

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

1

620

2024

BZHB.RU

ИЗДАЕТСЯ С 1955 ГОДА



Учредитель: Ассоциация «Железобетон»

Адрес: Рязанский просп., д. 22, корп. 2,
г. Москва, 109428, Российская Федерация

Издатель: АО «НИЦ «Строительство»

Адрес: 2-я Институтская ул., д. 6, корп. 1,
г. Москва, 109428, Российская Федерация

Зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор).

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

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

ISSN 0005-9889 (Print)

ISSN 3034-1302 (Online)

Основан: Институт НИИЖБ Госстроя СССР
и ВНИИЖелезобетон

Минстройматериалов СССР

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Издается с 1955 г.

1 (620)

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

М.Б. КРАКОВСКИЙ, И.Н. ТИХОНОВ

**Реализация расчетов нормальных сечений железобетонных
конструкций в программных комплексах 5**

О.И. ПОНОМАРЕВ, А.Ю. ДОЗОРОВА, М.А. МУХИН

**Оценка влияния увлажнения на прочность бетонных
и керамических кладочных стеновых изделий 14**

И.Н. ТИХОНОВ, В.Г. КРЮЧКОВ, А.И. ЗВЕЗДОВ, Б.С. СОКОЛОВ, Г.И. ТИХОНОВ

**Конструктивная разработка и расчетное обоснование
защитной оболочки ядерного реактора АЭС из железобетона 22**

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

Бетон как экофактор стабилизации изменения климата 34

ОТРАСЛЕВАЯ ИНФОРМАЦИЯ

А.Г. БУБЛИЕВСКИЙ, С.Н. ЛАПЫРЕВ

Основные тенденции 2023 года в бетонном строительстве 42

ИМЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ НАУКЕ

А.Л. КАЛИНИЧЕНКО

**Учил строить не только дешево,
капитально, но и красиво 53**

Авторы

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

Редакция

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

Перепечатка

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

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

Адрес редакции: 2-я Институтская ул., д. 6,
корп. 1, г. Москва, 109428, Российская
Федерация

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

E-mail: bzhb.ru@yandex.ru

http://bzhb.ru

Свободная цена

Founder of the journal:

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

Publisher: JSC Research Center of Construction

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

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

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

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

ISSN 0005-9889 (Print)

ISSN 3034-1302 (Online)

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

BETON I ZHELEZOBETON

Published since 1955

1 (620)

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

M.B. KRAKOVSKY, I.N. TIKHONOV

**Implementation of calculations of normal sections of reinforced
 concrete structures in software packages 5**

O.I. PONOMAREV, A.Yu. DOZOROVA, M.A. MUKHIN

**Assessment of the effect of moisture on the strength of concrete
 and ceramic masonry wall products 14**

I.N. TIKHONOV, V.G. KRYUCHKOV, A.I. ZVEZDOV, B.S. SOKOLOV, G.I. TIKHONOV

**Constructive development and design justification of the protective
 shell of a nuclear reactor made of reinforced concrete 22**

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

Concrete as an eco-factor for climate change stabilization. 34

INDUSTRY INFORMATION

A.G. BUBLIEVSKY, S.N. LOPYREV

The main trends of 2023 in concrete construction 42

A NAME IN CONSTRUCTION SCIENCE

A.L. KALINICHENKO

He taught to build not only cheaply, capital, but also beautifully. 53

The authors

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

The Editorial Staff

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

Reprinting

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

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

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

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

E-mail: bzhb.ru@yandex.ru

http://bzhb.ru

Free price

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editorial team:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

М.Б. КРАКОВСКИЙ¹, И.Н. ТИХОНОВ^{2,3,✉}¹ ООО НПКБТ «ОПТИМИЗАЦИЯ», ул. Дмитрия Ульянова, д. 24, кв. 331,
г. Москва, 117036, Российская Федерация² АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6,
г. Москва, 109428, Российская Федерация³ 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

РЕАЛИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Аннотация

Введение. В предыдущих публикациях авторы рассмотрели особенности расчетов прочности нормальных сечений железобетонных конструкций, связанные с возможностью использования двух подходов – нелинейной деформационной модели (НДМ) и метода предельных усилий (МПУ). На конкретных примерах выполнено сравнение результатов, получаемых при обоих подходах. Выявлены случаи значительных расхождений в расходе подбираемой арматуры, объяснены тенденции, проанализирована физическая суть явления. Расчеты выполняли по программе ОМ СНИП Железобетон.

Цель. Проанализировать реализацию особенностей при использовании различных ЭВМ-программ расчетов железобетонных конструкций, выявить различия результатов, установить их физическую причину, оценить экономические аспекты и проблемы, дать необходимые рекомендации.

