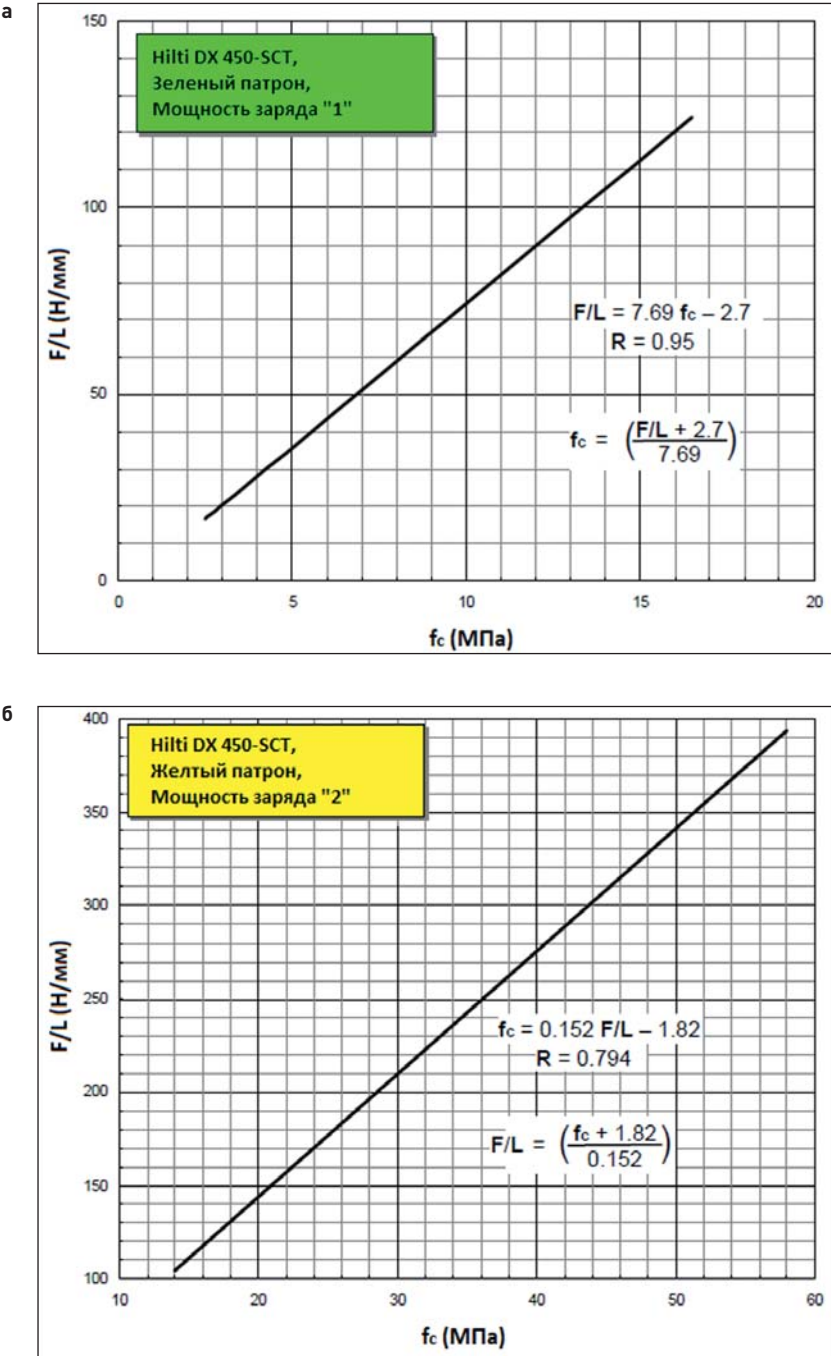


Рис. 2. Универсальные градуировочные зависимости фирмы Hilti [8] для определения прочности бетона с размером крупного заполнителя 8 и 11 мм с использованием пистолета DX 450-SCT с зелеными (а) и желтыми (б) патронами

Fig. 2. Hilti standard calibration curves [8] for determining concrete strength having a coarse aggregate of 8 and 11 mm using a DX 450-SCT gun equipped with green (a) and yellow (б) cartridges

В литературе [7, 11] также имеются сведения об использовании пневматических пистолетов для погружения дюбелей.

Таким образом, имеющиеся зарубежные и отечественные исследования указывают на то, что рассматриваемый метод является косвенным и требует корректировки с помощью привязки к результатам контроля прямыми неразрушающими методами.

Следует отметить, что для стандартизованного метода «Windsor-test» [5, 6, 10, 13] не указано требование по допустимому разбросу «мощности» порохового заряда и допустимой изменчивости геометрических характеристик индентора. Однако указано, что применение метода допускается только для специально изготовленных для этого метода пистолета, патрона и индентора, поставляемых производителем в комплекте и больше нигде не применяемых. По-видимому, калибровка указанного оборудования и допуск к его применению осуществляются производителем оборудования.

Стандартизованный европейский метод [9] допускает применение обычных патронов для строительных работ, разброс мощности которых составляет $\pm 20\%$ от среднего номинального значения и одной определенной марки дюбелей, допускает оценку прочности в ограниченном диапазоне: от 3 до 16 МПа.

Стандарт организации Hilti [8] также допускает применение обычных патронов для строительных работ, разброс мощности которых составляет $\pm 20\%$ от среднего номинального значения и одной определенной марки дюбелей, но допускает оценку прочности только мелкозернистого торкрет-бетона.

Оба стандарта [8, 9], допускающие применение обычных патронов для строительных работ, не содержат указаний по точности метода и прямых зависимостей прочности от глубины погружения дюбеля, а содержат зависимости прочности от отношения усилия вырыва (P или F) к глубине погружения дюбеля (L). Это является следствием более высокой корреляции прочности бетона с этим соотношением (P/L или F/L), чем с глубиной погружения дюбеля (L) [12]. Одной из причин этого может быть разброс мощности обычных патронов для строительных работ.

Согласно данным производителей, разброс мощности имеющихся в настоящее время на рынке патронов от среднего номинального значения составляет $\pm 16\%$ для отечественных производителей и $\pm 50\%$ – для иностранных. В результате точность метода и корреляционные зависимости прочности от глубины погружения дюбеля могут оказаться значительно хуже, чем для ранее исследованных методов.

Вывод

Анализ материалов зарубежных и отечественных исследований, а также зарубежных нормативных документов выявил существенные ограничения для применения метода определения прочности бетона в конструкциях, основанного на связи с глубиной погружения стального стержня под действием энергии порохового заряда.

Наибольшее влияние на точность и возможность применения данного метода оказывают твердость, вид и крупность заполнителя. Не менее существенное влияние оказывают разброс мощности порохового заряда и параметры индентора: для специально изготовленных комплектов оборудования (пистолетов, зарядов и инденторов) стандартизованы градуировочные зависимости; для обычных пистолетов, патронов и дюбелей, применяемых

в строительстве, стандартизированы градуировочные зависимости только для отдельных видов бетонов или бетонов низкой прочности, при этом приведены не зависимости прочности от глубины погружения, а зависимости прочности от производной характеристики – отношения усилия вырыва дюбеля к глубине его погружения. Наиболее вероятной причиной является более высокая допустимая изменчивость мощности выстрела порохового заряда для обычного общестроительного оборудования по сравнению со специально изготовленным оборудованием.

Доступные для анализа зарубежные стандарты регламентируют применение рассматриваемого метода контроля в качестве косвенного метода, требующего корректировки с учетом результатов испытаний стандартных образцов или кернов, отобранных из конструкций, и не содержат данных по точности метода такого контроля.

Список литературы

1. Разработка новых прямых механических неразрушающих способов определения прочности бетона. Отчет о НИОКР. Рег. № НИОКТР АААА-А16-116020310269-5. Рег. № ИКРБС 20161225-НИР-013. Москва: НИИЖБ; 2021.
2. Торицын И.В., Несветайло В.М. Способ определения прочности по глубине погружения дюбеля-гвоздя в тестируемый бетон и дюбель-гвоздь. Патент РФ № 2706390. Оpubл. 18.11.2019.
3. Росляков П.С. Определение прочности бетона строительно-монтажным пистолетом СМП-1. Москва: Госстройиздат; 1962.
4. Скрамтаев Б.Г., Лещинский М.Ю. Испытание прочности бетона в образцах, изделиях и сооружениях. Москва: Стройиздат; 1964.
5. ASTM C803-02 Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International; 2003.
6. BS 1881-207 Testing Concrete. Recommendations for the assessments of concrete strength by near-to-surface tests. London, UK: British Standards Institute; 1992.
7. Ciancio D., Helinski M. The use of shear wave velocity for assessing strength development in fibre reinforced shotcrete. In: Shotcrete: Elements of a System. London: CRC Press; 2010. pp. 75–80. <https://doi.org/10.1201/b10545-11>
8. Determination of the early strength of sprayed concrete with stud driving method Hilti DX 450-SCT. Operating instructions. Schaan, Liechtenstein: Hilti Corp., 2011.
9. DIN EN 14488-2 Testing sprayed concrete – Part 2: Compressive strength of young sprayed concrete. German version EN 14488-2:2006. Berlin, Germany : German Institute for Standardization; 2012.
10. Helal J., Sofi M., Mendis P. Non-destructive testing of concrete: A review of methods. Electronic Journal of Structural Engineering. 2015;14(1):97–105.
11. Iwaki K., Hiram A., Mitani K., Kaise S., Nakagawa K. A quality control method for shotcrete strength by pneumatic pin penetration test. NDT & E International. 2001;34(6):395–402. [https://doi.org/10.1016/S0963-8695\(01\)00006-8](https://doi.org/10.1016/S0963-8695(01)00006-8)
12. Indirekte Verfahren zur Druckfestigkeitsbestimmung von Spitzbeton. Innsbruck; 1998.
13. Z-WP-534. Windsor Probe System. Operator's Manual. Chicago, IL, USA: James Instruments Inc.; 2018.

References

1. Development of new direct mechanical non-destructive methods for determination of concrete strength. R&D report. Reg. № АААА-А16-116020310269-5. Bibl. reg. № 20161225-НИР-013. Moscow: NIIZHB; 2021. (in Russian).
2. Toritsyn I.V., Nesvetailo V.M. A method for determining the strength by the depth of immersion of the dowel-nail into the tested concrete and the dowel-nail. Patent of the Russian Federation № 2706390. Publ. date 18.11.2019. (in Russian).

3. *Roslyakov P.S.* Determination of concrete strength using construction and assembly gun SMP-1. Moscow: Gosstroizdat Publ.; 1962. (in Russian).
4. *Skramtaev B.G., Leshinsky M.Yu.* Testing the concrete strength in test-samples, construction product and structures. Moscow: Stroizdat Publ; 1964. (in Russian).
5. ASTM C803-02 Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International; 2003.
6. BS 1881-207 Testing Concrete. Recommendations for the assessments of concrete strength by near-to-surface tests. London, UK: British Standards Institute; 1992.
7. *Ciancio D., Helinski M.* The use of shear wave velocity for assessing strength development in fibre reinforced shotcrete. In: Shotcrete: Elements of a System. London: CRC Press; 2010. pp. 75–80. <https://doi.org/10.1201/b10545-11>
8. Determination of the early strength of sprayed concrete with stud driving method Hilti DX 450-SCT. Operating instructions. Schaan, Liechtenstein: Hilti Corp., 2011.
9. DIN EN 14488-2 Testing sprayed concrete – Part 2: Compressive strength of young sprayed concrete. German version EN 14488-2:2006. Berlin, Germany : German Institute for Standardization; 2012.
10. *Helal J., Sofi M., Mendis P.* Non-destructive testing of concrete: A review of methods. Electronic Journal of Structural Engineering. 2015;14(1):97–105.
11. *Iwaki K., Hiram A., Mitani K., Kaise S., Nakagawa K.* A quality control method for shotcrete strength by pneumatic pin penetration test. NDT & E International. 2001;34(6):395–402. [https://doi.org/10.1016/S0963-8695\(01\)00006-8](https://doi.org/10.1016/S0963-8695(01)00006-8)
12. Indirekte Verfahren zur Druckfestigkeitsbestimmung von Spitzbeton. Innsbruck; 1998.
13. Z-WP-534. Windsor Probe System. Operator's Manual. Chicago, IL, USA: James Instruments Inc.; 2018.

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Ильич Иванов✉, канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории железобетонных конструкций и контроля качества НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: 5378018@mail.ru

Sergey I. Ivanov✉, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, laboratory of reinforced concrete structures and quality control, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: 5378018@mail.ru

Андрей Валерьевич Невский, канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории железобетонных конструкций и контроля качества НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: lokop888@gmail.com

Andrey V. Nevskii, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, laboratory of reinforced concrete structures and quality control, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: lokop888@gmail.com

Денис Александрович Чесноков, инженер по сертификации, АО «Хилти Дистрибьюшн ЛТД», Химки
e-mail: denis.chesnokov@hilti.com

Denis A. Chesnokov, Compliance engineer, JSC "Hilty Distribution LTD", Khimki
e-mail: denis.chesnokov@hilti.com

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

УДК 693.5

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-106-121](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-106-121)

EDN: GGJSSG

ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ КАРКАСОВ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ КЛАССОВ В60–В100

С.С. КАПРИЕЛОВ¹, д-р техн. наук
А.В. ШЕЙНФЕЛЬД^{1,✉}, д-р техн. наук
ДЖАЛАЛЬ АЛЬ-ОМАИС², канд. техн. наук
А.С. ЗАЙЦЕВ³
Р.А. АМИРОВ³

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

²Компания «Capital Group», Пресненская наб., д. 8, стр.1, г. Москва, 123112, Российская Федерация

³ООО «Предприятие Мастер Бетон», ул. Саратовская, д. 31, г. Москва, 109518, Российская Федерация

Аннотация

Введение. В статье представлена реализованная на практике технология возведения конструкций каркасов высотных зданий из высокопрочных бетонов классов В60–В100. Она включает в себя комплекс технологических процессов и учитывает ряд особенностей, наиболее значимые из которых связаны со спецификой высокопрочных бетонов и климатическими условиями производства бетонных работ.

Цель. Определение основных требований к технологии производства бетонных работ и параметров выдерживания монолитных конструкций высотных зданий из высокопрочных бетонов классов В60–В100, в том числе в зимний период, на различных стадиях их возведения.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели проведены исследования влияния изменения температуры твердения от +5 до +50 °С на кинетику набора прочности бетонов классов В60, В80 и В100. На основании 15-летнего опыта строительства ММДЦ «Москва-Сити» оптимизированы составы высокопрочных бетонов, выполнен анализ и обобщены основные параметры технологии бетонирования и ухода за конструкциями каркасов высотных зданий, расположенных на высоте до 370 м.

Результаты. Оптимизированы составы высокопрочных бетонов классов В60–В100 из высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонных смесей с расходом цемента 350–480 кг/м³ на основе использования стандартных материалов и органоминеральных модификаторов серии МБ. Выявлена закономерность между прочностью и температурно-временным параметром выдерживания бетона, позволяющая производить предварительную оценку прочностных характеристик высокопрочных бетонов в конструкциях по результатам измерения их температуры. Показано, что системный подход к выдерживанию бетона и уходу за конструкциями сооружения в целом, с вертикальным делением высотного здания на четыре температурные зоны, позволяет снизить вероятность появления термических трещин, связанных с экзотермией бетона и неравномерным разогревом-остыванием конструкций.

Выводы. Установлено, что предложенный комплекс технологических решений, касающихся составов и свойств бетонных смесей и бетонов, технологии бетонирования, методов прогрева и выдерживания бетона конструкций, на различных стадиях их возведения, обеспечивает термическую трещиностойкость на ранней стадии твердения бетона, высокое качество и заданные темпы строительства.

Ключевые слова: высотные здания, конструкции каркаса, технология возведения конструкций, зимний период, высокопрочный бетон, самоуплотняющийся бетон, температурно-временной параметр выдерживания бетона

Для цитирования: Каприелов С. С., Шейнфельд А. В., Джалаль Аль-Омаис, Зайцев А. С., Амиров Р. А. Технология возведения конструкций каркасов высотных зданий из высокопрочных бетонов классов В60–В100. Вестник НИЦ «Строительство». 2022;33(2):106–121. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-106-121](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-106-121)

Вклад авторов

Каприелов С.С. – разработка технологии и осуществление руководства научно-техническим сопровождением бетонных работ на объектах.

Шейнфельд А.В. – разработка технологии и контроль научно-технического сопровождения бетонных работ на объектах.

Аль-Омаис Джалаль – оптимизация, внедрение и контроль технологии бетонных работ на объектах.

Зайцев А.С. – контроль за соблюдением технологии бетонных работ на объектах.

Амиров Р.А. – контроль за соблюдением технологии бетонных работ на объектах.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 19.04.2022

Поступила после рецензирования 12.05.2022

Принята к публикации 17.05.2022

A TECHNOLOGY OF ERECTING HIGH-RISE BUILDING FRAME STRUCTURES USING B60–B100 CLASSES HIGH-STRENGTH CONCRETES

S.S. KAPRIELOV¹, Dr. Sci. (Engineering)

A.V. SHEYNFELD^{1,✉}, Dr. Sci. (Engineering)

DZH. AL-OMAIS², Cand. Sci. (Engineering)

A.S. ZAITSEV³

R.A. AMIROV³

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

²Capital Group Company, Presnenskaya Embankment, 8, bld. 1, Moscow, 123112, Russian Federation

³Master Concrete Enterprise, Saratovskaya str., 31, Moscow, 109518, Russian Federation

Abstract

Introduction. The article presents a technology of erecting of high-rise building's frame structures made of B60-B100 classes high-strength concretes. This technology includes a complex of processes and considers a number of special features, the most significant of which are connected with the specific character of high-strength concretes and concreting climatic conditions.

Aim. To determine the main requirements for the technology of concreting and parameters of curing the monolithic structures of high-rise buildings made of B60-B100 classes high-strength concretes, including at winter periods, at the various stages of their erection.

Methods and materials. Studies were carried out on the effect of hardening temperature variations from +5 to +50 °C on the hardening kinetics of B60, B80, and B100 classes concretes. Based on the 15-year experience of the “Moscow-City” construction, the mix proportions of high-strength concretes were optimized, as well as the main technological parameters of concreting and curing the frame structures located at an altitude of up to 370 m were analyzed and summarized.

Results. The mix proportions of B60-B100 classes concretes of high-workability and self-compacting mixtures with a cement consumption of 350–480 kg/m³ was optimized using standard materials and MB-type organomineral modifiers. The performed study revealed a regularity between the strength and the temperature-temporal parameter of concrete curing, which is applicable for a preliminary assessment of strength characteristics in high-strength concrete structures on the basis of their temperature measurement results. A systematic approach to concrete curing and the maintenance of building structures as a whole with the vertical division of a high-rise building into four temperature zones led to a reducing the probability of thermal cracks appearance.

Conclusions. According to the results of the study, the proposed complex of technological solutions concerning compositions and properties of concrete mixtures and concretes, the technology of concreting, as well as the methods of heating and curing the concrete of structures at the various stages of their erection ensures thermal resistance to cracks at the early stage of concrete hardening, as well as the high quality and assigned rates of construction.

Keywords: high-rise buildings, frame structures, construction technology, winter period, high-strength concrete, self-compacting concrete, concrete curing temperature-temporal parameter

For citation: Kaprielov S.S., Sheynfeld A.V., Al-Omais Dzh., Zaitsev A.S., Amirov R.A. A technology of erecting high-rise building frame structures using B60-B100 classes high-strength concretes. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):106–121. [In Russ.] [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-106-121](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-106-121)

Author contribution statements

Kaprielov S.S. – development of a technology, scientific and technical support management in concreting at facilities.

Sheynfeld A.V. – development of a technology, scientific and technical support control in concreting at facilities.

Al-Omais Dzh. – optimization, implementation, and control of a concreting technology at facilities.

Zaitsev A.S. – concreting technology compliance control at facilities.

Amirov R.A. – concreting technology compliance control at facilities.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 19.04.2022

Revised 12.05.2022

Accepted 17.05.2022

Введение

Возведение конструкций каркасов высотных зданий из бетонов классов В60–В100 имеет ряд особенностей, наиболее значимые из которых связаны со спецификой высокопрочных бетонов и климатическими условиями производства бетонных работ, что приводит к необходимости дополнительных требований к составам и свойствам бетонных смесей и бетонов, технологии возведения и выдерживания монолитных конструкций.

Во-первых, монолитные конструкции из высокопрочных бетонов имеют повышенную экзотермию и связанный с ней градиент температуры в массиве конструкций, которые в значительной степени влияют на их термонапряженное состояние, трещиностойкость и кинетику набора прочности [1–4].

Во-вторых, климатические условия на большей части территории России на протяжении 4–7 месяцев можно характеризовать как зимний период, когда среднесуточная температура наружного воздуха ниже $+5^{\circ}\text{C}$, а минимальная суточная температура ниже 0°C , что приводит к особым условиям производства бетонных работ [5–7]. За последние 10–15 лет публикации по технологии зимнего бетонирования в основном связаны с исследованием влияния различных противоморозных добавок на процессы твердения бетонов при отрицательной температуре, способам прогрева бетона конструкций, моделирования процессов теплообмена и оценки напряженного состояния отдельных конструкций [8–10]. При этом работы по комплексу технологических решений, касающихся свойств бетонных смесей и бетонов, технологии бетонирования, методов прогрева и выдерживания бетона, обеспечивающих качество несущих железобетонных конструкций и высокие темпы строительства в зимний период, практически отсутствуют.

Целью данной работы являлось определение основных требований к технологии производства бетонных работ и параметрам выдерживания монолитных конструкций из высокопрочных бетонов классов В60–В100, в том числе и в зимний период, на различных стадиях их возведения, на основании 15-летнего опыта строительства десяти высотных комплексов ММДЦ «Москва-Сити».

Вид, основные характеристики и объем использования высокопрочных бетонов в конструкциях каркасов высотных зданий ММДЦ «Москва-Сити» представлены на рис. 1 и в табл. 1.



Рис. 1. Высотные multifunctional комплексы ММДЦ «Москва-Сити»:

1 – Эволюция; 2 – Империя; 3 – Город столиц; 4 – Евразия; 5 – Око; 6 – Федерация; 7 – Нева;
8 – Меркурий; 9 – Участок 15

Fig. 1. High-rise multifunctional complexes of the Moscow-City MIBC:

1 – Evolution; 2 – Empire; 3 – City of Capitals; 4 – Eurasia; 5 – Eye; 6 – Federation; 7 – Neva; 8 – Mercury; 9 – Site 15

Таблица 1

Основные характеристики высотных комплексов ММДЦ «Москва-Сити» и объемы использования высокопрочных бетонов

Table 1

Main characteristics of Moscow-City MIBC high-rise complexes and high-strength concrete volumes

Наименование многофункциональных комплексов и башен	Высота*, м	Этажность*	Сроки Строительства, гг.	Проектные классы и объем высокопрочных бетонов, тыс. м³
МК Эволюция	266	57	2012–2013	B60 – 39,1 B80 – 27,0
МК Империя	257	64	2007–2009	B60 – 45,5
МК Город Столиц: башня Москва башня Санкт-Петербург	286 245	75 64	2006–2008 2006–2008	B60 – 98,9
МК Евразия	300	67	2006–2014	B60 – 35,0
МК Око: башня Офисов башня Апартаментов паркинг	236 338 60	49 88 15	2011–2014 2011–2015 2011–2016	B70 – 28,0 B75 – 16,1 B85 – 19,1 B90 – 16,0 B100 – 21,1
МК Федерация: башня Восток башня Запад	370 242	95 62	2008–2015 2005–2008	B60 – 32,6 B80 – 21,4 B90 – 58,3
МК Нева: башня Офисов башня Апартаментов	299 342	68 79	2015–2019 2015–2019	B60 – 38,0 B70 – 12,0 B80 – 57,5 B100 – 7,7
МК Меркурий	338	75	2008–2013	B60 – 57,0
МК участок 15 башня 1 башня 2	283 283	64 64	2008–2022 2008–2022	B60 – 169,9 B90 – 31,8
МК IQ-квартал башня 1 башня 2 гостиница	133 168 83	34 43 22	2012–2014 2012–2014 2012–2014	B60 – 26,9 B70 – 26,8 B90 – 0,7 B100 – 1,2
ИТОГО			2005–2022	B60...B100 – 887,6

Примечание: * – высота и этажность башен дана без учета подземных этажей

Note: * – height and number of floors for towers are given without accounting underground floors

Для достижения цели исследования были поставлены следующие задачи:

- оптимизировать составы высокопрочных бетонов классов B60–B100 из высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонных смесей;
- разработать технологию бетонирования конструкций каркасов высотных зданий, расположенных на высоте до 370 м;
- исследовать влияние изменения температуры твердения на кинетику набора прочности бетонов классов B60–B100;
- разработать технологию ухода за конструкциями каркасов высотных зданий из высокопрочных бетонов, позволяющую обеспечить заданные сроки возведения сооружений и высокое качество строительства.

Составы высокопрочных бетонов классов В60–В100

Для возведения густоармированных конструкций каркасов высотных зданий (расход арматуры диаметром от 12 до 40 мм достигал до 850 кг/м³) использовались высокоподвижные по ГОСТ 7473 (с осадкой нормального конуса ОК = (24 ± 2) см) и самоуплотняющихся по ГОСТ Р 59714 (с распылом нормального конуса РК = (65 ± 5) см) бетонные смеси с расходом цемента от 350 до 500 кг/м³ и комплексными органоминеральными модификаторами бетона серии МБ по ГОСТ Р 56178. Модификаторы бетона марок МБ 10-30С А-I-2 и МБ 10-50С А-II-2 в минеральной части содержали микрокремнезем и золу уноса в соотношении 70/30 и 50/50 соответственно, а их органическая часть в количестве 10 % по массе состояла из суперпластификатора на основе нафталинформальдегидных поликонденсатов [11]. Модификаторы вводились в бетонные смеси в количестве от 10 до 25 % массы цемента [12–17].

Составы бетонных смесей на основе комплексных органоминеральных модификаторов, используемые для бетонирования конструкций каркасов высотных зданий ММДЦ «Москва-Сити», приведены в табл. 2.

Таблица 2

Составы и свойства бетонных смесей, используемых при возведении каркасов многофункциональных высотных комплексов МДЦ «Москва-Сити»

Table 2

Compositions and properties of concrete mixtures utilized during the frame erection of Moscow-City MIBC multifunctional high-rise complexes

Класс бетона	ОК/РК, см	Состав бетонных смесей, кг/м ³					
		Ц	МБ	МП	П	Щ	В
В60	22–26/–	350 ² –450 ¹	60–70 ¹	0–60	760–810	960–980 ¹	150–155
	–/60–70	350–420 ²	70–80 ¹	80–150	810–830	820–840 ²	155–160
В70	22–26/–	350 ² –470 ¹	70–80 ¹	0–60	730–810	950–980 ¹	150–155
	–/60–70	420–470 ²	80–100 ¹	70–90	780–820	800–840 ²	160–165
В80	22–26/–	450–480 ²	100–110 ²	–	690–760	960–985 ¹	150–155
	–/60–70	450–480 ²	100–120 ²	0–50	800–820	800–820 ²	155–160
В90	22–26/–	480–500 ²	110 ² –120 ¹	–	690–720	960–985 ¹	150–155
	–/60–70	480–500 ²	120 ² –130 ¹	0–50	780–800	800–820 ²	155–160
В100	22–24/–	480–500 ²	120 ² –130 ¹	–	660–730	930–985 ¹	145–150
	–/60–70	480–500 ²	130 ² –130 ¹	0–50	780–790	820–830 ²	150–155

Примечания:

ОК/РК – осадка/распыл нормального конуса

Ц – портландцемент¹⁾ ЦЕМ I-42,5, ²⁾ ПЦ500 Д0 Н или ПЦ600 Д0 Н или ЦЕМ I-52,5 Н

МБ – органоминеральный модификатор бетона марок¹⁾ МБ10–50С, ²⁾ МБ10–30С

МП – минеральный порошок (молотый известняк) марки МП-1

П – песок кварцевый с M_{кр} = 2,5–2,8

Щ – щебень гранитный¹⁾ фракции 5–20 мм, ²⁾ фракции 3–10 мм

В – вода

Notes:

CS/CF – normal cone slump/flow

C – Portland cement¹⁾ CEM I-42.5, ²⁾ PC500 D0 N or PC600 D0 N or CEM I-52.5N

CM – organomineral concrete modifier¹⁾ MB10–50C, ²⁾ MB10–30C

MP – mineral powder (ground limestone) of the MP-1 grade

S – quartz sand with M_{cr} = 2.5–2.8

CS – granite crushed stone¹⁾ 5–20 mm fraction, ²⁾ 3–10 mm fraction

W – water

Уточнение методов и организация системы контроля качества, а также накопленный большой массив статистических данных о прочности бетона в конструкциях [17–19] позволили в процессе строительства оптимизировать составы высокопрочных бетонов и снизить расходы цемента, в отдельных случаях на 100–120 кг/м³.

Температура бетонных смесей, доставленных на строительные площадки, в основном находилась в диапазоне от +10 до +20 °С. Однако в отдельные летние периоды достигала +28 °С, а в наиболее холодные зимние – опускалась до +5 °С. Положительная температура бетонных смесей, высокая экзотермия бетона и использование метода обогрева бетона с помощью нагревательных проводов позволили отказаться от применения противоморозных добавок в зимний период.

Технология бетонирования конструкций

Перед бетонированием конструкций выполнялся комплекс подготовительных работ, включающий в себя следующие основные мероприятия: подготовку поста для контроля качества бетонной смеси, опалубки, бетононасосов и вибраторов, влаготеплозащитных материалов для ухода за конструкциями; установку технологической арматуры для снижения вероятности образования термических трещин, бетонолитных труб для подачи смеси и хромель-копелевых термопар (трубок) для контроля температуры твердения бетона в конструкциях.

Бетонные работы при возведении конструкций каркасов высотных зданий в уровне одного этажа производились в следующей последовательности: первая очередь – бетонирование вертикальных конструкций (стен лифтового лестничного ядра, колонн и контурных стен); вторая очередь – бетонирование балок и перекрытий. Указанная последовательность бетонирования предполагала разбивку конструкций рабочими (технологическими) швами на захватки (блоки) бетонирования. В отдельных случаях бетонирование смежных очередей было совмещено, т. е. бетонирование отдельной захватки перекрытия осуществлялось после возведения не всех, а только ниже расположенных вертикальных конструкций колонн и стен.

Подача бетонной смеси в конструкции производилась на высоту до 370 м при помощи одного бетононасоса со скоростью не менее 20 м³/час, а при штучном бетонировании колонн – с применением бадей. Укладка бетонной смеси в вертикальные конструкции осуществлялась с помощью бетонолитных труб или опущенного в опалубочное пространство гибкого шланга бетононасоса. Высота сбрасывания смеси (расстояние от конца бетонолитной трубы или шланга бетононасоса до основания конструкции) не превышала 1,0–1,5 м.

Уплотнение высокоподвижных бетонных смесей, уложенных в опалубку, производилось по всему фронту бетонирования с помощью глубинных вибраторов. Самоуплотняющиеся смеси укладывались в густоармированные железобетонные или сталебетонные конструкции без виброуплотнения или с кратковременным (не более 3 секунд) виброуплотнением (см. рис. 2–4). В случае непредвиденных перерывов в бетонировании для предотвращения образования «холодных» швов перед возобновлением укладки поверхностный слой уложенной в конструкцию бетонной смеси глубиной 10–20 см подвергался повторному кратковременному вибрированию.

После бетонирования выдерживание и уход за конструкциями из высокопрочных бетонов осуществлялся с учетом их повышенной экзотермии и климатических условий производства работ.



Рис. 2. Густоармированные железобетонные конструкции аутригеров технических этажей МК Город столиц из самоуплотняющегося бетона класса В60:

а – армирование (арматура А500С диаметром 32 мм); *б* – забетонированная конструкция
Fig. 2. Densely reinforced concrete structures of City of Capitals MC technical floor outriggers made of B60 self-compacting concrete:

a – reinforcement (A500C reinforcement, diam. 32 mm); *b* – concreted structure



Рис. 3. Сталебетонные конструкции аутригеров технических этажей МК Федерация из самоуплотняющегося бетона класса В90: *а* – стальные конструкции аутригеров; *б* – поверхность забетонированной конструкции

Fig. 3. Steel-concrete structures of Federation MC technical floor outriggers made of B90 self-compacting concrete:
a – outrigger steel structures; *b* – concreted structure surface

Влияние температуры на кинетику твердения бетона

С целью ускорения производства работ по возведению монолитных конструкций и сокращению сроков строительства было исследовано влияние изменения температуры твердения на кинетику набора прочности высокопрочных бетонов классов В60, В80 и В100 из высокоподвижных смесей со средней плотностью 2397–2423 кг/м³ и объемом вовлеченного воздуха 2,1–2,6 % [20].

В лабораторных условиях были изготовлены три серии контрольных образцов-кубов размером 100 × 100 × 100 мм в количестве 52 шт. каждая, которые твердели в климатических камерах при различной постоянной положительной температуре от +5 до +50 °С.



а **б**
расход арматуры класса А600 С диаметром 12–40 мм от 342 до 680 кг/м³
Рис. 4. Густоармированные железобетонные конструкции аутригеров технических этажей МК Нева из самоуплотняющегося бетона класса В100

The consumption of an A600S reinforcement with a diameter of 12–40 mm ranges from 342 to 680 kg/m³
Fig. 4. Densely reinforced concrete structures of Neva MC technical floor outriggers made of B100 self-compacting concrete

По мере твердения в возрасте от 1 до 28 суток образцы испытывали на прочность при сжатии по ГОСТ 31914.
Кинетика набора прочности бетонов при различной температуре твердения приведена в табл. 3 и на рис. 5 а, б, в.

Таблица 3

Кинетика твердения бетонов классов В60, В80 и В100 при различной температуре

Table 3

Hardening kinetics of B60, B80, and B100 concretes at different temperatures

Класс бетона (состав смеси)	Температура, °С	Прочность бетона на сжатие, МПа/ %, при твердении в течение ... суток					
		1	2	3	7	14	28
B60 (Состав смеси, кг/м ³ : Ц = 450, МБ10–50 С = 60, П = 750, Щ = 982, В = 155)	5	9,9/12	–	17,0/20	35,2/42	55,0/66	65,7/78
	10	12,3/15	–	30,9/37	54,6/65	66,9/80	80,1/96
	20	22,1/26	–	51,4/61	67,2/80	79,0/94	83,8/100
	30	31,5/38	–	60,2/72	74,6/89	81,9/98	–
	40	40,2/48	58,2/69	62,3/74	79,7/95	–	–
	50	47,4/57	61,0/73	66,2/79	–	–	–
B80 (Состав смеси, кг/м ³ : Ц = 480, МБ10–50 С = 120, П = 678, Щ = 983, В = 154)	5	12,0/12	–	30,0/29	55,0/53	74,0/71	86,0/83
	10	18,1/17	–	51,8/50	74,5/72	86,8/84	97,4/94
	20	33,5/32	–	69,5/67	87,0/84	98,6/95	103,6/100
	30	52,6/51	–	79,0/76	95,2/92	100,5/97	–
	40	60,0/58	75,1/72	85,0/82	96,8/93	–	–
	50	67,3/65	80,0/77	87,2/84	–	–	–
B100 (Состав смеси, кг/м ³ : Ц = 500, МБ10–30 С = 130, П = 658, Щ = 985, В = 150)	5	14,0/12	–	30,8/27	55,0/48	81,1/70	97,3/84
	10	21,3/18	–	52,4/45	80,0/69	98,6/85	109,2/95
	20	42,5/37	–	80,3/70	100,1/87	110,6/96	115,4/100
	30	52,0/45	–	90,3/78	106,1/92	113,3/98	–
	40	69,0/60	82,2/71	95,5/83	110,0/95	–	–
	50	76,4/66	93,0/81	99,1/86	–	–	–

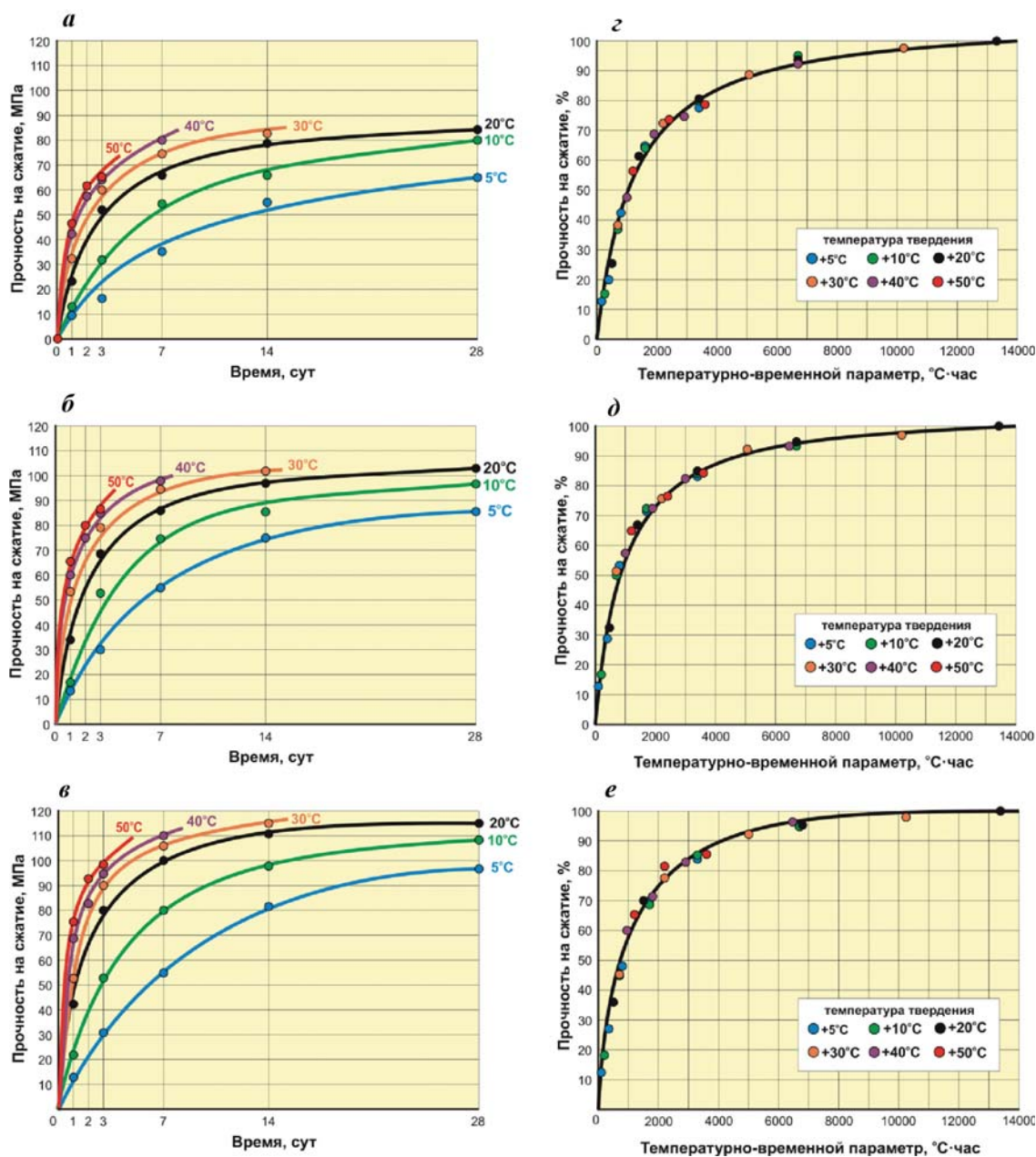


Рис. 5. Кинетика набора прочности бетонов классов В60, В80 и В100 в зависимости от температуры их твердения: а, г – бетон класса В60; б, д – бетон класса В80; в, е – бетон класса В100

Fig. 5. Strength development kinetics of B60, B80, and B100 concretes depending on their hardening temperature: а, г – В60 concrete; б, д – В80 concrete; в, е – В100 concrete

Низкая положительная температура $+5-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ замедляет кинетику в начальной стадии твердения (на $11-25\%$ в возрасте 1 суток и $17-43\%$ в возрасте 3 суток), но менее существенно отражается на прочности бетона впоследствии и в возрасте 28 суток достигает $78-96\%$ от прочности бетона нормального твердения. В условиях естественной температуры твердения $+20-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ достаточно высокая прочность $22-52\text{ МПа}$ может быть достигнута в суточном возрасте, что позволяет обеспечить раннюю распалубку конструкций и ускорить оборачиваемость опалубки. Повышенная до $+40-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура, которая может достигаться за счет тепловыделения и саморазогрева массивных конструкций, значительно ускоряет твердение бетона. Так, в возрасте 3 суток бетон конструкций обладает более высокой ранней прочностью – на уровне $74-86\%$ от прочности бетона нормального твердения в возрасте 28 суток, что позволяет осуществлять ускоренное нагружение конструкций и повысить темпы строительства [20].

Обобщенные результаты кинетики твердения бетонов классов В60, В80 и В100, представленные на рис. 5 *г, д, е*, показывают, что прочность бетона (выраженная в процентах от прочности бетона нормального твердения в возрасте 28 суток) при различной положительной температуре является функцией температурно-временного параметра (ТВП), определенного в $^{\circ}\text{C}\cdot\text{час}$. Использование данных зависимостей позволило производить предварительную оценку ранних прочностных характеристик высокопрочных бетонов в конструкциях, находящихся в опалубке, по результатам измерения температуры и времени их твердения. Так, распалубочная прочность бетонов классов В60–В100 вертикальных конструкций колонн или стен на уровне 10 МПа ($10-15\%$ от проектной) достигалась при ТВП равным $400-500\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{час}$, а горизонтальных конструкций перекрытий на уровне 70% от проектной при ТВП равным $1600-2000\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{час}$.

Технология ухода за конструкциями в зимний период

Особенности производства бетонных работ и выдерживания конструкций каркасов высотных зданий в зимний период заключались в специальных мероприятиях, обеспечивающих в условиях отрицательных температур достижение бетоном проектных характеристик, детально представлены в работах [20, 21], основные положения которых представлены ниже.

Главными условиями, определяющими выбор способов производства работ в зимний период, являлись:

- а) предотвращение замерзания бетонной смеси в процессе ее доставки и укладки в конструкции;
- б) обеспечение заданных темпов бетонных работ, т. е. сохранение времени набора бетоном распалубочной и проектной прочности;
- в) обеспечение термической трещиностойкости конструкций, т. е. предотвращение термических трещин, связанных с экзотермией бетона и неравномерным разогревом-остыванием конструкций.

Задачи производства бетонных работ в зимний период решались комплексом методов:

- производством бетонной смеси с заданной положительной температурой;
- выполнением подготовительных мероприятий по утеплению опалубки, трубопроводов и предварительному прогреву примыкающих, ранее забетонированных конструкций, арматуры и опалубки;

– обеспечением оптимальной температуры твердения бетона в конструкциях путем сохранения тепла от экзотермии бетона и принудительной термообработкой бетона нагревательными проводами;

– оптимизацией режимов охлаждения конструкций.

Мероприятия по уходу за бетоном в зимний период заключались в создании соответствующего теплозащитного контура, обеспечивающего положительную температуру твердения бетона конструкций, а также возможность постепенного выравнивания температур твердеющего бетона и наружного воздуха. Условно высотное здание разбивалось по вертикали на четыре температурных зоны с разностью температур не более 20 °С (рис. 6).

Температура воздуха в вышеуказанных зонах поддерживалась в следующих диапазонах:

1. Зона производства работ – от +5 до +10 °С;
2. Зона выдерживания конструкций – от +10 до +15 °С;
3. Зона охлаждения конструкций – от 0 до +5 °С;
4. Зона готовых конструкций – менее 0 °С.

Обеспечение требуемого температурного режима в зоне производства работ осуществлялось за счет устройства шатра, теплозащитных штор и калориферов (см. рис. 6).

Обеспечение требуемого температурного режима в зонах выдерживания и охлаждения конструкций осуществлялось с помощью устройства теплозащитных межэтажных штор или специальной самоподъемной опалубки и калориферов. Шторы или специальная опалубка, которые в этом случае выполняли роль теплозащитного контура, устанавливались по мере необходимости между перекрытиями на высоту двух этажей ниже зоны производства работ.

Количество и режимы работы калориферов зависели от температуры наружного воздуха и определялись необходимостью поддерживать заданную температуру в зонах производства работ и выдерживания конструкций.

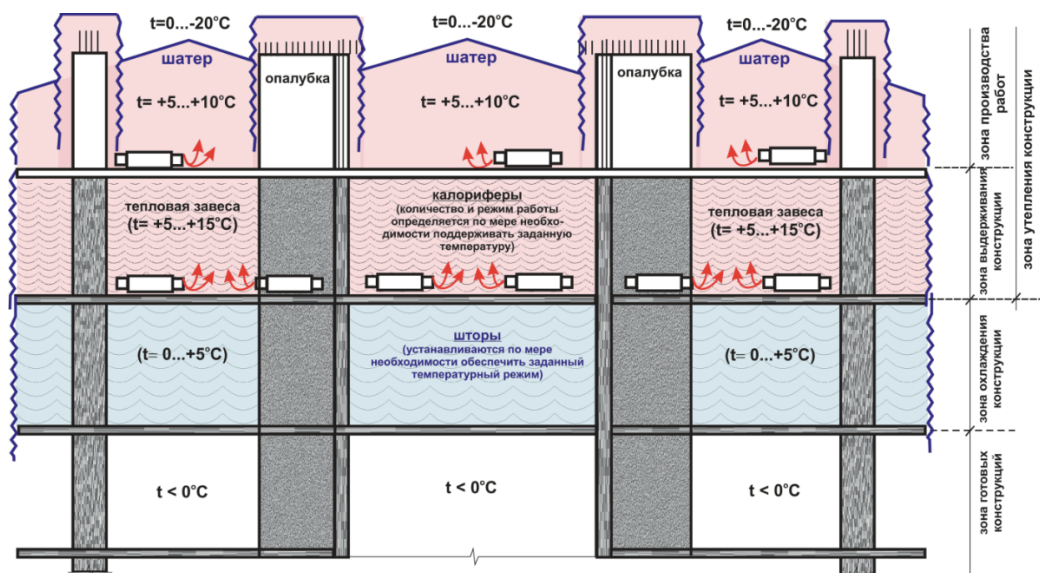


Рис. 6. Общая схема выдерживания конструкций каркаса высотных зданий в зимний период
Fig. 6. General scheme for curing the frame structures of high-rise buildings in winter period

Время нахождения конструкций в каждой зоне работ равнялось сроку возведения одного этажа сооружения и ориентировочно составляло 5–7 дней.

Контроль температуры воздуха и обогреваемого бетона осуществлялся в период подъема – через каждые 2 часа, а в период выдерживания и остывания – 3 раза в смену. Результаты измерений записывались в температурных листах для каждой конструкции (захватки) отдельно.

Значения распалубочной и промежуточной прочности бетона в конструкциях стен, колонн и перекрытий ориентировочно определялись по температурно-временному параметру выдерживания бетона (см. рис. 5 *г, д, е*) и подтверждались комплексом неразрушающих методов контроля по ГОСТ 22690, ГОСТ 17624 и ГОСТ 31914. Значение прочности бетона в проектном возрасте в конструкциях стен, колонн и перекрытий высотных зданий определялось комплексом разрушающих и неразрушающих методов контроля [12–15, 17–19] по ГОСТ 28570, ГОСТ 22690, ГОСТ 17624 и ГОСТ 31914. Оценка прочности бетона конструкций проектных классов В60–В100, выполненная на разных стадиях процесса возведения конструкций каркасов высотных зданий по ГОСТ 31914 и ГОСТ 18105, показала, что использование разработанной технологии обеспечивает соблюдения требований проектов с надежностью 97,6 % [18].

Выводы

Разработана технология возведения и ухода за конструкциями каркасов высотных зданий из высокопрочных бетонов, позволяющая обеспечить заданные сроки возведения сооружений и высокое качество строительства.

Оптимизированы составы высокопрочных бетонов классов В60–В100 из высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонных смесей с расходом цемента 350–480 кг/м³ на основе органоминеральных модификаторов серии МБ.

Выявленная закономерность между прочностью и температурно-временным параметром выдерживания бетона (ТВП) позволила производить предварительную оценку прочностных характеристик высокопрочных бетонов в конструкциях по результатам измерения их температуры.

Наиболее эффективным путем решения проблемы, обеспечения оптимальной температуры твердения высокопрочного бетона в конструкциях высотных зданий в зимний период является совместное использование методов термоса и обогрева бетона нагревательными проводами.

Системный подход к выдерживанию бетона и уходу за конструкциями сооружения в целом, с вертикальным делением высотного здания на четыре температурные зоны, обеспечивает оптимальную временную взаимосвязь между достижением бетоном распалубочной и проектной прочности и возможностью постепенного выравнивания температур твердеющего бетона и наружного воздуха, что в свою очередь позволяет снизить вероятность появления термических трещин, связанных с экзотермией бетона и неравномерным разогревом-остыванием конструкций.

Список литературы

1. Aitcin H.-C. High Performance Concrete. London, New York: E & FN; 1998.
2. Collepardi M. The New Concrete. Castrette di Villorba: Grafishe Tintoretto; 2006.
3. De Larrard F., Bostvironnois J.-L. On the long-term strength losses of silica-fume high-strength concretes. Magazine of Concrete Research. 1991;43(155):109–119. <https://doi.org/10.1680/mac.1991.43.155.109>
4. Шифрин С.А., Кардунян Г.С. Использование органоминеральных модификаторов серии МБ для снижения температурных напряжений в бетонируемых массивных конструкциях. Строительные материалы. 2007;(9):9–11.
5. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования. 3-е изд. Москва: Стройиздат; 1975.
6. Круглый стол: зимнее бетонирование – продолжение сезона. Технологии бетонов. 2012;(11–12):12–16.
7. Головнев С.Г. Зимнее бетонирование: этапы становления и развития. Вестник ВолГАСУ. Сер.: Стро-во и архит. 2013;(31) Ч.2: 529–534.
8. Краснова Т.А., Бороуля Н.И. Влияние противоморозных добавок на свойства бетона. Технологии бетонов. 2011;(11–12):22–24.
9. Федорова Г.Д., Матвеева О.И., Николаев Е.П. О возможностях применения высокопрочных бетонов для монолитного строительства в условиях Севера. Промышленное и гражданское строительство. 2013;(8):30–31.
10. Батюшенко А.А., Соколов Н.С. Сокращение сроков строительства зданий из монолитного бетона. Строительные материалы. 2020;(3):49–53.
11. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С. Новые модифицированные бетоны. Москва: ООО «Типография «Парадиз»; 2010.
12. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В., Кардунян Г.С., Ургалов В.И. Опыт возведения уникальных конструкций из модифицированных бетонов на строительстве комплекса «Федерация». Промышленное и гражданское строительство. 2006;(8):20–22.
13. Каприелов С.С., Травуш В.И., Шейнфельд А.В., Карпенко Н.И., Кардунян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В. Модифицированные бетоны нового поколения в сооружениях ММДЦ «Москва-Сити». Строительные материалы. 2006;(1):8–12.
14. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В. Новые бетоны и технологии в конструкциях высотных зданий. Высотные здания. 2007;(5):94–101.
15. Каприелов С.С., Травуш В.И., Карпенко Н.И., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях. Строительные материалы. 2008;(3):9–13.
16. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С., Чилин И.А. О подборе составов высококачественных бетонов с органоминеральными модификаторами. Строительные материалы. 2017;(12):58–63.
17. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Аль-Омаис Д., Зайцев А.С. Опыт производства и контроля качества высокопрочных бетонов на строительстве высотного комплекса «ОКО» в ММДЦ «Москва-Сити». Промышленное и гражданское строительство. 2018;(1):18–24.
18. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Киселева Ю.А. Особенности системы контроля качества высокопрочных бетонов. Строительные материалы. 2012;(2):63–67.
19. Шейнфельд А.В., Киселева Ю.А., Путьрская Л.В. Контроль качества высокопрочных бетонов классов В60 и В90 при возведении монолитных конструкций. Строительные материалы. 2012;(1):7–10.
20. Шейнфельд А.В. Научные основы модифицирования бетонов комплексными органоминеральными добавками на основе техногенных пуццоланов и поверхностно-активных веществ : дис. ... докт. техн. наук. Москва; 2015.
21. Шейнфельд А.В., Тарычев А.В., Каприелов С.С. Особенности возведения и выдерживания конструкций высотных зданий из высокопрочных бетонов классов В60–В100 в зимний период. Высотные здания. 2013;(3):104–109.

References

1. Aitcin H.-C. High Performance Concrete. London, New York: E & FN; 1998.
2. Collepardi M. The New Concrete. Castrette di Villorba: Grafishe Tintoretto; 2006.
3. De Larrard F., Bostvironnois J.-L. On the long-term strength losses of silica-fume high-strength concretes. Magazine of Concrete Research. 1991;43(155):109–119. <https://doi.org/10.1680/mac.1991.43.155.109>
4. Shifrin S.A., Kardumyan G.S. The use of organomineral modifiers of the MB series to reduce temperature stresses in concreted massive structures. Stroitel'nye materialy = Construction Materials. 2007;(9):9–11 (in Russian).
5. Mironov S.A. Theory and methods of winter concreting. 3rd ed. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1975 (in Russian).
6. Round table: winter concreting – continuation of the season. Tekhnologii betonov [Technologies of concrete]. 2012;(11-12):12–16 (in Russian).
7. Golovnev S.G. Winter concreting: stages of formation and development. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura = Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering Series: Civil Engineering and Architecture. 2013;(31) Part 2:529–534 (in Russian).
8. Krasnova T.A., Borulya N.I. The influence of antifreeze additives on the properties of concrete. Tekhnologii betonov [Technologies of concrete]. 2011;(11-12):22–24 (in Russian).
9. Fedorova G.D., Matveeva O.I., Nikolaev E.P. On the possibilities of using high-strength concrete for monolithic construction in the conditions of the North. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering. 2013;(8):30–31 (in Russian).
10. Batyushenko A.A., Sokolov N.S. Shortening the construction time of buildings made of monolithic concrete. Stroitel'nye materialy = Construction Materials. 2020;(3):49–53 (in Russian).
11. Kapriyelov S.S., Sheinfeld A.V., Kardumyan G.S. New modified concretes. Moscow: OOO "Printing House "Paradise"; 2010 (in Russian).
12. Kapriyelov S.S., Sheinfeld A.V., Kiseleva Yu.A., Prigozhenko O.V., Kardumyan G.S., Urgapov V.I. Experience in the construction of unique structures made of modified concrete on the construction of the Federation complex. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering. 2006;(8):20–22 (in Russian).
13. Kapriyelov S.S., Travush V.I., Sheinfeld A.V., Karpenko N.I., Kardumyan G.S., Kiseleva Yu.A., Prigozhenko O.V. Modified concretes of a new generation in the structures of the Moscow-City MMDC. Stroitel'nye materialy = Construction Materials. 2006;(10):8–12 (in Russian).
14. Kapriyelov S.S., Sheinfeld A.V., Kardumyan G.S., Kiseleva Yu.A., Prigozhenko O.V. New concrete and technologies in the structures of high-rise buildings. Vysotnye zdaniya = Tall buildings. 2007;(5):94–101 (in Russian).
15. Kapriyelov S.S., Travush V.I., Karpenko N.I., Sheinfeld A.V., Kardumyan G.S., Kiseleva Yu.A., Prigozhenko O.V. Modified high-strength concrete of classes B80 and B90 in monolithic structures. Stroitel'nye materialy = Construction Materials. 2008;(3):9–13 (in Russian).
16. Kapriyelov S.S., Sheinfeld A.V., Kardumyan G.S., Chilin I.A. On the selection of compositions of high-quality concrete with organomineral modifiers. Stroitel'nye materialy = Construction Materials. 2017;(12):58–63 (in Russian).
17. Kapriyelov S.S., Sheinfeld A.V., Al-Omais D., Zaitsev A.S. Experience in the production and quality control of high-strength concrete in the construction of the high-rise complex "OKO" in the Moscow-City MMDC. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering. 2018;(1):18–24 (in Russian).
18. Kapriyelov S.S., Sheinfeld A.V., Kiseleva Yu.A. Features of the quality control system of high-strength concrete. Stroitel'nye materialy = Construction Materials. 2012;(2):63–67 (in Russian).
19. Sheinfeld A.V., Kiseleva Yu.A., Putyrskaya L.V. Quality control of high-strength concrete of classes B60 and B90 during the construction of monolithic structures. Stroitel'nye materialy = Construction Materials. 2012;(1):7–10 (in Russian).
20. Sheinfeld A.V. Scientific bases of concrete modification with complex organomineral additives based on technogenic pozzolans and surfactants [dissertation]. Moscow; 2015 (in Russian).
21. Sheinfeld A.V., Tarychev A.V., Kapriyelov S.S. Features of construction and maintenance of structures of high-rise buildings made of high-strength concrete of classes B60-B100 in winter. Vysotnye zdaniya = Tall buildings. 2013;(3):104–109 (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Семен Суменович Каприелов, д-р техн. наук, заведующий лабораторией № 16 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева
АО «НИЦ Строительство», Москва
e-mail: kapriyelov@masterbeton-mb.ru
тел.: +7 (499) 171-05-73

Semyon S. Kapriyelov, Dr. Sci. (Engineering), head of laboratory No. 16 NIIZHB named after A.A. Gvozdev,
JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: kapriyelov@masterbeton-mb.ru
tel.: +7 (499) 171-05-73

Андрей Владимирович Шейнфельд✉, д-р техн. наук, зам. заведующего лабораторией № 16 НИИЖБ
им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ Строительство», Москва
e-mail: sheynfeld@masterbeton-mb.ru
тел.: +7 (499) 174-76-35

Andrey V. Sheynfeld✉, Dr. Sci. (Engineering), deputy head of laboratory No. 16 NIIZHB named after A.A. Gvozdev,
JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: sheynfeld@masterbeton-mb.ru
tel.: +7 (499) 174-76-35

Джалаль Аль-Омаис, канд. техн. наук, начальник управления строительного контроля департамента
строительных проектов «Capital Group», Москва
e-mail: al-omais@capitalgroup.ru
тел.: +7 (495) 363-62-00

Dzhalal Al-Omais, Cand. Sci. (Engineering), Chief of Bureau, Construction Control Bureau, Department
of Constructional Projects, Capital Group Company
e-mail: al-omais@capitalgroup.ru
tel.: +7 (495) 363-62-00

Александр Сергеевич Зайцев, инженер, ООО «Предприятие Мастер Бетон», Москва
e-mail: zaitsev@masterbeton-mb.ru
тел.: 7 (499) 796-16-32

Aleksandr S. Zaitsev, Engineer, Master Concrete Enterprise, Moscow
e-mail: zaitsev@masterbeton-mb.ru
tel.: +7 (499) 796-16-32

Радик Абдурашидович Амиров, инженер, ООО «Предприятие Мастер Бетон», Москва
e-mail: amirov@masterbeton-mb.ru
тел.: +7 (499) 796-16-32

Radik A. Amirov, Engineer, Master Concrete Enterprise, Moscow
e-mail: amirov@masterbeton-mb.ru
tel.: +7 (499) 796-16-32

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

УДК 624.01

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-122-138](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-122-138)

EDN: HCHWEX

О ПРИМЕНЕНИИ ЖЕСТКОСТЕЙ АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА РАСЧЕТА ПРЯМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КЕССОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

М.В. МОЗГОЛОВ, канд. техн. наук

Е.В. КОЗЛОВА 

Коломенский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»,
ул. Октябрьской революции, д. 408, г. Коломна, 140402, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Анализ данных аналитических и компьютерных расчетов железобетонных кессонных перекрытий показывает, что в зависимости от созданной конечно-элементной модели и геометрии конструкции усилия в балках могут существенно отличаться. Как правило, при сравнении изгибающих моментов аналитическую модель исследователи используют в качестве эталонной. Примеры, имеющиеся в литературе, свидетельствуют, что вне зависимости от геометрии перекрытия при определении нагрузок на конструкции в расчетах используется жесткость отдельных центральных ортогональных балок или условных выделенных полос.

Цель данной работы – выяснение достоверности получаемых усилий в балках прямых кессонных железобетонных перекрытий с использованием в формулах аналитического расчета жесткости отдельных балок.

Материалы и методы. Методика выполнения работы предусматривает сравнение изгибающих моментов, полученных аналитическим способом с данными метода конечных элементов вычислительного комплекса SCAD в балках различной жесткости центральных зон прямых кессонных перекрытий. Рассматриваются перекрытия квадратные в плане $12,0 \times 12,0$ м с различным соотношением сторон кессонов, а также перекрытия с квадратными кессонами $1,5 \times 1,5$ м и различным соотношением сторон пролетов. В качестве компьютерной модели принята система перекрестных балок из стержней таврового сечения.

Результаты. Значения изгибающих моментов, вычисленные аналитическим способом и компьютерным методом конечных элементов в перекрытиях квадратных в плане с квадратными кессонами, совпадают, что является частным случаем. Значения изгибающих моментов, вычисленные аналитическим способом и методом конечных элементов в перекрытиях прямоугольных в плане или с прямоугольными кессонами, отличаются. Отличия возрастают с увеличением отношения сторон пролетов или сторон кессонов.

Выводы. В общем случае расчета применение в формулах аналитического метода определения усилий в балках прямых железобетонных кессонных перекрытий жесткости отдельных центральных ортогональных балок или условных выделенных полос приводит к ошибочным результатам.

Ключевые слова: железобетонные кессонные перекрытия, прямые кессоны, конечно-элементная расчетная модель, изгибающие моменты, аналитический метод расчета, жесткость балок

Для цитирования: Мозголов М.В., Козлова Е.В. О применении жесткостей аналитического метода расчета прямых железобетонных кессонных перекрытий. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;33(2):122–138. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-122-138](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-122-138)

Вклад авторов

Мозголов М.В. – создание компьютерных моделей, сбор материала, обработка материала, научное редактирование, оформление статьи.

Козлова Е.В. – сбор материала, обработка материала, аналитический расчет конструкций, оформление статьи.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 17.04.2022

Поступила после рецензирования 03.06.2022

Принята к публикации 14.06.2022

USE OF ANALYTICAL METHOD FOR CALCULATING STIFFNESSES OF STRAIGHT WAFFLE SLABS

M.V. MOZGOLOV, Cand. Sci. (Engineering)

E.V. KOZLOVA ✉

Kolomna Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow Polytechnic University", October Revolution str., 408, Kolomna, 140402, Russian Federation

Abstract

Introduction. The analysis of analytical and computer-assisted calculations of waffle slabs shows that, depending on the established finite-element model and structure geometry, the forces in beams can vary significantly. As a rule, the analytical model is used as a reference when comparing bending moments. Examples available in the literature show that regardless of the slab geometry, the stiffness of individual central orthogonal beams or conditionally selected beams is used in the calculations when determining structural loads.

Aim. In this work, the accuracy of resulting forces in the beams of straight waffle slabs was assessed using the stiffness of individual beams in the analytical calculation.

Materials and methods. The work was carried out by comparing the bending moments obtained analytically and in the SCAD software by the finite-element method for beams having various stiffnesses in the central zones of straight waffle slabs. 12.0 × 12.0 m slabs square in plan having different aspect ratios of waffle were considered, as well as slabs having square 1.5 × 1.5 m waffles and different aspect ratios of spans. A T-beam-and-girder construction was used in the computer model.

Results. The values of bending moments of slabs square in plan having square caissons calculated analytically and using the computer-assisted finite-element method coincide, being a particular case. The bending moments calculated analytically and using the finite-element method for rectangular slabs or slabs having rectangular caissons differ. As the ratio of the span or caisson sides increases, these deviations increase.

Conclusions. In the general calculation, using the stiffnesses of individual central orthogonal beams or conditionally selected beams for the analytical determination of forces in the beams of straight waffle slabs leads to erroneous results.

Keywords: waffle slabs, straight caissons, finite-element calculation model, bending moments, analytical calculation method, beam stiffness

For citation: Mozgolov M.V., Kozlova E.V. Use of analytical method for calculating stiffnesses of straight waffle slabs. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):122–138. (In Russ.) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-122-138](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-122-138)

Author contribution statements

Mozgolov M.V. – computer model development, data collection, data processing, scientific editing, article preparation.

Kozlova E.V. – data collection, data processing, analytical calculation of structures, article preparation.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 17.04.2022

Revised 03.06.2022

Accepted 14.06.2022

Введение

Одним из эффективных с конструктивной точки зрения и необычным по архитектуре является часторебристое перекрытие кессонного типа [1–11]. С появлением новых технологий проектного, расчетного и производственного направлений интерес к кессонным перекрытиям растет. Распространение получают опалубочные системы SKYDOME, NAUTILUS, HOLEDECK, U-Boot Beton и др.

На основании Федерального закона от 27.06.2019 № 151-ФЗ в ст. 1 Градостроительного кодекса Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ введено понятие информационной модели объекта капитального строительства. Это и проектная документация, включающая в себя конструкторскую расчетную модель, и исполнительная документация, и документооборот, формируемые в электронном виде на всех этапах строительства объекта. В соответствии с требованиями п. 3 ч. 4 ст. 16 от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» при создании расчетной модели строительных конструкций должна быть учтена их пространственная работа. В связи с этим без моделирования и выполнения прочностных расчетов в вычислительных комплексах современному инженеру не обойтись. Любое здание, сооружение с конструктивной точки зрения состоит из множества различных несущих и самонесущих конструкций. Вычислительные комплексы имеют набор различных типов конечных элементов, поэтому смоделировать на ЭВМ строительную систему можно разнообразно.

При выполнении расчета инженер должен быть уверен, что его условная расчетная схема соответствует проектируемой конструкции, удовлетворяет требованиям надежности, экономичности и безопасности. В работе [15] представлены значения изгибающих моментов в балках кессонного перекрытия прямоугольного в плане $11,55 \times 9,0$ м с прямоугольными кессонами $1,65 \times 1,5$ м, рассчитанного при помощи различных компьютерных моделей вычислительного комплекса SCAD. Полученные данные сравниваются с данными аналитического расчета [2], при этом различия в изгибающих моментах составляют от –6,3 до +61,9 %.

О значительных отклонениях изгибающих моментов, найденных аналитическим и компьютерными методами в балках прямых кессонных железобетонных перекрытий, отмечается в работах [5] (50 %), [11] (40 %), в балках косых кессонов в работе [9] (453 %). Известно, что компьютерный расчет методом конечных элементов является неточным, для некоторых типов элементов сходимость по изгибающим моментам и поперечным силам может не обеспечиваться [12, 13]. Поэтому важным является сравнение данных, получаемых на компьютерных моделях и аналитическими способами с известным решением.

Цель

Целью данной работы является выяснение достоверности получаемых усилий в балках прямых кессонных железобетонных перекрытий с использованием в формулах аналитического расчета жесткости отдельных ортогональных балок.

Материалы и методы исследования

С методикой аналитического расчета железобетонных кессонных перекрытий, опертых по контуру, можно познакомиться в следующих работах [1–10]. В табл. 1 представлены данные примеров, имеющиеся в литературе [1–3, 5]. Жесткость конструкций определена для сечений элементов, выполненных из бетона класса В20 без изменения модуля упругости материала.

Из таблицы видно, что по соотношению жесткостей имеется три типа перекрытия: 1-й – одинаковые ортогональные жесткости как отдельных балок, так и перекрытия [5]; 2-й – одинаковые ортогональные жесткости отдельных балок, разные ортогональные жесткости перекрытия [3]; 3-й – разные ортогональные жесткости как отдельных балок, так и перекрытия [1, 2].

Таблица 1

Вычисленные жесткостные характеристики кессонных перекрытий примеров, приведенных в литературе

Table 1

Calculated stiffness properties of waffle slabs based on examples provided in the literature

Автор, схема перекрытия	Жесткость центральных балок, расположенных вдоль осей X, Y		Жесткость перекрытия без учета опорного контура вдоль осей X, Y	
	$EI_x, \text{Тм}^2$	$EI_y, \text{Тм}^2$	$EI_x, \text{Тм}^2$	$EI_y, \text{Тм}^2$
[1] $L_x = 1,75 \text{ м} \times 6 = 10,5 \text{ м}$ $L_y = 1,68 \text{ м} \times 5 = 8,4 \text{ м}$	10 044	10 170	42 878	53 598
[2] $L_x = 1,5 \text{ м} \times 6 = 9 \text{ м}$ $L_y = 1,65 \text{ м} \times 7 = 11,55 \text{ м}$	9451	9169	59 425	48 540
[3] $L_x = 1,14 \text{ м} \times 2 + 1,0 \text{ м} \times 2 = 4,28 \text{ м}$ $L_y = 0,89 \text{ м} \times 2 + 1,0 \text{ м} \times 4 = 5,78 \text{ м}$	422	422	2179	1368
[5] $L_x = 2,0 \text{ м} \times 5 = 10,0 \text{ м}$ $L_y = 2,0 \text{ м} \times 5 = 10,0 \text{ м}$	12 957	12 957	55 005	55 005

В основе всех расчетов принято положение о равенстве прогибов двух условных единичных ортогональных полос или фактических отдельных балок, расположенных в средней части перекрытия.

$$f_x = f_y, \quad (1)$$

$$f_x = \frac{5}{384} \times \frac{q_x \times L_x^4}{E \times I_x}, \quad (2)$$

$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{q_y \times L_y^4}{E \times I_y}, \quad (3)$$

$$\frac{5}{384} \times \frac{q_x \times L_x^4}{E \times I_x} = \frac{5}{384} \times \frac{q_y \times L_y^4}{E \times I_y}. \quad (4)$$

Обозначим жесткость балки вдоль оси X

$$B_x = E \times I_x, \quad (5)$$

жесткость балки вдоль оси Y

$$B_y = E \times I_y, \quad (6)$$

составляющие общей нагрузки, приходящиеся на балки, расположенные вдоль осей X и Y,

$$q_x + q_y = q. \quad (7)$$

Можно записать

$$q_y = q - q_x, \quad (8)$$

$$\frac{q_x \times L_x^4}{B_x} = \frac{q \times L_y^4 - q_x \times L_y^4}{B_y}, \quad (9)$$

$$q_x = q \times \frac{L_y^4 \times B_x}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x}, \quad (10)$$

$$q_x = q - q_y, \quad (11)$$

$$\frac{q_y \times L_y^4}{B_y} = \frac{q \times L_x^4 - q_y \times L_x^4}{B_x}, \quad (12)$$

$$q_y = q \times \frac{L_x^4 \times B_y}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x}. \quad (13)$$

Если геометрия и материал центральных ортогональных балок одинаковые, их жесткости тоже одинаковые:

$$E \times I_x = E \times I_y, \quad (14)$$

$$B_x = B_y. \quad (15)$$

На первом этапе аналитического расчета рассматриваемых примеров [1–3, 5], приведенных в табл. 1, определяются составляющие общей нагрузки, приходящиеся на балки $q_x + q_y = q$, расположенные вдоль осей X и Y, зависящие только от размеров пролетов перекрытия L_x и L_y . Это свидетельствует о принятии в расчете одинаковых жесткостей отдельных центральных балок или условных выделенных полос, а не жесткостей перекрытия (суммарной жесткости параллельных балок).

$$q_x = q \times \frac{L_y^4 \times B_x}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = q \times \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4}, \quad (16)$$

$$q_y = q \times \frac{L_x^4 \times B_y}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = q \times \frac{L_x^4}{L_x^4 + L_y^4}. \quad (17)$$

На втором этапе определяются усилия – изгибающие моменты и поперечные силы.

Максимальные изгибающие моменты в балках, расположенных вдоль осей X и Y, определяются по формулам:

$$M_x^{max} = \alpha_1 \times q_x \times a \times L_x^2 \times n_x, \quad (18)$$

$$M_y^{max} = \alpha_2 \times q_y \times b \times L_y^2 \times n_y, \quad (19)$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты, зависящие от характера распределения нагрузки и вида опорных закреплений. При равномерно-распределенной нагрузке на перекрытие и шарнирно-опертом контуре $\alpha = 0,125$;

a, b – шаг балок;

n_x, n_y – коэффициенты пропорциональности, зависящие от расположения балок в перекрытии.

Методика выполнения работы предусматривает сравнение усилий – изгибающих моментов, полученных аналитическим способом и методом конечных элементов в вычислительном комплексе SCAD в балках центральных зон прямых кессонных перекрытий с различной геометрией. Рассматриваются шарнирно-опертые по контуру перекрытия квадратные в плане $12,0 \times 12,0$ м с размерами кессонов $1,5 \times 1,5$ м, $1,5 \times 2,0$ м, $1,5 \times 2,4$ м, $1,5 \times 3,0$ м, $1,5 \times 4,0$ м, а также перекрытия с размерами в плане $12,0 \times 15,0$ м, $12,0 \times 18,0$ м, $12,0 \times 21,0$ м, $12,0 \times 24,0$ м с квадратными кессонами $1,5 \times 1,5$ м. Перекрытия рассчитываются на равномерно-распределенную нагрузку $q = 1$ Т/м². В работе поперечные силы не вычисляются и не сравниваются, так как аналитический метод расчета не позволяет определить их достоверно, равновесие систем аналитического расчета не соблюдается [9, 10].

В методе конечных элементов считается, что наиболее точной является модель, состоящая из стержней постоянной жесткости по их длине, и для статической задачи постановка вопроса о сходимости МКЭ лишена смысла [13]. Поэтому в качестве компьютерной модели принята система перекрестных балок из стержней таврового сечения (конечный элемент

тип 5 – пространственный стержень) с непосредственным приложением к ним погонной нагрузки, собираемой с отсеков по законам треугольника и трапеции [6, 7]. Во всех схемах сечение пролетных балок принято высотой 500 мм, шириной ребра 250 мм, толщиной полки 80 мм, шириной полки равной шагу балок, бетоном класса В25.

В часторебристом перекрытии для балок одного направления балки другого направления являются для первых ребрами жесткости, и в соответствии с требованиями п. 8.1.11 СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» в расчете мы должны учитывать всю ширину полки.

В соответствии с требованиями п. 6.2.5 СП. 430.1325800.2018 «Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования» и п. 2.1.1.1. Методического пособия [16] для учета ползучести бетона и наличия трещин при расчете балок компьютерных моделей начальный модуль упругости бетона умножался на коэффициент 0,2 для участков с трещинами (пролетные балки) и 0,3 для участков без трещин (балки опорного контура).

Выполним аналитический расчет в соответствии с теорией, учитывающей величины пролетов и жесткость отдельных ортогональных балок.

Перекрытие размером в плане ($L_x \times L_y$) $12,0 \times 12,0$ м с кессонами $1,5 \times 1,5$ м. Рассматриваем центральные балки $B_{1,5X}$ (жесткость B_x) и $B_{1,5Y}$ (жесткость B_y). Жесткости определены в вычислительном комплексе SCAD.

Жесткость балок:

$$B_x = 0,2 \times E_b \times I_x = 3125 \text{ Тм}^2, \quad (20)$$

$$B_y = 0,2 \times E_b \times I_y = 3125 \text{ Тм}^2. \quad (21)$$

Составляющие общей нагрузки, приходящиеся на балки:

$$q_x = q \times \frac{L_y^4 \times B_x}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = 1 \times \frac{12^4 \times 3125}{12^4 \times 3125 + 12^4 \times 3125} = 0,5 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}, \quad (22)$$

$$q_y = q \times \frac{L_x^4 \times B_y}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = 1 \times \frac{12^4 \times 3125}{12^4 \times 3125 + 12^4 \times 3125} = 0,5 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}. \quad (23)$$

Максимальные изгибающие моменты в середине пролета:

$$M_{B1,5X}^{max} = \alpha \times q_x \times a \times L_x^2 \times n_x = 0,125 \times 0,5 \times 1,5 \times 12^2 \times 1 = 13,5 \text{ Тм}, \quad (24)$$

$$M_{B1,5Y}^{max} = \alpha \times q_y \times b \times L_y^2 \times n_y = 0,125 \times 0,5 \times 1,5 \times 12^2 \times 1 = 13,5 \text{ Тм}. \quad (25)$$

Перекрытие размером в плане $12,0 \times 12,0$ м с кессонами $1,5 \times 2,0$ м. Рассматриваем центральные балки $B_{1,5X}$ и $B_{2,0Y}$.

$$B_x = 0,2 \times E_b \times I_x = 3125 \text{ Тм}^2, \quad (26)$$

$$B_y = 0,2 \times E_b \times I_y = 3421 \text{ Тм}^2, \quad (27)$$

$$q_x = q \times \frac{L_y^4 \times B_x}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = 1 \times \frac{12^4 \times 3125}{12^4 \times 3421 + 12^4 \times 3125} = 0,477 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}, \quad (28)$$

$$q_y = q \times \frac{L_x^4 \times B_y}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = 1 \times \frac{12^4 \times 3421}{12^4 \times 3421 + 12^4 \times 3125} = 0,523 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}, \quad (29)$$

$$M_{Б1,5X}^{max} = \alpha \times q_x \times a \times L_x^2 \times n_x = 0,125 \times 0,477 \times 1,5 \times 12^2 \times 1 = 12,88 \text{ Тм}, \quad (30)$$

$$M_{Б2,0Y}^{max} = \alpha \times q_y \times b \times L_y^2 \times n_y = 0,125 \times 0,523 \times 2,0 \times 12^2 \times 1 = 18,83 \text{ Тм}. \quad (31)$$

Перекрытие размером в плане $12,0 \times 12,0$ м с кессонами $1,5 \times 2,4$ м. Рассматриваем центральные балки $Б_{1,5X}$ и $Б_{2,4Y}$.

$$B_x = 0,2 \times E_b \times I_x = 3125 \text{ Тм}^2, \quad (32)$$

$$B_y = 0,2 \times E_b \times I_y = 3603 \text{ Тм}^2, \quad (33)$$

$$q_x = q \times \frac{L_y^4 \times B_x}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = 1 \times \frac{12^4 \times 3125}{12^4 \times 3603 + 12^4 \times 3125} = 0,465 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}, \quad (34)$$

$$q_y = q \times \frac{L_x^4 \times B_y}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = 1 \times \frac{12^4 \times 3603}{12^4 \times 3603 + 12^4 \times 3125} = 0,535 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}, \quad (35)$$

$$M_{Б1,5X}^{max} = \alpha \times q_x \times a \times L_x^2 \times n_x = 0,125 \times 0,465 \times 1,5 \times 12^2 \times 1 = 12,6 \text{ Тм}. \quad (36)$$

Коэффициент пропорциональности, учитывающий расположение балки $Б_{2,4Y}$ от опорного контура вдоль оси X.

$$\eta_x = \frac{x}{L_x} = \frac{4,8}{12} = 0,4, \quad (37)$$

$$n_y = \frac{16}{5} \times (\eta_x - 2 \times \eta_x^3 + \eta_x^4) = \frac{16}{5} \times (0,4 - 2 \times 0,4^3 + 0,4^4) = 0,952, \quad (38)$$

$$M_{Б2,4Y}^{max} = \alpha \times q_y \times b \times L_y^2 \times n_y = 0,125 \times 0,535 \times 2,4 \times 12^2 \times 0,952 = 22,0 \text{ Тм}. \quad (39)$$

Перекрытие размером в плане $12,0 \times 12,0$ м с кессонами $1,5 \times 3,0$ м. Рассматриваем центральные балки $Б_{1,5X}$ и $Б_{3,0Y}$.

$$B_x = 0,2 \times E_b \times I_x = 3125 \text{ Тм}^2, \quad (40)$$

$$B_y = 0,2 \times E_b \times I_y = 3816 \text{ Тм}^2, \quad (41)$$

$$q_x = q \times \frac{L_y^4 \times B_x}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = 1 \times \frac{12^4 \times 3125}{12^4 \times 3816 + 12^4 \times 3125} = 0,45 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}, \quad (42)$$

$$q_y = q \times \frac{L_x^4 \times B_y}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = 1 \times \frac{12^4 \times 3816}{12^4 \times 3816 + 12^4 \times 3125} = 0,55 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}, \quad (43)$$

$$M_{B_{1,5X}}^{max} = \alpha \times q_x \times a \times L_x^2 \times n_x = 0,125 \times 0,45 \times 1,5 \times 12^2 \times 1 = 12,15 \text{ Тм}, \quad (44)$$

$$M_{B_{3,0Y}}^{max} = \alpha \times q_y \times b \times L_y^2 \times n_y = 0,125 \times 0,55 \times 3,0 \times 12^2 \times 1 = 29,7 \text{ Тм}. \quad (45)$$

Перекрытие размером в плане $12,0 \times 12,0$ м с кессонами $1,5 \times 4,0$ м (рис. 1). Рассматриваем центральные балки $B_{1,5X}$ и $B_{4,0Y}$.

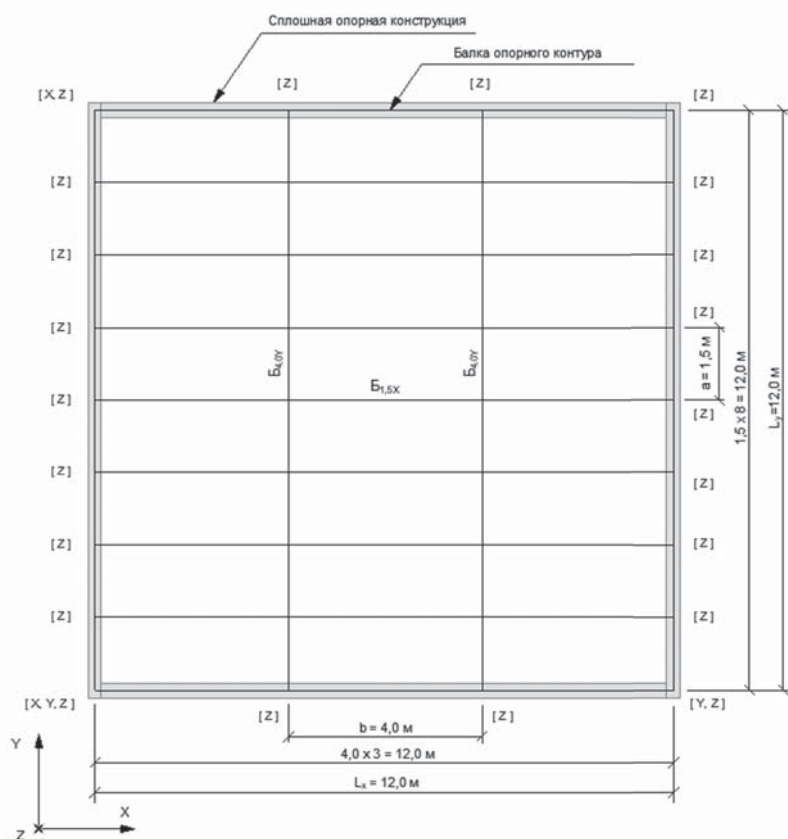


Рис. 1. Схема кессонного перекрытия размером в плане $12,0 \times 12,0$ м с кессонами $1,5 \times 4,0$ м. $B_{1,5X}$, $B_{4,0Y}$ – рассчитываемые балки. $[X, Y, Z]$ – связи, установленные в узлах балки опорного контура

Fig. 1. Schematic of a waffle slab of 12.0×12.0 m in plan having 1.5×4.0 m caissons. $B_{1,5X}$, $B_{4,0Y}$ – calculated beams. $[X, Y, Z]$ – connections established in beam nodes of supporting structure

$$B_x = 0,2 \times E_b \times I_x = 3125 \text{ Тм}^2, \quad (46)$$

$$B_y = 0,2 \times E_b \times I_y = 4073 \text{ Тм}^2, \quad (47)$$

$$q_x = q \times \frac{L_y^4 \times B_x}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = 1 \times \frac{12^4 \times 3125}{12^4 \times 4073 + 12^4 \times 3125} = 0,434 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}, \quad (48)$$

$$q_y = q \times \frac{L_x^4 \times B_y}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = 1 \times \frac{12^4 \times 4073}{12^4 \times 4073 + 12^4 \times 3125} = 0,566 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}, \quad (49)$$

$$M_{Б1,5X}^{max} = \alpha \times q_x \times a \times L_x^2 \times n_x = 0,125 \times 0,434 \times 1,5 \times 12^2 \times 1 = 11,72 \text{ Тм}, \quad (50)$$

$$\eta_x = \frac{x}{L_x} = \frac{4,0}{12} = \frac{1}{3}, \quad (51)$$

$$n_y = \frac{16}{5} \times (\eta_x - 2 \times \eta_x^3 + \eta_x^4) = \frac{16}{5} \times \left(\frac{1}{3} - 2 \times \left(\frac{1}{3} \right)^3 + \left(\frac{1}{3} \right)^4 \right) = 0,869, \quad (52)$$

$$M_{Б4,0Y}^{max} = \alpha \times q_y \times b \times L_y^2 \times n_y = 0,125 \times 0,566 \times 4,0 \times 12^2 \times 0,869 = 35,4 \text{ Тм}. \quad (53)$$

Перекрытие размером в плане ($L_x \times L_y$) $12,0 \times 15,0$ м с кессонами $1,5 \times 1,5$ м. Рассматриваем центральные балки $Б_{1,5X}$ и $Б_{1,5Y}$.

$$B_x = 0,2 \times E_b \times I_x = 3125 \text{ Тм}^2. \quad (54)$$

$$B_y = 0,2 \times E_b \times I_y = 3125 \text{ Тм}^2. \quad (55)$$

$$q_x = q \times \frac{L_y^4 \times B_x}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = 1 \times \frac{15^4 \times 3125}{12^4 \times 3125 + 15^4 \times 3125} = 0,709 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}, \quad (56)$$

$$q_y = q \times \frac{L_x^4 \times B_y}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = 1 \times \frac{12^4 \times 3125}{12^4 \times 3125 + 15^4 \times 3125} = 0,291 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}, \quad (57)$$

$$M_{Б1,5X}^{max} = \alpha \times q_x \times a \times L_x^2 \times n_x = 0,125 \times 0,709 \times 1,5 \times 12^2 \times 1 = 19,14 \text{ Тм}, \quad (58)$$

$$M_{Б1,5Y}^{max} = \alpha \times q_y \times b \times L_y^2 \times n_y = 0,125 \times 0,291 \times 1,5 \times 15^2 \times 1 = 12,28 \text{ Тм}. \quad (59)$$

Перекрытие размером в плане ($L_x \times L_y$) $12,0 \times 18,0$ м с кессонами $1,5 \times 1,5$ м. Рассматриваем центральные балки $Б_{1,5X}$ и $Б_{1,5Y}$.

$$B_x = 0,2 \times E_b \times I_x = 3125 \text{ Тм}^2, \quad (60)$$

$$B_y = 0,2 \times E_b \times I_y = 3125 \text{ Тм}^2, \quad (61)$$

$$q_x = q \times \frac{L_y^4 \times B_x}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = 1 \times \frac{18^4 \times 3125}{12^4 \times 3125 + 18^4 \times 3125} = 0,835 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}, \quad (62)$$

$$q_y = q \times \frac{L_x^4 \times B_y}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = 1 \times \frac{12^4 \times 3125}{12^4 \times 3125 + 18^4 \times 3125} = 0,165 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}, \quad (63)$$

$$M_{Б1,5X}^{max} = \alpha \times q_x \times a \times L_x^2 \times n_x = 0,125 \times 0,835 \times 1,5 \times 12^2 \times 1 = 22,55 \text{ Тм}, \quad (64)$$

$$M_{Б1,5Y}^{max} = \alpha \times q_y \times b \times L_y^2 \times n_y = 0,125 \times 0,165 \times 1,5 \times 18^2 \times 1 = 10,0 \text{ Тм}. \quad (65)$$

Перекрытие размером в плане ($L_x \times L_y$) $12,0 \times 21,0$ м с кессонами $1,5 \times 1,5$ м. Рассматриваем центральные балки $Б_{1,5X}$ и $Б_{1,5Y}$.

$$B_x = 0,2 \times E_b \times I_x = 3125 \text{ Тм}^2, \quad (66)$$

$$B_y = 0,2 \times E_b \times I_y = 3125 \text{ Тм}^2, \quad (67)$$

$$q_x = q \times \frac{L_y^4 \times B_x}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = 1 \times \frac{21^4 \times 3125}{12^4 \times 3125 + 21^4 \times 3125} = 0,904 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}, \quad (68)$$

$$q_y = q \times \frac{L_x^4 \times B_y}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = 1 \times \frac{12^4 \times 3125}{12^4 \times 3125 + 21^4 \times 3125} = 0,096 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}, \quad (69)$$

$$M_{Б1,5X}^{max} = \alpha \times q_x \times a \times L_x^2 \times n_x = 0,125 \times 0,904 \times 1,5 \times 12^2 \times 1 = 24,41 \text{ Тм}, \quad (70)$$

$$M_{Б1,5Y}^{max} = \alpha \times q_y \times b \times L_y^2 \times n_y = 0,125 \times 0,096 \times 1,5 \times 21^2 \times 1 = 7,94 \text{ Тм}. \quad (71)$$

Перекрытие размером в плане ($L_x \times L_y$) $12,0 \times 24,0$ м с кессонами $1,5 \times 1,5$ м. Рассматриваем центральные балки $Б_{1,5X}$ и $Б_{1,5Y}$.

$$B_y = 0,2 \times E_b \times I_y = 3125 \text{ Тм}^2, \quad (72)$$

$$B_y = 0,2 \times E_b \times I_y = 3125 \text{ Тм}^2, \quad (73)$$

$$q_x = q \times \frac{L_y^4 \times B_x}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = 1 \times \frac{24^4 \times 3125}{12^4 \times 3125 + 24^4 \times 3125} = 0,941 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}, \quad (74)$$

$$q_y = q \times \frac{L_x^4 \times B_y}{L_x^4 \times B_y + L_y^4 \times B_x} = 1 \times \frac{12^4 \times 3125}{12^4 \times 3125 + 24^4 \times 3125} = 0,059 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2}, \quad (75)$$

$$M_{Б1,5X}^{max} = \alpha \times q_x \times a \times L_x^2 \times n_x = 0,125 \times 0,941 \times 1,5 \times 12^2 \times 1 = 25,41 \text{ Тм}, \quad (76)$$

$$M_{Б1,5Y}^{max} = \alpha \times q_y \times b \times L_y^2 \times n_y = 0,125 \times 0,059 \times 1,5 \times 24^2 \times 1 = 6,37 \text{ Тм}. \quad (77)$$

Данные аналитического расчета и компьютерных моделей кессонных перекрытий представлены в табл. 2, 3.