Материалы и методы. Исследования выполняли для трех типов конструкций. К первому типу относились четыре сечения элементов при двух напряженных состояниях: внецентренном сжатии (прямоугольное и кольцевое) и косом внецентренном сжатии (прямоугольное и двутавровое). Второй тип конструкций включал колонны и пилоны запроектированного и построенного железобетонного здания. Третьим типом был показательный пример – тавровое сечение изгибаемого элемента при разных действующих моментах и процентах армирования. Расчеты конструкций первого типа проводили авторы по программе ОМ СНИП Железобетон, а также разработчики программ Ing+, Арбат, Лира-САПР, Лира 10, STARK ES. Расчет конструкций второго типа проводили авторы по программе ОМ СНИП Железобетон и проектировщики по программе Лира-САПР 2022. Тестовый пример рассчитывали авторы по программе ОМ СНИП Железобетон.

Результаты. При расчетах по НДМ выявлен значительный неоправданный перерасход требуемой арматуры по сравнению с расчетом по МПУ. В показателем примере перерасход составляет 220 %.

Выводы. Общее состояние расчетов железобетонных конструкций следует признать требующим корректировки. Для получения многомиллиардного экономического эффекта предлагается предусмотреть в СП 63.13330.2018 два равноправных подхода к расчету нормальных сечений железобетонных конструкций – НДМ и МПУ. Целесообразно разработать документ с набором эталонных примеров, позволяющий получать по разным программам одинаковые результаты при одинаковых исходных данных.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, нормальные сечения, расчет, прочность, нелинейная деформационная модель, метод предельных усилий, сопоставление результатов, ЭВМ-программы, железобетонные здания, экономичное проектирование

Для цитирования: Краковский М.Б., Тихонов И.Н. Реализация расчетов нормальных сечений железобетонных конструкций в программных комплексах // Бетон и железобетон. 2024. № 1 (620). С. 5–13. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1\(620\)-5-13](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1(620)-5-13)

Вклад автора

Авторы внесли равный вклад в постановку задачи, проведение исследований и оценку результатов.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 01.03.2024

Поступила после рецензирования 20.03.2024

Принята к публикации 21.03.2024

M.B. KRAKOVSKY¹, I.N. TIKHONOV^{2,3,✉}¹ LLC NPKTB OPTIMIZATSIYA, Dmitry Ulyanov str., 24, appt. 331,
Moscow, 117036, Russian Federation² JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6,
Moscow, 109428, Russian Federation³ Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev,
JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5,
Moscow, 109428, Russian Federation

IMPLEMENTATION OF CALCULATIONS OF NORMAL SECTIONS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN SOFTWARE PACKAGES

Abstract

Introduction. In previous publications, the authors examined the features of calculating the strength of normal sections of reinforced concrete structures associated with the possibility of using two approaches – the nonlinear deformation model (NDM) and the method of limiting forces (MLF). Using specific examples, the results obtained with both approaches are compared. Cases of significant discrepancies in the consumption of selected reinforcement have been identified, trends have been explained, and the physical essence of the phenomenon has been analyzed. Calculations were performed according to the OM SNiP Reinforced Concrete program.

Aim. To analyze the implementation of features when using various computer programs for calculations of reinforced concrete structures, identify differences in results, establish their physical cause, evaluate economic aspects and problems, and make the necessary recommendations.

Materials and methods. The studies were performed for three types of structures. The first type included four sections of elements under two stress states: off-center compression (rectangular and annular) and oblique off-center compression (rectangular and I-beam). The second type of structures included columns and pylons of a projected and constructed reinforced concrete building. The third type was an illustrative example – the T-section of the bent element at different operating moments and percentages of reinforcement. Calculations of the first type of structures were carried out by the authors by the OM SNiP Reinforced Concrete program, as well as the program developers of the Ing+, Arbat, Lira-SAPR, Lira 10, STARK ES programs. The calculation of structures of the second type was carried out by the authors by the OM SNiP Reinforced Concrete program and the designers by the Lira-SAPR 2022 program. The test example was calculated by the authors according to the OM SNiP Reinforced Concrete program.

Results. When calculating according to the NDM, a significant unjustified overspending of the required reinforcement was revealed compared to the calculation according to the MLF. In an illustrative example, the overspend is 220 %.

Conclusions. The general state of calculations of reinforced concrete structures should be recognized as requiring adjustments. To obtain a multibillion-dollar economic effect, it is proposed to provide in SP 63.13330.2018 two equal approaches to the calculation of normal sections of reinforced concrete structures – NDM and MLF. It is advisable to develop a document with a set of reference examples that allows you to get the same results for different programs with the same source data.