Таблица 2

Сравнение значений изгибающих моментов в балках центральных зон кессонного перекрытия размером в плане ($L_x \times L_y$) $12,0 \times 12,0$ м с различными размерами кессонов, полученные аналитическим методом и при помощи компьютерных моделей BK SCAD

Table 2

Comparison of bending moment in central beams of a waffle slab of ($L_x \times L_y$) 12.0×12.0 m in plan having different caisson dimensions, obtained by the analytical method and computer-assisted calculations using SCAD software

Бал-ка	(1,5 × 1,5 м) M_y , Тм		(1,5 × 2,0 м) M_y , Тм		(1,5 × 2,4 м) M_y , Тм		(1,5 × 3,0 м) M_y , Тм		(1,5 × 4,0 м) M_y , Тм	
	Аналитиче-ский	SCAD	Аналитиче-ский	SCAD	Аналитиче-ский	SCAD	Аналитиче-ский	SCAD	Аналитиче-ский	SCAD
Б _{1,5x}	13,5	13,58	12,9	14,91	12,6	15,95	12,2	16,72	11,7	18,66
Б _{1,5y}	13,5	13,58								
Б _{2,0y}			18,8	16,25						
Б _{2,4y}					22,0	17,14				
Б _{3,0y}							29,7	20,15		
Б _{4,0y}									35,4	20,03

Таблица 3

Сравнение значений изгибающих моментов в балках центральных зон кессонного перекрытия с размерами кессонов $1,5 \times 1,5$ м различными пролетами ($L_x \times L_y$), полученные аналитическим методом и при помощи компьютерных моделей BK SCAD

Table 3

Comparison of bending moment in beams of central waffle slabs having 1.5×1.5 m caisson and various spans ($L_x \times L_y$), obtained by analytical method and computer-assisted calculations using SCAD software

Бал-ка	(12,0 × 12,0 м) M_y , Тм		(12,0 × 15,0 м) M_y , Тм		(12,0 × 18,0 м) M_y , Тм		(12,0 × 21,0 м) M_y , Тм		(12,0 × 24,0 м) M_y , Тм	
	Аналитиче-ский	SCAD	Аналитиче-ский	SCAD	Аналитиче-ский	SCAD	Аналитиче-ский	SCAD	Аналитиче-ский	SCAD
Б _{1,5x}	13,5	13,58	19,14	20,02	22,55	24,32	24,41	26,83	25,41	28,15
Б _{1,5y}	13,5	13,58	12,28	12,12	10	9,56	7,94	7,0 8,33*	6,37	4,84 7,81*

Примечание: * – В моделях BK SCAD перекрытий размером $12,0 \times 21,0$ м и $12,0 \times 24,0$ м максимальные изгибающие моменты в балках длинной стороны находятся не в середине пролета, эпюра изгибающих моментов отклоняется от параболы. Данный эффект отмечается в работе [14] в плите, опертой по контуру, при соотношении сторон $L_y = 2 \times L_x$

Note: * – In the slab models of 12.0×21.0 m and 12.0×24.0 m built in the SCAD software, the maximum bending moments in the beams of a long side are located off-center in a span; a bending-moment curve deviates from a parabola. This effect is described in work [14] for an edge-supported slab, having an aspect ratio of $L_y = 2 \times L_x$

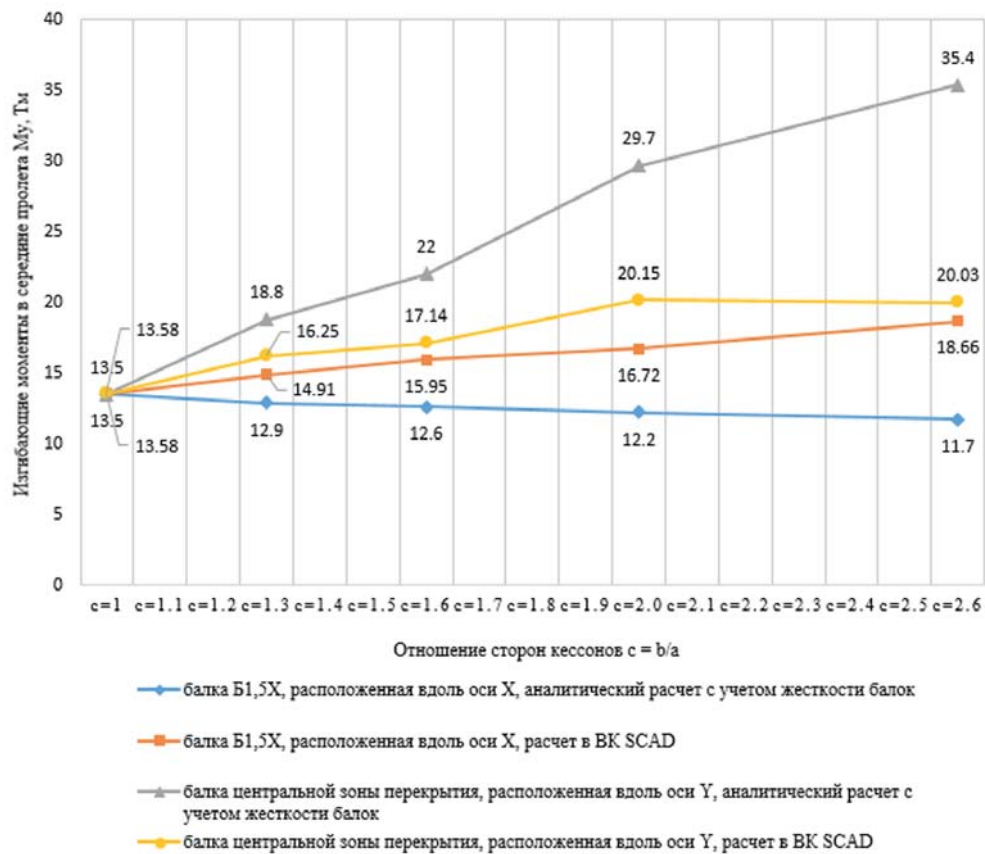


Рис. 2. Графики зависимости изгибающих моментов M_y, M_x от размеров кессонов в балках центральных зон перекрытий размером в плане $(L_x \times L_y)$ 12,0 × 12,0 м при расчете аналитическим методом с учетом жесткости отдельных балок и в вычислительном комплексе SCAD

Fig. 2. Bending moments M_y and M_x as a function of caisson dimensions in beam of central slabs of $(L_x \times L_y)$ 12.0 × 12.0 m in plan obtained by analytical calculations considering individual beam rigidity and using SCAD software

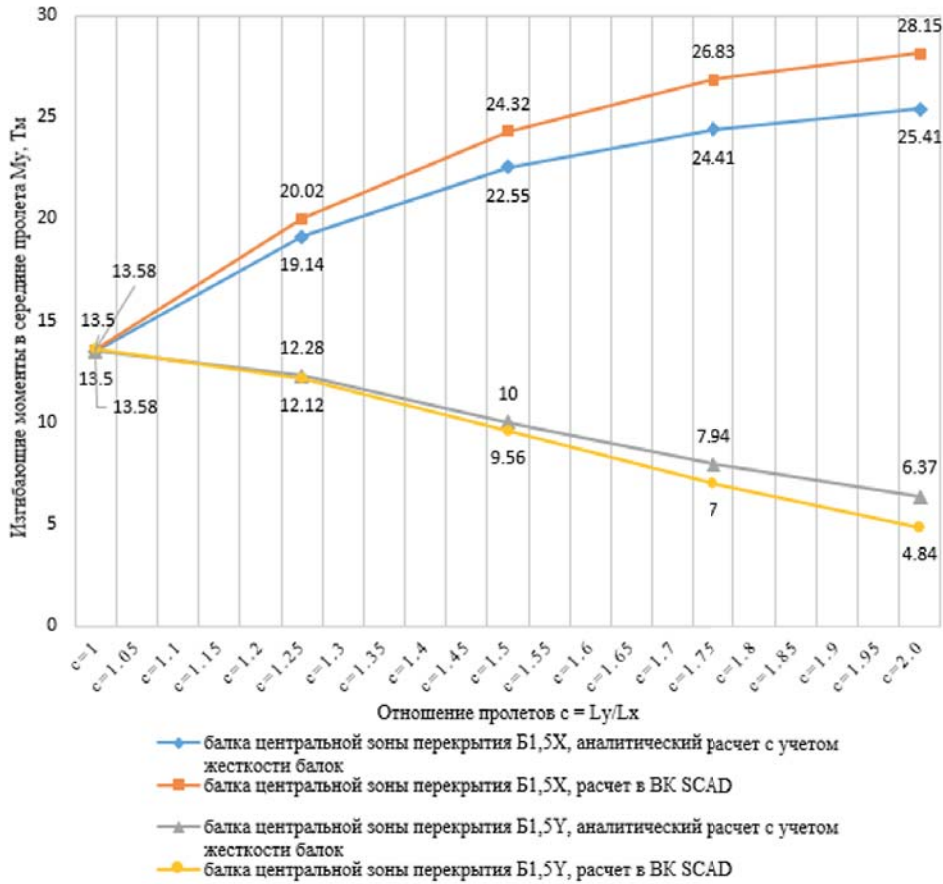


Рис. 3. Графики зависимости изгибающих моментов M_y , T_m от соотношения пролетов L_y/L_x кессонных перекрытий в балках центральных зон перекрытий с кессонами $1,5 \times 1,5$ м при расчете аналитическим методом с учетом жесткости отдельных балок и в вычислительном комплексе SCAD

Fig. 3. Bending moments M_y and T_m as a function of ratio of spans L_y/L_x of waffle slab in beams of central slabs having 1.5×1.5 m caisson, obtained by analytical calculations considering individual beam rigidity and using SCAD software

Результаты

Полученные данные при расчете в БК SCAD конструкции перекрытия размером в плане ($L_x \times L_y$) 12,0 × 21,0 м с кессонами 1,5 × 1,5 м представлены на рис. 4, 5.

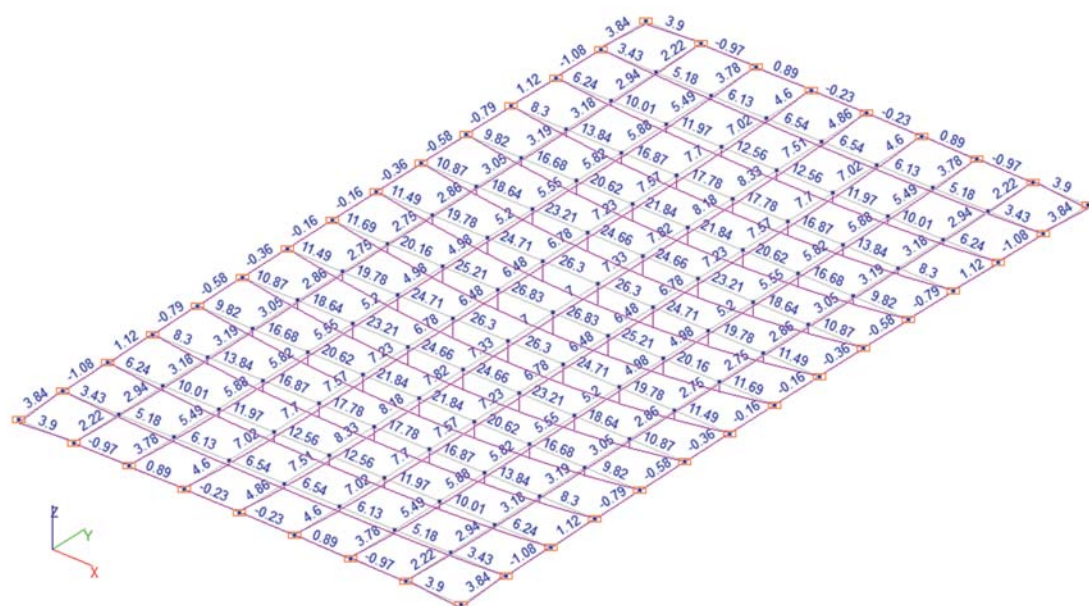


Рис. 4. Эпюры изгибающих моментов M_y , Тм в балках модели SCAD перекрытия размером в плане ($L_x \times L_y$) 12,0 × 21,0 м с кессонами 1,5 × 1,5 м

Fig. 4. M_y and Тм bending moment curves in beams of SCAD slab model of ($L_x \times L_y$) 12.0 × 21.0 m in plan having 1.5 × 1.5 m caissons

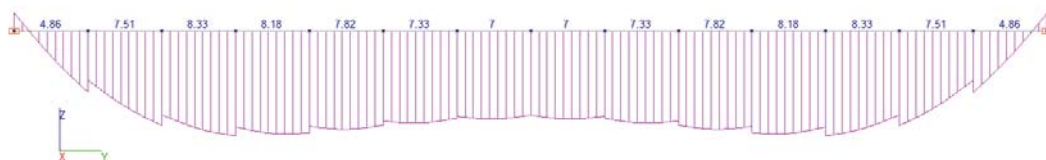


Рис. 5. Эпюра изгибающих моментов M_y , Тм в центральной балке, расположенной вдоль оси Y модели SCAD перекрытия размером в плане ($L_x \times L_y$) 12,0 × 21,0 м с кессонами 1,5 × 1,5 м

Fig. 5. M_y and Тм bending moment curves in beams of SCAD slab model of ($L_x \times L_y$) 12.0 × 21.0 m in plan having 1.5 × 1.5 m caissons

Выводы

1. Значения изгибающих моментов в балках перекрытия квадратного в плане с квадратными кессонами, вычисленные аналитическим способом с учетом величин пролетов, жесткостей отдельных балок и методом конечных элементов вычислительного комплекса SCAD, совпадают, что является частным случаем.
2. Значения изгибающих моментов в балках перекрытия прямоугольного в плане с квадратными кессонами, вычисленные аналитическим методом с учетом величин пролетов,

жесткостей отдельных балок и методом конечных элементов вычислительного комплекса SCAD при соотношении сторон перекрытия $L_{\max}/L_{\min}$ не более 1,5, имеют отклонение менее 8 %.

3. При соотношении пролетов прямоугольного перекрытия с квадратными кессонами более 1,5 максимальные изгибающие моменты в балках большего пролета располагаются вне его центра, эпюра изгибающих моментов не является квадратной параболой.

4. Значения изгибающих моментов в балках перекрытия квадратного в плане с прямоугольными кессонами, вычисленные аналитическим методом с учетом величин пролетов, жесткостей отдельных балок и методом конечных элементов вычислительного комплекса SCAD, значительно отличаются. Отличия возрастают с увеличением отношения сторон кессонов.

5. Дальнейшим исследованием точности аналитического метода определения усилий в балках железобетонных кессонных перекрытий может быть сравнение изгибающих моментов, вычисленных аналитическим методом с учетом жесткости перекрытия (суммарной жесткости параллельных балок) и методом конечных элементов.

Список литературы

1. Залигер Р. Железобетон: его расчет и проектирование. Москва – Ленинград: Изд-во ГНТИ; 1931.
2. Линович Л.Е. Расчет и конструирование частей гражданских зданий. Киев: Будівельник; 1972.
3. Вахненко П.Ф., Хилобок В.Г., Андрейко Н.Т., Яровой М.Л. Расчет и конструирование частей жилых и общественных зданий: справочник проектировщика. Киев: Будівельник; 1987.
4. Улицкий И.И., Ривкин С.А., Самолетов М.В., Дыховичный А.А., Френкель М.М., Кретов В.И. Железобетонные конструкции. Киев: Будівельник; 1972.
5. Малахова А.Н. Монолитные кессонные перекрытия зданий. Вестник МГСУ. 2013;(1):79–86.
6. Иванов-Дятлов И.Г. Железобетонные конструкции. Москва, Ленинград: Министерство коммунального хозяйства РСФСР; 1950.
7. Карпунин Н.С. Железобетонные конструкции. Москва: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре; 1957.
8. Мурашев В.И., Сигалов Э.Е., Байков В.Н. Железобетонные конструкции. Общий курс. М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам; 1962.
9. Мозголов М.В., Туранова А.В. Об эффективности косых кессонных железобетонных перекрытий. Градостроительство и архитектура. 2021;11(3):20–25. <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2021.03.03>.
10. Мозголов М.В., Козлова Е.В. К вопросу создания верификационной модели для расчета кессонного железобетонного перекрытия в вычислительном комплексе SCAD. Вестник НИЦ «Строительство». 2022;32(1):128–140. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-128-140](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-128-140)
11. Шибаева В.Д. Исследование напряженно-деформированного состояния монолитных кессонных перекрытий. Молодой ученый. 2021;(16):119–123.
12. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Фиалко С.Ю., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. SCADOffice. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD ++ /–. Москва: СКАД СОФТ; 2015.
13. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. Москва: ДМК Пресс; 2007.
14. Бушков В.А. Железобетонные конструкции. II часть. Москва: Стройиздат Наркомстроя; 1941.
15. Лоскутов И.С. Монолитные железобетонные кессонные перекрытия [Интернет]. DWG.ru: Железобетонные конструкции [Интернет]. Режим доступа: <https://dwg.ru/lib/2046> [дата доступа: 24.10.2021].
16. Плоские безбалочные железобетонные перекрытия [Интернет]. Москва; 2017. Режим доступа: https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp60_2017.pdf [дата доступа 22.11.2021].

References

1. *Saliger R.* Der eisenbeton. Seine berechnung und gestaltung [Reinforced concrete its calculation and design]. Kröner; 1920 (in German).
2. *Linovich L.E.* Calculation and construction of parts of civil buildings. Kiev: Budivel'nik Publ.; 1972 (in Russian).
3. *Vahnenko P.F., Hilobok V.G., Andrejko N.T., Jarovoi M.L.* Calculation and construction of parts of residential and public buildings. The designer's reference book. Kiev: Budivel'nik Publ.; 1987 (in Russian).
4. *Ulitskiy I.I., Rivkin S.A., Samoletov M.V., Dykhovichnyi A.A., Frenkel' M.M., Kretov V.I.* Reinforced concrete structures. Kiev: Budivel'nik Publ.; 1972 (in Russian).
5. *Malakhova A.N.* Monolithic caisson floors of buildings. Vestnik MGSU. 2013;(1):79–86 (in Russian).
6. *Ivanov-Dyatlov I.G.* Reinforced concrete structures Moscow, Leningrad: Ministry of Public Utilities of the RSFSR; 1950 (in Russian).
7. *Karpukhin N.S.* Reinforced concrete structures. Moscow: State Publishing House of Literature on Construction and Architecture; 1957 (in Russian).
8. *Murashev V.I., Sigalov E.E., Baykov V.N.* Reinforced concrete structures. General course. Moscow: State Publishing House of Literature on Construction, Architecture and Building Materials; 1962 (in Russian).
9. *Mozgolov M.V., Turanova A.V.* On the effectiveness of oblique caisson reinforced concrete floors. Gradostroitel'stvo i arkhitektura = Urban construction and architecture. 2021;11(3):20–25 (in Russian). <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2021.03.03>
10. *Mozgolov M.V., Kozlova E.V.* Creation of a SCAD verification model for the design calculations of a reinforced-concrete waffle slab floor system. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2022;32(1):128–140 (in Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-128-140](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-128-140)
11. *Shibaeva V.D.* Investigation of the stress-strain state of monolithic coffered ceilings. Molodoi uchenyi [Young Scientist]. 2021;(16):119–123 (in Russian).
12. *Karpilovskiy V.S., Kriksunov E.Z., Malyarenko A.A., Fialko S.Yu., Perel'muter A.V., Perel'muter M.A.* SCAD Office. Version 21. The SCAD ++computing complex. Moscow; SKAD SOFT Publ.; 2015 (in Russian).
13. *Perel'muter A.V., Slivker V.I.* Design models of structures and the possibility of their analysis. Moscow: DMK Press Publ.; 2007 (in Russian).
14. *Bushkov V.A.* Reinforced concrete structures. Part II. Moscow: Stroizdat Narkomstroj; 1941 (in Russian).
15. *Loskutov I.S.* Monolithic reinforced concrete coffered floors. DWG.ru [Internet]. Available at: <https://dwg.ru/lib/2046> (in Russian).
16. Flat girderless reinforced concrete floors [Internet]. Moscow; 2017. Available at: https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp60_2017.pdf (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Михаил Валентинович Мозголов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительное производство» Коломенского института (филиала) ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», Коломна
e-mail: mvmozgolov@yandex.ru

Mikhail V. Mozgolov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Construction Works, Kolomna Institute (Branch), Moscow Polytechnic University, Kolomna
e-mail: mvmozgolov@yandex.ru

Елизавета Вадимовна Козлова✉, студент 3-го года обучения направления «Строительство» Коломенского института (филиала) ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», Коломна
e-mail: lizakozlova2014@gmail.com

Elizaveta V. Kozlova✉, 3rd year student on "Construction", Kolomna Institute (Branch), Moscow Polytechnic University, Kolomna
e-mail: lizakozlova2014@gmail.com

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

УДК 666.972:691.620.192

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-139-149](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-139-149)

EDN: HLLSTI

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ МЕТОДА РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Т.А. МУХАМЕДИЕВ, д-р техн. наук

С.А. ЗЕНИН[✉], канд. техн. наук

А.С. ЖАРКИХ

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

Аннотация

Введение. В действующих нормах по проектированию бетонных и железобетонных конструкций отсутствуют методы расчета прочности наклонных сечений изгибаемых элементов на действие поперечных сил при различной форме поперечного сечения. Это вынуждает проектировщиков при выполнении расчетов таких элементов прибегать к упрощениям, что в ряде случаев может привести к перерасходу поперечной арматуры или недооценке прочности.

Целью исследования, результаты которого приведены в статье, является проверка надежности новой методики расчета прочности наклонных сечений изгибаемых железобетонных конструкций с формой поперечного сечения, отличной от прямоугольной.

Материалы и методы. Оценка надежности новой методики расчета наклонных сечений с различной формой поперечного сечения выполнена путем сравнения расчетных и опытных значений поперечной силы, воспринимаемой наклонным сечением железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения. Были рассмотрены опытные образцы с кольцевой, круглой, тавровой с полкой в растянутой или в сжатой зоне формой поперечного сечения, а также опытные образцы с квадратной формой поперечного сечения, испытанные на косой изгиб. Оценка надежности выполнена общепринятыми методами статистического анализа.

Результаты. Получены распределения отношения опытной разрушающей поперечной силы опытных образцов различного сечения и ее расчетных значений, которые близки к нормальным. По результатам оценки надежности установлено, что предложенная методика расчета по прочности наклонных сечений элементов с различными формами поперечного сечения по показателям точности и надежности сопоставима с принятой в СП 63.13330.2018 методикой расчета элементов прямоугольного сечения.

Выводы. Предложенная методика расчета по прочности наклонных сечений элементов с различными формами поперечного сечения по показателям точности и надежности сопоставима с принятой в СП 63.13330.2018 методикой расчета элементов прямоугольного сечения.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, прочность, наклонное сечение, форма поперечного сечения, методы расчета

Для цитирования: Мухамедиев Т.А., Зенин С.А., Жарких А.С. Оценка надежности метода расчета прочности наклонных сечений железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;33(2):139–149. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-139-149](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-139-149)

Вклад авторов

Мухамедиев Т.А. – разработка метода расчета прочности наклонных сечений железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения.

Зенин С.А. – участие в разработке метода расчета прочности наклонных сечений железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения и оценка его надежности.

Жарких А.С. – участие в разработке метода расчета прочности наклонных сечений железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения и выполнение расчетов.

Финансирование

Финансирование осуществлялось за счет средств государственного бюджета.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 23.04.2022

Поступила после рецензирования 24.05.2022

Принята к публикации 31.05.2022

THE RELIABILITY ASSESSMENT OF THE METHOD FOR CALCULATING THE STRENGTH OF OBLIQUE SECTIONS IN REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WITH VARIOUS CROSS-SECTIONAL SHAPE

T.A. MUKHAMEDIEV, Dr. Sci. (Engineering)

S.A. ZENIN✉, Cand. Sci. (Engineering)

A.S. ZHARKIKH

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

Abstract

Introduction. The current standards for the design of concrete and reinforced concrete structures provide no methods for calculating the strength of the oblique sections in bending elements of various cross-sectional shape under the action of transverse forces. This prompts the designers to use simplifications in calculation of such elements, which, in some cases, may lead to excessive consumption of transverse reinforcement or the strength underestimation.

Aim. The performed study was aimed at assessing the reliability of a new method for calculating the strength of oblique sections in bending reinforced concrete structures with a non-rectangular cross-sectional shape.

Materials and methods. The reliability assessment of a new procedure for calculating oblique sections of a various cross-sectional shape was performed by the comparison between the calculated and experimental values of the transverse force received by the oblique section of reinforced concrete elements with various cross-sectional shape. The study considers the oblique bending tests of the samples with an annular, circular, and square cross-sectional shape, as well as T-shaped samples with a crossbar both in a stretched and compressed zone. The reliability assessment was performed using generally accepted methods of statistical analysis.

Results. The distributions of ratios of the experimental and calculated values of the destructive transverse force for various-section test samples were obtained to be close to normal ones. According to the results of the reliability assessment, the proposed procedure of calculating the strength of oblique sections in elements with various cross-sectional shape was established to be comparable with the procedure accepted

in the SP 63.13330.2018 Rules and Regulations for calculating rectangular cross-section elements in terms of the accuracy and reliability indices.

Conclusions. The proposed procedure of calculating the strength of oblique sections in elements with various cross-sectional shape was determined to be comparable with the procedure accepted in the SP 63.13330.2018 Rules and Regulations for calculating rectangular cross-section elements in terms of the accuracy and reliability indices.

Keywords: reinforced concrete structures, strength, oblique section, cross-sectional shape, calculation methods

For citation: Mukhamediev T.A., Zenin S.A., Zharkikh A.S. The reliability assessment of the method for calculating the strength of oblique sections in reinforced concrete elements with various cross-sectional shape. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):139–149. (In Russ.) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-139-149](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-139-149)

Author contribution statements

Mukhamediev T. A. – development of a method for calculating the strength of inclined sections of reinforced concrete elements with different cross-sectional shapes.

Zenin S.A. – participation in the development of a method for calculating the strength of inclined sections of reinforced concrete elements with different cross-section shapes and assessing its reliability.

Zharkikh A.S. – participation in the development of a method for calculating the strength of inclined sections of reinforced concrete elements with different cross-sectional shapes and performing calculations.

Funding

The research was funded by the state budget.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 23.04.2022

Revised 24.05.2022

Accepted 31.05.2022

Введение

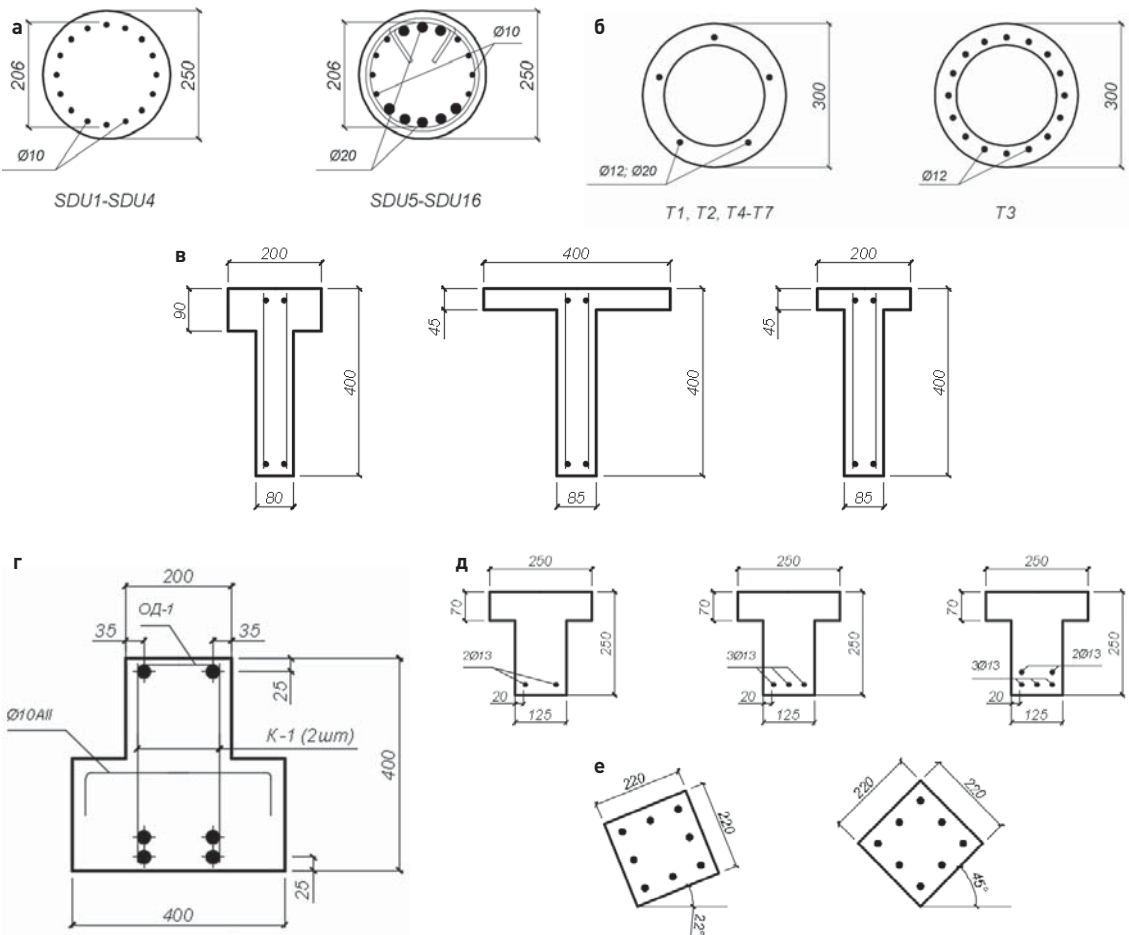
В СП 63.13330.2018 [7] представлены указания по расчету изгибаемых элементов по прочности, при этом методика расчета на действие изгибающих моментов охватывает элементы с произвольной формой сечения, а методика расчета на действие поперечных сил ограничена элементами только прямоугольной формы сечения. В связи с этим при проектировании конструкций с формой поперечного сечения, отличной от прямоугольной, пользователи свода правил при расчете прочности их наклонных сечений вынуждены прибегать к определенным упрощениям и условностям. Это приводит к перерасходу поперечной арматуры или ошибочной оценке прочности наклонного сечения в целом, что влияет на общую надежность принимаемых конструктивных решений.

Цель

Целью исследования, результаты которого приведены в статье, является проверка надежности ранее разработанной методики расчета прочности наклонных сечений изгибаемых железобетонных конструкций с учетом формы поперечного сечения.

Материалы и методы

Оценку надежности методики расчета выполняли по результатам сравнения расчетных и опытных значений поперечной силы, воспринимаемой наклонным сечением железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения. Были рассмотрены результаты испытаний опытных образцов с круглой формой сечения (опыты Uffe G. Jensen [1]), кольцевой формой сечения (опыты В. Н. Шиванова, В. К. Ягодина [2]), таврового сечения с полкой в растянутой и сжатой зоне (опыты Ю. Л. Изотова [3], Б. М. Свердлова [4] и R. Thamrin [5]), а также опытных образцов с квадратной формой поперечного сечения, испытанных на косой изгиб под углом 45° и 22,5° (опыты R Thamrin [6]). Схемы армирования опытных образцов приведены на рис. 1.



*все размеры указаны в мм

Рис. 1. Схемы армирования опытных образцов с различной формой поперечного сечения:

а – опыты Uffe G. Jensen [1]; б – опыты В. Н. Шиванова, В. К. Ягодина [2]; в – опыты Ю. Л. Изотова [3];
г – опыты Б. М. Свердлова [4]; д – опыты R. Thamrin [5]; е – опыты R. Thamrin [6]

*all dimensions are in mm

Fig. 1. Reinforcement schemes for test samples with various cross-sectional shape:

а – Uffe G. Jensen experiments [1]; б – V. N. Shivanov and V. K. Yagodin experiments [2]; в – Yu. L. Izotov experiments [3];
г – B. M. Sverdlov experiments [4]; д – R. Thamrin experiments [5]; е – R. Thamrin experiments [6]

Согласно СП 63.13330.2018 [7] поперечную силу, воспринимаемую наклонным сечением элемента, вычисляли по формуле

$$Q \leq Q_b + Q_{sw}, \quad (1)$$

в которой усилие Q_{sw} , воспринимаемое поперечной арматурой по длине наклонной трещины, определяли по указаниям [7], а усилие Q_b , воспринимаемое бетоном, вычисляли по формуле, учитывающей форму поперечного сечения элемента

$$Q_b = \frac{1,5 \times R_{bt} \times (A_0 + A_{s,red}) \times h_0}{C}, \quad (2)$$

принимая при этом

$$0,5R_{bt} \times (A_0 + A_{s,red}) \leq Q_b \leq 2,5R_{bt} \times (A_0 + A_{s,red}), \quad (3)$$

где

$$h_0 = h - a; \quad (4)$$

R_{bt} – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению;

A_0 – площадь поперечного сечения элемента, вычисляемая без учета площади сечения защитного слоя бетона, а для элементов таврового и двутаврового сечения – и с ограничениями расчетной ширины полок;

$A_{s,red}$ – приведенная площадь сечения продольной арматуры в растянутой зоне сечения элемента, которую в расчетах принимают не более $0,5A_0$;

C – наиболее опасная длина проекции наклонного сечения на продольную ось элемента, определяемая по указаниям СП 63.13330.2018 [7].

Для круглых и кольцевых сечений в формулу (2) вместо h_0 подставляют $d_0 = 2 \times r_0$.

Приведенную площадь сечения продольной арматуры в растянутой зоне сечения элемента определяли по формуле

$$A_{s,red} = A_s \times \frac{E_s}{R_{bt} / \varepsilon_{bt2}} \leq 0,5A_0, \quad (5)$$

в которой $\varepsilon_{bt2} = 0,00015$.

При расположении стержней продольной арматуры в растянутой зоне равномерно по высоте сечения элемента в расчете учитывают только стержни арматуры, расположенные у растянутой грани сечения.

Для опытных образцов [1] круглого сечения радиусом r (рис. 2, а) значение A_0 принимали равным

$$A_0 = \pi \times r_0^2; \quad r_0 = r - a. \quad (6)$$

Для опытных образцов [2] кольцевого сечения радиусом R и внутренним радиусом r (рис. 2, б) значение A_0 принимали равным

$$A_0 = \pi \times (R_0^2 - r^2); \quad R_0 = R - a. \quad (7)$$

Для опытных образцов [3] таврового сечения с полкой в сжатой зоне (рис. 2, в, д) значение A_0 принимали равным

$$A_0 = b \times h_0 + (b'_f - b) \times h'_f; \quad (b'_f - b) \leq 3 \times h'_f. \quad (8)$$

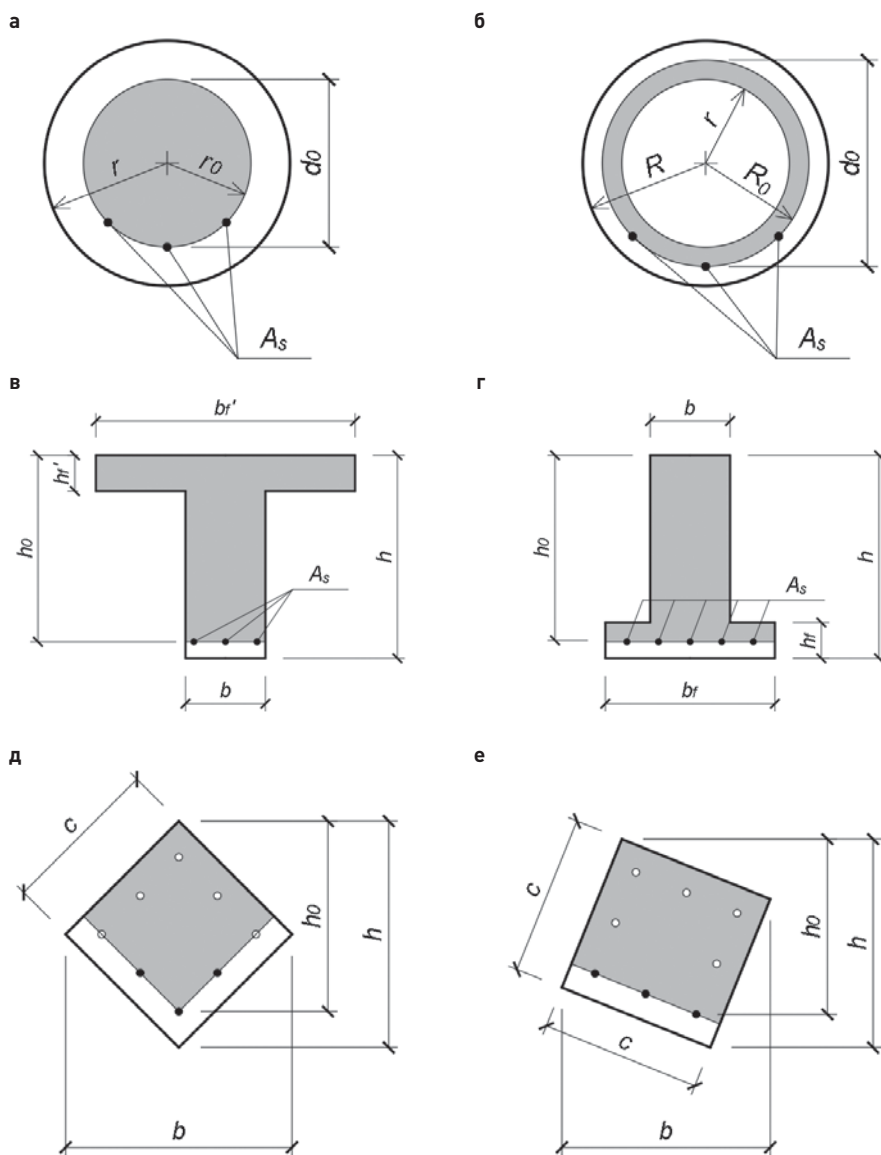


Рис. 2. Расчетная площадь поперечного сечения A_0 опытных образцов с различной формой поперечного сечения
Fig. 2. Calculated cross-sectional area of test samples with various cross-sectional shape

Для опытных образцов [4] таврового сечения с полкой в растянутой зоне (рис. 2, з) значение A_0 принимали равным

$$A_0 = b \times h_0 + (b_f - b) \times (h_f - a). \quad (9)$$

Для косо изгибаемых под углом 45° опытных образцов [6] квадратного сечения (рис. 2, д)

$$A_0 = c^2 - 2 \times c \times a. \quad (10)$$

Для косо изгибаемых под углом $22,5^\circ$ опытных образцов [6] квадратного сечения (рис. 2, е)

$$A_0 = c^2 - c \times a. \quad (11)$$

Результаты

Оценку надежности производили общепринятыми методами статистического анализа. Оценки выполняли по соотношениям опытной разрушающей поперечной силы опытных образцов различного сечения и ее расчетных значений, вычисленных по новой методике с учетом и без учета продольной арматуры.

При расчете прочности наклонных сечений число учитываемых в расчетах стержней продольной арматуры в растянутой зоне сечения принимали равным для опытных образцов с поперечным сечением: круглой формы по опытам G. Jensen [1] – 6–9 стержней; кольцевой по опытам В. Н. Шиванова, В. К. Ягодина [2] – 2 стержня при общем их числе 5, и 5 стержней при общем их числе 17; тавровой по опытам Б. М. Свердлова, Ю. Л. Изотова, R. Thamrin [3, 4, 5] – все расположенные у растянутой грани стержни. Для косо изгибаемых опытных образцов квадратного сечения по опытам R. Thamrin [6] число учитываемых стержней продольной арматуры в растянутой зоне сечения принимали равным трем.

Расчет опытных образцов выполняли по двум вариантам: без учета работы продольной арматуры в растянутой зоне сечения и с учетом ее работы.

Сопоставление опытных значений разрушающей поперечной силы с расчетными, вычисленными без учета и с учетом продольной арматуры в растянутой зоне сечения опытных образцов, показаны на рис. 3.

По результатам расчетов без учета продольной арматуры в растянутой зоне сечения среднее значение $Q_{расч} / Q_{опыт}$ составило 0,85 при стандартном отклонении 0,237, а по результатам расчетов с учетом продольной арматуры – 1,01 при стандартном отклонении 0,219 (см. рис. 4, 5).

Вывод

Предложенная методика расчета по прочности наклонных сечений элементов с различными формами поперечного сечения как с учетом, так и без учета продольной арматуры в растянутой зоне сечения по показателям точности и надежности сопоставима с принятой в СП 63.13330.2018 [7] методикой расчета элементов прямоугольного сечения и может быть использована для практических расчетов.

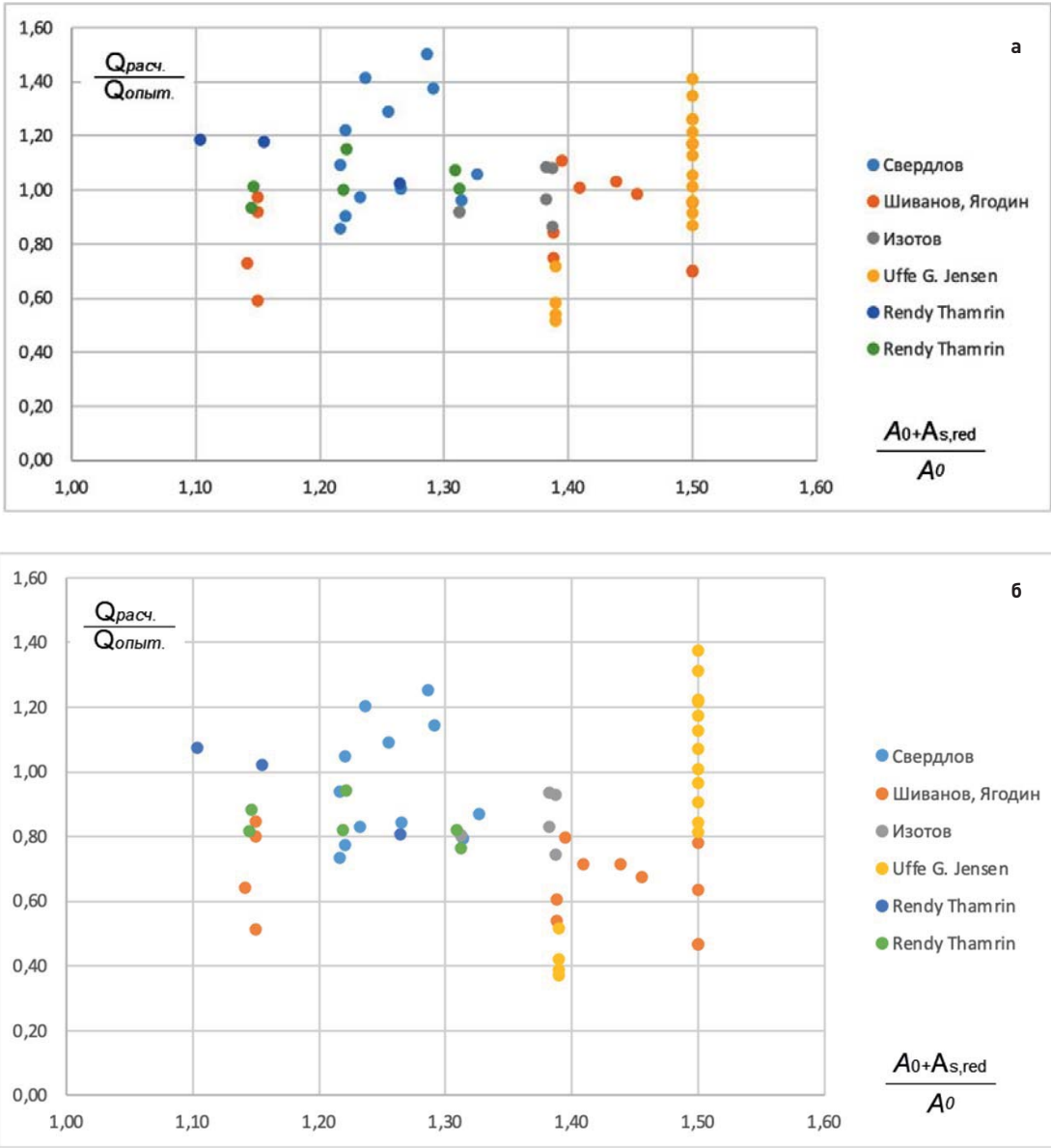


Рис. 3. Отношение опытной разрушающей поперечной силы опытных образцов различного сечения и ее расчетных значений, вычисленных с учетом (а) и без учета (б) продольной арматуры в растянутой зоне сечения

Fig. 3. Ratio of the experimental destructive shear force for test samples of various cross-section and its values calculated taking into account (a) and without taking into account (б) the longitudinal reinforcement in the stretched zone of the cross-section

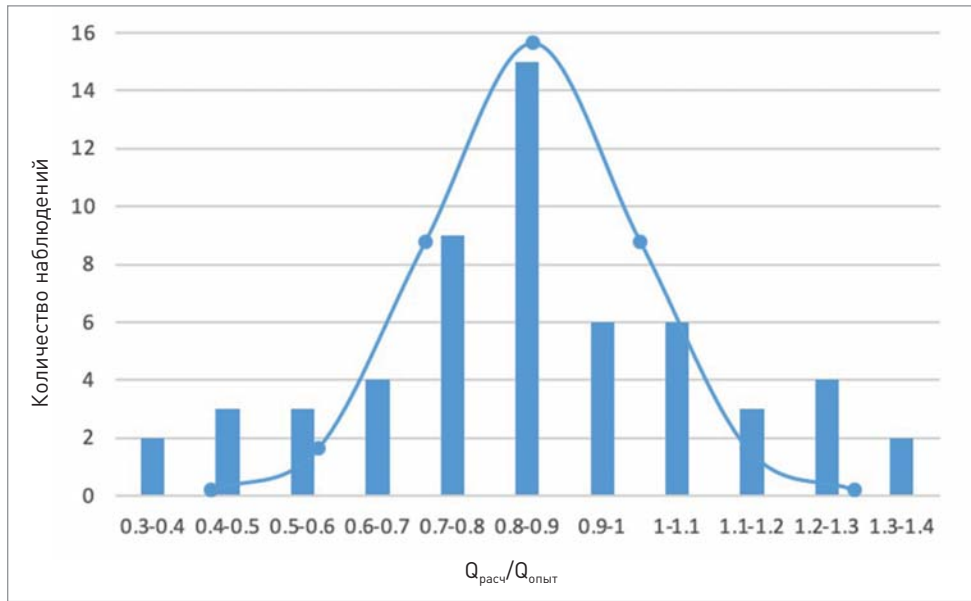


Рис. 4. Распределение отношения опытной разрушающей поперечной силы опытных образцов различного сечения и ее расчетных значений, вычисленных без учета продольной арматуры в растянутой зоне сечения

Fig. 4. Distribution of the ratio of the experimental destructive shear force for test samples of various cross-section and its values calculated without accounting the longitudinal reinforcement in the stretched zone of the cross-section

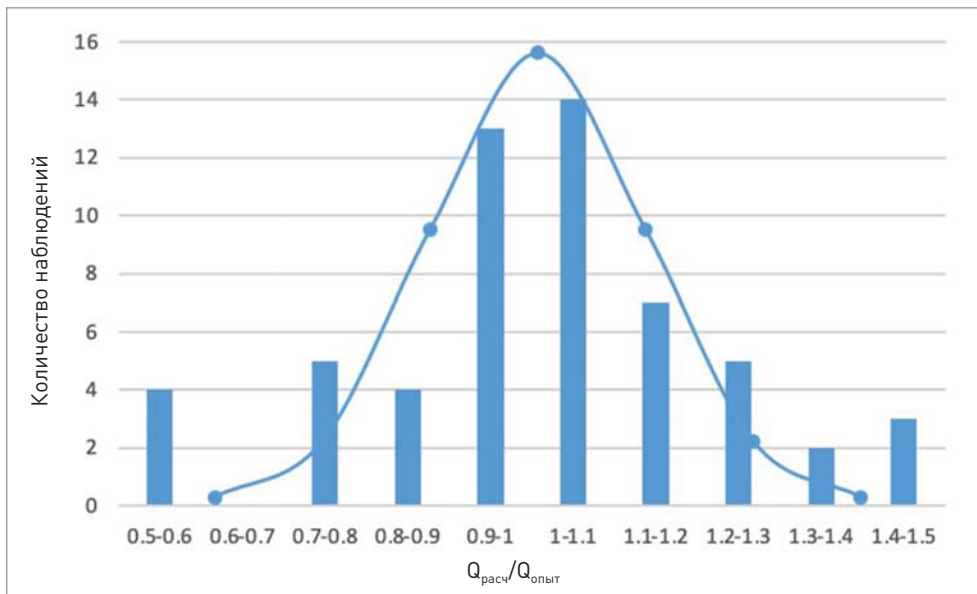


Рис. 5. Распределение отношения опытной разрушающей поперечной силы опытных образцов различного сечения и ее расчетных значений, вычисленных с учетом продольной арматуры в растянутой зоне сечения

Fig. 5. Distribution of the ratio of the experimental destructive shear force for test samples of various cross-section and its values calculated taking into account the longitudinal reinforcement in the stretched zone of the cross-section

Список литературы

1. Uffe G. Jensen, Linh C. Hoang, Henrik B. Joergensen, Lars S. Fabrin. Shear strength of heavily reinforced concrete members with circular cross section. *Engineering Structures*. 2010;32(3):617–626. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.11.008>
2. Шиванов В.Н., Ягодин В.К. Определение поперечной силы Q_b в изгибаемых железобетонных элементах кольцевого сечения. *Бетон и железобетон*. 1968(1):37–38.
3. Изотов Ю.Л. Прочность железобетонных балок. Киев: Будівельник; 1978.
4. Сverdlov B.M. Совершенствование методов расчета прочности ригелей каркасных зданий [диссертация]. Москва; 1989.
5. Thamrin R., Tanjung J., Aryanti R., Nur O.F., Devinus A. Shear strength of reinforced concrete T-beams without stirrups. *Journal of Engineering Science and technology*. 2016;11(4):548–562.
6. Thamrin R., Haris S., Dedi E., Dalmantias E. (2020). Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams with Square Cross Section Subjected to Biaxial Bending. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;713(1):012029. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/713/1/012029>
7. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Москва: Стандартинформ; 2019.

References

1. Uffe G. Jensen, Linh C. Hoang, Henrik B. Joergensen, Lars S. Fabrin. Shear strength of heavily reinforced concrete members with circular cross section. *Engineering Structures*. 2010;32(3):617–626. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.11.008>
2. Shivanov V.N., Yagodin V.K. Determination of the transverse force Q_b in bending reinforced concrete elements of annular cross-section. *Beton i Zhelezobeton*. 1968;(1):37–43 (in Russian).
3. Izotov Yu.L. Strength of reinforced concrete beams. Kiev: Budivel'nik Publ.; 1978 (in Russian).
4. Sverdlov B.M. Improvement of methods for calculating the strength of girders of frame buildings [dissertation]. Moscow; 1989 (in Russian).
5. Thamrin R., Tanjung J., Aryanti R., Nur O.F., Devinus A. Shear strength of reinforced concrete T-beams without stirrups. *Journal of Engineering Science and technology*. 2016;11(4):548–562.
6. Thamrin R., Haris S., Dedi E., Dalmantias E. (2020). Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams with Square Cross Section Subjected to Biaxial Bending. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;713(1):012029. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/713/1/012029>
7. Rules and Regulations SP 63.13330.2018 Concrete and Reinforced Concrete Structures. General. Updated Edition of SNiP 52-01-2003. Moscow: Standartinform Publ.; 2019 (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Тахир Абдурахманович Мухамедиев, д-р техн. наук, главный научный сотрудник лаборатории теории железобетона и конструктивных систем НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: takhir50@rambler.ru
тел.: +7 (499) 171-75-77

Takhir A. Mukhamediev, Dr. Sci. (Engineering), Chief Researcher, Laboratory of Theory of Reinforced Concrete and Structural Systems, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: takhir50@rambler.ru
tel.: +7 (499) 171-75-77

Сергей Алексеевич Зенин✉, канд. техн. наук, заведующий лабораторией железобетонных конструкций и конструктивных систем НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: lab01@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-75-17

Sergei A. Zenin✉, Cand. Sci. (Engineering), Laboratory Head, Laboratory of Reinforced Concrete Structures and Structural Systems, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: lab01@mail.ru

tel.: +7 (499) 174-75-17

Анастасия Сергеевна Жарких, инженер лаборатории железобетонных конструкций и конструктивных систем НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: lab01@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-75-17

Anastasiya S. Zharkikh, Engineer of the Laboratory of Reinforced Concrete Structures and Structural Systems, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: lab01@mail.ru

tel.: +7 (499) 174-75-17

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

УДК 624.075.23

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-150-160](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-150-160)

EDN: IMCDFS

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С КОМПОЗИТНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ АРМАТУРОЙ

Т.А. МУХАМЕДИЕВ, д-р техн. наук

С.А. МАЙОРОВ✉

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

Аннотация

Введение. Экспериментами установлено, что при определенном конструировании прочность внецентренно сжатых элементов возрастает за счет работы композитной полимерной арматуры, расположенной в сжатой зоне сечения. Однако зависимости для расчета прочности внецентренно сжатых элементов, представленные в действующем своде правил по проектированию бетонных конструкций с композитной полимерной арматурой, не позволяют выполнить учет ее работы на сжатие, а потому требуют уточнения.

Цель исследования – разработка методики расчета прочности армированных композитной полимерной арматурой внецентренно сжатых бетонных элементов с учетом ее работы в сжатой зоне сечения.

Материалы и методы. Методика расчета прочности внецентренно сжатых элементов с учетом работы арматуры в сжатой зоне сечения разработана с учетом положений действующих норм проектирования и проверена данными экспериментальных исследований, выполненных отечественными и зарубежными исследователями.

Результаты. Получены результаты проверки надежности методики расчета экспериментальными данными испытаний опытных образцов, армированных угле-, стекло- и базальтопластиковой стержневой арматурой с различными видами профиля. Установлено, что при расчете внецентренно сжатых элементов точность и надежность с использованием предложенных зависимостей для вычисления высоты сжатой зоны сечения элементов сопоставима с точностью расчета по зависимостям, принятым в действующем своде правил по проектированию бетонных конструкций с композитной полимерной арматурой.

Выводы. Предложенные зависимости для вычисления высоты сжатой зоны сечения обеспечивают достаточную точность расчетов прочности внецентренно сжатых бетонных элементов без учета сжатой арматуры и позволяют выполнять расчеты с учетом работы композитной полимерной арматуры на сжатие.

Ключевые слова: строительные конструкции, сжатые элементы, композитная полимерная арматура, прочность, методы расчета

Для цитирования: Мухамедиев Т.А., Майоров С.А. Расчет прочности внецентренно сжатых бетонных элементов с композитной полимерной арматурой. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;33(2):150–160. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-150-160](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-150-160)

Вклад авторов

Мухамедиев Т.А. – разработка метода расчета прочности армированных композитной полимерной арматурой внецентренно сжатых элементов с учетом работы арматуры в сжатой зоне сечения.

Майоров С.А. – разработка методики расчета прочности армированных композитной полимерной арматурой внецентренно сжатых элементов с учетом работы арматуры в сжатой зоне сечения и выполнение расчетов.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 23.04.2022

Поступила после рецензирования 05.05.2022

Принята к публикации 17.05.2022

STRENGTH CALCULATION OF ECCENTRICALLY COMPRESSED CONCRETE ELEMENTS WITH A COMPOSITE POLYMER REINFORCEMENT

T.A. MUKHAMEDIEV, Dr. Sci. [Engineering]

S.A. MAIOROV✉

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

Abstract

Introduction. According to experimental data, at a certain design, the strength of eccentrically compressed elements increases due to the work of a composite polymer reinforcement located in a compressed cross-sectional area. However, dependences for calculating the strength of eccentrically compressed elements, represented in acting regulations for the design of concrete structures with a composite polymer reinforcement, appear to be inapplicable for calculating the reinforcement compression stress and, therefore, require refinement.

Aim. To develop a methodology for calculating the strength of eccentrically compressed concrete elements with a composite polymer reinforcement, considering the work of the latter in a compressed cross-sectional area.

Materials and methods. Considering the work of a reinforcement in the compressed cross-sectional area, the methodology of calculating the strength of eccentrically compressed elements was developed taking into account the positions of current design standards and verified by the data of experimental studies performed by domestic and foreign researchers.

Results. The results of methodology reliability tests were obtained using the experimental data of test samples with a carbon, glass, and basalt-plastic reinforcement of various profile types. During the calculation of eccentrically compressed elements using the proposed dependencies for calculating the height of an element compressed cross-sectional area, the accuracy and reliability were established to be comparable with those calculated according to dependencies adopted in current regulations for the design of concrete structures with a composite polymer reinforcement.

Conclusions. The proposed dependencies for calculating the height of a compressed cross-sectional area provide the sufficient accuracy of strength calculations for eccentrically compressed concrete elements both with and without taking into account the compression work of a composite polymer reinforcement.

Keywords: building structures, compressed elements, composite polymer reinforcement, strength, calculation methodology

For citation: Mukhamediev T.A., Maiorov S.A. Strength calculation of eccentrically compressed concrete elements with a composite polymer reinforcement. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):150–160. (In Russ.) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-150-160](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-150-160)

Author contribution statements

Mukhamediev T.A. – development of the method for calculating the strength of non-centrally compressed elements with fiber reinforced polymer bars taking account into the operation of the reinforcement in the compressed zone of cross-section.

Maiorov S.A. – development of the methodology for calculating the strength of non-centrally compressed elements with fiber reinforced polymer bars taking account into the operation of the reinforcement in the compressed zone of cross section, performing calculations.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Received 23.04.2022

Revised 05.05.2022

Accepted 17.05.2022

Введение

В своде правил по проектированию бетонных конструкций с композитной полимерной арматурой (АКП) СП 295.1325800.2017 [1] расчет элементов по прочности рекомендовано выполнять методом предельных усилий или по деформационной модели. Физические соотношения для расчета таких элементов приняты на основе положений, установленных для расчета железобетонных конструкций, но с учетом особенностей свойств композитной арматуры. В связи с низким сопротивлением композитной полимерной арматуры осевому сжатию в своде правил [1] при расчете прочности элементов работа арматуры в сжатой зоне сечения не учитывается. Вместе с тем экспериментально установлено [4], что при определенном конструировании прочность внецентренно сжатых элементов возрастает за счет работы сжатой композитной арматуры, и в ряде случаев это целесообразно учитывать в расчетах. Однако принятая в [1] методика расчета внецентренно сжатых элементов не позволяет выполнить расчеты их прочности с учетом работы арматуры в сжатой зоне сечения. Для выполнения таких расчетов необходимо принять правила нормирования расчетного сопротивления арматуры осевому сжатию R_{fc} , а также установить зависимости для вычисления высоты сжатой зоны элемента с учетом работы сжатой арматуры.

Цель

Целью исследования, результаты которого приведены в статье, является разработка методики расчета прочности внецентренно сжатых бетонных элементов, армированных композитной полимерной арматурой, с учетом ее работы в сжатой зоне сечения.

Материалы и методы

Методику расчета прочности армированных композитной полимерной арматурой внецентренно сжатых элементов с учетом работы арматуры в сжатой зоне сечения разрабатывали на основе положений [1] и проверяли данными экспериментальных исследований, выполненных отечественными и зарубежными исследователями.

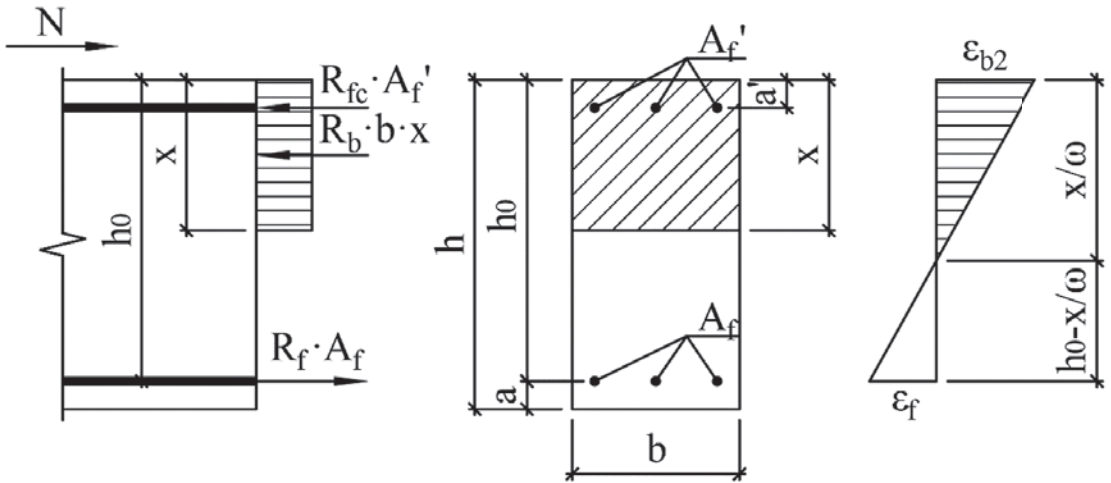


Рис. 1. Схема усилий и деформаций в нормальном сечении внецентренно сжатого элемента прямоугольного сечения при расчете его прочности

Fig. 1. Diagram of forces and deformations in the normal section of an eccentrically compressed element with a rectangular cross-section during strength calculations

При расчете методом предельных усилий условие прочности внецентренно сжатых элементов с учетом работы арматуры в сжатой зоне сечения будет иметь вид (рис. 1):

$$N \times e \leq R_b \times b \times x \times (h_0 - 0,5 \times x) + R_{fc} \times A'_f \times (h_0 - a') \quad (1)$$

Высоту сжатой зоны сечения внецентренно сжатых элементов определяют по формулам, устанавливаемым в зависимости от уровня напряжений в растянутой арматуре в предельном по прочности состоянии.

Если в предельном по прочности состоянии напряжения в растянутой арматуре σ_f достигают ее сопротивления осевому растяжению R_f , то высоту сжатой зоны x определяют из равенства внешних и внутренних продольных сил в сечении:

$$N = R_b \times A_b + R_{fc} \times A'_f - R_f \times A_f. \quad (2)$$

Композитная полимерная арматура имеет низкий модуль упругости и высокое сопротивление осевому растяжению, поэтому в предельном по прочности состоянии напряжения в композитной арматуре, как правило, не достигают своих предельных значений. Принятая в [1] для этого случая формула для вычисления высоты сжатой зоны сечения элемента не позволяет учитывать работу арматуры в сжатой зоне сечения и потому потребовала изменения.

Для этого были рассмотрены два варианта определения высоты сжатой зоны сечения при расчете прочности внецентренно сжатых элементов методом предельных усилий.

В первом варианте для определения высоты сжатой зоны сечения использована принятая для конструкций со стальной арматурой линейная зависимость напряжений σ_f от относительной высоты сжатой зоны сечения $\xi = x/h_0$ в пределах от ее граничного значения $\xi_R = x_R/h_0$ до 1: от R_f (при $\xi \leq \xi_R$) до минус R_{fc} (при $\xi = 1$) (рис. 2), учитывая при этом, что для композитной полимерной арматуры $R_f \neq R_{fc}$:

$$\sigma_f = R_f - \frac{\xi - \xi_R}{1 - \xi_R} \times (R_f + R_{fc}). \quad (3)$$

Из совместного решения уравнений (2) и (3) высота сжатой зоны сечения прямоугольной формы при $\xi > \xi_R$ составит:

$$x = \frac{N + A_f \times \frac{R_f + R_{fc} \times \xi_R}{1 - \xi_R} - R_{fc} \times A'_f}{R_b \times b + \frac{(R_f + R_{fc}) \times A_f}{h_0 \times (1 - \xi_R)}}. \quad (4)$$

При расчете элемента без учета сжатой арматуры в формуле (4) достаточно принять $A'_f = 0$ и $R_{fc} = 0$. Полученная зависимость будет отличаться от принятой в [1]:

$$x = \frac{N + \frac{R_f \times A_f}{1 - \xi_R}}{R_b \times b + \frac{R_f \times A_f}{h_0 \times (1 - \xi_R)}} \quad (5)$$

Во втором варианте для определения высоты сжатой зоны сечения внецентренно сжатых элементов с учетом сжатой арматуры также, как и в [3], использовали гипотезу линейного распределения относительных деформаций бетона и арматуры по высоте сечения элемента (рис. 1):

$$\frac{\varepsilon_{b2} + \varepsilon_f}{h_0} = \frac{\varepsilon_{b2} \times \omega}{x}. \quad (6)$$

В этом случае зависимость для вычисления высоты сжатой зоны сечения определили из совместного решения уравнений (2) и (6), принимая в уравнении (2) вместо параметра R_f напряжение в растянутой арматуре в предельном по прочности состоянии, равное $\sigma_f = \varepsilon_f \times E_f \times A_f$

$$x = \left(\sqrt{0,5 \times (\mu_f \times \alpha + \mu'_f \times \alpha_R - \alpha_N)} \right)^2 + \mu_f \times \alpha \times \omega - 0,5 \times (\mu_f \times \alpha + \mu'_f \times \alpha_R - \alpha_N) \times h_0 \quad (7)$$

где

$$\mu_f = \frac{A_f}{b \times h_0}; \mu'_f = \frac{A'_f}{b \times h_0}; \alpha = \frac{E_f}{E_{b2}}; E_{b2} = \frac{R_b}{\varepsilon_{b2}}; \alpha_R = \frac{R_{fc}}{R_b}; \alpha_N = \frac{N}{R_b \times b \times h_0}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0,0035; \omega = 0,8$$

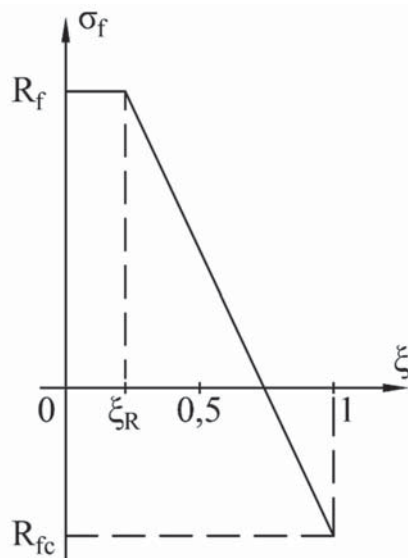


Рис. 2. Расчетная зависимость напряжений в арматуре от относительной высоты сжатой зоны сечения внецентренно сжатого элемента

Fig. 2. Calculated dependence of reinforcement stresses on the relative height of a compressed cross-sectional area in an eccentrically compressed element

Принимая в формуле (7) $\mu'_f = 0$, получим зависимость для расчета элемента без учета сжатой арматуры

$$x = \sqrt{[0,5 \times (\mu_f \times \alpha - \alpha_N)]^2 + \mu_f \times \alpha \times \omega - 0,5 \times (\mu_f \times \alpha - \alpha_N)} \times h_0 \quad (8)$$

Результаты

Сравнение высоты сжатой зоны сечения элемента, вычисленной по зависимостям (5) и (8), показало, что значения высоты сжатой зоны элемента, получаемые по формуле (8) и принятой в [1] формуле близки между собой, а формула (5) приводит к более высоким значениям. Например, для внецентренно сжатого с эксцентриситетом $e = h_0$ элемента прямоугольного сечения из бетона класса В25, армированного композитной арматурой с характеристиками $R_f = 600$ МПа и $E_f = 50000$ МПа, с увеличением коэффициента армирования $\mu_f = A_f / (b \times h_0)$ до 2,8 % расхождение достигает 46 % (рис. 3).

При этом расчетные значения несущей способности элемента, вычисленные с использованием зависимости (5), также более высокие. Так, для элемента с рассмотренными выше характеристиками бетона и арматуры с увеличением коэффициента армирования до 2,8 % значение прочности повышается до 21 % (рис. 4).

Влияние предложенных зависимостей для высоты сжатой зоны сечения на точность расчета несущей способности внецентренно сжатого элемента оценивали по результатам расчетов опытных образцов. Для этого были собраны и проанализированы результаты экспериментальных исследований опытных образцов, испытанных на внецентренное сжатие отечественными и зарубежными исследователями. Всего в обработку было включено

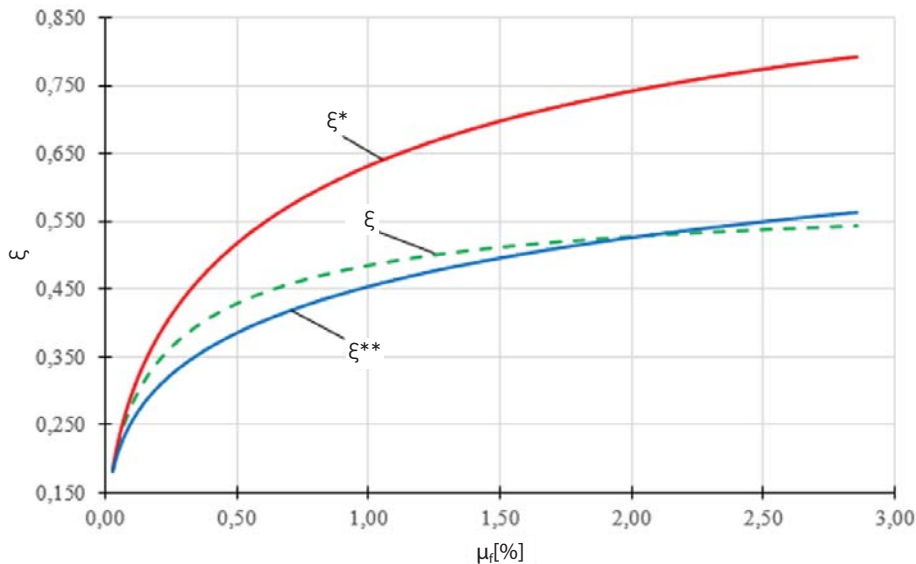


Рис. 3. Сравнение относительной высоты сжатой зоны в предельном по прочности состоянии элемента, вычисленной по зависимостям [1] – ξ , по формуле (5) – ξ^* и формуле (8) – ξ^{**}

Fig. 3. Comparison of the compressed area relative height in the ultimate strength state of an element calculated by the dependencies of [1] – ξ , according to formula (5) – ξ^* and formula (8) – ξ^{**}

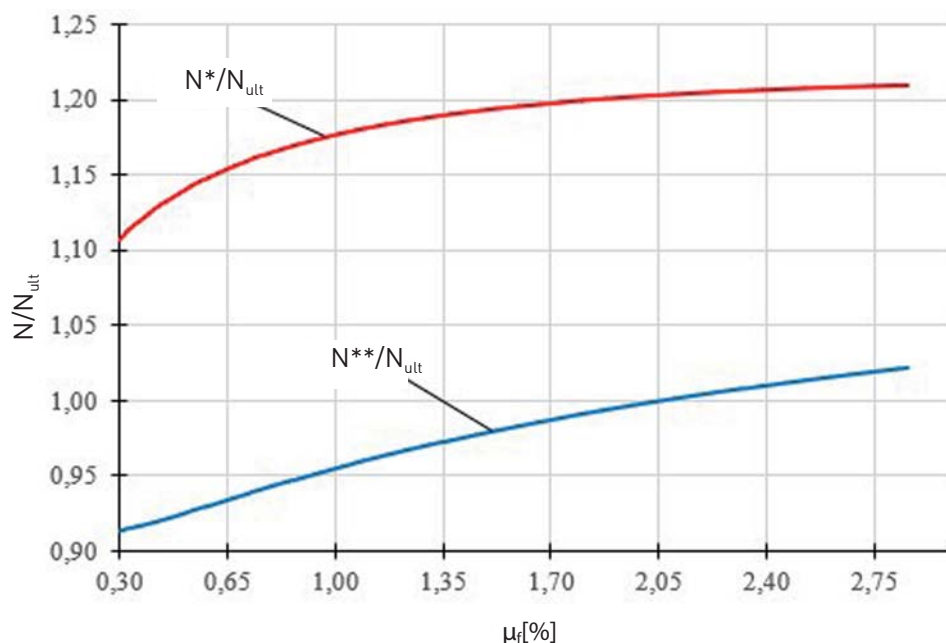


Рис. 4. Сравнение расчетной несущей способности внецентренно сжатых элементов, вычисленной методом предельных усилий с использованием зависимости (5) – N^* и (8) – N^{**} и зависимости, принятой в [1] – N_{ult}
Fig. 4. Comparison of the bearing capacity for eccentrically compressed elements calculated by the critical force method using dependences (5) – N^* and (8) – N^{**} , as well as the dependence adopted in [1] – N_{ult}

180 образцов с прямоугольной формой поперечного сечения, при разрушении которых соблюдалось условие $\xi > \xi_R$. Выборка включала опытные образцы, армированные угле-, стекло- и базальтопластиковой стержневой арматурой с различными видами профиля. Расчеты опытных образцов методом предельных усилий выполнили с определением высоты сжатой зоны сечения образцов в предельном по прочности состоянии по указаниям [1] и по формулам (5) и (8). Работу арматуры в сжатой зоне сечения в расчетах не учитывали. Сопоставление опытных значений несущей способности опытных образцов с расчетными, вычисленными по трем вариантам расчета, показаны на рис. 5.

Для общей выборки среднее значение отношения опытной и расчетной несущей способности составило:

- 1,030 при среднеквадратическом отклонении 0,207 – при расчете с использованием для вычисления высоты сжатой зоны сечения образцов принятой в [1] зависимости;
- 0,923 при среднеквадратическом отклонении 0,187 – при расчете с использованием зависимости (5) для вычисления высоты сжатой зоны сечения;
- 1,143 при среднеквадратическом отклонении 0,195 – при расчете с использованием зависимости (8) для вычисления высоты сжатой зоны сечения.

В целом результаты расчетов прочности опытных образцов, выполненных с использованием всех рассмотренных зависимостей для вычисления сжатой зоны сечения, близки к опытным значениям их несущей способности.

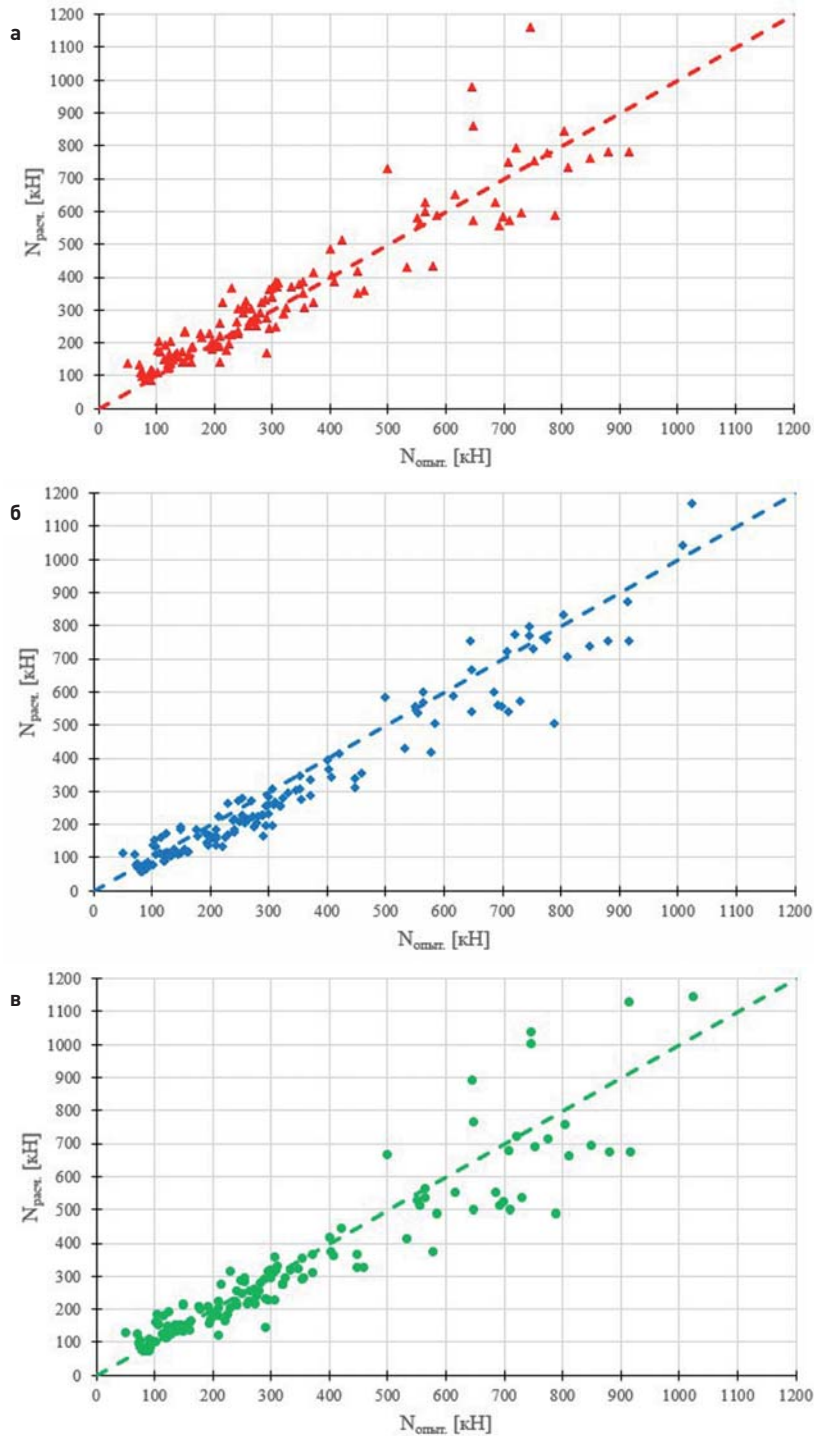


Рис. 5. Отношение опытной несущей способности образцов и расчетной, вычисленной методом предельных усилий с использованием зависимости [5] – а, [8] – б, и зависимости, принятой в [1] – в
Fig. 5. The ratio of the experimental sample bearing capacity and that calculated by the critical force method using dependences [5] – а and [8] – б, as well as the dependence adopted in [1] – в

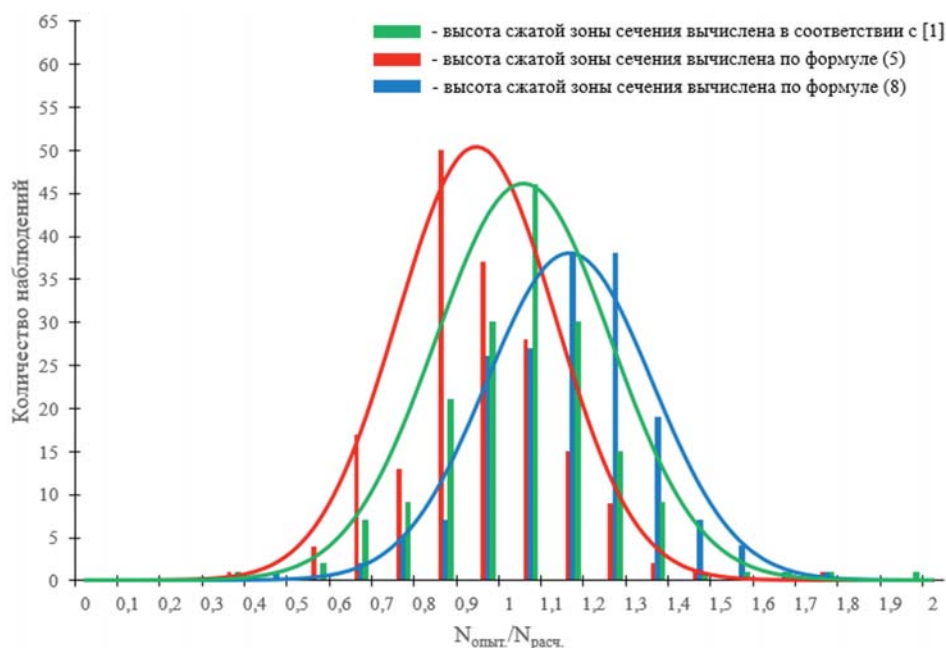


Рис. 6. Гистограммы распределений отношения опытной несущей способности образцов и ее расчетных значений, вычисленных с использованием формулы [5], формулы [8] и зависимостей, принятых в [1] для вычисления высоты сжатой зоны сечения

Fig. 6. Distribution histograms for the ratio of experimental bearing capacity and its values calculated using formula (5), formula (8), and dependences accepted in [1] for calculating the height of a compressed cross-sectional area

Выводы

Таким образом, использование предложенных зависимостей (5) и (8) для вычисления высоты сжатой зоны сечения с одной стороны обеспечивает высокую точность расчетов внецентренно сжатых бетонных элементов без учета сжатой арматуры, а с другой – позволяют выполнять расчеты прочности с учетом работы композитной полимерной арматурой на сжатие.

Список литературы

1. СП 295.1325800.2017 Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ; 2017.
2. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: Стандартинформ; 2019.
3. Мухамедиев Т.А., Кузеванов Д.В. К расчету по прочности изгибаемых конструкций из бетона с композитной арматурой. Строительная механика и расчет сооружений. 2016;(4):18–22.
4. Лапшинов А.Е., Тамразян А.Г. К влиянию поперечного армирования на прочность и деформативность сжатых бетонных элементов, армированных композитной полимерной арматурой. Строительство и реконструкция. 2018;(4):20–29.
5. Фридман Л.С. Прочность и трещиностойкость внецентренно сжатых бетонных элементов, предварительно напряженных стеклопластиковой арматурой: дис. ... канд. техн. наук. Минск; 1983.
6. Уманский А.М. Совершенствование методов расчета конструкций морских гидротехнических сооружений из композитобетона с использованием базальтопластиковой арматуры: дис. ... канд. техн. наук. Владивосток; 2017.

7. Невский А.В. Прочность сжатых углеорофобетонных элементов с углекомпозитным стержневым и внешним армированием при кратковременном динамическом нагружении: дис. ... канд. техн. наук. Томск; 2018.
8. Alwash N.A., Jasim A.H. Behavior of short concrete columns reinforced by CFRP bars and subjected to eccentric load. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2015;6(10);15–24.
9. Duy N.P., Anh V.N., Minh N., Anh T., Polikutin A.E. Load-carrying capacity of short concrete columns reinforced polymer bars under concentric axial load. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2018;9(2):1712–1719. <https://doi.org/10.35940/ijeat.b2372.129219>
10. Elchalakani M., Ma G. Tests of glass fibre reinforced polymer rectangular concrete columns subjected to concentric and eccentric axial loading. *Engineering Structures*. 2017;151:93–104. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.08.023>
11. Fan X., Zhang M.. Behavior of inorganic polymer concrete columns reinforced with basalt FRP bars under eccentric compression: An experimental study. *Composites Part B: Engineering*. 2016;104:44–56. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.08.020>
12. Guerin M., Mohamed H.M., Benmokrane B., Nanni A., Shield C.K. Eccentric behavior of full-scale reinforced concrete columns with glass fiber-reinforced polymer bars and ties. *ACI Structural Journal*. 2018;115(2):489–499. <https://doi.org/10.14359/51701107>
13. Guerin M., Mohamed H.M., Benmokrane B., Shield C.K., Nanni A. Effect of glass fiber-reinforced polymer reinforcement ratio on axial-flexural strength of reinforced concrete columns. *ACI Structural Journal*. 2018;115(4):1049–1061. <https://doi.org/10.14359/51701279>
14. Hadi M.N., Youssef J. Experimental investigation of GFRP-reinforced and GFRP-encased square concrete specimens under axial and eccentric load, and four-point bending test. *Journal of Composites for Construction*. 2016;20(5). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cc.1943-5614.0000675](https://doi.org/10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000675)
15. Khorramian K., Sadeghian P. Experimental and analytical behavior of short concrete columns reinforced with GFRP bars under eccentric loading. *Engineering Structures*. 2017;151:761–773. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.08.064>
16. Othman Z.S., Mohammad A.H. Behavior of eccentric concrete columns reinforced with carbon fibre-reinforced polymer bars. *Advances in Civil Engineering*. 2019;2019:1–13. <https://doi.org/10.1155/2019/1769212>
17. Salah-Eldin A., Mohamed H.M., Benmokrane B. Axial-Flexural performance of high-strength-concrete bridge compression members reinforced with basalt-FRP bars and ties: experimental and theoretical investigation. *Journal of Bridge Engineering*. 2019;24(7). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)be.1943-5592.0001448](https://doi.org/10.1061/(asce)be.1943-5592.0001448)
18. Xue W., Peng F., Fang Z. Behavior and design of slender rectangular concrete columns longitudinally reinforced with fiber-reinforced polymer bars. *ACI Structural Journal*. 2018;115(2):311–322. <https://doi.org/10.14359/51701131>

References

1. SP 295.1325800.2017 Concrete structures reinforced with polymer composite reinforcement. Design rules. Moscow: Standartinform; 2017 (in Russian).
2. SP 63.13330.2018 Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Moscow: Standartinform; 2019 (in Russian).
3. Mukhamediev T.A., Kuzevanov D.V. On the calculation of the strength of bent structures made of concrete with composite reinforcement. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii* = Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2016;4(4):18–22 (in Russian).
4. Lapshinov A.E., Tamrazyan A.G. On the effect of transverse reinforcement on the strength and deformability of compressed concrete elements reinforced with composite polymer reinforcement. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya* = Building and Reconstruction. 2018;4(4):20–29 (in Russian).
5. Friedman L.S. Strength and crack resistance of non-centrally compressed concrete elements prestressed with fiberglass reinforcement [dissertation]. Minsk; 1983 (in Russian).
6. Umansky A.M. Improvement of methods for calculating structures of marine hydro-technical structures made of composite concrete using basalt-plastic armature [dissertation]. Vladivostok; 2017 (in Russian).
7. Nevsky A.V. Strength of compressed carbon-fiber concrete elements with carbon composite core and external reinforcement under short-term dynamic loading [dissertation]. Tomsk; 2018 (in Russian).