Keywords: reinforced concrete structures, normal cross-sections, calculation, strength, nonlinear deformation model, method of limiting forces, comparison of results, computer programs, reinforced concrete buildings, economical design

For citation: Krakovsky M.B., Tikhonov I.N. Implementation of calculations of normal sections of reinforced concrete structures in software packages. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 1 (620), pp. 5–13. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1\(620\)-5-13](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1(620)-5-13)

Author contribution statements

The authors made an equal contribution to the problem statement, research, and evaluation of results.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 01.03.2024

Revised 20.03.2024

Accepted 21.03.2024

В [1] рассмотрены особенности расчетов прочности нормальных сечений изгибаемых и внецентренно сжатых железобетонных конструкций, связанные с возможностью использования двух подходов – нелинейной деформационной модели (НДМ) и метода предельных усилий (МПУ). На конкретных примерах выполнено сравнение результатов, получаемых при обоих подходах. Выявлены случаи расхождений в расходе подбираемой арматуры, произведена оценка влияния расчетных предпосылок МПУ и НДМ на эти результаты. Расчеты выполняли по программе ОМ СНиП Железобетон. Аналогичная работа была выполнена в программе STARK ES в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко [2]. В данном случае подход НДМ показал результаты расчета, близкие к МПУ. Рекомендовано использовать МПУ более широко, чем указано в п. 6.2.2 [3].

В настоящей статье приводится сопоставление результатов расчетов в различных программах с использованием НДМ с расчетами по МПУ, выполненными в программе ОМ СНиП Железобетон. Рассмотрены тестовые примеры внецентренно сжатых элементов железобетонных конструкций, расчетов здания, а также показательный пример расчета нормального сечения изгибаемой тавровой балки с различным армированием по программе ОМ СНиП Железобетон с использованием МПУ и НДМ.

Тестовые примеры внецентренно сжатых элементов

В 2019 г., по решению научно-технического совета «Железобетонные конструкции. Методы расчета и проектирования» Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), была создана рабочая группа для изучения результатов расчетов железобе-

тонных конструкций на ЭВМ по различным программным комплексам. В группу вошли представители разработчиков программ, наиболее широко используемых при проектировании: Ing+, SCAD (Арбат), Лира-САПР, Лира 10, STARK ES, ОМ СНиП Железобетон.

Для сравнения результатов участники рабочей группы просчитали тестовые примеры. Часть из них, содержащая нормальные сечения внецентренно сжатых элементов, представлена в табл. 1. Подробные данные об условиях и результатах расчетов приведены в [4].

В табл. 2 приведены результаты сопоставлений подбора арматуры при расчетах на основе МПУ (по общему случаю, использованному в программе ОМ СНиП Железобетон [5], и ручным расчетам) и НДМ (по каждой из рассматриваемых программ). В таблице представлены только те расчеты, в которых получены разные результаты по НДМ и МПУ. Столбцы таблицы, обозначенные цифрами в круглых скобках, включают следующие данные:

- (1) – номера примеров из табл. 1;
- (2), (3), (4) – действующие усилия;
- (5) – армирование по МПУ;
- (6) – армирование по НДМ;
- (7) – перерасход стали при армировании по НДМ по сравнению с МПУ.

В табл. 3 представлена сводная информация о перерасходе стали в рассмотренных программах при расчете по НДМ по сравнению с МПУ.

Как видно из табл. 2 и 3, в примерах расчета на внецентренное сжатие разница в расходе арматуры при использовании НДМ относительно МПУ достигает 23–49 %.