8. Alwash N.A., Jasim A.H. Behavior of short concrete columns reinforced by CFRP bars and subjected to eccentric load. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2015;6(10);15–24.
9. Duy N.P., Anh V.N., Minh N., Anh T., Polikutin A.E. Load-carrying capacity of short concrete columns reinforced polymer bars under concentric axial load. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2018;9(2):1712–1719. <https://doi.org/10.35940/ijeat.b2372.129219>
10. Elchalakani M., Ma G. Tests of glass fibre reinforced polymer rectangular concrete columns subjected to concentric and eccentric axial loading. *Engineering Structures*. 2017;151:93–104. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.08.023>
11. Fan X., Zhang M.. Behavior of inorganic polymer concrete columns reinforced with basalt FRP bars under eccentric compression: An experimental study. *Composites Part B: Engineering*. 2016;104:44–56. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.08.020>
12. Guerin M., Mohamed H.M., Benmokrane B., Nanni A., Shield C.K. Eccentric behavior of full-scale reinforced concrete columns with glass fiber-reinforced polymer bars and ties. *ACI Structural Journal*. 2018;115(2):489–499. <https://doi.org/10.14359/51701107>
13. Guerin M., Mohamed H.M., Benmokrane B., Shield C.K., Nanni A. Effect of glass fiber-reinforced polymer reinforcement ratio on axial-flexural strength of reinforced concrete columns. *ACI Structural Journal*. 2018;115(4):1049–1061. <https://doi.org/10.14359/51701279>
14. Hadi M.N., Youssef J. Experimental investigation of GFRP-reinforced and GFRP-encased square concrete specimens under axial and eccentric load, and four-point bending test. *Journal of Composites for Construction*. 2016;20(5). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cc.1943-5614.0000675](https://doi.org/10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000675)
15. Khorramian K., Sadeghian P. Experimental and analytical behavior of short concrete columns reinforced with GFRP bars under eccentric loading. *Engineering Structures*. 2017;151:761–773. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.08.064>
16. Othman Z.S., Mohammad A.H. Behavior of eccentric concrete columns reinforced with carbon fibre-reinforced polymer bars. *Advances in Civil Engineering*. 2019;2019:1–13. <https://doi.org/10.1155/2019/1769212>
17. Salah-Eldin A., Mohamed H.M., Benmokrane B. Axial-Flexural performance of high-strength-concrete bridge compression members reinforced with basalt-FRP bars and ties: experimental and theoretical investigation. *Journal of Bridge Engineering*. 2019;24(7). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)be.1943-5592.0001448](https://doi.org/10.1061/(asce)be.1943-5592.0001448)
18. Xue W., Peng F., Fang Z. Behavior and design of slender rectangular concrete columns longitudinally reinforced with fiber-reinforced polymer bars. *ACI Structural Journal*. 2018;115(2):311–322. <https://doi.org/10.14359/51701131>

Информация об авторах / Information about the authors

Тахир Абдурахманович Мухамедиев, д-р техн. наук, главный научный сотрудник лаборатории теории железобетона и конструктивных систем НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: takhir50@rambler.ru
тел.: +7 (499) 171-75-17

Takhir A. Mukhamediyev, Dr. Sci. (Engineering), Chief Researcher, Laboratory of Theory of Reinforced Concrete and Structural Systems of the NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: takhir50@rambler.ru
tel.: +7 (499) 171-75-17

Станислав Александрович Майоров✉, ведущий инженер лаборатории теории железобетона и конструктивных систем НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: maiorov.st@gmail.com
тел.: +7 (499) 171-75-17

Stanislav A. Maiorov✉, Chief Engineer, Laboratory of Theory of Reinforced Concrete and Structural Systems of the NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: maiorov.st@gmail.com
tel.: +7 (499) 171-75-17

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

УДК 691.32

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-161-172](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-161-172)

EDN: ISBVYM

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

А.Е. НИКИТИН, канд. техн. наук

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

Аннотация

Введение. В настоящее время существуют различные подходы к стандартизации в строительстве, которые не всегда совпадают. Это мешает международному сотрудничеству и совместному планированию, проектированию и строительству объектов. Потребность в унификации строительных стандартов давно назрела.

Цель. Провести мониторинг международных стандартов, сравнить с российскими аналогами и разработать подход для их гармонизации.

Материалы и методы. В качестве материала были выбраны стандарты Международной организации по стандартизации (далее – ИСО), для дальнейшего анализа европейские и американские стандарты сравнивались с российскими аналогами. Проведен выборочный мониторинг, анализ и сопоставление стандартов ИСО и российской нормативно-технической базы для ее своевременного обновления и устранения возникающих дублирований и противоречий, повышения уровня гармонизации российских и международных норм и стандартов в области строительства зданий и сооружений ИСО/ТК 71 «Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон».

Результаты. Анализ 14 международных стандартов ИСО позволил разделить документы на три группы для дальнейшей работы, наметить шаги к возможной гармонизации их части с российскими национальными нормами и к разработке аналогичных национальных стандартов.

Выводы. По итогам мониторинга предложено разделить стандарты ИСО на три группы:

1. Менее значимые для национальной стандартизации ввиду полной, а иногда и более полной нормативной местной базы.
2. Стандарты ИСО, в которых параметры стандартизации отличаются от российских или предмет стандартизации отражен не в одном национальном стандарте, а в нескольких связанных. Такие стандарты нуждаются в гармонизации с международными.
3. Стандарты ИСО, для которых не существует национальных аналогов.

В связи с этим целесообразно гармонизировать российские стандарты, относящиеся ко второй группе, а для третьей группы, в случае отсутствия российских аналогов, разработать аналогичные адаптированные национальные стандарты.

Ключевые слова: стандартизация, бетон, железобетон, изготовление бетона, компоненты бетона, строительные конструкции, строительство, стандарты ИСО

Для цитирования: Никитин А.Е. Мониторинг международных стандартов в области деятельности ИСО/ТК 71 «Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон». *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;33(2):161–172. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-161-172](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-161-172)

Вклад автора

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

Финансирование

ФАУ «ФЦС» Минстроя России.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 19.04.2022

Поступила после рецензирования 29.04.2022

Принята к публикации 17.05.2022

MONITORING OF INTERNATIONAL STANDARDS IN SCOPE OF ISO/TC 71 “CONCRETE, REINFORCED CONCRETE, PRE-STRESSED CONCRETE”

A.E. NIKITIN, Cand. Sci. (Engineering)

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

Abstract

Introduction. At present, various approaches to standardization in construction are used that are often in poor agreement. This hinders international cooperation and collaborative planning, design, and construction of facilities. The harmonization of construction standards has been long overdue.

Aim. In this work, international standards were monitored and compared with Russian analogs in order to develop an approach to their harmonization.

Materials and methods. The European and American standards of the International Organization for Standardization (ISO) were selected for further comparison with the Russian analogs. A random monitoring, analysis, and comparison of ISO standards and Russian regulatory-technical base were carried out for its timely update, the elimination of emerging redundancies and contradictions, and the improvement of the harmonization of Russian and international standards in construction in the scope of ISO/TC 71 “Concrete, reinforced concrete, pre-stressed reinforced concrete.”

Results. The analysis of 14 international ISO standards allowed the documents to be classified into three groups for further work and steps toward their possible harmonization with the Russian national standards and toward the development of analogous national standards to be outlined.

Conclusions. Based on the monitoring results, it is recommended to classify ISO standards into three groups:

1. ISO standards of lesser relevance to national standardization due to a complete or, in some cases, more comprehensive regulatory base.
2. ISO standards where the standardization parameters differ from Russian standards or where the subject of standardization is reflected in several associated standards. Such standards should be harmonized with international standards.
3. ISO standards having no national analogs.

Therefore, it is recommended to harmonize the Russian standards related to the second group and, in the absence of Russian analogs, develop national standards equivalent to those of the third group.

Keywords: standardization, concrete, reinforced concrete, production of concrete, constituents of concrete, buildings, construction, ISO standards

For citation: Nikitin A.E. Monitoring of international standards in the scope of ISO/TC 71 "Concrete, reinforced concrete, pre-stressed concrete". *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):161–172. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-161-172](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-161-172)

Author contribution statement

The author takes responsibility for all aspects of the work on the article.

Funding

The research was supported by FAO FCS Mistroi of the Russian Federation

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 19.04.2022

Revised 29.04.2022

Accepted 17.05.2022

Национальная система стандартов в области бетонов в последнее десятилетие в большей мере была ориентирована на гармонизацию с европейскими стандартами, представляющими региональный уровень стандартизации. С учетом глобального развития и прогнозируемого роста производства цемента и бетона представляется необходимым систематический подход к гармонизации отечественной нормативной базы и международных стандартов ИСО в области технического регулирования производства бетона и железобетона. Принятие единых подходов к базовым испытаниям и нормированию требований к продукции при производстве бетона и железобетона будет способствовать устранению торговых барьеров. В то же время существует развитая отечественная система стандартов, относящаяся к тому же предмету стандартизации, что и международные стандарты ИСО/ТК 71 «Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон», поэтому их сравнение определяет актуальность данного мониторинга.

В 2021 г. специалистами НИИЖБ имени А.А. Гвоздева выполнена работа по реализации комплекса мероприятий по развитию нормативной технической и научной базы в области строительства. В ходе этой работы проведен мониторинг нормативной базы в части производства бетона, железобетона, бетонных и железобетонных конструкций, предусмотрена подготовка предложений и требований к содержанию нормативных технических документов в области деятельности соответствующих технических комитетов, разработаны предложения по гармонизации отечественных и международных документов технического нормирования с учетом лучших мировых практик по долгосрочному перспективному плану разработки нормативных документов.

Для проведения мониторинга были проанализированы основные стандарты, разрабатываемые ИСО/ТК 71 «Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон» в 2020–2021 гг. Предварительный анализ показал, что существует необходимость методического анализа всей нормативной базы ИСО в этой области, поскольку имеет место определенное несоответствие между нормативными документами отечественной и международной нормативной базы. Международные стандарты для анализа отбирались на портале ИСО только на последних стадиях рассмотрения – DIS «проект международного стандарта» и FDIS «окончательный проект международного стандарта» – или пересмотра

(обновления) уже существующего стандарта ИСО. В настоящее время количество выбранных стандартов, требующих детального мониторинга и анализа для возможной актуализации, около тридцати. Группой экспертов ТК 71 было выбрано 14 стандартов, наиболее часто используемых при строительстве. Количество выбранных стандартов определялось трудоемкостью аналитического процесса и возможностью более качественной проработки.

По результатам анализа стандартов в области деятельности комитета ИСО ТК 71 были выделены стандарты для мониторинга. Их перечень приведен в табл. 1.

После предварительного анализа отобранных стандартов ИСО выяснилось, что их условно можно разделить на 3 группы:

1. Стандарты ИСО, которые менее значимы для национальной стандартизации, ввиду полной, а иногда и более полной нормативной местной базы.
2. Стандарты ИСО, в которых параметры стандартизации отличаются от российских или предмет стандартизации отражен не в одном национальном стандарте, а в нескольких связанных. Такие стандарты нуждаются в гармонизации с международными.
3. Стандарты ИСО, для которых не существует национальных аналогов.

Рассмотрим более подробно типичного представителя первой группы – стандарт ISO 22904 «Additions for concrete» / «Добавки для бетона».

Этот стандарт ИСО описывает и регламентирует такие минеральные добавки в бетон, как микрокремнезем, зола уноса и молотый гранулированный доменный шлак. В стандарте подробно рассмотрены характеристики материалов, а именно:

Микрокремнезем:

- содержание диоксида кремния SiO_2 , определяемое методом ISO 29581-1 [1] или ISO 29581-2 [2];
- потери при прокаливании, определенные в соответствии с ISO 29581-1 [1] или ISO 29581-2 [2];
- удельная поверхность, определенная в соответствии с ISO 9277 [3];
- индекс активности и др.

Зола уноса:

- потери при прокаливании должны определяться в соответствии с ISO 29581-1 [1] или ISO 29581-2 [2];
- содержание несгоревшего углерода определяется в соответствии с ISO 10694 [4];
- общее содержание щелочей должно определяться в соответствии с ISO 29581-1 [1] или ISO 29581-2 [2];
- тонкость помола летучей золы – в соответствии с EN 933-10 [5];
- индекс активности и др.

Молотый гранулированный доменный шлак:

- химический состав;
- химические свойства измельченного гранулированного доменного шлака;
- физические требования;
- удельная поверхность, определенная в соответствии с методом ЕН и др.

Похожего российского аналога, объединяющего все эти минеральные добавки, нет, но существуют более полные национальные стандарты, которые отдельно рассматривают

Таблица 1

Перечень стандартов ИСО, выбранных для мониторинга на 2021 г.

Table 1

ISO standards selected for monitoring as for 2021

Технический комитет	Наименование документа	Стандарт
ISO/TC 71/SC 3	Additions for concrete Добавки для бетона	ISO/FDIS 22904
ISO/TC 71/SC 6	Test methods for discrete polymer fibre for fibre-reinforced cementitious composites Методы испытаний дискретных полимерных волокон для армированных волокнами цементных составов	ISO/DIS 23523
ISO/TC 71/SC 1	Testing of concrete – Part 12: Determination of the carbonation resistance of concrete – Accelerated carbonation method Испытание бетона – Часть 12: Определение сопротивления карбонизации бетона – ускоренный метод карбонизации	ISO 1920-12
ISO/TC 71/SC 3	Concrete – Part 1: Methods of specifying and guidance for the specifier Бетон – Часть 1: Методы описания характеристик и руководство для разработчика	ISO/SR 22965-1
ISO/TC 71/SC 3	Concrete – Part 2: Specification of constituent materials, production of concrete and compliance of concrete Бетон – Часть 2: Спецификация составных материалов, производство бетона и соответствие бетона требованиям	ISO/SR 22965-2
ISO/TC 71/SC 3	Execution of concrete structures Исполнение железобетонных конструкций	ISO 22966
ISO/TC 71/SC 6	Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement for concrete structures – Specifications of FRP sheets Армирование из волокнистого полимера (FRP) для бетонных конструкций – Технические характеристики листов FRP	ISO/SR 18319
ISO/TC 71/SC 7	Test methods for repair materials for water-leakage cracks in underground concrete structures – Part 1: Test method for thermal stability Методы испытаний ремонтных материалов на трещины утечки воды в подземных бетонных конструкциях – Часть 1: Метод испытаний на термостойкость	ISO 16774-1
ISO/TC 71/SC 7	Test methods for repair materials for water-leakage cracks in underground concrete structures – Part 5: Test method for watertightness Методы испытаний ремонтных материалов на трещины утечки воды в подземных бетонных конструкциях – Часть 5: Метод испытаний на герметичность	ISO/SR 16774-5
ISO/TC 71/SC 6	Test methods for repair materials for water-leakage cracks in underground concrete structures – Part 6: Test method for response to the substrate movement Методы испытаний ремонтных материалов на трещины утечки воды в подземных бетонных конструкциях – Часть 6: Метод испытаний на перемещение подложки	ISO/SR 16774-6
ISO/TC 71/SC 6	Quality control for batching & mixing steel fibre-reinforced concretes Контроль качества для дозирования и смешивания стальных фиброармированных бетонов	ISO / DIS 22873
ISO/TC 71/SC 6	Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete – Test methods – Part 1: FRP bars and grids Армирование бетона волокнистым полимером (FRP) – Методы испытаний – Часть 1: Прутки и решетки FRP	ISO 10406-1
ISO/TC 71/SC 6	Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete – Test methods – Part 2: FRP sheets Армирование бетона волокнистым полимером (FRP) – Методы испытаний – Часть 2: Листы FRP	ISO 10406-2

все его составляющие: микрокремнезем, золу уноса и молотый гранулированный доменный шлак. Это такие стандарты, как:

– ГОСТ Р 58894-2020 «Микрокремнезем конденсированный для бетонов и строительных растворов» [6]. Стандарт распространяется на активную минеральную добавку техногенного происхождения, обладающую высокой пуццолановой активностью, – конденсированный микрокремнезем, предназначенный для направленного регулирования свойств бетонных, растворных и сухих строительных смесей, бетонов и строительных растворов, изготавливаемых с применением вяжущих на основе портландцементного клинкера. Стандарт устанавливает классификацию микрокремнезема в зависимости от его отпускной формы, химического состава и уровня эффективности в цементных системах; нормативные значения показателей качества микрокремнезема, методы их контроля и оценки соответствия полученных значений показателей качества требованиям настоящего стандарта, безопасности и охраны окружающей среды при его производстве и применении, правила приемки, транспортирования и хранения; указания по применению микрокремнезема; сроки гарантийных обязательств производителей микрокремнезема.

– ГОСТ Р 56178-2014 «Модификаторы органоминеральные типа МБ для бетонов, строительных растворов и сухих смесей» [7]. Стандарт распространяется на органоминеральные полифункциональные добавки модификаторы на основе микрокремнезема типа МБ, предназначенные для направленного регулирования свойств бетонных, растворных и сухих смесей, бетонов и строительных растворов, изготавливаемых с применением вяжущих на основе портландцементного клинкера. Модификаторы на основе микрокремнезема применяют для получения высокопрочных, непроницаемых, коррозионно-стойких, напрягающих, расширяющихся, с частично компенсированной усадкой бетонов и растворов, применяемых в промышленном, гражданском, транспортном и других видах строительства, включая системы питьевого водоснабжения; бетонных смесей улучшенных технологических свойств, в том числе высокоподвижных и самоуплотняющихся, обладающих высокой степенью сохраняемости, удобоукладываемости и сегрегационной устойчивости (водоотделения, расслаиваемости). Стандарт устанавливает классификацию модификаторов в зависимости от их основных потребительских свойств, вещественного состава и уровня эффективности в цементных системах; требования к нормативным значениям показателей качества модификаторов и компонентов, применяемых для их изготовления, к методам их контроля, к оценке соответствия полученных значений показателей качества требованиям настоящего стандарта, а также к безопасности и охране окружающей среды при производстве и применении, к правилам приемки, транспортирования и хранения; указания по применению модификаторов; сроки гарантийных обязательств производителей модификаторов.

– ГОСТ 25818-2017 «Золы уноса тепловых электростанций для бетонов» [8]. Стандарт распространяется на золы уноса сухого отбора, образующиеся на тепловых электростанциях в результате сжигания углей или смесей углей в пылевидном состоянии и применяемые в качестве компонента для изготовления тяжелых, легких, ячеистых бетонов и строительных растворов, сухих строительных смесей, а также в качестве тонкомолотой добавки для жаростойких бетонов и минеральных вяжущих для приготовления смесей и укрепленных грунтов в дорожном строительстве. Золу применяют как минеральную добавку или наполнитель при изготовлении тяжелых, легких, ячеистых бетонов, сухих строительных смесей

и строительных растворов, а также в составе минеральных вяжущих для приготовления смесей и укрепленных грунтов в дорожном строительстве.

– ГОСТ 24211-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов» [9]. Стандарт распространяется на неорганические и органические вещества естественного и искусственного происхождения, применяемые в качестве модификаторов свойств бетонных и растворных смесей, бетонов и строительных растворов, изготавливаемых на вяжущих на основе портландцементного клинкера. Стандарт устанавливает классификацию и критерии технологической и технической эффективности действия добавок в смесях, бетонах и растворах. В зависимости от области применения к добавкам могут предъявляться дополнительные требования, устанавливаемые в нормативных или технических документах на добавки конкретного вида.

– ГОСТ Р 56593-2015 «Добавки минеральные для бетонов и строительных растворов» [10]. Стандарт распространяется на минеральные добавки (по ГОСТ Р 56592) и устанавливает методы их испытаний.

– ГОСТ Р 57018-2016 «Руководство по диагностике зол уноса, полученных в процессе сжигания углей» [11]. В стандарте приведены рекомендации для определения свойств зол уноса, полученных при сжигании бурых и каменных углей, антрацита, торфа, сланцев и других твердых горючих ископаемых, а также агломерированного топлива на их основе (далее – твердого минерального топлива); при сжигании твердого минерального топлива в присутствии щелочных веществ; при сжигании твердого минерального топлива в условиях, когда выделяющиеся газообразные продукты обрабатываются щелочными веществами в присутствии зол уноса. В стандарте для оценки свойств зол уноса приведены рекомендуемые и дополнительные методы испытаний. Показатели выходного и входного контроля зол уноса в зависимости от их потенциального конечного использования могут быть согласованы между производителем и потребителем.

Из примера, описанного выше, можно сделать вывод, что, несмотря на разницу в изложении и общей структуре стандартов, российская нормативная база не уступает, а иногда и более полно описывает и регламентирует оценку и испытания вышеописанных минеральных добавок. К этому же первому типу стандартов, из выбранных для мониторинга, можно отнести следующие стандарты:

– ИСО 22966 «Execution of concrete structures» / «Изготовление железобетонных конструкций». Положения этого стандарта полно описаны в национальных стандартах: СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции» [12], СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции» актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87 [13], ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия» [14], СП 130.13330.2018 «Производство сборных железобетонных конструкций и изделий» [15].

Стандарт ИСО 22965-1 «Concrete – Part 1: Methods of specifying and guidance for the specifier» / «Бетон. Часть 1. Методы описания бетона и руководство для разработчика». Данный стандарт описан в положениях национальных стандартов: СНиП 3.03.01-87 [12], СП 70.13330.2012 [13], СП 130.13330.2018 [15], ГОСТ 8269.0-97 [16].

Стандарт ИСО 22965-2 «Concrete – Part 2: Specification of constituent materials, production of concrete and compliance of concrete» / «Бетон – Часть 2: Спецификация составных материалов, производство бетона и его соответствие требованиям». Положения этого стандарта описаны в СНиП 3.03.01-87 [12], СП 70.13330.2012 [13], ГОСТ 26633-2015 [14].

Обобщив полученные данные, можно сделать вывод, что для первой группы стандартов ИСО национальные российские аналоги полно отражают все положения стандартов ИСО, при этом они имеют другую структуру. Таким образом, первая группа из рассмотренных стандартов ИСО является значимой для национальной стандартизации, но российские аналоги в полной мере регламентируют все положения стандартов ИСО и покрывают запросы пользователей. Необходимости дополнительной работы по гармонизации в настоящее время для этих стандартов нет.

Стандарты ИСО второй группы, в которых параметры стандартизации отличаются от российских или отражены не в одном, а распределены на несколько национальных стандартов и отражены не так полно или имеют отличную от ИСО систему стандартизации. Такие стандарты нуждаются в гармонизации с международными.

Например, стандарт ISO 1920-12 «Testing of concrete – Part 12: Determination of the carbonation resistance of concrete – Accelerated carbonation method» / «Испытание бетона – Часть 12: Определение сопротивления карбонизации бетона – ускоренный метод карбонизации». Сопоставив их с национальными стандартами ГОСТ Р 52804-2007 [17], ГОСТ 31383-2008 [18], СП 349.1325800.2017 [19] и обобщив полученные данные, можно сделать вывод, что национальный российский аналог регламентирует определение карбонизации бетона ускоренным методом. Российский стандарт по-другому структурирован и методика определения карбонизации отличается от ГОСТ 31383-2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии». Поэтому в развитие стандарта целесообразно выполнение НИР «Гармонизация российского стандарта ГОСТ 31383-2008 с ISO 1920-12 «Испытание бетона – Часть 12: определение сопротивления карбонизации бетона – Ускоренный метод карбонизации».

Аналогично можно сделать заключение для еще 3 из рассмотренных в данной выборке стандартов:

- Для стандарта ISO 18319 «Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement for concrete structures – Specifications of FRP sheets» / «Армирование из волокнистого полимера (FRP) для бетонных конструкций – технические характеристики листов FRP» по итогам мониторинга возможно провести работу по гармонизации раздела ГОСТ 32492-2015 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик» [20]. Возможно в этом документе предусмотреть раздел «Описание и методы испытаний армирующих пластиковых листов (FRP)».

- Для стандарта ISO 22873 «Quality control for batching & mixing steel fibre-reinforced concretes» / «Контроль качества для дозирования и смешивания стальных фиброармированных бетонов» для гармонизации целесообразно разработать раздел «Контроль качества для дозирования и смешивания стальных фиброармированных бетонов» в ГОСТ СП 360.1325800.2017 «Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования» [21].

- Для стандарта ISO 10406-1 «Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete – Test methods – Part 1: FRP bars and grids» / «Армирование бетона волокнистым полимером (FRP) – Методы испытаний – Часть 1: прутки и решетки FRP» необходимо провести работу по гармонизации ГОСТ 32492-2015 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций» [20], добавив раздел метода испытаний прутков FRP для армирования и включения раздела по испытанию решеток (сетки) из этого материала.

Обобщая итоги по мониторингу второй группы стандартов ИСО, можно сделать вывод, что гармонизация российских стандартов с международными стандартами ИСО возможна и необходима для унификации методов испытаний и более широкого их использования, в том числе и при международной кооперации.

После проведения анализа в данной выборке была определена третья группа стандартов ИСО, т.е. стандартов, не имеющих аналогов в России. К ним можно отнести следующие стандарты ИСО:

- ISO 16774-1 «Test methods for repair materials for water-leakage cracks in underground concrete structures – Part 1: Test method for thermal stability» / «Методы испытаний ремонтных материалов на трещины утечки воды в подземных бетонных конструкциях. – Часть 1: Метод испытаний на термостойкость»;
- ISO 16774-5 «Test methods for repair materials for water-leakage cracks in underground concrete structures – Part 5: Test method for watertightness» / «Методы испытаний ремонтных материалов на трещины утечки воды в подземных бетонных конструкциях – Часть 5: Метод испытаний на герметичность»;
- ISO 16774-6 «Test methods for repair materials for water-leakage cracks in underground concrete structures – Part 6: Test method for response to the substrate movement» / «Методы испытаний ремонтных материалов на трещины утечки воды в подземных бетонных конструкциях. – Часть 6: Метод испытаний на перемещение подложки».

Для данной группы стандартов рекомендовано разработать аналогичные адаптированные национальные стандарты, при этом необходимо отметить, что все перечисленные стандарты ИСО третьей группы имеют международные аналоги в Европе и похожие стандарты в Америке. Например, для стандарта ISO 16774-1 «Test methods for repair materials for water-leakage cracks in underground concrete structures – Part 1: Test method for thermal stability» / «Методы испытаний ремонтных материалов на трещины утечки воды в подземных бетонных конструкциях – Часть 1: Метод испытаний на термостойкость» найдены аналогичные:

- British Standards Institution, BSI BS EN 13687-5-2002 «Products and Systems for the Protection and Repair of Concrete Structures Test Methods Determination of Thermal Compatibility Part 5: Resistance to Temperature Shock»;
- DANSK – Dansk Standard, DS DS/EN 13687-5-2002 «Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Test methods – Determination of thermal compatibility – Part 5: Resistance to temperature shock»;
- Standard Norge, SN NS-EN 13687-5:2002 «Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Test methods – Determination of thermal compatibility – Part 5: Resistance to temperature shock»;
- Association Francaise de Normalisation, AFNOR NF EN 13687-5-2002 «Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Test methods – Determination of thermal compatibility – Part 5: resistance to temperature shock» / «Изделия и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Методы испытаний. Определение тепловой совместимости. Часть 5. Стойкость к температурному удару»;
- American Concrete Institute, ACI 437.1R-2007 «Load Tests of Concrete Structures: Methods, Magnitude, Protocols, and Acceptance Criteria». Отчет обеспечивает подробный анализ требований загрузки и критериев допустимости в ACI 318.

Аналогичные стандарты были найдены и для других стандартов ИСО из этой группы.

Заключение

В работе была проведена систематизация действующих стандартов ИСО, относящихся к области деятельности ИСО/ТК 71 «Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон». Были рассмотрены 14 стандартов ИСО/ТК 71 «Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон».

После предварительного анализа стандартов ИСО выяснилось, что их условно можно разделить на 3 группы:

1. Стандарты ИСО, которые менее значимы для национальной стандартизации ввиду полной, а иногда и более полной нормативной местной базы.
2. Стандарты ИСО, в которых параметры стандартизации отличаются от российских или предмет стандартизации отражен не в одном национальном стандарте, а в нескольких связанных. Такие стандарты нуждаются в гармонизации с международными.
3. Стандарты ИСО, для которых не существует национальных аналогов.

По итогам мониторинга предложено гармонизировать российские стандарты, относящиеся ко второй группе, а для третьей, в случае отсутствия российских аналогов, разработать аналогичные адаптированные национальные стандарты.

Список литературы

1. ISO 29581-1 Цемент. Методы испытаний. Часть 1. Анализ с применением влажной химии. International Organization for Standardization; 2009.
2. ISO 29581-2 Цемент. Методы испытаний. Часть 2. Химический анализ с помощью рентгеновской флуоресценции. International Organization for Standardization; 2010.
3. ISO 9277-2010 Определение удельной поверхности твердых частиц методом газовой адсорбции. Метод BET. International Organization for Standardization; 2010.
4. ISO 10694:1995 Качество почвы. Определение содержания органического и общего углерода после сухого сгорания (элементарный анализ). International Organization for Standardization; 1995.
5. EN 933-10:2009 Испытания геометрических свойств агрегатов. Часть 10: Начисление штрафов. Сортировка заполнителей (воздушно-струйное просеивание). MSZT – Magyar Szabványügyi Testület; 2009.
6. ГОСТ Р 58894-2020 Микрокремнезем конденсированный для бетонов и строительных растворов. Москва: Стандартинформ; 2020.
7. ГОСТ Р 56178-2014 Модификаторы органоминеральные типа МБ для бетонов, строительных растворов и сухих смесей. Москва: Стандартинформ; 2015.
8. ГОСТ 25818-2017 Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Москва: Стандартинформ; 2017.
9. ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Москва: Стандартинформ; 2010.
10. ГОСТ Р 56593-2015 Добавки минеральные для бетонов и строительных растворов. Москва: Стандартинформ; 2019.
11. ГОСТ Р 57018-2016 Руководство по диагностике зол уноса, полученных в процессе сжигания углей. Москва: Стандартинформ; 2016.
12. СНиП 3.03.01-87 Несущие и ограждающие конструкции. Москва: ЦИТП Госстроя СССР; 1988.
13. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. Москва: Минрегион России; 2012.
14. ГОСТ 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2019.
15. СП 130.13330.2018 Производство сборных железобетонных конструкций и изделий. Москва: Стандартинформ; 2019.
16. ГОСТ 8269.0-97 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Москва: Стандартинформ; 2018.

17. ГОСТ Р 52804-2007 Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии методы испытаний. Москва: Стандартинформ; 2008.
18. ГОСТ 31383-2008 Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний. Москва: Стандартинформ; 2010.
19. СП 349.1325800.2017 Конструкции бетонные и железобетонные. Москва: Минстрой России; 2017.
20. ГОСТ 32492-2015 Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик. Москва: Стандартинформ; 2016.
21. СП 360.1325800.2017 Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ; 2018.
22. ISO 9286 Зерна абразивные и неочищенные. Химический анализ карбида кремния. International Organization for Standardization; 2021.
23. ISO 9597 Цемент. Методы испытаний. Определение времени схватывания и надежности. International Organization for Standardization; 2008.

References

1. ISO 29581-1 Cement. Test methods. Part 1. Analysis by wet chemistry. International Organization for Standardization; 2009.
2. ISO 29581-2 Cement. Test methods. Part 2. Chemical analysis using X-ray fluorescence. International Organization for Standardization; 2010.
3. ISO 9277 Determination of the specific surface area of solids by gas adsorption –BET method. International Organization for Standardization; 2010.
4. ISO 10694 Soil quality. Determination of organic and total carbon content after dry combustion (elementary analysis). International Organization for Standardization; 1995.
5. EN 933-10-2009 Tests for geometrical properties of aggregates – Part 10: Assessment of fines – Grading of filler aggregates (air jet sieving). MSZT – Magyar Szabványügyi Testület; 2009.
6. State Standard R 58894-2020 Condensed silica for concrete and mortar. Moscow: Standartinform Publ.; 2020 (in Russian).
7. State Standard R 56178-2014 Organomineral modifiers of MB type for concrete, mortars and dry mixes. Moscow: Standartinform Publ.; 2015 (in Russian).
8. State Standard 25818-2017 Fly ash of thermal power plants for concrete. Moscow: Standartinform Publ.; 2017 (in Russian).
9. State Standard 24211-2008 Additives for concrete and mortar. Moscow: Standartinform Publ.; 2010 (in Russian).
10. State Standard R 56593-2015 Mineral additives for concrete and mortar. Moscow: Standartinform Publ.; 2019 (in Russian).
11. State Standard R 57018-2016 Guidelines for the diagnosis of fly ash obtained during the burning of coals. Moscow: Standartinform Publ.; 2016 (in Russian).
12. SNiP 3.03.01-87 Load-bearing and enclosing structures. Moscow: TSITP Gosstroy of the USSR; 1988 (in Russian).
13. SP 70.13330.2012 Load-bearing and enclosing structures. Updated version of SNiP 3.03.01-87. Moscow: Ministry of Regional Development of Russia; 2012 (in Russian).
14. State Standard 26633-2015 Heavy and fine-grained concrete. Technical conditions. Moscow: Standartinform Publ.; 2019 (in Russian).
15. SP 130.13330.2018 Production of precast reinforced concrete structures and products. Moscow: Standartinform Publ.; 2019 (in Russian).
16. State Standard 8269.0-97 Crushed stone and gravel from dense rocks for construction work. Moscow: Standartinform Publ.; 2018 (in Russian).
17. State Standard R 52804-2007 Protection of concrete and reinforced concrete structures from corrosion test methods. Moscow: Standartinform Publ.; 2008 (in Russian).
18. State Standard 31383-2008 Protection of concrete and reinforced concrete structures from corrosion test methods. Moscow: Standartinform Publ.; 2010 (in Russian).

19. SP 349.1325800.2017 Concrete and reinforced concrete structures. Moscow: Минстрой России; 2017 (in Russian).
20. State Standard 32492-2015 Composite polymer reinforcement for reinforcement of concrete structures. Methods for determining physical and mechanical characteristics. Moscow: Standartinform Publ.; 2018 (in Russian).
21. SP 360.1325800.2017 Steel-reinforced concrete structures. Design rules. Moscow: Standartinform Publ.; 2018 (in Russian).
22. ISO 9286 Abrasive grains and crude - Chemical analysis of silicon carbide. International Organization for Standardization; 2021.
23. ISO 9597 Cement. Test methods. Determination of setting time and reliability. International Organization for Standardization; 2008.

Информация об авторе / Information about the author

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

Alexander E. Nikitin, Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher, Department of Corrosion of Concrete at the Laboratory of Corrosion and Service Life of Concrete and Reinforced Concrete Constructions, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: nae10@yandex.ru

УДК 691.328.4

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-173-182](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-173-182)

EDN: IZTUTQ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ СЖАТЫХ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ АРМАТУРОЙ

В.Ф. СТЕПАНОВА¹, д-р техн. наук
Т.А. МУХАМЕДИЕВ¹, д-р техн. наук
К.Л. КУДЯКОВ^{1,2,✉}, канд. техн. наук
А.В. БУЧКИН¹, канд. техн. наук
Е.Ю. ЮРИН¹

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

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

Аннотация

Введение. Многие железобетонные конструкции, подвергающиеся воздействиям различных агрессивных сред, работают в условиях внецентренного сжатия. Замена в таких конструкциях стальной арматуры на композитную полимерную (АКП) позволит значительно повысить их долговечность и снизить эксплуатационные издержки, однако ее применение сдерживается недостаточной изученностью вопросов, касающихся методов их проектирования. Большинство мировых нормативно-технических документов по проектированию бетонных конструкций, армированных АКП указывают о необходимости проведения детальных исследований напряженно-деформированного состояния подобных конструкций при сжатии.

Цель исследования являлось изучение влияния продольного и поперечного армирования на несущую способность сжатых бетонных образцов с продольным армированием стеклокомпозитными полимерными стержнями (АСК).

Материалы и методы. Исследования выполнены на бетонных образцах-призмах с различными параметрами продольного и поперечного армирования. Рассмотрены пять видов стеклокомпозитной арматуры, отличающихся физико-механическими характеристиками и параметрами анкеровочного слоя. Поперечное армирование образцов выполнено из металлических хомутов при их различном шаге. Испытания опытных образцов выполняли на центральное сжатие статической нагрузкой.

Результаты. Получены показатели прочности сжатых бетонных образцов, армированных стеклокомпозитной арматурой. Установлено увеличение до 19 % прочности армированных АСК сжатых бетонных элементов в сравнении с образцами без армирования.

Выводы. Прочность сжатых бетонных элементов при их армировании стеклокомпозитной арматурой повышается. Степень повышения прочности таких элементов зависит от количества продольной и шага поперечной арматуры. Влияние вида анкеровочного слоя АСК и значений ее сопротивления сжатию на прочность сжатых бетонных элементов в выполненных исследованиях не установлено.

Ключевые слова: арматура композитная полимерная, стеклокомпозит, прочность при сжатии, сжатые бетонные элементы

Для цитирования: Степанова В.Ф., Мухамедиев Т.А., Кудяков К.Л., Бучкин А.В., Юрин Е.Ю. Экспериментальные исследования прочности сжатых бетонных элементов, армированных композитной полимерной арматурой. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;33(2):173–182. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-173-182](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-173-182)

Вклад авторов

Степанова В.Ф. – общее руководство работой.

Мухамедиев Т.А. – разработка программы испытаний, анализ результатов испытаний.

Кудяков К.Л., Бучкин А.В. – разработка и реализация программы испытаний, обработка и анализ результатов.

Юрин Е.Ю. – реализация программы испытаний, обработка и анализ результатов.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках договорных работ между АО «НИЦ «Строительство» и ФАУ «ФЦС».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 25.04.2022

Поступила после рецензирования 18.05.2022

Принята к публикации 24.05.2022

EXPERIMENTAL STUDIES INTO THE STRENGTH OF COMPRESSED CONCRETE ELEMENTS REINFORCED WITH FIBER-REINFORCED POLYMER REBARS

V.F. STEPANOVA¹, Dr. Sci. (Engineering)

T.A. MUKHAMEDIEV¹, Dr. Sci. (Engineering)

K.L. KUDYAKOV^{1,2,✉}, Cand. Sci. (Engineering)

A.V. BUCHKIN¹, Cand. Sci. (Engineering)

E.Yu. YURIN¹

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

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

Abstract

Introduction. Reinforced concrete structures affected by various aggressive environments operate under off-center compression. Fiber-reinforced polymer (FRP) rebars replacing steel reinforcement in these structures are capable of increasing their durability and decreasing operating costs. However, the use of FRP rebars is limited by insufficient previous research into the methods of designing such constructions. The majority of international regulatory technical documents concerning the design of concrete structures reinforced with FRP rebars indicate the necessity of detailed studies into the stress-strain state of these structures under compression.

Aim. To study the effect of longitude and shear reinforcement on load-bearing characteristic of stressed concrete samples reinforced with longitudinal glass fiber-reinforced polymer (GFRP) rebars.

Materials and methods. The study was carried out using a concrete prism sample with different parameters of longitudinal and shear reinforcement. Five types of GFRP rebars differing in mechanical properties, as well as anchorage were considered. Shear reinforcement of the samples was performed with metal clamps at different pitches. The sample testing was fulfilled using centric compression with static load.

Results. The strength values of compressed concrete samples reinforced with GFRP rebars were obtained. An increase of up to 19 % in the strength of compressed concrete samples reinforced with GFRP rebars was found in comparison with non-reinforced samples.

Conclusions. The strength of compressed concrete elements increases when reinforced with glass fiber-reinforced polymer rebars. The degree of increase in the strength of such elements depends on the number of longitudinal reinforcements, as well as shear reinforcement pitch. The effect of the type of anchorage of GFRP rebars along with the values of its compression resistance on the strength of compressed concrete elements have not been established.

Keywords: fiber-reinforced polymer (FRP) rebar, fiber-glass composite, compression strength, compressed concrete elements

For citation: Stepanova V.F., Mukhamediev T.A., Kudiyakov K.L., Buchkin A.V., Yurin E.Yu. Experimental studies into the strength of compressed concrete elements reinforced with fiber-reinforced polymer rebars. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):173–182. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-173-182](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-173-182)

Author contribution statements

Stepanova V.F. – general supervision.

Mukhamediev T.A. – development of the test program, analysis of the results.

Kudiyakov K.L., Buchkin A.V. – development and implementation of the test program, processing and analysis of the results.

Yurin E.Yu. – implementation of the test program, processing and analysis of the results.

Funding

The study was carried out within the framework of contractual works of JSC Research Center of Construction and Federal Autonomous Institution "Federal Center for Regulation, Standardization and Technical Assessment in Construction" (FAU "FCC").

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 25.04.2022

Revised 18.05.2022

Accepted 24.05.2022

Введение

Многие внецентренно сжатые конструкции эксплуатируются в условиях воздействия различных агрессивных сред. Замена в таких конструкциях стальной арматуры на композитную полимерную (далее – АКП) позволит значительно повысить их долговечность и снизить эксплуатационные издержки.

Согласно указаниям отечественных и зарубежных нормативных документов по проектированию армированных АКП конструкций (за исключением [1]) расчеты по прочности выполняют без учета работы арматуры в сжатой зоне сечения. Это обусловлено недостаточной изученностью работы АКП в сжатой зоне сечения элемента.

Результаты исследований механических свойств АКП при осевом сжатии носят разноречивый характер, обусловленный несовершенствами методов испытаний, а также неоднородностью свойств АКП, зависящих от ее состава, характеристик сырьевых компонентов и технологии изготовления АКП. В связи с этим установленные испытаниями механические

характеристики АКП при сжатии [2–13] значительно различаются: прочность АКП при сжатии составляла от 20 до 95 % от прочности при растяжении, а модуль упругости при сжатии – от 30 до 80 % его значения при растяжении.

В [9, 10] установлена повышенная несущая способность армированных АКП сжатых бетонных образцов по сравнению с образцами без армирования. Отмечается влияние на несущую способность шага поперечных хомутов (стальных или из АКП).

В большинстве выполненных исследований сделан вывод о необходимости дальнейшего исследования влияния работы композитной арматуры в сжатой зоне сечения на прочность сжатых элементов.

Цель

Целью исследований являлось изучение влияния продольного и поперечного армирования на несущую способность сжатых бетонных образцов с продольными стеклокомпозитными полимерными стержнями (АСК).

Материалы и методы

Объектом исследований являлись бетонные образцы в виде призм с геометрическими размерами $150 \times 150 \times 600$ мм ($b \times h \times l$). Испытания проведены на 39 (13 серий по 3 образца) бетонных образцах с различными параметрами продольного и поперечного армирования (табл. 1). Принципиальные схемы армирования образцов приведены на рис. 1.

При изготовлении образцов в качестве продольной арматуры использованы пять видов АСК, соответствующей требованиям ГОСТ 31938 [14] (табл. 2), и поперечные гнутые хомуты, выполненные из стальной арматуры Ø 6 A240 по ГОСТ 5781-82. Механические характеристики бетона определялись по результатам испытаний контрольных образцов по ГОСТ 24452 [15].

Для использованных видов АСК определены номинальный диаметр и плотность по методам ГОСТ 31938 [14] (табл. 2), предел прочности $R_{f,n}$ и модуль упругости E_f при растяжении (по методам ГОСТ 32492 [16]); предел прочности R_{fc} и модуль упругости E_{fc} при сжатии (по ГОСТ 32492 [16] с учетом ГОСТ 4651) (табл. 3).

Испытания бетонных образцов с АСК выполнены на центральное сжатие с применением испытательной гидравлической машины Instron 1000HDX с поэтапным приложением статической нагрузки до разрушения образца.

Результаты

Для всех образцов выявлен схожий характер деформирования и разрушения: деформирование образцов происходило линейно до достижения уровня нагрузки $\approx 0,9$ от разрушающей (рис. 2, а), далее происходил резкий прирост деформаций с последующим хрупким разрушением образцов и «отстрелом» защитного слоя бетона по их периметру (рис. 2, б).

Разрушение опытных образцов сопровождалось потерей устойчивости АСК в результате ее «выпучивания» или ее срезом в местах примыкания к поперечным хомутам (рис. 3).

Таблица 1

Параметры опытных образцов

Table 1

Test sample parameters

№	Шифр серии образцов	Вид продольной арматуры (по табл. 2)	Количество, шт., и диаметр арматуры, мм	Коэффициент продольного армирования, %	Параметры бетона	Шаг поперечных хомутов Ø6 A240, мм
1	Б.0.0	–	–	–	Призменная прочность $R_{b,n} = 31,4$ МПа; модуль упругости $E_b = 34,6$ ГПа	–
2	П. 14.75	П 10	4Ø10	1,4		75
3	П. 28.75	П 10	8Ø10	2,8		
4	П. 55.75	П 14	8Ø14	5,5		
5	ПЭ.14.75	ПЭ 10	4Ø10	1,4		
6	ПЭ.28.75	ПЭ 10	8Ø10	2,8		
7	ПЭ.55.75	ПЭ 14	8Ø14	5,5		
8	ППЭ.14.75	ППЭ 10	4Ø10	1,4		150
9	ППЭ.28.75	ППЭ 10	8Ø10	2,8		
10	П. 14.150	П 10	4Ø10	1,4		
11	П. 55.150	П 14	8Ø14	5,5		
12	ПЭ.14.150	ПЭ 10	4Ø10	1,4		
13	ПЭ.55.150	ПЭ 14	8Ø14	5,5		

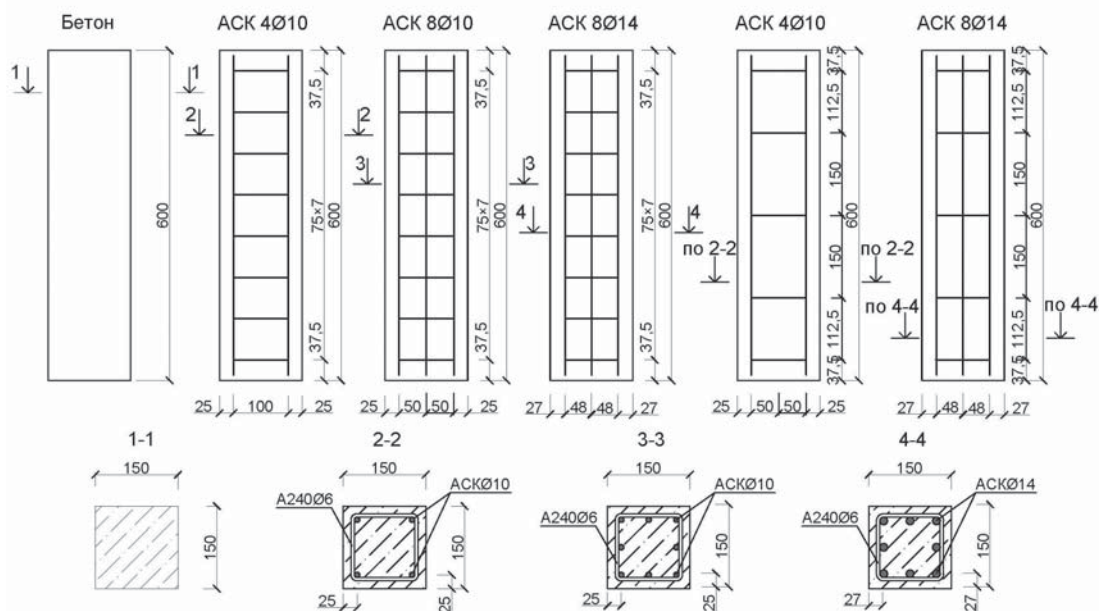


Рис. 1. Конструкция опытных образцов
Fig. 1. Design of test samples

Таблица 2

Сведения об использованных видах АСК

Table 2

Information on the tested GFRP rebars

Шифр АСК	Общий вид	Тип материала, вид анкерочного слоя	Номинальный диаметр, мм	Площадь поперечного сечения 1 стержня, мм ²	Плотность, г/см ³
П-10		Стеклокомпозит, периодический профиль	9,24	67,09	2,00
ПЭ-10		Стеклокомпозит, песчано-эпоксидное покрытие	10,09	79,92	2,09
ППЭ-10		Стеклокомпозит, песчано-эпоксидное покрытие с периодическим профилем	10,27	82,78	2,16
П-14		Стеклокомпозит, периодический профиль	14,46	164,2	2,14
ПЭ-14		Стеклокомпозит, песчано-эпоксидное покрытие	14,30	160,6	2,05

Таблица 3

Усредненные результаты испытаний видов АСК на растяжение и сжатие

Table 3

Average results of tensile and compression tests of the GFRP rebars

Шифр образцов АСК (по табл. 2)	Растяжение		Сжатие		Отношение показателей при сжатии и растяжении	
	ГОСТ 32492-2015		ГОСТ 32492-2015			
	$R_{t,n}$, МПа	E_r , ГПа	R_{ic} , МПа	E_{ic} , ГПа	$R_{ic}/R_{t,n}$	E_{ic}/E_r
П-10	1116	51,5	1044	35,1	0,94	0,68
ПЭ-10	1035	51,1	936,8	33,8	0,91	0,66
ППЭ-10	940	52,6	909,6	35,9	0,97	0,68
П-14	1064	51,9	1042,2	34,8	0,98	0,67
ПЭ-14	1073	52,2	947	34,3	0,88	0,66



Рис. 2. Общие виды испытаний опытного образца серии П. 55.75: *а* – образец при нагрузке, равной половине от разрушающей; *б* – разрушенный образец
Fig. 2. General tests of the P.55.75 test sample: *a* – sample with load equal to half of crushing load, *b* – crushed sample



Рис. 3. Типовая картина разрушения опытных образцов
Fig. 3. Typical view of test sample crushing

Таблица 4
Относительная прочность опытных образцов, армированных АСК

Table 4
Relative strength of test samples reinforced with the GFRP rebars

Шифр серии	Усредненная относительная прочность
Б.0.0	1,00
П. 14.75	1,05
П. 28.75	1,11
П. 55.75	1,19
ПЭ.14.75	1,06
ПЭ.28.75	1,08
ПЭ.55.75	1,18
ППЭ.14.75	1,04
ППЭ.28.75	1,09
П. 14.150	1,02
П. 55.150	1,04
ПЭ.14.150	1,03
ПЭ.55.150	1,07

В таблице 4 приведены усредненные по сериям опытные значения прочности образцов с различными параметрами армирования АСК, отнесенные к среднему значению прочности образцов Б.0.0 без армирования (778 кН).

Полученные опытные данные указывают на прирост прочности бетонных образцов при сжатии с увеличением продольного армирования АСК. Наибольший прирост прочности зафиксирован для образцов с учащенным шагом (75 мм) поперечной арматуры. Их разрушение сопровождалось срезом продольной АСК. При разрушении образцов с шагом поперечной арматуры 150 мм наблюдалась потеря устойчивости арматуры на участке между хомутами.

Зависимость прочности сжатых бетонных элементов от вида анкеровочного слоя рассматриваемой АСК и значений ее сопротивления сжатию в рамках настоящих исследований не обнаружена.

Выводы

Прочность сжатых бетонных элементов при их армировании стеклокомпозитной арматурой повышается. Степень повышения прочности таких элементов зависит от количества продольной арматуры и шага поперечной арматуры. Для испытанных опытных образцов повышение прочности достигало 19 %.

Влияние вида анкеровочного слоя АСК и значений ее сопротивления сжатию на прочность сжатых бетонных элементов в выполненных исследованиях не установлено.

Список литературы

1. Минрегион Украины. ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012. Руководство по проектированию и изготовлению бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой на основе базальтового и стеклянного ровингов. Украина, Киев: Укрархбудінформ; 2011.
2. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю., Жирков Е.П. Арматура композитная полимерная. Москва: АСВ; 2013.
3. ACI 440.1R-06. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. USA: American Concrete Institute; 2006.
4. ACI 440.1R-15. Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP Bars. USA: American Concrete Institute; 2015.
5. Лапшинов А.Е. Исследование работы СПА и БПА на сжатие. Вестник МГСУ. 2014;{1}:52–57.
6. Лапшинов А.Е. Перспективы применения неметаллической композитной арматуры в качестве рабочей ненапрягаемой в сжатых элементах. Вестник МГСУ. 2015;{10}:96–105.

7. Невский А.В. Прочность сжатых углеродофибробетонных элементов с углекомпозитным стержневым и внешним армированием при кратковременном динамическом нагружении [диссертация]. Томск; 2018.
8. Блазнов А.Н., Савин В.Ф., Волков Ю.П., Тихонов В.Б. Исследование прочности и устойчивости однонаправленных стеклопластиковых стержней при осевом сжатии. Механика композиционных материалов и конструкций. 2007;13(3):426–440.
9. Bondarenko Y., Spirande K., Iakymenko M., Mol'skii M., Oreshkin D. Study of the stress-strain state of compressed concrete elements with composite reinforcement. MATEC Web of Conferences. 2017;116: 02008. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711602008>
10. Оreshkin Д.А., Бондаренко Ю.В., Спиранде К.В., Мольский М.М. Экспериментальные исследования прочности и деформативности стеклопластиковой арматуры при сжатии и сжатых стеклопластбетонных элементов. Науковий вісник будівництва. 2016;(2):250–258.
11. Плевков В.С., Балдин И.В., Кудяков К.Л., Невский А.В. Прочность и деформативность арматуры композитной полимерной при статическом и кратковременном динамическом растяжении и сжатии. Вестник ТГАСУ. 2016;(5):91–101.
12. Плевков В.С., Тамразян А.Г., Кудяков К.Л. Прочность и трещиностойкость изгибаемых фибробетонных элементов с преднапряженной стеклокомпозитной арматурой при статическом и кратковременном динамическом нагружении. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та; 2021.
13. Лапшинов А.Е., Мадатян С.А. Колонны, армированные стеклопластиковой и базальтопластиковой арматурой. В: Бетон и железобетон — взгляд в будущее: сб. тр. II Междунар., III Всеросс. конф. по бетону и железобетону; г. Москва, 12—16 мая 2014 г. Т. III. Москва; 2014. с. 67–77.
14. ГОСТ 31938–2012. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ; 2014.
15. ГОСТ 24452–80. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона. Москва: Стандартинформ; 2005.
16. ГОСТ 32492–2015. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик. – Москва: Стандартинформ; 2016.

References

1. Ministry of Regional Development of Ukraine. DSTU-N. B. V.2.6-185:2012. Guidelines for the design and manufacture of concrete structures with non-metallic composite reinforcement based on basalt and glass roving. Kiev: Ukrarhbudinform Publ.; 2011 (in Russian).
2. Stepanova V.F., Stepanov A.Yu., Zhirkov E.P. Composite polymer reinforcement. Moscow: ASV Publ.; 2013 (in Russian).
3. ACI 440.1R-06. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. USA: American Concrete Institute; 2006.
4. ACI 440.1R-15. Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP Bars. USA: American Concrete Institute; 2015.
5. Lapshinov A.E. Investigation of the work of SPA and BPA on compression. Vestnik MGSU. 2014;(1):52–57 (in Russian).
6. Lapshinov A.E. Prospects for the use of non-metallic composite reinforcement as a working non-stressed in compressed elements. Vestnik MGSU. 2015;(10):96–105 (in Russian).
7. Nevsky A.V. Strength of compressed carbon fiber concrete elements with carbon composite core and external reinforcement under short-term dynamic loading [dissertation]. Tomsk; 2018 (in Russian).
8. Blaznov A.N., Savin V.F., Volkov Yu.P., Tikhonov V.B. Investigation of strength and stability of unidirectional fiberglass rods under axial compression. Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruksii = Mechanics of composite materials and structures. 2007;13(3):426–440 (in Russian).
9. Bondarenko Y., Spirande K., Iakymenko M., Mol'skii M., Oreshkin D. Study of the stress-strain state of compressed concrete elements with composite reinforcement. MATEC Web of Conferences. 2017;116: 02008. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711602008>
10. Oreshkin D.A., Bondarenko Yu.V., Spirande K.V., Mol'skii M.M. Experimental studies of the strength and deformability of fiberglass reinforcement under compression and compressed fiberglass concrete elements. Naukovii visnik budivnitstva = Scientific Bulletin of Civil Engineering. 2016;(2):250–258 (in Russian).

11. Plevkov V.S., Baldin I.V., Kudyakov K.L., Nevsky A.V. Strength and Deformability of Polymer Composites Under Tensile and Compressive Loads. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Journal of Construction and Architecture. 2016;(5):91–101 (in Russian).
12. Plevkov V.S., Tamrazyan A.G., Kudyakov K.L. Strength and crack resistance of bent fiber-concrete elements with prestressed glass composite reinforcement under static and short-term dynamic loading: monograph. Tomsk : Publishing House of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering; 2021 (in Russian).
13. Lapshinov A.E., Madatyan S.A. Columns reinforced with fiberglass and basalt—plastic reinforcement. In: Concrete and reinforced concrete – a look into the future: sat. tr. II International, III All-Russian Conference on Concrete and reinforced concrete; Moscow, May 12–16, 2014. Vol. III. Moscow; 2014. p. 67–77 (in Russian).
14. State Standard 31938-2012. Composite polymer reinforcement for reinforcement of concrete structures. General technical conditions. Moscow: Standartinform Publ.; 2014 (in Russian).
15. State Standard 24452-80. Concrete. Methods for determining the prismatic strength, modulus of elasticity and Poisson's ratio. Moscow: Standartinform Publ.; 2005 (in Russian).
16. State Standard 32492-2015. Composite polymer reinforcement for reinforcement of concrete structures. Methods for determining physical and mechanical characteristics. Moscow: Standartinform Publ.; 2016 (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Валентина Федоровна Степанова, д-р техн. наук, профессор, заведующая лабораторией коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
Valentina F. Stepanova, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Laboratory of Corrosion and Durability of Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete Structures (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Тахир Абдурахманович Мухамедиев, д-р техн. наук, главный научный сотрудник лаборатории теории железобетона и конструктивных систем НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
Takhir A. Mukhamediev, Dr. Sci. (Engineering), Chief Researcher of the Laboratory of Theory of Reinforced Concrete and Structural Systems of NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Константин Львович Кудяков[✉], канд. техн. наук, зав. сектором лаборатории коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций НИУ МГСУ, Москва
e-mail: konst_k@mail.ru

Konstantin L. Kudyakov[✉], Cand. Sci. (Engineering), Head of the Sector of the Laboratory of Corrosion and Durability of Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete Structures (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, associate professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow
e-mail: konst_k@mail.ru

Андрей Викторович Бучкин, канд. техн. наук, зам. зав. лабораторией коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
Andrey V. Buchkin, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Head of the Laboratory of Corrosion and Durability of Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete Structures (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Евгений Юрьевич Юрин, аспирант, старший научный сотрудник лаборатории коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
Evgeny Yu. Yurin, Postgraduate student, Senior Researcher of the Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

УДК 691.32:620.193.21

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-183-193](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-183-193)

EDN: JNGUDK

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ/МОРОЗОСОЛЕСТОЙКОСТИ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА КЛАССА В60–В100

В.Ф. СТЕПАНОВА, д-р техн. наук

Г.В. ЧЕХНИЙ[✉], канд. техн. наук

И.М. ПАРШИНА

С.А. ОРЕХОВ

А.И. КРУГЛОВ

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

Аннотация

Введение. Освоение нефтяных и газовых месторождений в северной части Атлантического океана и обустройство Арктики приводит к увеличению объемов производства конструкций из высокопрочных бетонов, а придание таким бетонам с низкой проницаемостью повышенной морозостойкости становится все более актуальной задачей.

Цель. Провести экспериментальные исследования для получения достоверных данных с целью разработки стандартизированного подхода к нормированию показателей морозостойкости и морозосолеустойкости высокопрочных бетонов.

Материалы и методы. Работа выполнена на восьми составах бетона класса по прочности на сжатие В60–В100. Морозостойкость/морозосолеустойкость высокопрочных бетонов определена третьим ускоренным методом при насыщении, замораживании и оттаивании образцов в растворе 5 % хлорида натрия с оценкой морозостойкости по прочности, изменению массы и динамического модуля упругости. Проверены различные способы увеличения водонасыщения высокопрочного бетона с целью ускорения сроков испытаний высокопрочных бетонов на морозостойкость.

Результаты. Исследования морозостойкости/морозосолеустойкости высокопрочных бетонов классов по прочности В60–В100 показали их высокую морозостойкость. Через 37 циклов замораживания-оттаивания нижняя граница доверительного интервала прочности основных образцов выше значения нижней границы доверительного интервала прочности контрольных образцов, умноженного на коэффициент 0,9. Бетоны характеризуются маркой по морозостойкости более F₂300. Критического снижения динамического модуля упругости не отмечено, что свидетельствует о наличии значительного запаса морозостойкости/морозосолеустойкости высокопрочного бетона во всех исследованных составах.

Выводы. На основании выполненных сотрудниками НИИЖБ им. А.А. Гвоздева исследований морозостойкости высокопрочных бетонов получены экспериментальные данные для формирования в дальнейшем стандартизированного подхода к нормированию показателей морозостойкости/морозосолеустойкости высокопрочных бетонов.

Ключевые слова: высокопрочный бетон, морозостойкость, морозосолеустойкость, критерий оценки морозостойкости, замораживание-оттаивание

Для цитирования: Степанова В.Ф., Чехний Г.В., Паршина И.М., Орехов С.А., Круглов А.И. Исследование морозостойкости/морозосолеустойкости высокопрочного бетона класса В60–В100. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;33(2):183–193. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-183-193](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-183-193)

Вклад авторов

Степанова В.Ф. – общее руководство.

Чехний Г.В. – научное руководство.

Паршина И.М., Орехов С.А., Круглов А.И. – выполнение экспериментальных исследований.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 18.04.2022

Поступила после рецензирования 13.05.2022

Принята к публикации 17.05.2022

STUDY INTO THE FREEZE-THAW/FROST-SALT RESISTANCE OF HIGH-STRENGTH B60-B100 CONCRETE

V.F. STEPANOVA, Dr. Sci. (Engineering)

G.V. CHEHNIY✉, Cand. Sci. (Engineering)

I.M. PARSHINA

S.A. OREKHOV

A.I. KRUGLOV

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

Abstract

Introduction. The development of the Arctic Region and oil and gas fields in the North Atlantic Ocean leads to an increase in the production of high-strength concrete structures. Thus, it is becoming increasingly vital to make such low-permeability concretes more freeze-thaw resistant.

Aim. To conduct experimental studies for obtaining reliable data required to develop a standardized approach to the normalization of freeze-thaw / frost-salt resistance parameters characterizing high-strength concretes.

Materials and methods. The study was performed using concretes of eight compositions (B60–B100 compressive strength grades). The freeze-thaw/frost-salt resistance of high-strength concretes was determined using the third rapid method involving the saturation, freezing, and thawing of samples in a 5 % sodium chloride solution, as well as assessment of freeze-thaw resistance in terms of strength, mass variation, and the dynamic modulus of elasticity. A variety of methods for increasing the water saturation of high-strength concrete were examined in order to expedite the testing process of high-strength concrete for freeze-thaw resistance.

Results. The studies into the freeze-thaw/frost-salt resistance of high-strength B60-B100 concretes revealed their high freeze-thaw resistance. Following 37 freeze-thaw cycles, the lower confidence limit for the strength of test samples was higher than that of control samples multiplied by a coefficient of 0.9. The frost-resistance grade of these concretes is above F_{2300} . No critical decrease in the dynamic modulus of elasticity is observed, which indicates a significant freeze-thaw/frost-salt resistance of all tested high-strength concrete compositions.

Conclusions. The freeze-thaw resistance studies of high-strength concretes carried out at NIIZHB named after A.A. Gvozdev yielded experimental data required to subsequently develop a standardized approach to the normalization of freeze-thaw/frost-salt resistance parameters characterizing high-strength concretes.

Keywords: high-strength concrete, freeze-thaw resistance, frost-salt resistance, freeze-thaw resistance evaluation criterion, freeze-thaw

For citation: Stepanova V.F., Chehniy G.V., Parshina I.M., Orekhov S.A., Kruglov A.I. Study into the freeze-thaw/frost-salt resistance of high-strength B60–B100 concrete. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):183–193. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-183-193](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-183-193)

Author contribution statements

Stepanova V.F. – general supervision.

Chehniy G.V. – scientific guidance.

Parshina I.M., Orekhov S.A., Kruglov A.I. – experimental studies.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 18.04.2022

Revised 13.05.2022

Accepted 17.05.2022

Введение

В связи с увеличением объема применения цементных бетонов в железобетонных конструкциях зданий и сооружениях различного назначения, использованием химических и минеральных добавок в технологии производства бетонных работ возникают проблемы в получении бетонов требуемой долговечности. Из всех вопросов, связанных с обеспечением долговечности бетонных и железобетонных конструкций на территории России, большая часть которой расположена в суровых климатических условиях, особое внимание уделяют изучению и обеспечению морозостойкости/морозосолеустойкости бетона, эксплуатируемого как на воздухе, так и в контакте с различными агрессивными жидкостями.

В последние годы в мировой практике строительства все чаще применяют высокопрочные и сверхвысокопрочные (прочность на сжатие 60–80–100 МПа) бетоны низкой проницаемости на основе органоминеральных модификаторов. В связи с открытием и освоением громадных нефтяных и газовых месторождений в северной части Атлантического океана, обустройством Арктики перспектива значительного увеличения объемов производства конструкций из таких бетонов становится реальной, а задача придать высокопрочным бетонам с низкой проницаемостью также повышенную морозосолеустойкость становится все более актуальной.

Цель

Работа, в которой проведены экспериментальные и теоретические исследования, выполнена с целью получения достоверных данных для разработки стандартизированного подхода к нормированию показателей морозостойкости и морозосолеустойкости высокопрочных бетонов.

Материалы и методы

Исследований по морозостойкости/морозосолеустойкости высокопрочных бетонов крайне мало. Выполненный обзор технической литературы показал, что принцип испытания высокопрочных или высокофункциональных бетонов на морозостойкость в зарубежных стандартах аналогичен отечественным. Различия, в основном, имеются в продолжительности замораживания-оттаивания и оценке результатов испытаний. При этом прослеживается тенденция в различии специфики методик различных стран в зависимости от их климатических условий. Однако на сегодня в нормативной отечественной и зарубежной базе стандартный метод оценки морозостойкости высокопрочных бетонов отсутствует. В каждой стране метод испытания привязан к климатическим условиям, свойствам материалов и применяемым технологиям получения морозостойких бетонов. В России испытание высокопрочного бетона на морозостойкость выполняют при низких отрицательных температурах – до минус 50 °С по ГОСТ 10060-2012 [1], учитывая, таким образом, расширение бетона при замерзании воды в микропорах.

При этом отмечается, что морозостойкость высокопрочных бетонов в значительной степени зависит от характеристик пористости и степени насыщения бетона, количества замерзающей воды, фактора расстояния, скорости замораживания и др. Высокопрочные бетоны могут иметь высокую морозостойкость вследствие отсутствия насыщения водой до критического значения, при котором расширение замерзающей воды способно вызвать повреждение бетона. Однако реальная долговечность высокопрочного бетона в конструкции при морозном воздействии может быть как ниже, так и выше уровня, который определяется маркой бетона по морозостойкости.

На протяжении длительного времени делали попытки приблизить испытания к условиям эксплуатации. Помимо этого, необходимо было максимально ускорить испытания, сделать их методом оперативного контроля морозостойкости бетона, что позволило бы быстро корректировать состав бетона и технологию в процессе изготовления конструкций и в условиях строительства.

Существует объективное противоречие между требованием ускорения испытаний и необходимостью учитывать медленно развивающиеся процессы деструкции бетона. Ускорение испытаний достигают выполнением их в более жестких условиях при низкой температуре, высокой степени насыщения бетона водой или раствором соли. Ужесточая условия испытаний, необходимо устанавливать, в какой степени ускоряется процесс разрушения бетона, т. е. вводить переходные коэффициенты. При этом необходим эталонный метод испытаний в постоянно заданных условиях, относительно которого оценивают результаты ускоренных испытаний.

Ряд авторов предпринимал попытки максимально ускорить оценку морозостойкости бетона по показателям, получаемым без замораживания бетона. Практически все они имеют определенные недостатки.

Наиболее надежным остается метод многократного замораживания и оттаивания. При этом для определения морозостойкости высокопрочных бетонов требуется метод, в котором предусматривается доведение образцов в испытании до критических значений. В противном случае истинная морозостойкость высокопрочного бетона останется неизвестной.

Результаты

В лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций совместно с лабораторией химических добавок и модифицированных бетонов НИИЖБ им. А.А. Гвоздева выполнена научно-исследовательская работа по исследованию морозостойкости/морозосолеустойкости высокопрочного бетона [2]. Согласно Программе экспериментальных исследований были изготовлены образцы восьми составов высокопрочного бетона с органоминеральным модификатором, различающиеся прочностью (класс прочности В60, В80, В100) и структурой (марка по удобоукладываемости П2, П3 и П4 с воздухововлекающей добавкой и без нее). В основу выбора составов бетона положены полученные ранее результаты исследований морозостойкости тяжелых бетонов.

Как было отмечено, при испытании на морозостойкость бетонов высокой прочности и низкой проницаемости такие бетоны не насыщаются водой/растворами за стандартный срок насыщения (4 сут согласно ГОСТ 10060-2012), что приводит к увеличению сроков испытания образцов и, как следствие, завышению марки бетона по морозостойкости/морозосолеустойкости. При этом на степень морозного повреждения существенное влияние оказывает скорость замораживания бетона [3].

Результаты исследований морозостойкости/морозосолеустойкости высокопрочных бетонов показали, что бетоны с низким водоцементным отношением имеют структурные характеристики, отличающиеся от характеристик обычных бетонов [4, 5]. Вследствие снижения объема капиллярных пор и увеличения гелевой пористости эти бетоны, как правило, обладают высокой стойкостью к воздействию отрицательных температур и минерализованных вод. При этом отмечалось, что высокопрочные бетоны могут быть как высокоморозостойкими, так и с невысокой морозостойкостью [6–8]. Нужно учитывать, что поверхностные слои бетона легче насыщаются водой, чем находящиеся на большей глубине.

На первом этапе исследований уточняли возможность ускорения насыщения образцов высокопрочного бетона с целью сокращения времени испытания и повышения надежности определения марки по морозостойкости/морозосолеустойкости.

Для проведения эксперимента были выбраны образцы бетона класса В80 без воздухововлекающей добавки. Ускорение насыщения высокопрочного бетона водой достигали высушиванием образцов при различной температуре (60 и 100 °С) и с вакуумированием при давлении 0,1 МПа.

Сводные результаты определения влияния высушивания и вакуумирования на степень насыщения образцов высокопрочного бетона представлены в таблице.

Масса образцов высокопрочного бетона после насыщения согласно требованиям ГОСТ 10060 увеличилась на 0,09 %. Масса образцов после вакуумирования и насыщения по ГОСТ 10060 увеличилась на 0,42 %. Предварительное длительное насыщение образцов в условиях капиллярного всасывания привело к увеличению массы образцов на 0,27 % от исходной. Полученные результаты свидетельствуют о незначительной степени насыщения образцов высокопрочного бетона.

Высушивание образцов при температуре 60 °С, также высушивание при температуре 60 °С и последующее вакуумирование незначительно сказалось на степени насыщения бетона водой. Потеря массы образцов в процессе высушивания при температуре 60 °С составила 0,54 %.

Таблица

Сводная таблица по результатам определений массы образцов высокопрочного бетона в процессе высушивания, вакуумирования и насыщения

Table

Results of determining the mass of high-strength concrete samples during drying, vacuum treatment, and saturation (tabulated summary)

Сроки контрольных взвешиваний образцов	Прирост массы, %
После насыщения образцов водой в течение 4 сут согласно ГОСТ 10060	0,09
После насыщения образцов в условиях капиллярного всасывания воды в течение 14 сут и последующей выдержки в условиях полного погружения в течение 4 сут	0,27
После высушивания при температуре 60 °С и насыщения в течение 4 сут по ГОСТ 10060	0,64
После высушивания при температуре 60 °С, вакуумирования и насыщения в течение 4 сут по ГОСТ 10060	0,85
После высушивания при температуре 100 °С и насыщения в течение 4 сут по ГОСТ 10060	3,21
После высушивания при температуре 100 °С, вакуумирования и насыщения в течение 4 сут по ГОСТ 10060	4,19
После вакуумирования и насыщения по ГОСТ 10060	0,42

Почти столько образцы поглотили воды в процессе насыщения. Прирост массы после насыщения равен 0,64 %. Вакуумирование способствовало незначительному увеличению массы водонасыщенных образцов до 0,85 %. Учитывая длительность и трудоемкость определений и небольшую степень насыщения, считаем нецелесообразным использовать указанный прием для насыщения высокопрочного бетона.

Наибольшие показатели водонасыщения бетона (4,19 %) получены после высушивания образцов при температуре 100 °С и последующего вакуумирования. При этом потеря массы при высушивании образцов составила 2,83 %.

По мнению авторов [4, 9], введение в состав цементного камня микрокремнезема приводит к снижению капиллярной и увеличению гелевой пористости. Можно полагать, что при температуре высушивания 100 °С, с одной стороны, происходит дегидратация этрингита с потерей значительного количества кристаллизационной воды, а с другой – удаление воды из гелевых пор диаметром $1 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-3}$ мкм с деформацией структуры цементного камня, что может негативным образом отразиться в дальнейшем при испытании бетона на морозостойкость/морозосолеустойкость. Кроме этого, перемещение воды в бетоне в зависимости от ее состава может вызывать углубление структурных недостатков и приводить к потере бетоном основных технических свойств.

В.В. Стольников [10] проводил сравнительные опыты, в которых одну серию образцов подвергали непрерывным циклам замораживания-оттаивания, а вторую – предварительно высушивали при температуре 105–110 °С. Образцы первой серии выдержали 125 циклов, образцы второй – практически полностью разрушились к 50 циклу. Автор объясняет снижение стойкости образцов, подвергающихся высушиванию при $t \geq 100$ °С, возникновением в бетоне микроскопических трещин вследствие усадочных напряжений в цементном камне.

Анализ полученных данных, с учетом результатов ранее выполненных исследований, позволил сделать следующие выводы:

- насыщение высокопрочного бетона водой происходит весьма медленно;
- способы увеличить водонасыщение высокопрочного бетона – длительная выдержка образцов в условиях капиллярного всасывания воды, их вакуумирование, высушивание при температурах 60 и 100 °С, в том числе и с последующим вакуумированием при давлении 0,1 МПа, – не показали удовлетворительных результатов. Опробованные способы трудоемки, требуют дополнительного оборудования, существенно увеличивают период испытания на морозостойкость/морозосолеустойкость и в дальнейшем могут привести к занижению истинной морозостойкости вследствие нарушения структуры цементного камня высокопрочного бетона.

На следующем этапе исследования были уточнены элементы режима испытаний высокопрочного бетона на морозостойкость по скорости понижения температуры при замораживании, продолжительности периода замораживания, времени оттаивания образцов различного размера.

Согласно ранее выполненным учеными НИИЖБ работам по морозостойкости режим понижения температуры при замораживании принимали в зависимости от времени установления температуры минус 50 °С в растворе вблизи образца, находящегося в кассете, установленной в центре морозильной камеры.

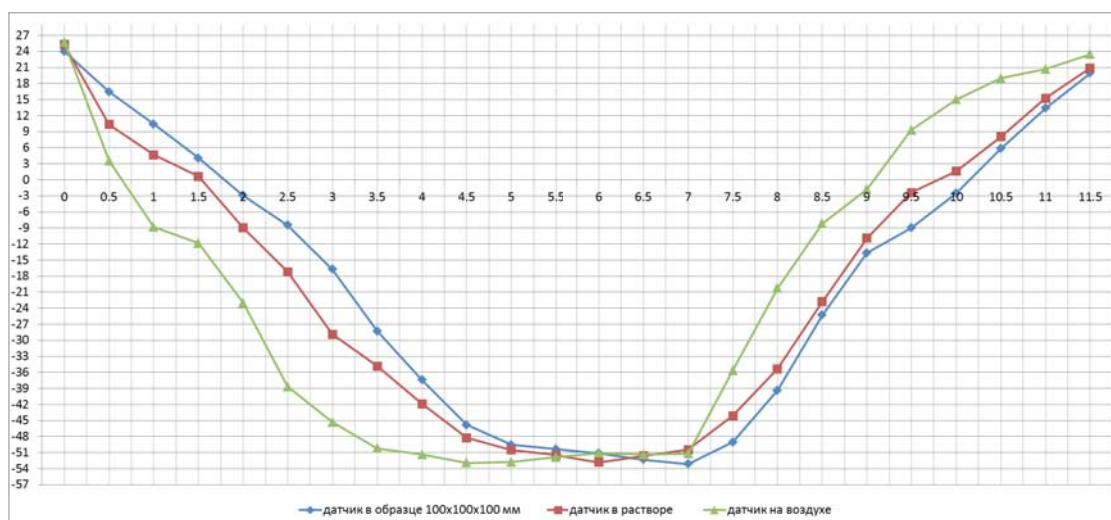


Рис. 1. Режим замораживания-оттаивания образцов размерами 100 × 100 × 100 мм

- понижение температуры от плюс 20 до минус 10 °С – 2,0 ч;
- понижение температуры от минус 10 до минус 50 °С – 2,5 ч;
- выдержка при температуре минус 50 °С – 2,0 ч;
- повышение температуры от минус 50 до минус 10 °С – 2,0 ч;
- повышение температуры от минус 10 до плюс 20 °С – 2,5 ч

Fig. 1. Freeze-thaw conditions for samples measuring 100 × 100 × 100 mm

- temperature decrease from +20 °С to –10 °С (2.0 hours);
- temperature decrease from –10 °С to –50 °С (2.5 hours);
- exposure to a temperature of –50 °С (2.0 hours);
- temperature increase from –50 °С to –10 °С (2.0 hours);
- temperature increase from –10 °С to +20 °С (2.5 hours)

Для уточнения режимов испытания высокопрочного бетона на морозостойкость/морозосолеустойкость использовали измеритель температуры многоканальный «Термоизмеритель ТМ-12.2» с 12 термометрами сопротивления.

Испытание проводили на бетонных образцах размерами $100 \times 100 \times 100$ и $100 \times 100 \times 400$ мм при полной загрузке камеры. Результаты термометрических определений приведены на рис. 1 и 2.

Анализ полученных данных показал, что режим понижения температуры замораживания-оттаивания, указанный в Изменении № 1 к ГОСТ 10060, можно распространить и на высокопрочные бетоны. Бетонные образцы высокопрочного бетона размерами $100 \times 100 \times 400$ мм промерзают и оттаивают дольше, чем образцы размерами $100 \times 100 \times 100$ мм. Поэтому при испытании в одной камере образцов высокопрочных бетонов режим замораживания-оттаивания следует устанавливать по образцам наибольшего размера в зависимости от показаний датчиков, расположенных в растворе 5 % хлорида натрия вблизи образца в центре камеры.

Исследования морозостойкости/морозосолеустойкости высокопрочных бетонов классов по прочности В60–В100 по ГОСТ 10060 показали их высокую морозостойкость. Морозостойкость высокопрочного бетона определяли по оценке прочности и динамического модуля упругости резонансным методом. Через 37 ЦЗО соотношение $X_{min}^{II} \geq 0,9X_{min}^I$ сохранено

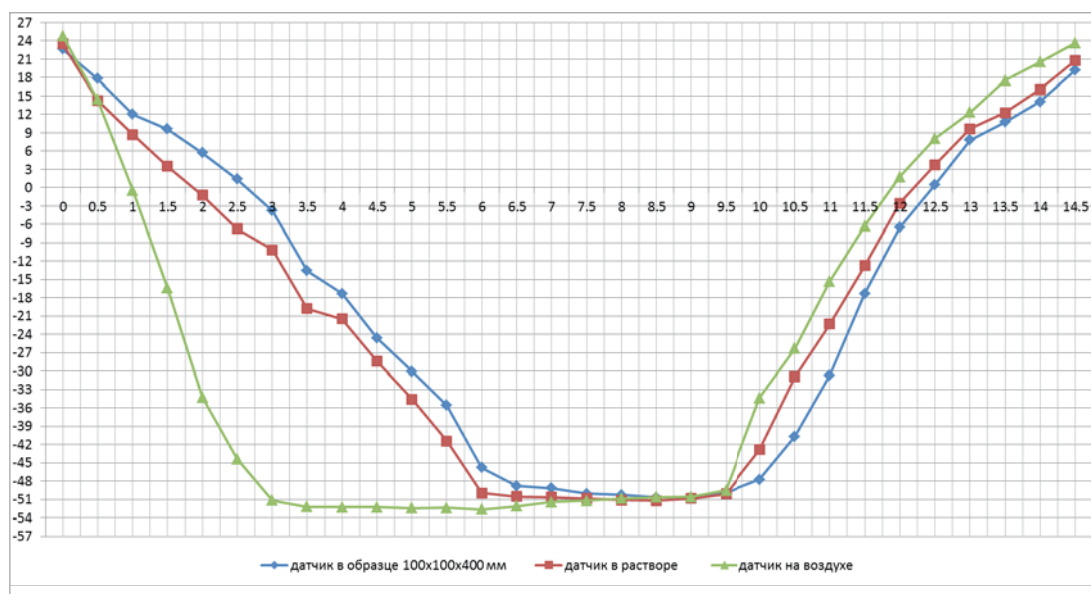


Рис. 2. Режим замораживания-оттаивания образцов размерами $100 \times 100 \times 400$ мм

- понижение температуры от плюс 20 до минус 10 °C – 3,0–3,5 ч;
- понижение температуры от минус 10 до минус 50 °C – 2,5–3,0 ч;
- выдержка при температуре минус 50 °C – 3,0 ч;
- повышение температуры от минус 50 до минус 10 °C – 3,0 ч;
- повышение температуры от минус 10 до плюс 20 °C – 2,5 ч

Fig. 2. Freeze-thaw conditions for samples measuring $100 \times 100 \times 400$ mm

- temperature decrease from +20 °C to –10 °C (3.0–3.5 hours);
- temperature decrease from –10 °C to –50 °C (2.5–3.0 hours);
- exposure to a temperature of –50 °C (3.0 hours);
- temperature increase from –50 °C to –10 °C (3.0 hours);
- temperature increase from –10 °C to +20 °C (2.5 hours)

во всех составах высокопрочного бетона, изготовленных как с воздухововлекающими добавками, так и без них. Бетон характеризуется маркой по морозостойкости F_{2300} . При этом изменение массы образцов незначительно.

Исследования морозостойкости/морозосолеустойкости высокопрочных бетонов с оценкой динамического модуля упругости показали, что через 37 циклов замораживания-оттаивания уменьшение динамического модуля упругости в образцах-призмах составило 6,2 % по сравнению с исходной величиной динамического модуля упругости (при критическом значении 25 %), что свидетельствует о наличии значительного запаса морозостойкости/морозосолеустойкости высокопрочного бетона во всех исследованных составах.

Выводы

Согласно техническому заданию в работе были запланированы испытания на морозостойкость/морозосолеустойкость высокопрочного бетона маркой по морозостойкости не менее F_{2300} . За период 37 циклов замораживания-оттаивания (2 месяца испытаний) образцы не доведены в испытании до критических значений. Истинная морозостойкость высокопрочного бетона без добавки и с воздухововлекающей добавкой СНВ осталась неизвестна.

Выполненный анализ технической литературы по морозостойкости/морозосолеустойкости высокопрочных бетонов показал, что наиболее надежным является многоцикловое определение морозостойкости таких бетонов. Однако испытания длительны, могут выполняться в течение года и не способны оценивать морозостойкость в конструкции. На сегодня в нормативной отечественной базе стандартные методы оценки морозостойкости бетона в конструкции отсутствуют.

Результаты настоящего исследования позволяют наметить программу исследований на будущее.

Целесообразно для определения морозостойкости/морозосолеустойкости высокопрочных бетонов в качестве базового оставить ускоренный третий метод ГОСТ 10060, а в качестве дополнений к нему разработать методы, включающие оценку морозостойкости бетона в конструкции: по оценке шелушения поверхности бетона; по определению прочности бетона в ядрах, отобранных из конструкций; по анализу структуры бетона по фактору расстояния.

Необходимо продолжить исследования по существенному уточнению установленных к настоящему времени количественных зависимостей морозостойкости бетона от характеристик его структурных составляющих.

Следует продолжить длительные испытания для установления корреляции между снижением прочности и динамическим модулем упругости с использованием резонансного метода. Решение о включении испытания по снижению динамического модуля упругости в базовые методы может быть принято после накопления экспериментальных данных и уточнения данных по замораживанию образцов различных размеров.

Учитывая длительность испытания высокопрочных и высокофункциональных бетонов на морозостойкость/морозосолеустойкость, следует рассмотреть возможность при проектировании зданий и сооружений повышенного уровня ответственности заблаговременно оценивать качество исходных материалов для изготовления высокопрочного или высокофункционального бетона, осуществлять подбор бетонных смесей и выполнять испытания бетона на морозостойкость.

Необходимо отметить, что для решения поставленных задач по корректировке и дополнению отечественной нормативной базы в части развития ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» требуются длительные исследования морозостойкости бетона. Пересмотр стандарта ГОСТ 10060 целесообразен после выполнения ряда работ с разработкой и проверкой методов испытаний, что позволит установить единый подход к проблеме испытания морозостойких бетонов для конкретных зданий и сооружений с учетом жизненного цикла, а следовательно, регламентировать сроки межремонтного периода. Это позволит сократить расходы как при строительстве, так и при эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений различного назначения.