Таблица 1
Table 1

Тестовые примеры, нормальные сечения
Test examples, normal cross sections

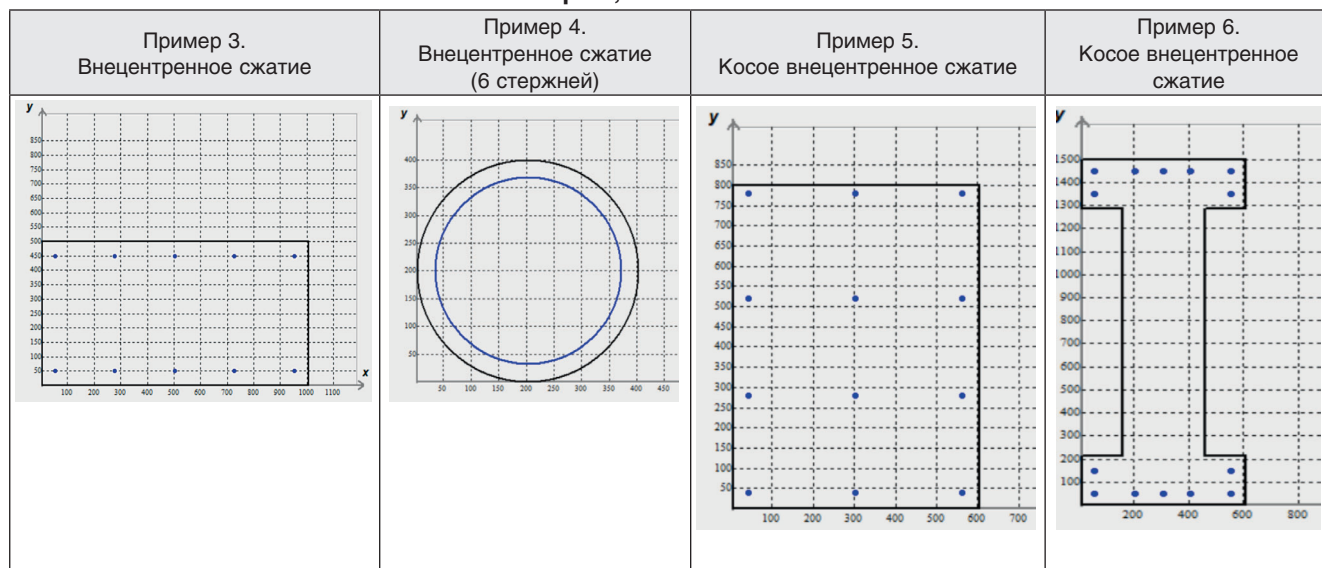


Таблица 2
Table 2

Условия и результаты расчетов тестовых примеров
Conditions and results of calculations of test cases

№ примера	Усилия			Армирование по МПУ ОМ СНиП Железобетон	Решение по программам с использованием НДМ	
	N , кН	M_x , кНм	M_y , кНм		армирование	перерасход относительно МПУ, %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Программа Ли́ра 10						
4	550	–	120	6Ø18	6Ø22	49
5	1500	400	1000	12Ø25	12Ø28	25
Программа STARK ES						
4	550	–	120	6Ø18	6Ø22	49
5	1500	400	1000	12Ø25	12Ø28	25
6	2200	700	1100	14Ø32	14Ø36	27
Программы Арбат и Ing+						
4	550	–	120	6Ø18	6Ø22	49
5	1500	400	1000	12Ø25	12Ø28	25
6	2200	700	1100	14Ø32	14Ø36	27
Программа Ли́ра-САПР						
3	800	–	550	10Ø25	10Ø28	25
5	1500	400	1000	12Ø25	12Ø28	25
6	2200	700	1100	14Ø32	14Ø36	27
Программа ОМ СНиП Железобетон						
4	550	–	120	6Ø18	6Ø20	23

Таблица 3
Table 3

Перерасход стали при расчете по НДМ по сравнению с МПУ
Steel overspending in NDM calculations compared to MPU

№ примера	Перерасход стали в программах, %					
	ОМ СНиП	Ли́ра 10	STARK ES	Ing+	Арбат	Ли́ра-САПР
3	0	0	0	0	0	25
4	23	49	49	49	49	0
5	0	25	25	25	25	25
6	0	0	27	27	27	27

Железобетонное здание

Рассмотрим конкретный пример запроектированного и построенного 12-этажного жилого дома. В железобетонных конструкциях дома использована арматура класса А500, определение усилий и расчет армирования проводили по программе Ли́ра-САПР 2022.

Для оценки эффективности проектного армирования была выполнена следующая работа:

– Все необходимые данные автоматически передавали из программы Ли́ра-САПР в программу ОМ СНиП Железобетон. Расчетная схема показана на рис. 1.

– В программе ОМ СНиП Железобетон определяли наиболее невыгодные сочетания усилий и определяли армирование при арматуре класса А500 с использованием НДМ и МПУ.

– Сравнивали расходы стали в решениях по программам Ли́ра-САПР 2022 и ОМ СНиП Железобетон.

Приведем результаты для некоторых колонн и пилонов, армирование которых представлено в табл. 4. В табл. 5 показана разница в расходе металла в сжатых элементах, составляющая от 25 до 62 %, полученная в результате использования разных программ.

Приведенные примеры расчетов внецентренно сжатых железобетонных элементов по различным методикам, используемым в современных программных комплексах, убедительно показывают, что в настоящее время проектирование сжатых железобетонных конструкций производится со значительным различием в армировании.

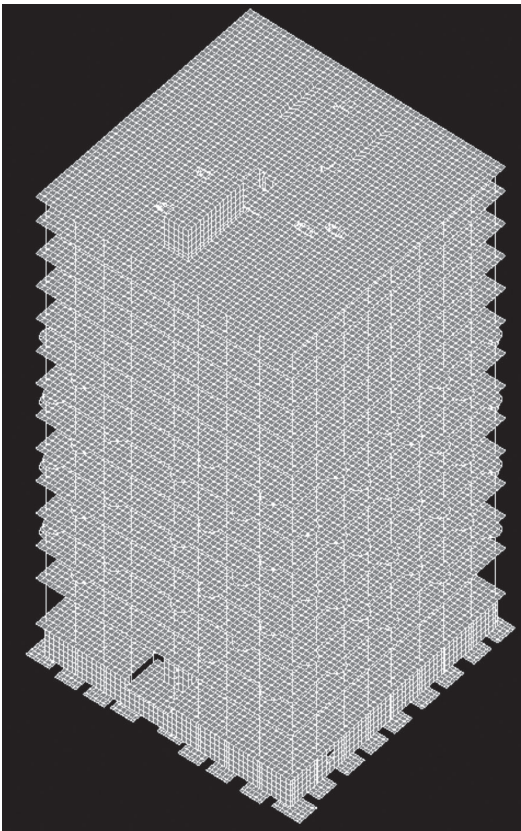


Рис. 1. Расчетная схема здания в программе OM СНиП Железобетон
Fig. 1. The design scheme of the building in the OM SNiP Reinforced Concrete program