Список литературы

1. ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости. Москва: Стандартинформ; 2012.
2. Провести исследования морозостойкости/морозосолеустойкости высокопрочного бетона класса B60-B100 для конструкций зданий и сооружений различного назначения, предназначенных для эксплуатации в условиях вечной мерзлоты: отчет о НИОКР. Рег. № НИОКТР 121061600030-2. Москва: НИИЖБ; 2021.
3. Степанова В.Ф., Чехний Г.В., Паршина И.М., Орехов С.А. Исследование морозостойкости бетона с целью корректировки стандарта ГОСТ 10060-2012. Вестник НИЦ «Строительство». 2021;30(3):78–87.
4. Шейнфельд А.В. Научные основы модифицирования бетонов комплексными органоминеральными добавками на основе техногенных пуццоланов и поверхностно-активных веществ: дис. ... канд. техн. наук. Москва; 2015. 372 с.
5. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кривобородов Ю.Р. Влияние структуры цементного камня с добавками микрокремнезема и суперпластификатора на свойства бетона. Бетон и железобетон. 1992;(7):4–7.
6. Кунцевич О.В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений Крайнего Севера. Ленинград: Стройиздат; 1983.
7. Штарк И., Вихт Б. Морозостойкость и устойчивость бетона к воздействию мороза и размораживающей соли. В: Долговечность бетона. Киев: Оранта; 2004. с. 200–246.
8. Fagerlund G. The influence of slag cement on the frost resistance of the hardened concrete. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute; 1982.
9. Вензель Б.И., Егоров Е.А., Жиженков В.В., Клейнер В.Д. Определение температуры плавления льда в пористом стекле в зависимости от размеров пор. Инженерно-физический журнал. 1982;48(3):461–466.
10. Стольников В.В. О теоретических основах сопротивляемости цементного камня и бетонов чередующимся циклам замораживания и оттаивания. Ленинград: Энергия; 1970.

References

1. GOST 10060-2012 Concrete. Methods for determining frost resistance. Moscow: Standartinform Publ.; 2012. (in Russian).
2. To conduct research on frost resistance/frost and salt resistance of high-strength concrete of class B60-B100 for structures of buildings and structures for various purposes intended for operation in permafrost conditions. R&D report. State registration N NIOKTR 121061600030-2. Moscow: NIIZHB; 2021. (in Russian).
3. Stepanova V.F., Chekhniy G.V., Parshina I.M., Orekhov S.A. Study of the frost resistance of concrete in order to adjust GOST 10060-2012. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2021;30(3):78–87 (in Russian).
4. Sheinfeld A.V. Scientific bases of concrete modification with complex organomineral additives based on technogenic pozzolans and surfactants [dissertation]. Moscow; 2015. 372 p. (in Russian).
5. Kapriyelov S.S., Sheinfeld A.V., Krivoborodov Yu.R. Influence of the structure of cement stone with the addition of microsilica and superplasticizer on the properties of concrete. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 1992;(7):4–7 (in Russian).

6. *Kuntsevich O.V.* Concrete of high frost resistance for buildings in the Far North. Leningrad: Stroyizdat Publ.; 1983 (in Russian).
7. *Shtark I., Wicht B.* Frost resistance and resistance of concrete to frost and thawing salt. In: *Durability of concrete*. Kyiv: Oranta Publ.; 2004. pp. 200–246 (in Russian).
8. *Fagerlund G.* The influence of slag cement on the frost resistance of the hardened concrete. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute; 1982.
9. *Wenzel B.I., Egorov E.A., Zhizhenkov V.V., Kleiner V.D.* Determination of ice melting temperature in porous glass depending on the pore size. *Journal of Engineering Physics*. 1985;48(3):346–350. <https://doi.org/10.1007/bf00878204>
10. *Stolnikov V.V.* On the theoretical foundations of the resistance of cement stone and concrete to alternating cycles of freezing and thawing. Leningrad: Energiya Publ.; 1970 (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Валентина Федоровна Степанова, д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: vfstepanova@mail.ru

Valentina F. Stepanova, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Head of Laboratory for Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: vfstepanova@mail.ru

Галина Васильевна Чехний✉, канд. техн. наук, заведующий сектором коррозии бетона, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: chehniy@mail.ru

Galina V. Chehniy✉, Cand. Sci. (Engineering), Head of Concrete Corrosion Section, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: chehniy@mail.ru

Ирина Михайловна Паршина, научный сотрудник, сектор коррозии бетона, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Irina M. Parshina, Researcher, Concrete Corrosion Section, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Сергей Александрович Орехов, научный сотрудник, сектор коррозии бетона, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Sergey A. Orekhov, Researcher, Concrete Corrosion Section, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Артем Игоревич Круглов, инженер, сектор коррозии бетона, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Artem I. Kruglov, Engineer, Concrete Corrosion Section, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

УДК 691.322

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-194-212](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-194-212)

EDN: KQVFUY

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЩЕБНЯ ПО ГОСТ 32703 ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОНОВ ОБЩЕГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В.Р. ФАЛИКМАН, д-р материаловедения, канд. хим. наук

П.Н. СИРОТИН✉

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

Аннотация

Введение. С введением в действие ГОСТ 32703–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Технические требования» для предприятий горнопромышленного комплекса, выпускающих щебень из плотных горных пород, возникла проблема обеспечения выпуска продукции по двум существенно различающимся стандартам. Сложность сбалансированного подхода к планированию производства и поддержанию складских запасов в этой ситуации естественным образом формулирует запрос предприятий-производителей на решение вопроса о возможности использования щебня по ГОСТ 32703 для производства строительных работ, бетонных смесей и бетонов для общегражданского строительства.

Целью работы была формулировка заключения о возможности расширения области применения щебня по ГОСТ 32703 для изготовления бетонов общегражданского строительства.

Материалы и методы. В качестве крупного заполнителя для бетонов при выполнении работы использовались щебни по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703 из плотных горных пород различного генезиса – гранита, габбро-диабазы и плотного известняка. Работа осуществлялась путем сопоставительных испытаний бетонных смесей и бетонов, изготовленных с использованием щебня из пород одного месторождения, но классифицированного по двум разным стандартам. Основные показатели качества бетонных смесей определялись соответствующими методами по ГОСТ 10181, физико-механические показатели бетонов – по ГОСТ 10180.

Результаты. В результате проведенных работ показана определенная сопоставимость технологических показателей качества бетонных смесей и физико-механических характеристик бетонов, изготовленных с использованием щебня, классифицированного по разным стандартам, но обладающего примерно равными показателями содержания зерен пластинчатой и игольчатой формы.

Выводы. По результатам проведенной работы сформулированы предложения по возможности использования щебня по ГОСТ 32703 при производстве бетонов для нужд общегражданского строительства при определенных условиях. Указаны принципиальные проблемы одновременного применения двух стандартов на щебень для производства бетонов.

Ключевые слова: гранулометрический состав, щебень, крупный заполнитель, бетонные смеси, бетоны

Для цитирования: Фаликман В.Р., Сиротин П.Н. Оценка возможности использования щебня по ГОСТ 32703 для производства бетонов общегражданского строительства. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;33(2):194–212. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-194-212](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-194-212)

Вклад авторов

Фаликман В.Р. – руководство работой, подготовка отчета.

Сиротин П.Н. – выполнение экспериментальной части, подготовка отчета.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 02.04.2022

Поступила после рецензирования 22.04.2022

Принята к публикации 17.05.2022

PROSPECTS OF USING CRUSHED STONE IN ACCORDANCE WITH GOST 32703 TO PRODUCE CONCRETE FOR GENERAL CIVIL CONSTRUCTION

V.R. FALIKMAN, Dr. Sci. (Materials), Cand. Sci. (Chem.)

P.N. SIROTIN✉

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

Abstract

Introduction. With the introduction of a new national standard GOST 32703–2014 “Automobile roads of general use. Crushed stone and gravel from rocks. Technical requirements”, mining companies producing crushed stone from dense rocks faced the problem of ensuring the production output in compliance with two significantly different standards, both regulating the properties of crushed stone. The complexity of a balanced approach to production planning and stock reserve maintenance determines the need to assess the possibility of using crushed stone produced according to GOST 32703 when producing construction works, concrete mixes, and concrete for general civil construction.

Aim: to define the prospects of using crushed stone produced according to GOST 32703 when producing concrete for general civil construction.

Materials and methods. Crushed stone produced according to GOST 8267 and GOST 32703 from solid rocks of various origin—granite, gabbro-diabase, and dense limestone—was used as coarse aggregates for concrete production. Comparative tests of concrete mixes prepared from crushed stone from one deposit but classified in accordance with two different standards were performed. The main quality parameters of concrete mixes were determined by testing methods according to GOST 10181, while the mechanical and physical properties of concrete mixes were determined by testing methods according to GOST 10180.

Results. The study showed a certain compatibility of the quality properties of concrete mixes and the mechanical and physical properties of concrete filled with crushed stone, which is classified according to different standards but having the same content of lamellar and needle-shaped particles.

Conclusions. Recommendations are formulated on the prospects of using crushed stone produced according to GOST 32703 when producing concrete for general civil construction. The key issues concerned with simultaneous application of two different standards are indicated.

Keywords: particle size distribution, crushed stone, coarse aggregate, concrete mix, concrete

For citation: Falikman V.R., Sirotin P.N. Prospects of using crushed stone in accordance with GOST 32703 to produce concrete for general civil construction. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):194–212. (In Russ.) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-194-212](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-194-212)

Author contribution statements

Falikman V.R. – research supervision, article preparation.

Sirotin P.N. – experimental part, article preparation.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 02.04.2022

Revised 22.04.2022

Accepted 17.05.2022

Введение

С введением в действие в 2015 г. ГОСТ 32703-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Технические требования» промышленность нерудных строительных материалов постепенно наращивает выпуск щебня по этому стандарту для применения в строительстве, ремонте, капитальном ремонте, реконструкции и содержании автомобильных дорог общего пользования. С учетом того, что индустрия дорожного и транспортного строительства в настоящее время является самым крупным потребителем и производителем щебня (с долей порядка 60 %), следует ожидать, что несмотря на определенные сложности переходного периода, в ближайшем будущем значительная часть щебня и гравия из горных пород со средней плотностью зерен от 2 до 3 г/см³ будет производиться в соответствии с новым стандартом.

Наличие двух стандартов, существенно различающихся по подходам и требованиям, увеличивает издержки предприятий промышленности нерудных строительных материалов, что также негативно сказывается на экономической эффективности всего строительного комплекса (как автодорожного, так и общегражданского). В то же время известно, что нормативные документы развитых стран устанавливают для применения в общегражданском строительстве требования к показателям и методам оценки зернового состава крупного заполнителя, аналогичные требованиям ГОСТ 32703. Таким образом, принципиальным препятствием для использования в общегражданском строительстве щебня, выпускаемого по ГОСТ 32703, является отсутствие надежных обоснований возможности имплементации этого стандарта в существующую систему нормативных документов для промышленного и гражданского строительства (нормы проектирования, связанные стандарты и т. д.).

Действующая редакция ГОСТ 32703 в значительной мере учитывает положения международных стандартов ISO, региональных стандартов EN и ASTM, но существенно отличается по перечню основных нормируемых параметров и методов их определения от действующего ГОСТ 8267 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия». Формат настоящей статьи не позволяет представить детальный анализ различий показателей качества, нормативных требований и методов испытаний, устанавливаемых ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703, однако можно указать, что одним из основных различий указанных стандартов является различие в нормативных требованиях к зерновому (гранулометрическому) составу щебня.

Различия в форме и номинальном размере отверстий оказывают существенное влияние на результаты отсева. Для одной и той же пробы результат отсева на ситах с круглой

и квадратной формой ячеек одного номинального размера будут давать результаты, различающиеся тем сильнее, чем больше форма зерен анализируемой пробы отличается от тел постоянной ширины. В предельном случае для зерен пластинчатой и игловатой формы при рассеиве на ситах с квадратными отверстиями возникает вероятность прохода зерен с размером в минимальном сечении, примерно равным диагонали квадрата, т. е. $\sqrt{2} \approx 1,414$ номинального размера (т. е. модулю шкалы). С учетом того, что даже для I группы щебня допустимо содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы вплоть до 10 % по массе включительно, вероятность прохода таких зерен через отверстие квадратной формы выше.

Различие в используемых рядах контрольных сит оказывает влияние и на результаты испытаний методами, основанными на оценке потерь массы контрольной пробы при испытаниях вследствие тех или иных воздействий (к примеру, воздействия циклов замораживания/оттаивания, насыщения/высушивания, истирания или дробления в цилиндре).

Достаточно просто геометрически оценить сопоставимость значений номинальных размеров ячеек квадратной и круглой формы (рис. 1).

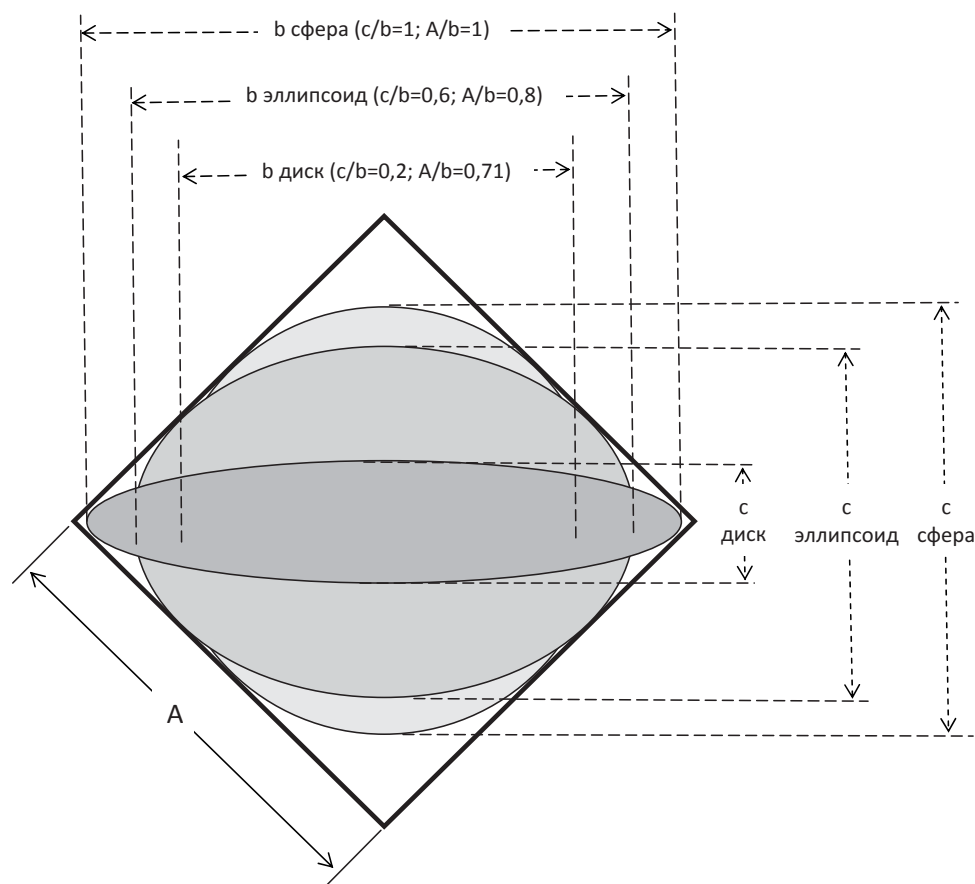


Рис. 1. Пропорции зерна (проекций наименьшего сечения зерна) и квадратной ячейки сита (приводится по [1])
Fig. 1. Ratio of particles (projections of the smallest particle section) and a square sieve opening (according to [1])

Отношение номинального размера ячейки к наибольшему размеру в плоскости проекции зерна A/b от степени сферичности сечения зерна может быть представлено в виде соответствующей зависимости или графически (рис. 2):

$$\frac{A}{b} = \sqrt{\frac{1}{\sqrt{2}} + \left(\frac{c}{b}\right)^2}. \quad (1)$$

Эта же зависимость отражает и коэффициент отношения размеров ячеек круглой и квадратной формы, который в зависимости от пропорций зерен в наименьшем сечении будет составлять от 0,71 для очень плоских зерен и до 1,0 для сфер (т.е. отношение сопоставимых сит круглой d и квадратной формы A будет равным $D/A = 1-1,41$). При этом очевидно, что значительное влияние на вероятность прохода зерна через отверстие контрольного сита будет оказывать не только размеры в минимальном сечении, но и в более значительной степени форма зерен.

На данный момент этот вопрос редко рассматривается в инженерной практике, но в ряде отраслей накоплен существенный массив эмпирических данных по сопоставлению результатов определения зернового состава различных материалов при использовании контрольных сит с круглой и квадратной формой отверстий.

В работе [2] предложены следующие зависимости для расчета соответствия круглых и квадратных ячеек сит для прохода зерна прямоугольной формы:

$$\frac{D}{A} = \sqrt{h^2 + 1}, \text{ для } h \geq 0,414, \quad (2)$$

$$\frac{D}{A} = \sqrt{\frac{2(h^2+1)}{(h+1)^2}}, \text{ для } h \leq 0,414. \quad (3)$$

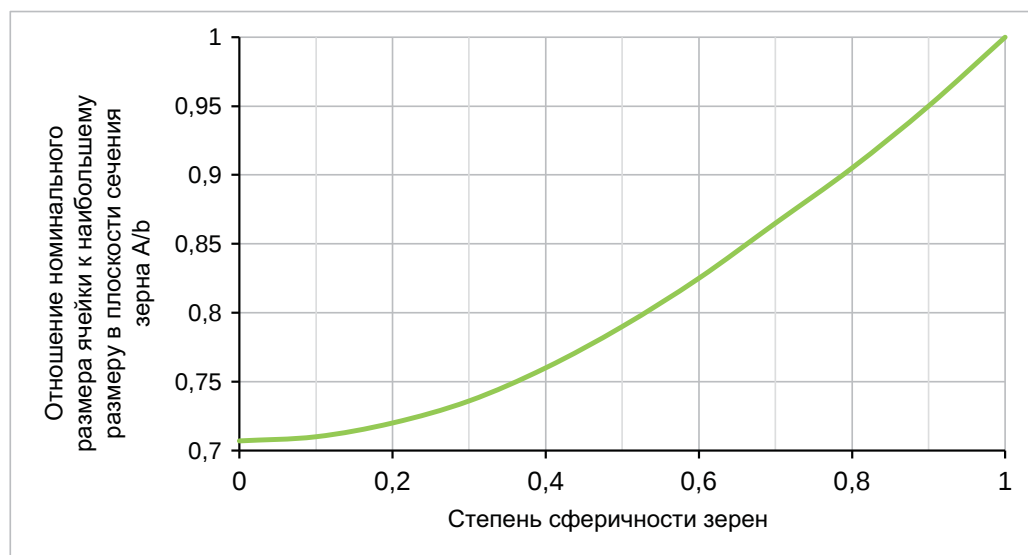


Рис. 2. Зависимость отношения номинального размера квадратной ячейки к наибольшему размеру в плоскости проекции проходящего зерна от степени сферичности зерен

Fig. 2. Correlation between the ratio of the nominal size of square sieve opening to the largest size in projection plane of a passing particle and the degree of particle sphericity

Для широкой номенклатуры дробленых горных пород соотношение D/A было экспериментально определено как находящееся в пределах 1,15–1,42, что удовлетворительно соответствует результатам 1,08–1,41 при расчете по уравнениям 1–3.

В работе [3] представлены результаты тщательных экспериментов с рассевом продуктов дробления горных пород и антрацита (табл. 1).

Схожие результаты показаны экспериментальными работами и других авторов. Так, Rothfuchs [4] показал, что значение D/A колеблется в пределах от 1,42 для ячеек номинальным размером 1 мм до 1,15 для ячеек 70 мм; Roesler [4] указывает среднее значение 1,23 при ситовом анализе известняков и цинкосодержащих руд; Yancey и Zane установили такое же значение для продуктов дробления антрацита [4].

Специалисты АО «ВНИИСтройдормаш» рекомендуют при работе на решетках с круглыми и прямоугольными отверстиями применять следующие переходные коэффициенты:

$$L_{кр} = 1,25 \times L_{кв} \text{ при грохочении щебня;}$$

$$L_{кв} = 1,15 \times L_{кр} \text{ при грохочении гравия;}$$

$$L_{пр} = 0,8 \times L_{кв},$$

где: $L_{кр}$ – диаметр круглого отверстия;

$L_{кв}$ – размер квадратного отверстия;

$L_{пр}$ – ширина прямоугольного отверстия.

В Технических рекомендациях по устройству и ремонту дорожных конструкций с применением асфальтобетона [5], разработанных ГУП «НИИМосстрой», предложено соотношение размеров сит с квадратными и круглыми отверстиями (табл. 2).

Компанией W. S. Tyler (производитель лабораторного и промышленного оборудования для классификации зернистых и порошковых материалов) предложена следующая таблица примерного соответствия лабораторных сит с круглой и квадратной формой ячеек (табл. 3).

Важная работа по оценке возможности сопоставления фракций щебня по ГОСТ 32703 и ГОСТ 8267 выполнена в лаборатории ОЦК ФАУ «РОСДОРНИИ». На VII ежегодной

Таблица 1

Эквивалентные значения номинального размера круглых D , квадратных A и щелевидных B ячеек (приводится по [3])

Table 1

Equivalent values of nominal size of circular D , square A , and slot-shaped B sieve openings (according to [3])

Материал	Размер		Отношение D/A	Отношение D/B
	дюйм	мм		
Известняк рядовой	$1/2-3/4$	12,7–19,1	1,16	1,45
Известняк высокопрочный	$1/2-3/4$	12,7–19,1	1,19	1,78
Кварцит	$3/8-1/2$	9,5–12,7	1,19	1,68
Базальт	$1/2-3/4$	12,7–19,1	1,16	1,55
	$1/2-3/4$	12,7–19,1	1,17	1,54
Гранит	$1/2-3/4$	12,7–19,1	1,16	1,45
	$1/2-3/4$	12,7–19,1	1,17	1,48
	$1/2-3/4$	12,7–19,1	1,17	1,47
Гравий	$1/2-3/4$	12,7–19,1	1,20	1,73
Доменный шлак	$5/8-7/8$	15,9–22,2	1,16	1,44

Таблица 2

Соотношение размеров сит с квадратными и круглыми отверстиями

Table 2

Ratio of sieve sizes with square and circular openings

Размер сита, мм	Размер сита, мм
квадратное	круглое
31,5	40,0
28,0	35,0
24,0	30,0
20,0	25,0
16,0	20,0
12,0	15,0
8,0	10,0
4,0	5,0

Таблица 3

Соответствие лабораторных сит с квадратной и круглой формой ячеек (по данным [6])

Table 3

Correlation of laboratory sieves with square and circular openings (according to [6])

Номинальный размер ячейки контрольного сита при форме отверстий				Отношение диаметра круглой ячейки к номинальному отвер- стию квадратной ячейки
□		○		
дюйм	мм	дюйм	мм	
4	101,6	4,75	120,65	1,1875
3,75	95,25	4,5	114,3	1,2
3,5	88,9	4,25	107,95	1,214286
3,3125	84,1375	4	101,6	1,207547
3,125	79,375	3,75	95,25	1,2
3	76,2	3,5	88,9	1,166667
2,75	69,85	3,25	82,55	1,181818
2,5	63,5	3	76,2	1,2
2,25	57,15	2,75	69,85	1,222222
2,125	53,975	2,5	63,5	1,176471
2	50,8	2,375	60,325	1,1875
1,875	47,625	2,25	57,15	1,2
1,75	44,45	2	50,8	1,142857
1,5	38,1	1,75	44,45	1,166667
1,25	31,75	1,5	38,1	1,2
1,125	28,575	1,375	34,925	1,222222
1	25,4	1,25	31,75	1,25
0,875	22,225	1	25,4	1,142857
0,75	19,05	0,875	22,225	1,166667
0,625	15,875	0,75	19,05	1,2
0,5	12,7	0,625	15,875	1,25
0,375	9,525	0,5	12,7	1,333333
0,3125	7,9375	0,375	9,525	1,2
0,25	6,35	0,3125	7,9375	1,25
0,1875	4,7625	0,25	6,35	1,333333
0,15625	3,96875	0,1875	4,7625	1,2
0,09375	2,38125	0,125	3,175	1,333333

Таблица 4

Сопоставимые фракции щебня по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703 [7]

Table 4

Comparable fractions of crushed stone according to GOST 8267 and GOST 32703 [7]

Классификация щебня по ГОСТ 8267-93	Соответствующая классификация щебня по ГОСТ 32703-2014
Фракция 5-10	Смесь фракции 4,0-8,0 марки 90/10
Фракция 10-15	Смесь фракции 8,0-16,0 марки 90/10
Фракция 15-20	Смесь фракции 11,2-22,4 марки 90/20

конференции «Рынок щебня России», которая прошла 9 и 10 июня 2021 года, М. Славуцким были представлены результаты серии испытаний по разработке методики классификационной оценки по ГОСТ 32703 щебня, выпущенного по ГОСТ 8267 [7]. При разработке методики использовались теоретически полученные дисперсии размеров зерен щебня различного качества и различной широты фракций. В частности, было установлено соответствие между определенными фракциями щебня, классифицированными по ГОСТ 8267, и смесями фракций по ГОСТ 32703-2014 (табл. 4).

При этом следует понимать, что помимо зернового состава не менее важное значение для щебня, используемого для изготовления бетонных смесей и бетонов, имеет форма зерен.

В целом распределение размеров зерен горных пород после дробления является логнормальным [8, 9]; для пород неоднородных, при существенных отличиях физико-механических характеристик составляющих минералов это распределение может приобретать полимодальный характер [10]. С практической точки зрения логнормальное распределение продуктов дробления позволяет предполагать отсутствие существенных различий в процентном выходе сопоставимых фракций щебня при использовании одного и того же типа дробильного оборудования.

При этом различия в основном принципе действия используемого дробильного оборудования способно оказывать существенное влияние на форму зерен продуктов измельчения горных пород [11]. К сожалению, за исключением небольшого числа публикаций в научно-инженерной практике отсутствует систематизированная информация о распределении формы зерен при дроблении, и наибольшая проблема заключается в отсутствии общего метода испытания, согласованного и применяемого на международном уровне.

Между тем различия в распределении зерен по форме после дробления могут носить существенный характер и особенно важно заметить, что из практического опыта известно, что увеличение доли выхода зерен неправильной формы наиболее характерно для мелких фракций (рис. 3).

Цель

Целью выполнения настоящей работы являлось получение экспериментальных данных для оценки влияния зернового состава щебня, производимого из плотных горных пород одного месторождения по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703, на показатели качества бетонных смесей и бетонов, а также формулировка предложений по внесению изменений в существующую нормативную базу для расширения областей применения щебня по ГОСТ 32703 в гражданском строительстве.

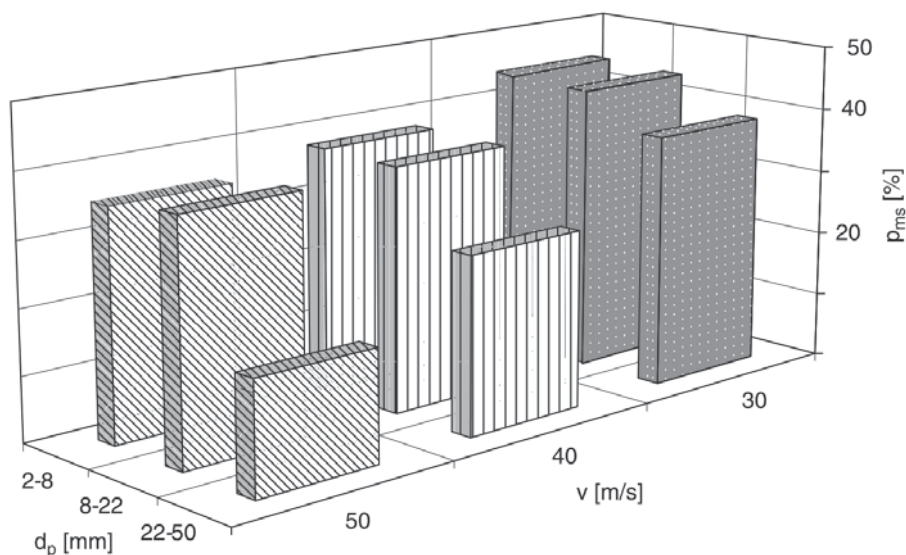


Рис. 3. Процентная доля p_{ms} зерен неправильной формы внутри каждой из фракции d_p продуктов дробления в зависимости от скорости удара (загрузка – кубовидный диабаз, ударный способ измельчения, приводится по [11])
Fig. 3. Percentage of irregular particles p_{ms} within each fraction d_p of crushing products depending on the velocity of impact (load – cube-shaped diabase, impact crushing, according to [11])

Материалы и методы

Для приготовления бетонных смесей контрольных составов использовался портландцемент ПЦ ЦЕМ I 52,5 н (ООО «Южно-Уральская ГПК»), с удельной поверхностью $3800 \text{ см}^2/\text{г}$, нормальной густотой $\text{НГ} = 27,5 \%$.

В качестве минеральной добавки для изготовления бетона класса B60 W20 использовался микрокремнезем конденсированный, производства ПАО НЛМК (Новолипецкий металлургический завод).

В качестве мелкого заполнителя использовался песок строительный по ГОСТ 8736, производства ООО «Облнерудпром», карьер Подгоринский.

Для проведения экспериментальной части работы были отобраны пробы щебня ряда предприятий-производителей, изготавливаемые из плотных горных пород одного месторождения по двум рассматриваемым стандартам (табл. 5).

С целью оценки влияния формы ячеек контрольных сит в дополнение к стандартным испытаниям крупного заполнителя был произведен рассев отобранных аналитических проб с использованием набора сит с шагом $2,5 \text{ мм}$ (рис. 4–6).

Анализ результатов ссева позволяет сделать вывод об отсутствии качественного изменения в характере распределения зерен по размерам при изменении формы отверстий контрольных сит. Ожидается, что при переходе от ссева на ситах с круглыми отверстиями к ситам с квадратными отверстиями кривые гранулометрического состава смещаются влево, отражая увеличение прохода зерен для одного номинального размера ячеек, тем не менее сам характер кривой меняется не столь существенно.

Рассматривая результаты определения зернового состава сопоставимых, на наш взгляд, фракций щебня по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703 (5–10 и 4–8 мм, 10–20 и 8–16 мм, 5–20 и 4–16 мм),

Таблица 5

Основные физико-механические характеристики использованного щебня

Table 5

Mechanical and physical properties of the used crushed stone

№	Щебень	ГОСТ	Фракция	Насыпная плотность, кг/м ³	Средняя плотность зерен, г/см ³	Содержание пластинчатых и игловатых зерен, %	Дробимость, % (марка по дробимости)
1	Гранит Прионежский карьер, п. Деревянка, Республика Карелия	8267	5–10	1347	2,74	13,2 (группа 2)	12,44 (M1200)
2		8267	10–20	1373	2,75	10,5 (группа 2)	14,33 (M1200)
3		32703	4–8	1364	2,74	14,8 (группа 2)	11,69 (M1000)
4		32703	8–16	1385	2,74	11,9 (группа 2)	13,22 (M1200)
5	Габбро-диабаз Наволоцкое месторождение габбро-диабазов, Кондопожский район, Республика Карелия	8267	5–10	1620	3,03	9,2 (группа 1)	8,55 (M1400)
6		8267	10–20	1604	3,05	7,9 (группа 1)	9,7 (M1400)
7		32703	4–8	1634	3,03	8,9 (группа 1)	7,83 (M1400)
8		32703	8–16	1620	3,04	7,5 (группа 1)	9,87 (M1200)
9	Известняк Кашинское месторождение известняков, Свердловская область, ГО Богданович	8267	5–20	1350	2,71	15,7 (группа 3)	11,7 (M1000)
10		32703	4–16	1348	2,71	16,1 (группа 3)	12,5 (M1000)

можно также отметить сходство кривых распределения размеров зерен, отражающее, вероятнее всего, индивидуальные особенности используемого дробильно-классификационного комплекса оборудования для каждого предприятия.

Анализ распределения доли зерен при проведении ситового анализа с повышенной дискретностью (шагом между номинальными размерами ячеек 2,5 мм) демонстрирует существенные различия между щебнями из различных горных пород. При этом представленные результаты определения зернового состава позволяют предполагать возможность использования переходных коэффициентов для сит с различной формой ячеек для продукции предприятий-производителей щебня из плотных горных пород, чей технологический цикл при дроблении и классификации обеспечивает нормальное распределение зерен по размеру.

Приготовление бетонных смесей производили в вертикальном смесителе принудительного действия Remat Zyklus ZK 30 HE, а также в планетарном бетоносмесителе принудительного действия «Компас 300». Проведение испытаний по определению физико-механических характеристик бетонов осуществляли в соответствии с методами испытаний, установленными в соответствующих стандартах.

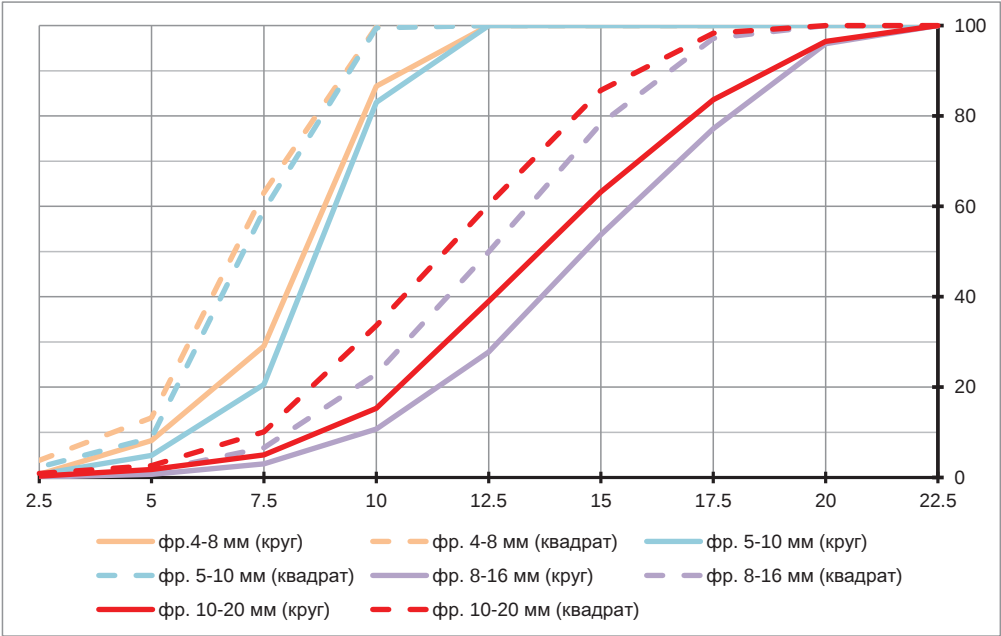


Рис. 4. Изменения значений прохода через контрольные сита с различной формой ячеек при расसेве гранитного щебня различных фракций по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703
Fig. 4. Changes in percentage passing against test sieves with different openings when screening crushed stone from granite of various fractions according to GOST 8267 and GOST 32703

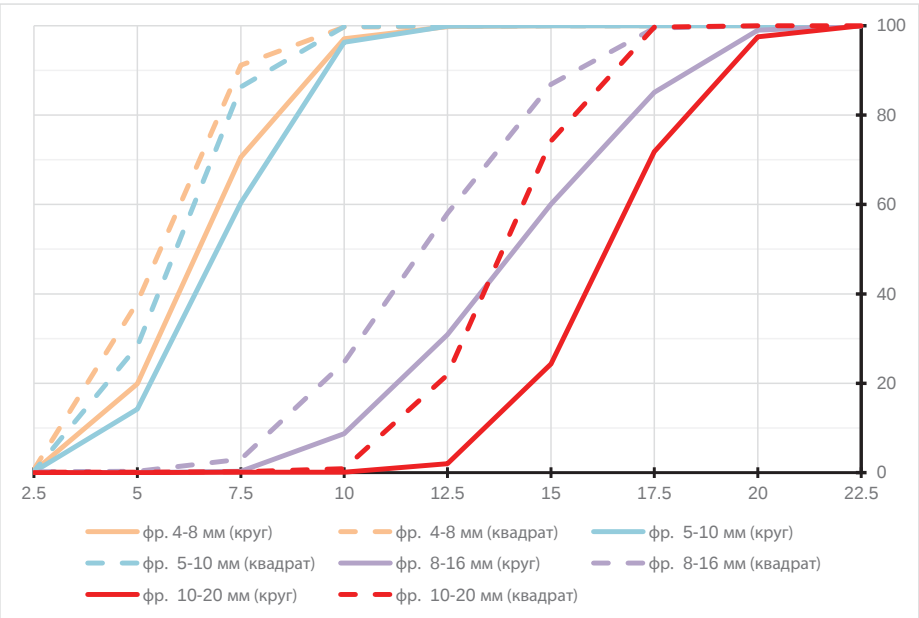


Рис. 5. Изменения значений прохода через контрольные сита с различной формой ячеек при рассеве щебня из габбро-диабазы различных фракций по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703
Fig. 5. Changes in percentage passing against test sieves with different openings when screening crushed stone from gabbro-diorite of various fractions according to GOST 8267 and GOST 32703

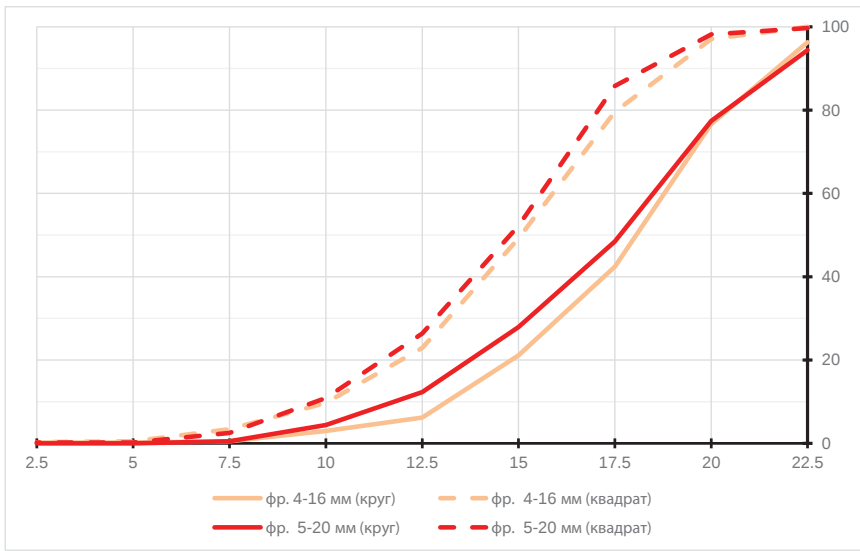


Рис. 6. Изменения значений прохода через контрольные сита с различной формой ячеек при отсеивании щебня из известняка различных фракций по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703

Fig. 6. Changes in percentage passing against test sieves with different openings when screening crushed stone from limestone of various fractions according to GOST 8267 and GOST 32703

Результаты

В табл. 6 приведены номинальные составы бетонных смесей, изготовленных с использованием полученных проб щебня, а также результаты определения их основных технологических показателей.

Показатели подвижности бетонных смесей внутри каждой пары серий (с использованием для приготовления бетонной смеси щебня по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703) находились в пределах допустимых отклонений заданных показателей удобоукладываемости по ГОСТ 7473.

Номинальные составы бетонных смесей

Table 6

Nominal compositions of concrete mixes

№ составов	Номинальный состав бетонной смеси, кг/м³						В/Ц В/(Вяж)
	цемент	МК	песок	щебень	вода	добавка	
A1, Б1, В1	200	–	970	1000	190	2,4	0,95
Ад1, Бд1, Вд1	200	–	970	1000	190	2,4	0,95
A2, Б2, В2	350	–	770	1100	190	1,8	0,54
Ад2, Бд2, Вд2	350	–	770	1100	190	1,8	0,54
A3, Б3, В3	500	–	530	1200	190	2,2	0,38
Ад3, Бд3, Вд3	500	–	530	1200	190	2,2	0,38
A6, Б6, В6	440	40	745	1120	140	4,4	0,32 [0,29]
Ад6, Бд6, Вд6	440	40	745	1120	140	4,4	0,32 [0,29]

Плотность бетонных смесей, пористость (объем вовлеченного воздуха), показатели рас-
 слаиваемости и сохраняемости подвижности бетонной смеси также находились в пределах,
 устанавливаемых ГОСТ 7473.

На рис. 7 приведены графики, представляющие темпы набора прочности бетонов со-
 ставов А1–АД6.

Составы бетонов А1–АД1, А2–АД2, А3–АД3 демонстрируют идентичную картину
 скорости твердения. Бетон состава АД6 показал несколько большую прочность на сжатие
 (в возрасте 28 суток – 104,8 % прочности на сжатие бетона состава А6 на гранитном щебне
 по ГОСТ 8267), тем не менее относительная величина прироста невелика. Если рассматри-
 вать образцы серий А6 и АД6 как единую серию, то среднее значение прочности на сжатие
 составит 78,5 МПа, стандартное отклонение $S^2 = 2,56$ при коэффициенте вариации $V_c = 3,26 \%$.

На рис. 8 представлены в графическом виде результаты определения относительных
 деформаций усадки бетонов на гранитном щебне. Парные составы А1–АД1 и А2–АД2,
 изготовленные при расходах цемента 200 и 350 кг соответственно, демонстрируют схожее
 поведение во все сроки наблюдения. Значения относительных деформаций усадки внутри
 парных серий бетонов составов А3–АД3 и А6–АД6 различаются существенно, хотя харак-
 тер темпа приращения деформаций позволяет прогнозировать отсутствие качественных
 различий в более поздние сроки наблюдений.

С определенной осторожностью, ввиду сравнительно малых сроков проведения испы-
 таний, можно попробовать оценить предельные значения деформаций усадки $\epsilon_{uc}(\infty)$ путем
 построения диаграммы «приращения относительных деформаций усадки – продолжи-
 тельность проведения испытаний» в соответствии с п. 5.6 ГОСТ 24544. Соответствующая
 диаграмма приведена на рис. 9. Результаты определения вида уравнения прямой регрессии
 и рассчитанные предельные значения деформаций усадки приведены в табл. 7.

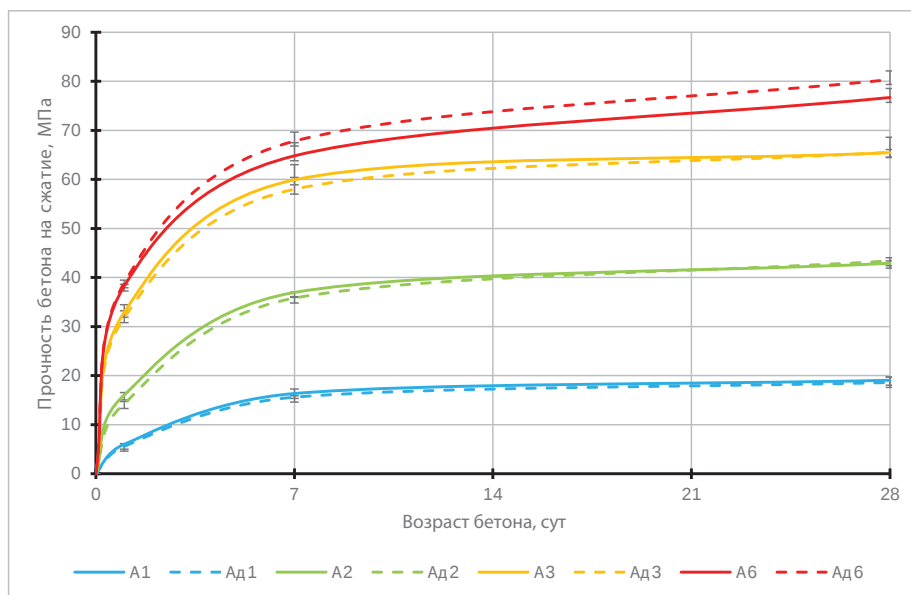


Рис. 7. Темпы набора прочности на сжатие бетонов, изготовленных на гранитном щебне
Fig. 7. Rate of compression strength of granite concrete

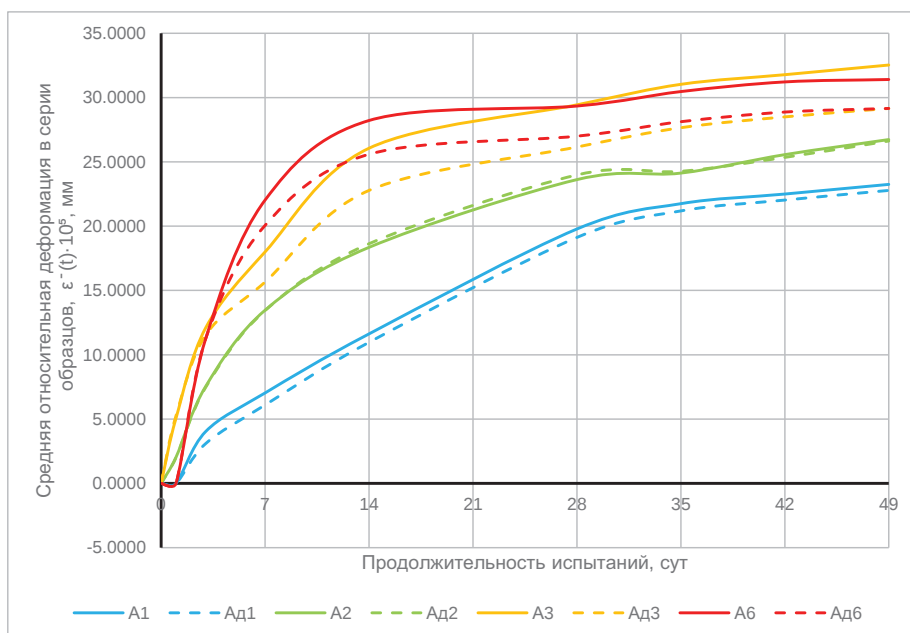


Рис. 8. Относительные деформации усадки бетонов, изготовленных на гранитном щебне
Fig. 8. Relative shrinking deformations of granite concrete

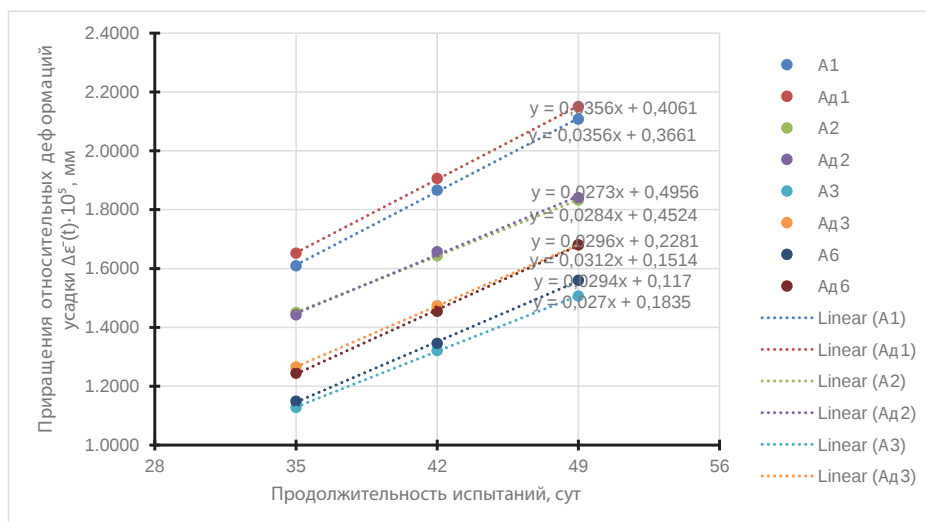


Рис. 9. Диаграмма определения предельных деформаций усадки бетонов, изготовленных на гранитном щебне
Fig. 9. Scheme of ultimate shrinking deformations of granite concrete

Результаты определения деформативных характеристик и показателей, определяющих долговечность конструкций из бетонов составов А1–А6, приведены в табл. 8.

На рис. 10 и 11 представлены графики набора прочности для составов бетонов, изготовленных с использованием щебня из габбро-диабазы и известняка, по результатам испытаний прочности на сжатие в возрасте 1, 7 и 28 суток.

Таблица 7

Определение предельных значений деформаций усадки бетонов на гранитном щебне

Table 7

Determination of ultimate shrinking deformations of granite concrete

№	Приращение относительных деформаций усадки, $\Delta \epsilon$, $\times 10^5$ в возрасте, сут			Вид уравнения прямой регрессии	Предельное значение деформаций усадки $\epsilon_{uc}(\infty)$, $\times 10^5$
	35	42	49		
A1	1,6092	1,8667	2,1076	$y = 0,0356x + 0,4061$	28,09
Ад1	1,6519	1,9064	2,1509	$y = 0,0356x + 0,3661$	28,09
A2	1,4506	1,6430	1,8328	$y = 0,0273x + 0,4956$	36,63
Ад2	1,4424	1,6569	1,8405	$y = 0,0284x + 0,4524$	35,21
A3	1,1279	1,3216	1,5063	$y = 0,0296x + 0,2281$	33,78
Ад3	1,2656	1,4737	1,6806	$y = 0,0312x + 0,1514$	32,05
A6	1,1487	1,3454	1,5602	$y = 0,0294x + 0,117$	34,01
Ад6	1,2445	1,4546	1,6806	$y = 0,027x + 0,1835$	37,04

Таблица 8

Деформативные характеристики и показатели, определяющие долговечность конструкций из бетонов на гранитном щебне

Table 8

Deformation properties determining the durability of granite concrete constructions

№	Призменная прочность $R_{пр}$, МПа	Модуль упругости E_c , ГПа	Коэффициент Пуассона μ	Истираемость бетона, g/cm^2 (марка)	Марка по водонепроницаемости W	Марка по морозостойкости
A1	173,1	22,0	0,19	0,97 [G3]	W4	F100
Ад1	175,1	22,4	0,19	1,00 [G3]	W4	F100
A2	369,5	34,3	0,18	0,77 [G2]	W10	F150
Ад2	384,7	33,5	0,19	0,75 [G2]	W10	F150
A3	539,5	41,5	0,17	0,59 [G1]	W16	F200
Ад3	573,0	40,5	0,18	0,62 [G1]	W16	F200
A6	715,3	40,4	0,17	0,47 [G1]	W20	F300
Ад6	734,9	42,6	0,17	0,45 [G1]	W20	F300

Анализ полученных данных не указывает на наличие какой-либо устойчивой тенденции, ведущей к существенному различию в физико-механических характеристиках бетонов одного состава, изготовленных с использованием щебня из горных пород одного месторождения, но произведенного и классифицированного в соответствии с различными стандартами – ГОСТ 8267 или ГОСТ 32703.

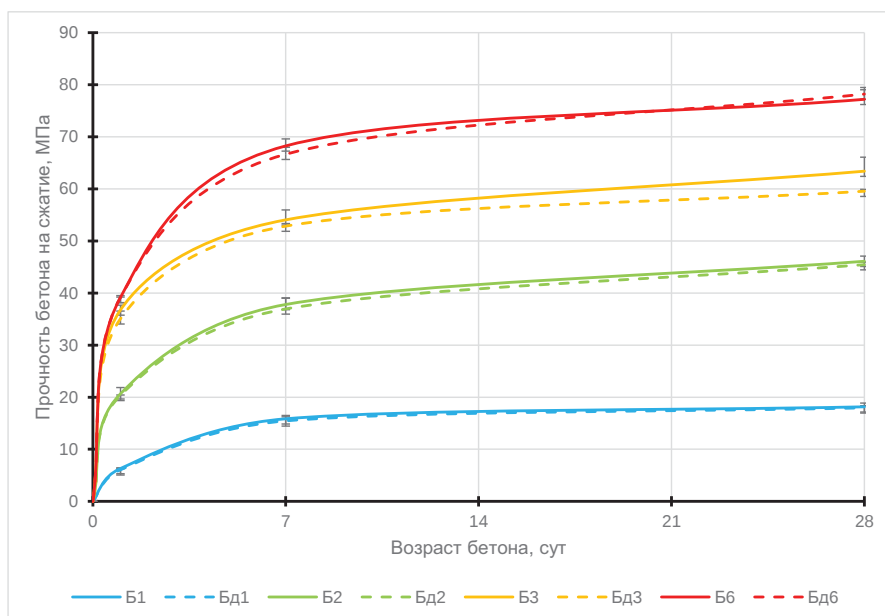


Рис. 10. Темпы набора прочности на сжатие бетонов, изготовленных на щебне из габбро-диабазы
Fig. 10. Rate of compression strength of gabbro-diorite concrete

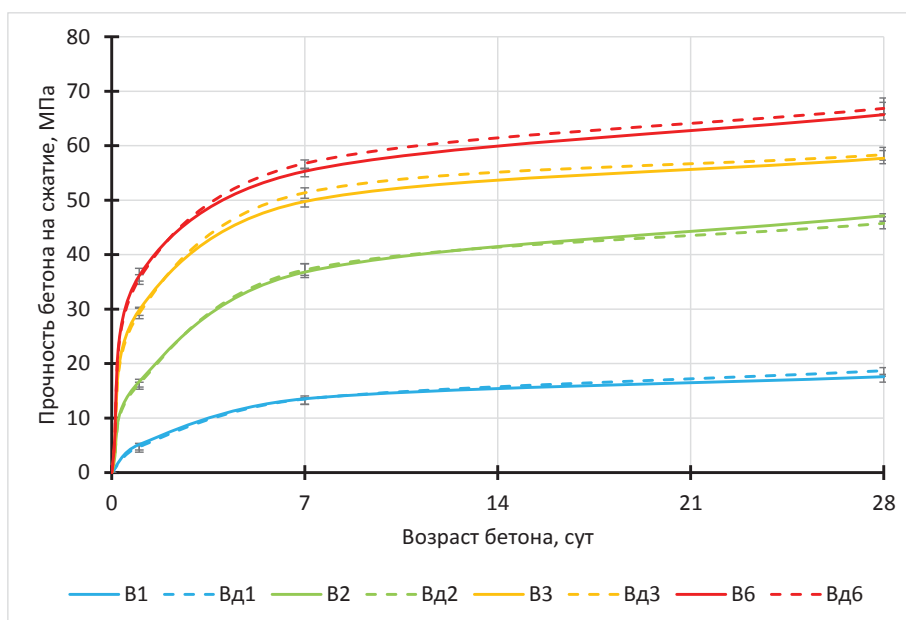


Рис. 11. Темпы набора прочности на сжатие бетонов, изготовленных на щебне из известняка
Fig. 11. Rate of compression strength of limestone concrete

Выводы

По результатам проведенной работы авторы полагают возможным отметить следующее.

– Для щебней, произведенных из одной и той же горной породы одного месторождения, но классифицированных по различным стандартам (ГОСТ 8267 или ГОСТ 32703), меняется доля зерен одного размерного класса с очевидной тенденцией к смещению распределения зерен по ГОСТ 32703 в область меньшего размерного класса. При этом сам характер распределения зерен в рамках фракции d/D меняется не столь существенно.

– Результаты определения технологических показателей бетонных смесей, изготовленных с использованием равных расходов щебня одного производства, но произведенного по различным стандартам, не демонстрируют существенного различия в фактических значениях.

– Результаты определения физико-механических характеристик бетонов, изготовленных с использованием щебня одного производства, также не демонстрируют качественных различий.

С учетом сохранения нормального характера распределения зерен внутри фракций (и, безусловно, исходя из постоянства содержания пластинчатых и игловатых зерен) основной проблемой при переходе к использованию щебня по ГОСТ 32703 для реального производства, вероятнее всего, может быть избыточное содержание фракции 2,5–5 мм в общей смеси заполнителей. При этом этот фактор может учитываться при подборе составов бетонных смесей и бетонов по ГОСТ 27006 путем рассмотрения избытка фракции < 5 мм как содержания мелкого заполнителя в крупном, а также при подборе с варьированием соотношения мелкого и крупного заполнителя в бетоне.

Потенциальной проблемой может быть использование в составах бетонных смесей щебня по ГОСТ 32703 с избыточным содержанием зерен фракции < 5 мм совместно с крупными песками и песками повышенной крупности, однако подобный риск существует и при использовании щебня по ГОСТ 8267.

Необходимо подчеркнуть, что результаты настоящей работы получены при сравнении между собой бетонов, изготовленных с использованием щебней с примерно равным содержанием зерен пластинчатой и игловатой формы. Контроль этого показателя при использовании щебня по ГОСТ 32703 должен осуществляться с повышенным вниманием, с учетом рисков недооценки показателя при использовании метода рассева на щелевидных ситах, особенно фракций с малым размером зерен.

Авторы считают необходимым еще раз подчеркнуть, что наиболее принципиальным вопросом, связанным с возможным расширением области применения щебня по ГОСТ 32703, является проблема использования сит различных типоразмеров. Настоящая работа была ориентирована на получение результатов, позволяющих сформулировать указания по использованию щебня по ГОСТ 32703 в общегражданском строительстве. При этом следует понимать, что это одновременно поднимает вопрос о дополнении либо пересмотре нормативных требований к мелкому заполнителю для бетонов – просто в силу того, что использование сит различных типоразмеров, модуля набора и формы ячеек противоречит самому принципу ситового анализа. В частности, это затрудняет построение единой кривой гранулометрического состава заполнителя, которая может учитываться для выбора оптимального соотношения мелкого и крупного заполнителя при подборе составов бетонных смесей и бетонов.

Авторы полагают, что в дальнейшем вопрос неизбежно должен рассматриваться с точки зрения нормирования требований как к крупному, так и к мелкому заполнителю для бетонов с выработкой решения либо о принятии единого размерного ряда контрольных сит, либо о допустимости использования нескольких размерных рядов (как это, к примеру, сформулировано в ISO 19595:2017 «Природные заполнители для бетонов»). При этом следует понимать, что при возможности выпуска продукции по двум стандартам производители с высокой вероятностью предпочтут выбрать один.

С учетом изложенного, по мнению авторов, окончательное решение о допустимости одновременного действия двух стандартов либо унификации их требований с целью дальнейшего перехода на единый стандарт должно приниматься с учетом суммарного экономического эффекта на весь комплекс строительного производства.

Список литературы

1. Bunte K., Abt S.R. Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel-and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-74. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station; 2001.
2. Alexander M., Mindess S. Aggregates in concrete. CRC Press; 2010.
3. Jansen M.L., Glastonbury J.R. The size separation of particles by screening. Powder technology. 1968;1(6):334–343. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(68\)80016-6](https://doi.org/10.1016/0032-5910(68)80016-6)
4. Heywood H. Measurement of the fineness of powdered materials. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. 1938;140(1):257–347. https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1938_140_020_02
5. TP 103–07. Технические рекомендации по устройству и ремонту дорожных конструкций с применением асфальтобетона. Москва: НИИМосстрой; 2007.
6. W.S. Tyler [Internet]. Available at: <https://wstyler.com/square-opening-wire-mesh/specification-tables/> [accessed 01 September 2021].
7. Славуцкий М. Обоснование возможности классификационной оценки по ГОСТ 32703–2014 щебня, выпущенного в соответствие с ГОСТ 8267–93 [Интернет]. В: Рынок щебня России. Материалы VII ежегодной конференции; 9–10 июня 2021. Режим доступа: https://vk.com/wall-151503804_1907
8. Колмогоров А.Н. О логарифмически нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении. Доклады академии наук СССР. 1941;31(2):99–101.
9. Королев В.Ю. О распределении размеров частиц при дроблении. Информатика и ее применение. 2009;3(3):60–68.
10. Матвеев А.И., Борисов В.З. Закономерности формирования гранулометрических характеристик продуктов дробления при многократном динамическом воздействии. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2001;(10):243–246.
11. Unland G. The principles of single-particle crushing. Handbook of powder technology. 2007;12:117–225. [https://doi.org/10.1016/S0167-3785\(07\)12007-8](https://doi.org/10.1016/S0167-3785(07)12007-8)

References

1. Bunte K., Abt S.R. Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel-and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-74. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station; 2001.
2. Alexander M., Mindess S. Aggregates in concrete. CRC Press; 2010.
3. Jansen M.L., Glastonbury J.R. The size separation of particles by screening. Powder technology. 1968;1(6):334–343. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(68\)80016-6](https://doi.org/10.1016/0032-5910(68)80016-6)

4. *Heywood H.* Measurement of the fineness of powdered materials. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. 1938;140(1):257–347. https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1938_140_020_02
5. TR 103-07. Technical recommendations for the installation and repair of road structures using asphalt concrete. Moscow: NIIMosstroy; 2007.
6. W.S. Tyler [Internet]. Available at: <https://wstyler.com/square-opening-wire-mesh/specification-tables/> (accessed 01 September 2021).
7. *Slavutsky M.* Substantiation of the possibility of a classification assessment according to GOST 32703–2014 of crushed stone produced in accordance with GOST 8267–93. In: Crushed Stone Market in Russia. Proceedings of the VII annual conference; 06–10 September 2021. Available at: https://vk.com/wall-151503804_1907 (in Russian).
8. *Kolmogorov A.N.* On the logarithmically normal law of particle size distribution during crushing. Doklady akademii nauk SSSR = Proceedings of the USSR Academy of Sciences. 1941;31(2):99–101 (in Russian).
9. *Korolev V.Yu.* On the distribution of particle sizes during crushing. Informatika i ee primeneniye = Informatics and Applications. 2009;3(3):60–68 (in Russian).
10. *Matveev A.I., Borisov V.Z.* Patterns of formation of granulometric characteristics of crushing products under multiple dynamic impact. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' = Mining Information and Analytical Bulletin. 2001;(10):243–246 (in Russian).
11. *Unland G.* The principles of single-particle crushing. Handbook of powder technology. 2007;12:117–225. [https://doi.org/10.1016/S0167-3785\(07\)12007-8](https://doi.org/10.1016/S0167-3785(07)12007-8)

Информация об авторах / Information about the authors

Вячеслав Рувимович Фаликман, д-р материаловедения, канд. хим. наук, действительный член РИА, руководитель Центра научно-технического сопровождения сложных объектов строительства НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: vfalikman@yandex.ru

Vyacheslav R. Falikman, Dr. Sci. (Materials), Cand. Sci. (Chem.), Full member of REA, Head of the Center for the Scientific and Technical Support of Technically Challenging Construction Projects, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: vfalikman@yandex.ru

Павел Николаевич Сиротин✉, инженер, ведущий специалист Центра научно-технического сопровождения сложных объектов строительства НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: pn.sirotn@yandex.ru

Pavel N. Sirotn✉, Engineer, Leading specialist of the Center for the Scientific and Technical Support of Technically Challenging Construction Projects No. 20, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: pn.sirotn@yandex.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

УДК 101.1

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-213-221](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-213-221)

EDN: LMXIRX

Наука и философия

ФИЛОСОФИЯ ТЕХНИКИ

В.И. НИКИТИН, канд. ист. наук

АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

Аннотация

В данной статье предпринята попытка в краткой форме раскрыть смысл и назначение второй части учебного курса для аспирантов, носящей название «История и философия техники».

Что такое техника? Какова ее природа и историческое предназначение? Всегда ли техника является благом и всегда ли она приносит пользу? Какова реальность технических объектов, и до каких пределов она простирается? Каково значение техники для человека, и каким образом она связана с другими аспектами его жизни? Эти и многие другие вопросы, связанные с техникой, историей ее развития, возрастом ее влияния практически на все сферы жизнедеятельности людей, приобретают исключительно важное не только практическое, но и теоретическое, и даже эпистемологическое значение. На них ищет ответы возникшее во второй половине XIX в. в рамках философии новое научное направление, получившее название «философия техники».

Статья посвящена вопросам и неизбежно возникающим проблемам, которые раскрывают содержательную часть того, как возникла и на каких основаниях базируется философия техники, почему у истоков ее зарождения стояли инженеры, каковы главные цели и задачи этой философской дисциплины.

Ключевые слова: философия, техника, философия техники, антропоцен

Для цитирования: Никитин В.И. Философия техники. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;33(2):213–221. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-213-221](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-213-221)

Вклад автора

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

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 05.06.2022

Поступила после рецензирования 17.06.2022

Принята к публикации 21.06.2022

PHILOSOPHY OF TECHNOLOGY

V.I. NIKITIN, Cand. Sci. (History)

JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract

In this article, the meaning and purpose of the second part of the postgraduate course entitled History and Philosophy of Technology were briefly described.

What is technology? How one can define its nature and historical purpose? Is technology always beneficial? What constitutes the reality of technical objects, and to what limits does it extend? What is the importance of technology for humankind, and how does it affect every aspect of human life? These and many other questions related to technology, the history of its development, and its increasing influence on the human life sphere are of practical, as well as theoretical and even epistemological, importance. A scientific discipline, the philosophy of technology, which emerged in the second half of the 19th century, seeks answers to these questions.

The article addresses the problems that reveal how and on what basis the philosophy of technology emerged, why engineers were at the origin of its development, and what are the main goals and tasks of this philosophical discipline.

Keywords: philosophy, technology, philosophy of technology, anthropocene

For citation: Nikitin V.I. Philosophy of Technology. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):213–221. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-213-221](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-213-221)

Author contribution statement

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

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 05.06.2022

Revised 17.06.2022

Accepted 21.06.2022

Техника возникла значительно раньше, чем наука, и даже раньше, чем появились зачатки научного знания. Большинство специалистов считают, что техника возникла одновременно с человеческим обществом. Техника порождена человеком, она служила ему средством освобождения от рабской зависимости от природы и средством удовлетворения его биологических и социальных потребностей. Права поговорка, утверждающая, что «нужда была матерью изобретения».

В свою очередь, техника формировала нового человека, создавала условия для возникновения новых потребностей, обеспечивая тем самым их непрерывный рост. Противоречия между потребностями, возможностями и средствами для их удовлетворения стали главной причиной возникновения и развития техники.

Чтобы образно представить процесс ускоряющегося исторического развития человечества под влиянием технического, а затем и научно-технического прогресса, можно привести следующее сравнение. Если изобразить историю человечества с момента появления первых каменных орудий и до ультрасовременных технических устройств в виде километрового отрезка, а исторически развивающегося человека – в виде бегуна на тысячеметровую дистанцию, то получится, что бегун 950 метров передвигался чуть ли не ползком, 48 метров двигался постепенно ускоряющимся шагом и только последние два метра рванул бегом.

Именно за последние два столетия техника стала определяющим фактором в жизни человеческого общества, создав для него особую и уникальную искусственную среду обитания, названную «второй природой». Особенно этот процесс ускорился со второй половины XX в.

и настолько сильно и заметно, что в 2019 г. Международная комиссия по стратиграфии (раздел геологии о строении горных пород) провела первое голосование по признанию *антропоцена* – новой эпохи, пришедшей на смену *голоцену*, в котором человечество развивалось на протяжении 11,7 тыс. лет.

Впервые термин «антропоцен» предложил ученый Пауль Крутцен, заявивший, что человек настолько изменил Землю, что мы больше не можем жить в условиях голоцена. По мнению членов комиссии, человек живет в первой эре, созданной им самим, и отличительной особенностью этой эры стали новые материалы. «Началось производство и распространение по всему миру новых «минералов», таких как алюминий и пластмасса, и «пород», таких как бетон, – отметил профессор палеобиологии в университете Лестера Ян Заласиевич. – Все это формируется в новые «слои» наших мегаполисов. Распространились и различные химические вещества, которых не было».

Хотя, как мы знаем, техника использовалась человеком на всех этапах его развития, определяющую роль она стала играть с XX столетия, которое с полным основанием можно назвать веком техники. К настоящему времени создано около полумиллиона образцов технических средств, что сравнимо с количеством видов растений, произрастающих на нашей планете.

Созданная как средство достижения определенных целей, как инструмент удовлетворения прагматических потребностей, техника превратилась в наши дни в самостоятельную надличностную силу. Так, в 70-е годы в США на базе ускоренного развития научно-технического прогресса была даже выработана специальная экономическая стратегия трех «Э» (Энергетика, Экология, Экспорт) как переориентация науки на ускоренное развитие технологий и прикладных исследований.

В настоящее время многие университеты мира приняли ориентированную на инновационную деятельность концепцию CDIO – осмысление (Conceiving), проектирование (Designing), реализация (Implementing) и применение (Operating). По ней надо готовить инженера-бизнесмена, который знает, как планировать, проектировать, производить и применять сложные инженерные системы, понимает принципы бизнеса. Россия в процессе реформирования науки и образования также пошла по этому пути, приняв концепцию так называемого «результативного подхода» (бизнес-подхода).

Таким образом, неслучайно в XX в. техника становится объектом изучения самых разных дисциплин, как технических и естественных, так и общественных. Однако все эти и общие, и частные дисциплины концентрируют свое внимание или на отдельных видах, или на некоторых срезех техники.

Следует отметить, что первые работы по истории техники стали появляться еще в глубокой древности. К ним можно отнести труды древнегреческого механика Герона Александрийского «Механика», «Книга о подъемных механизмах», «Книга о военных машинах», десяти томный трактат римского архитектора Марка Витрувия Поллиона «Об архитектуре» и ряд других.

Со второй половины XIX в. техника становится объектом и самостоятельного философского анализа. Это не означает, что до этого времени не предпринимались попытки философского обобщения технических феноменов. Так, впервые мысль о создании философии техники, а точнее философии механики, была высказана английским химиком и физиком Робертом Бойлем (1627–1691). В своей книге «Механические качества» (1675) он попытался сформулировать философскую концепцию, в которой механика рассматривалась как основа всего сущего.

Позднее немецкий экономист Иоганн Бекман (1739–1811), впервые введший в научный оборот термин «технология», и шотландский инженер, и экономист Эндрю Юр (1778–1857) попытались создать некую философию промышленности. Но подлинным основоположником этой научной дисциплины на Западе считается немецкий мыслитель Эрнст Капп (1808–1896). Именно он ввел в оборот понятие «философия техники» и первым дал ее научное обоснование.

Философия техники исследует феномен техники в целом, причем не только ее внутреннее развитие, но и ее место в общественном развитии. Она имеет отличный от других научных дисциплин объект и предмет. Сама техника, техническая деятельность и техническое знание как специфический феномен культуры – это объект, а развитие общественного технического сознания, рефлексиирующего данный объект – это предмет философии техники.

Существует несколько точек зрения по вопросу о статусе философии техники. Некоторые авторы считают философию техники одной из частных философских дисциплин, наподобие философии естествознания, философии истории, философии искусства и т. д. Другие рассматривают философские исследования техники как показатель становления особой философской школы наряду с уже существующими. Третьи полагают, что происходит формирование нового самостоятельного философского направления.

На наш взгляд, философия техники – это установившееся название одного из направлений современной философии, призванного исследовать:

а) наиболее общие закономерности развития техники, технологии, инженерной и технической деятельности, проектирования, технических наук, а также место их в человеческой культуре вообще и в современном обществе в частности;

б) отношения человека и техники, техники и природы, этические, эстетические, глобальные и другие проблемы современной техники и технологии.

Первым, кто внес в заглавие своей книги словосочетание «философия техники», был немецкий ученый Э. Капп (1808–1896), заложивший основы гуманитарно-антропологического направления в философии техники. Его книга «Основные направления философии техники. К истории возникновения культуры с новой точки зрения» вышла в свет в 1877 г. и была встречена ученым, инженерным и философским сообществом весьма неоднозначно.

Сам Капп не был ни профессиональным инженером, ни профессиональным философом, а его идеи, связанные с рассмотрением техники как проекции человеческих органов, способностей и жизнедеятельности, значительно опережали время и казались тогда недостаточно привязанными к реалиям современной ему техники.

Высланный из Германии по решению суда за публикацию книги «Узаконенный деспотизм и конституционные свободы», он уехал в Америку и в течение 20 лет прожил фермером в Техасе. Труд на земле дал ему практическую возможность философского осмысления связи человека с предметом труда посредством орудий труда.

Под влиянием антропологической концепции Л. Фейербаха и идей древнегреческого софиста Протагора, что человек есть мера всех вещей, Капп увлекся тайной связи человеческого тела с деятельностью мозга. Соединение человеческой руки (антропология) через ум с орудиями труда – исходный пункт философских размышлений Каппа о технике и ее сущности.

По мнению Каппа, человек не удовлетворен тем, что ему предоставила природа. А так как благодаря уму ему свойственно *самотворчество*, то он преобразует природу в угоду своей сущности.

«Внутренний мир» человека, согласно представлениям Каппа, понимается как человеческое тело, а «исходящий от человека внешний мир механической работы может быть понят лишь как реальное продолжение организма, как перенесение вовне внутреннего мира представлений».

Из этого следует вывод, что внешнее – это продолжение человеческого тела, а точнее – механическое подражание его различным органам. Среди этих органов Капп особое место отводит человеческой руке. По его представлению она имеет тройное назначение: во-первых, является природным орудием; во-вторых, служит образцом для механических орудий; в-третьих, играет главную роль при изготовлении вещественных подражателей, то есть является «орудием орудий».

Концепция философии техники Каппа получила название *органопроекции* и оказала огромное влияние на последующих мыслителей, пытавшихся осмыслить роль и значение техники в развитии человечества.

Не останавливаясь на подробном изложении концепции органопроекции, следует выделить в ней ряд особо важных положений. Во-первых, это мысль, что человек делает свое тело «масштабом» для природы и с юности привыкает пользоваться этим мериллом. Например, длина локтевого сустава, длина шага, пять пальцев, десять пальцев в системах исчисления и т. д.

Форма орудия как бы повторяет форму органа человека. «Изогнутый палец, – замечает Э. Капп, – становится прообразом крючка, горсть руки – чашей. В мече, копье, весле, совке, граблях, плуге и лопате нетрудно разглядеть различные позиции и положения руки, кисти, пальцев, приспособление которых к рыбной ловле и охоте, садоводству и использованию полевых орудий достаточно очевидно».

Во-вторых, это идея об активном взаимодействии между естественными орудиями (органами человека) и орудиями искусственными. «В процессе взаимодействия, – пишет Капп, – орудие поддерживало развитие естественного органа. А последний, в свою очередь, достигая более высокой степени ловкости, приводил к усовершенствованию и развитию орудия».

В-третьих, это идея о том, что с помощью техники человек создает особую искусственную среду, которая не существовала до этого в природе. «То, что вне человека, – замечает Капп, – состоит из созданий природы и человека».

Последователем концепции органопроекции одним из первых стал французский социолог Альфред Эспинас (1844–1922), дополнивший ее в книге «Происхождение технологий» (1890) своей «философией действия».

Несколько позже профессиональный немецкий философ Ф. Бон называет в своей книге «О долге и добре», опубликованной в 1898 г., одну из двух глав «Философия техники», специально выделив этическую проблематику в связи с развитием техники, которая в наши дни заняла одно из центральных мест в философии техники. Фред Бон придавал понятию «техника» предельно широкое значение: «Всякая деятельность и прежде всего всякая профессиональная деятельность нуждается в технических правилах».

Он различает несколько способов действия, придавая особое значение целенаправленной деятельности, в которой успех достигается указанием в предшествующем рассуждении руководящего средства. Это фактически задает границы между «техникой» и «не-техникой», поскольку к сфере техники может быть отнесен именно этот способ действия.

Значительным вкладом в становление философии техники как качественно нового направления развития философской мысли явилось творчество трех ученых – русского П. К. Энгельмейера и немецких Э. Чиммера и Ф. Дессауэра.

Петр Климентьевич Энгельмейер (1855–1941) окончил Императорское высшее техническое училище по специальности инженер-механик, работал на различных заводах России и Германии, затем перешел на преподавательскую работу. Он был хорошо известен инженерному сообществу в России и Германии того времени. После публикации ряда статей в немецких изданиях, выступления с докладом на IV Конгрессе философов в Болонье в 1911 г. и издания в России в 1912–1913 гг. нескольких работ под общим названием «Философия техники» П. К. Энгельмейер приобрел настоящую популярность как специалист в области философии техники.

Уже в конце XIX в. в своей брошюре «Технический итог XIX века» (1898) он пишет о технике: «Своими приспособлениями она усилила наш слух, зрение, силу и ловкость, она сокращает расстояние и время и вообще увеличивает производительность труда. Наконец, облегчая удовлетворение потребностей, она тем самым способствует зарождению новых... Техника покорила нам пространство и время, материю и силу и сама служит той силой, которая неудержимо гонит вперед колесо прогресса».

Являясь последователем Э. Каппа и опираясь на достижения европейской научной мысли, П. К. Энгельмейер последовательно изложил свои взгляды на философию техники и ее предмет в своих многочисленных работах, статьях и лекциях. Обобщенно они сводились к следующим положениям:

1. Способность человека к созданию орудий заложена в самой его природе, в его творческой натуре.
2. Опыт и наблюдения использования техники для борьбы с природой показывают, что природу надо побеждать природой.
3. Ум человека развивается параллельно с развитием языка и орудий труда.
4. Наука рождается из практических нужд техники.

Энгельмейер считал, что жизнь сама диктует технике необходимые знания и задает цели. Для жизни ценно лишь то знание, которое ведет к практическим результатам. Отвечая на вопрос, чем отличаются наука и техника, он утверждал: наука стремится к *истине*, а техника – к *пользе*. Техника приходит тогда, когда ученый уже сказал, в чем истина. *Наука знает, а техника делает*.

Высказываясь в пользу существования в обществе людей с особым «техническим» складом ума, Энгельмейер формулирует особый свод требований к технике и носителям ее идей, который, по его мнению, основан на социальной и персональной ответственности, на своеобразной «формуле воли», составляющими которой являются «Истина, Красота, Добро, Польза», которым противостоят «Ложь, Уродство, Зло, Вред». «Пушка одинаково служит тому, кто ею владеет; типографский станок безразлично выпускает и Евангелие, и памфлет мракобеса; все зависит от людей, в руках которых машина работает».

П. К. Энгельмейер был истинным патриотом России. Когда произошла Октябрьская революция и ему предложили эмигрировать на Запад, он отказался и до начала 30-х годов делал многое для распространения технических знаний. Он сыграл решающую роль в появлении Политехнического музея в Москве, был инициатором многих печатных изданий для инженеров и активно публиковался сам. Так, он издал в 20-е годы учебник «Конспект лекций

по философии техники. Ч. 1. История техники», подготовил программу кружка по общим вопросам техники Политехнического общества Московского отделения Всесоюзной ассоциации инженеров (ВАИ), который он организовал в 1927 г. В 1929 г. в журнале «Инженерный труд» выходит его последняя статья по этой тематике «Нужна ли нам философия техники?» в порядке дискуссии». Опубликованная в ответ критическая статья объявляла ее ненужной с позиций диалектического материализма.

В русле складывавшейся в 30-е годы сталинской интерпретации марксистской философии заниматься философскими проблемами техники стало небезопасно, и Энгельмeyer вообще прекратил научную деятельность. Его кружок был распущен вместе с ВАИ. Известно, что какое-то время где-то в Подмоскowie он занимался разведением лошадей и в 1941 г. в безвестности тихо скончался в своей московской квартире.

Эберхард Чиммер (1873–1940) получил образование инженера-химика и параллельно защитил диссертацию по философии. В 1913 г. вышло первое издание его книги «Философия техники» с подзаголовком «О смысле техники и критика бессмыслицы о технике». В 1937 г. он опубликовал книгу «Германские философы техники». Чиммер считал, что основная задача философии техники заключается в исследовании основ развития истории изобретательства. «Изобретение расположено не в мертвых вещах – в мертвых машинах, в безжизненных орудиях и приборах, – утверждал он, – а прежде всего – в деятельности».

Одной из центральных фигур в становлении философии техники был, безусловно, Фридрих Дессауэр (1881–1963), инженер и ученый, занимавшийся исследованиями в области физики и инженерии в связи с проблемой терапии X-лучами. В 1920 г. он занял место профессора в университете Франкфурта, а через год стал директором Института физических основ медицины в этом университете. В 1924–1933 гг. Дессауэр – член германского парламента (рейхстага), а с 1934 г. в связи с неприятием нацизма и преследованием со стороны гитлеровских властей он отправился в эмиграцию и вернулся на родину лишь после разгрома фашизма.

В 20-е годы в Союзе немецких инженеров он стал центральной фигурой в дискуссии по проблемам философии техники, а в 1927 г. издал книгу «Философия техники. Проблемы реализации». В 1956 г., к концу своей жизни, Дессауэр опубликовал полностью пересмотренный и расширенный вариант своей книги «Спор о технике».

Будучи глубоко верующим человеком, он исходил из предположения, что человек может создавать заново лишь то, что как возможность было запланировано Богом. По его мнению, техника сначала существует как недоступное, но возможное, предполагаемое, ожидающее, так сказать, своего изобретателя. Дессауэр считал, что *человек создает технику потому, что он мечтает*.

Согласно Дессауэру, техническая деятельность заключается в единстве трех моментов – законов природы, обработки и целеполагания. Опираясь на законы природы, человек может обработать исходный материал таким образом, что этот материал в соответствии с его волей обретает новую форму и тем самым становится новой реальностью.

По его мнению, технические решения должны быть заданы человеческими потребностями и желаниями. Дессауэр различает *цель* и *назначение техники*. Цель изобретателей и проектировщиков – создать технический объект, соответствующий его назначению. То, что искали, наконец, существует, «функционирует». Найденное решение соответствует своему назначению. Цель же существует прежде и идет дальше. Цель строительства дома, например, – это не сам дом, а проживание в нем.

Таким образом, работы первых представителей философии техники, представлявших так называемое инженерное направление в зарождающемся новом философском течении, по существу стали первой попыткой обсуждения роли техники в обществе и наметили основные пути будущих дискуссий в данной области. Важно отметить, что в самой инженерной среде по мере развития промышленного производства и его возрастающего воздействия на все сферы человеческой жизни возникает потребность философского осознания феномена техники и собственной деятельности по ее созданию.

Список литературы

1. Бердяев Н.А. Человек и машина (Проблемы социологии и метафизики техники). Вопросы философии. 1989;[2]:147–162.
2. Арзаканян Ц.Г., Горохов В.Г. Предисловие. В: Философия техники в ФРГ. Москва: Прогресс; 1989. с. 3–22.
3. Хунинг А. Философия техники и Союз немецких инженеров. В: Философия техники в ФРГ. Москва: Прогресс; 1989; с. 69–74.
4. Ясперс К. Современная техника. В: Смысл и назначение истории. Москва: Республика; 1994. с. 113–141.
5. Ленк Х. Размышления о современной технике. Москва: Аспект Пресс; 1996. с. 3–13.
6. Ортега-и-Гассет Х. Размышления о технике. В: Избранные труды. Москва: Весь Мир; 1997. с. 164–232.
7. Горохов В.Г. Петр Климентьевич Энгельмейер. Инженер-механик и философ техники. Москва: Наука; 1997.
8. Митчел К. Что такое философия техники. Москва: Аспект Пресс; 1995. с. 67–74.
9. Миронов В.В., ред. Философия техники и технических наук. В: Современные философские проблемы естественных, технических и социально-гуманитарных наук. Москва: Гардарики; 2006. с. 375–394.
10. Горохов В.Г. Основы философии техники и технических наук. Москва: Гардарики; 2007. с. 13–29.
11. Степин В.С., Горохов В.Г., Розов М.А. Философия науки и техники. Москва: Гардарики; 2008. с. 112–148.

References

1. Berdyaev N.A. Man and machine (Problems of sociology and metaphysics of technology). Voprosy filosofii. 1989;[2]:147–162 (in Russian).
2. Arzakanyan Ts.G., Gorokhov V.G. Introduction. In: Philosophy of technology in Germany. Moscow: Progress Publ.; 1989. p. 3–22 (in Russian).
3. Xuning A. Philosophy of Technology and the Union of German Engineers. In: Philosophy of technology in Germany. Moscow: Progress Publ.; 1989. p. 69–74 (in Russian).
4. Jaspers K. Modern technology. In: The meaning and purpose of history. Moscow: Respublika Publ.; 1994. p. 113–141 (in Russian).
5. Lenk H. Reflections on modern technology. Moscow: Aspect Press Publ.; 1996. p. 3–13 (in Russian).
6. Ortega y Gasset J. Reflections on technology. In: Selected works. Moscow: Ves' Mir Publ.; 1997. p. 164–232 (in Russian).
7. Gorokhov V.G. Pyotr Klimentievich Engelmeyer. Mechanical engineer and philosopher of technology. Moscow: Nauka Publ.; 1997. (in Russian).
8. Mitchell C. What is the philosophy of technology. Moscow: Aspect Press Publ.; 1995. p. 67–74 (in Russian).
9. Mironov V.V., editor. Modern philosophical problems of natural, technical and socio-humanitarian sciences. Moscow: Gardariki Publ.; 2006. p. 375–394 (in Russian).
10. Gorokhov V.G. Fundamentals of philosophy of engineering and technical sciences. Moscow: Gardariki Publ.; 2007. p. 13–29 (in Russian).
11. Stepin V.S., Gorokhov V.G., Rozov M.A. Philosophy of Science and Technology. Moscow: Gardariki Publ.; 2008. p. 112–148 (in Russian).

Информация об авторе / Information about the author

Валерий Иванович Никитин, канд. ист. наук, профессор кафедры философии АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: kaffcenter@mail.ru

тел.: +7 (499) 170-70-94

Valery I. Nikitin, Cand. Sci. (History), Professor, Philosophy Department, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: kaffcenter@mail.ru

tel.: +7 (499) 170-70-94



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

Мы — команда единомышленников,
способных реализовать сложнейшие
инженерные проекты.

УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР

АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр



РАН



Минобрнауки России



Минстрой России

с 1927 года
95
ЛЕТ



г. Москва,
2-я Институтская ул., д. 6



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



www.cstroy.ru



motorina@cstroy.ru | smirnova@cstroy.ru



ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ

ИЗЫСКАНИЯ

СТРОИТЕЛЬСТВО

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



повысить квалификацию
специалистов и экспертов



пройти обучение в аспирантуре



подготовить диссертацию в докторантуре



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

Учебный центр
АО «НИЦ «Строительство»
приглашает вас:





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

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



Преподавательский состав Учебного центра

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

ФОРМЫ ПОДГОТОВКИ ДИССЕРТАЦИИ В АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



Набор в аспирантуру и докторантуру АО «НИЦ «Строительство» проводится по направлению **08.06.01 «Техника и технология строительства»** по направлениям:

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



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

Защита диссертаций проводится по следующим научным специальностям:

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

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

Научное издание

Вестник НИЦ «Строительство»
Вып. 2(33) 2022

Фото обложки: Первый этаж башни Б-Капитал Тауэр

Редактор выпуска Починина Н.Е.
Компьютерная верстка Чорненький С.И.

Дата выхода в свет: 25.06.2022 г. Формат 70×100/16
Бумага мелованная. Офсетная печать.
Тираж 500 экз. Заказ № 27081

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии «Триада»
170034, Российская Федерация,
г. Тверь, пр. Чайковского, д. 9, оф. 514.
тел.: +7 910 647-49-85
e-mail: triadatver@yandex.ru



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр

ISSN: 2224-9494 (Print)

ISSN: 2782-3938 (Online)

Подписной индекс: 36569

АО «НИЦ «Строительство»

Москва, 2022