Таблица 4
Table 4

Схемы армирования колонн и пилонов здания
Reinforcement schemes for columns and pylons of a building

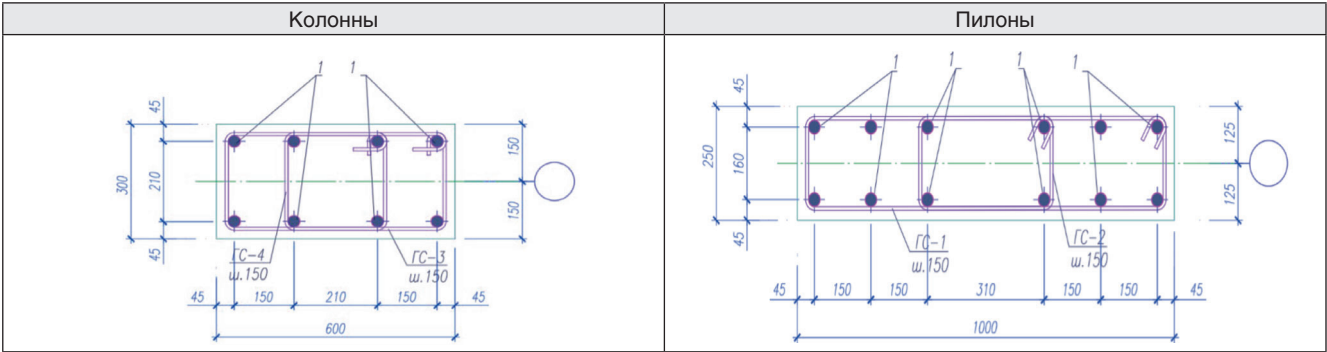


Таблица 5
Table 5

Результаты расчетов колонн и пилонов здания
The results of calculations of columns and pylons of the building

Конструкции		Отметка, м	Арматура поз. 1		Экономия, %
наименование	число		А500 установленная	А500СП расчетная	
Колонны Кн-1.1	16	-3,00	8Ø28	8Ø22	62
Пилоны Пн-1.1	14		12Ø28	12Ø22	62
Колонны Кс-2.2	12	+4,20	8Ø25	8Ø22	29
Пилоны Пс-2.1	19		12Ø28	12Ø25	25
Колонны Кс-2.4	10	+13,20	8Ø20	8Ø16	56
Пилоны Пс-2.3	5		12Ø22	12Ø18	49

Показательный пример расчета изгибаемых железобетонных элементов

В качестве показательного примера, демонстрирующего результаты сопоставительных расчетов арматуры по НДМ по сравнению с МПУ, выбрано тавровое сечение изгибаемого элемента, показанное на рис. 2 [1]. Толщина полки равна 120 мм, $a = 60$ мм, бетон класса В15. Арматура класса А500. Коэффициенты условий работы бетона $\gamma_{b1} = 0,9$; $\gamma_{b3} = \gamma_{b5} = 1$. Влажность воздуха окружающей среды составляет 40–75 %. Диаграмма состояния бетона трехлинейная. Расчеты выполнены по программе ОМ СНиП Железобетон при различном армировании, а следовательно, несущей способности, характеризующей воспринимаемым изгибаемым элементом.

В феврале 2024 г. было проведено заседание научно-технического совета РААСН по железобетон-

ным конструкциям и методам расчета. Тема заседания «Надежность и экономичность расчетов железобетонных конструкций – метод предельных усилий и нелинейная деформационная модель». Все участники заседания заранее были ознакомлены с примером. Возражений и замечаний по условиям и результатам не поступало.

В табл. 6 приведены результаты расчетов.

Чтобы выяснить физическую сущность явления, обратимся к рис. 3. Как отмечено в [1], особенности напряженного состояния сечения изгибаемого элемента состоят в следующем. При расчете по МПУ эпюра напряжений в сжатой зоне бетона σ_{bm} прямоугольная, т. е. напряжения везде одинаковы и равны расчетному сопротивлению бетона. При расчете по НДМ напряжения в бетоне σ_{bn} зависят от диаграммы состояния «напряжения – деформации» и уменьшаются по мере приближения к границе сжатой зоны. При одинаковой величине действующего момента M_{ult} при расчете по НДМ по сравнению с расчетом по МПУ плечо внутренней пары сил уменьшается ($z_n < z_m$), общее усилие в бетоне и арматуре увеличивается ($N_{bn} = N_{sn} > N_{bm} = N_{sm}$), площадь сечения растянутой арматуры возрастает ($A_n > A_m$).

На рис. 4 приведены эпюры деформаций бетона (ε_b) и арматуры (ε_s) в зависимости от предельных моментов, незначительно увеличивающихся (до 6 %) после достижения предельных деформаций в бетоне и в соответствии с принятой в НДМ гипотезой плоских сечений. Как видно (рис. 3, 4), при больших максимальных (близких к предельным значениям) деформациях в сжатой зоне бетона деформации арматуры оказываются тем меньше, чем больше высота сжатой зоны бетона. **Поскольку деформации и соответственно напряжения в арматуре малы, необходима большая площадь сечения арматуры, чтобы уравновесить увеличиваемое значение суммарного усилия в бетоне.**

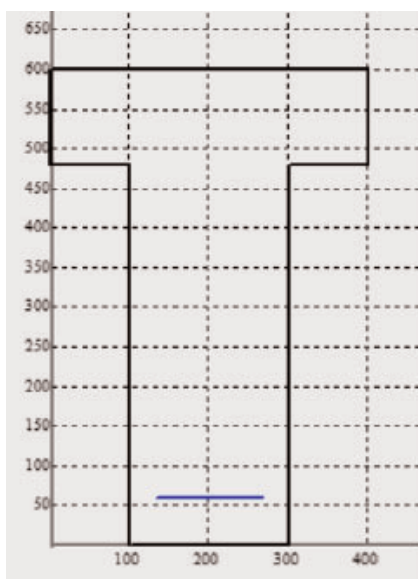


Рис. 2. Показательный пример. Тавровое сечение, изгиб
Fig. 2. An illustrative example. T-section, bend

Таблица 6
Table 6

Характеристики напряженного состояния сечения
Characteristics of the stress state of the section

№ расчета	Момент, M_{ult} , кНм	Решение МПУ		Решение НДМ				Перерасход НДМ, %
		Армирование	ξ_m	Армирование	ξ_n	ε_b	ε_s	
1	98,7	4Ø12	0,12	4Ø12	0,13	0,0025	0,0165	0
2	204,5	4Ø18	0,31	4Ø18	0,38	0,0044	0,0072	0
3	220,0	4Ø20	0,43	4Ø20	0,61	0,0031	0,0020	0
4	225,0	4Ø20	0,43	4Ø20	0,61	0,0032	0,0021	0
5	239,8	4Ø20	0,43	4Ø22	0,65	0,0035	0,0019	21
6	269,5	4Ø22	0,57	4Ø25	0,74	0,0048	0,0017	29
7	270,5	4Ø22	0,57	4Ø28	0,76	0,0045	0,0014	62
8	272,0	4Ø22	0,57	4Ø28	0,77	0,0047	0,0014	62
9	275,0	4Ø22	0,57	4Ø32	0,81	0,0048	0,0011	111
10	280,0	4Ø22	0,57	4Ø36	0,84	0,0047	0,0009	168
11	284,2	4Ø25	0,65	5Ø40	0,88	0,0047	0,0006	220
12	285,0	4Ø28	0,67	6Ø40	0,90	0,0047	0,0005	206

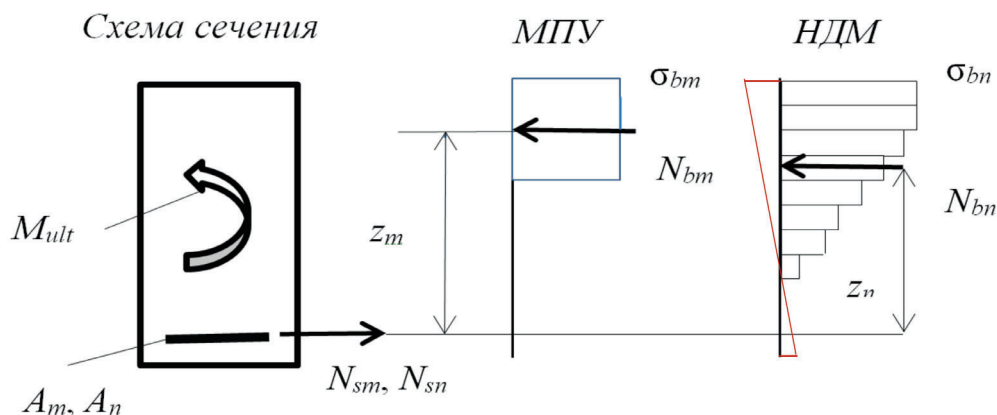


Рис. 3. Напряженное состояние сечения изгибаемого элемента:

а – схема сечения; б, в – усилия и напряжения при расчетах соответственно по МПУ (индекс m) и НДМ (индекс n); σ_{bm} , σ_{bn} – напряжения в сжатой зоне бетона; N_{bm} , N_{bn} – усилия в сжатой зоне бетона; N_{sm} , N_{sn} – усилия в арматуре; A_m , A_n – площади сечения арматуры; — эпюра деформаций

Fig. 3. Stress state of the section of the bent element:

а – section diagram; б, в – forces and stresses in calculations according to MLF (index m) and NDM (index n), respectively; σ_{bm} , σ_{bn} – stresses in the compressed zone of concrete; N_{bm} , N_{bn} – forces in the compressed zone of concrete; N_{sm} , N_{sn} – forces in the reinforcement; A_m , A_n – cross-sectional areas of the reinforcement; — deformation diagram

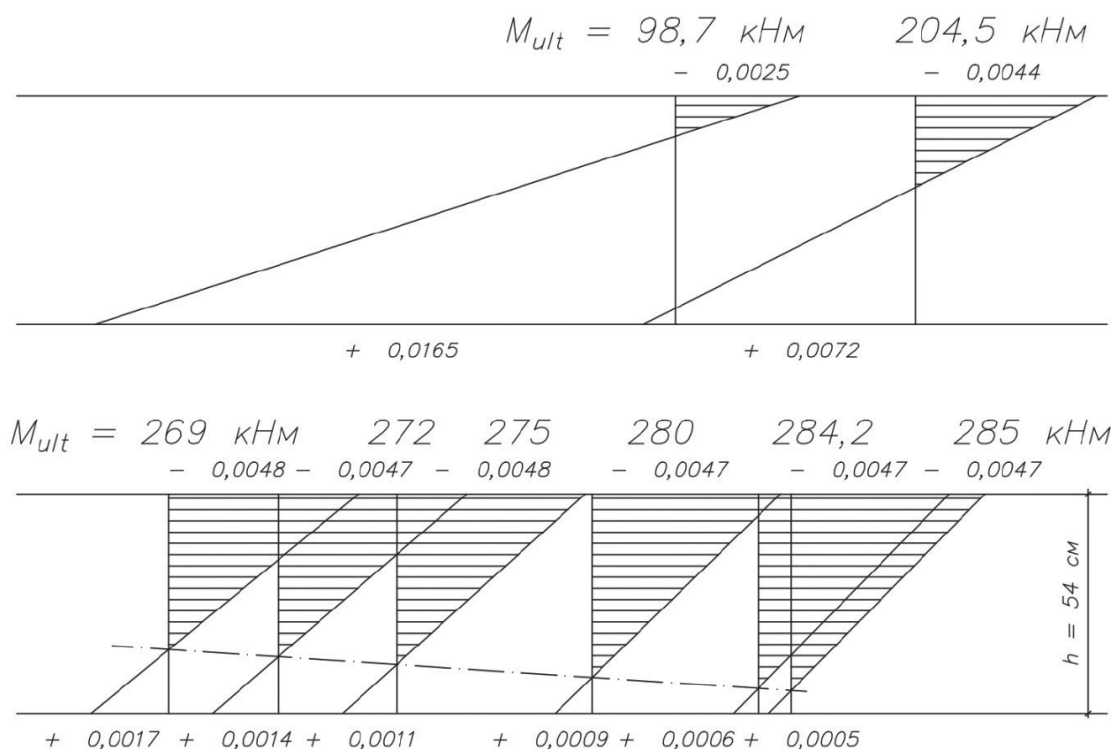


Рис. 4. Эпюры деформаций бетона и арматуры по НДМ при разных значениях M_{ult} нормальных сечений примера на рис. 2

Fig. 4. Diagrams of deformations of concrete and reinforcement according to NDM at different M_{ult} values of normal cross sections of the example in Fig. 2

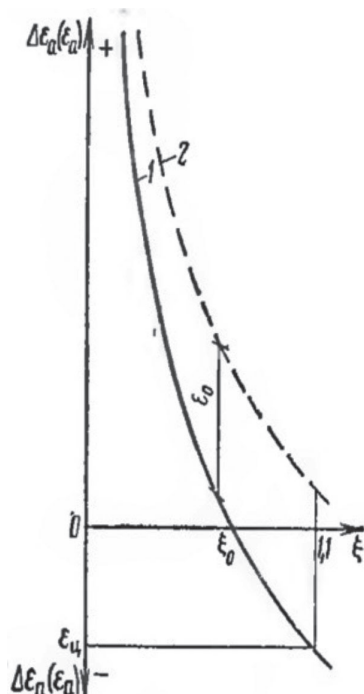


Рис. 5 (Рис. 6 [3]). Зависимости приращения деформации арматуры $\Delta \varepsilon_a$ (1) и полных деформаций ε_a (2) при предварительном напряжении арматуры ε_0 от высоты сжатой зоны ξ
Fig. 5 (Fig. 6 [3]). The dependences of the increment of the deformation of the reinforcement $\Delta \varepsilon_a$ (1) and the total deformations ε_a (2) at the preliminary stress of the reinforcement ε_0 on the height of the compressed zone ξ

В МПУ гипотезу плоских сечений не используют. В [6] приведена показанная на рис. 5 нелинейная связь между приращением деформации арматуры в предельном состоянии и высотой сжатой зоны бетона. Эта связь является основой построения расчета нормальных сечений в МПУ. Она получена с учетом множества экспериментальных данных и гораздо более адекватно, по сравнению с гипотезой плоских сечений, отражает действительное напряженное состояние сечения.

При расчетах по МПУ невозможно описанное выше значительное увеличение армирования при небольшом увеличении действующего момента (табл. 6).

Экономический ущерб

Выше показано, что перерасход арматуры в рассмотренных конструкциях был следующим:

- тестовые примеры: 23–49 %;
- железобетонное здание: 25–62 %;
- показательный пример: 0–220 %.

Необходимы срочные меры для оценки и исправления сложившейся ситуации в расчетах железобетонных конструкций.

Предложения по изменению положений СП 63.13330.2018 [3]

Для устранения обнаруженных недостатков представляется целесообразным внести следующие изменения в СП 63.13330.2018 [3]:

1. Предусмотреть два равноправных подхода к расчету нормальных сечений железобетонных конструкций – НДМ и МПУ. Для этого второй абзац п. 8.1.1 изложить в следующей редакции: «Расчет по прочности нормальных сечений железобетонных элементов следует производить на основе нелинейной деформационной модели согласно пп. 8.1.20–8.1.30, а также на основе предельных усилий согласно пп. 8.1.4–8.1.16». Абзацы 3 и 4 п. 8.1.1 исключить.

2. В пунктах 8.1.4–8.1.16 изложить общий случай расчета нормальных сечений по МПУ согласно п. 3.28 [5].

Выводы

1. Общее состояние расчетов железобетонных конструкций следует признать требующим корректировки.

2. При расчетах по НДМ выявлен значительный неоправданный перерасход требуемой арматуры по сравнению с расчетом по МПУ. В показательном примере перерасход составляет 220 %.

3. Наиболее экономичным при статическом нагружении проектное решение армирования нормальных сечений железобетонных элементов, рассчитанных по МПУ, будет при одновременном достижении в бетоне R_{bc} и арматуре R_s , то есть при граничной относительной высоте сжатой зоны бетона ξ_R [3]. В этом случае количество арматуры, необходимой для выполнения условий, принятых в НДМ, может быть значительно увеличено относительно расчетной по МПУ.

4. Выбор метода расчета (МПУ или НДМ) следует проводить с учетом получения минимального армирования при выполнении всех нормативных требований, что позволит уменьшить экономические многомиллиардные потери при проектировании и строительстве.

5. Целесообразно разработать документ для тестирования расчетов железобетонных конструкций на ЭВМ с набором эталонных примеров, сравнение с которыми позволит оценивать правильность расчетов по различным ЭВМ-программам и получать по ним одинаковые результаты при одинаковых исходных данных.

Список литературы

1. Краковский М.Б., Тихонов И.Н. Особенности расчетов нормальных сечений железобетонных конструкций по СП 63.13330.2018 // *Бетон и железобетон*. 2023. № 4 (618). С. 5–11.
2. Симбиркин В.Н., Матковский В.В. К расчету напряженно-деформированного состояния и прочности элементов железобетонных конструкций по нормальным сечениям // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2010. № 4. С. 20–26.
3. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: Стройинформ; 2019.

4. Краковский М.Б. Результаты тестирования программ расчета железобетонных конструкций Рабочей группой РААСН. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=GTVNZ7bAD4c>

5. Бетонные и железобетонные конструкции СНиП 2.03.01-84*. Москва: Госстрой СССР; 1989.

6. Гвоздев А.А., Дмитриев С.А., Гуца Ю.П. и др. Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций. Москва: Стройиздат; 1978.

References

1. Krakovsky M.B., Tikhonov I.N. Features of calculations of normal cross sections of reinforced concrete structures according to SP 63.13330.2018. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 4 (618), pp. 5–11. (In Russian).

2. Simbirkin V.N., Matkovsky V.V. On the calculation of the stress-strain state and strength of elements of reinforced concrete structures in normal sections. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii* [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2010, no. 4, pp. 20–26. (In Russian).

3. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Moscow: Stroyinform; 2019. (In Russian).

4. Krakovsky M.B. The results testing of programs for the calculation of reinforced concrete structures by the RAACS Working Group. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=GTVNZ7bAD4c>

5. Concrete and reinforced concrete structures SNiP 2.03.01-84*. Moscow: Gosstroy of the USSR; 1989. (In Russian).

6. Gvozdev A.A., Dmitriev S.A., Gushcha Yu.P. and others. New in the design of concrete and reinforced concrete structures. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1978. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Михаил Борисович Краковский, д-р техн. наук, профессор, директор ООО НПКТБ «ОПТИМИЗАЦИЯ», Москва

e-mail: mbkrakov@yandex.ru

Mikhail B. Krakovsky, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Director, LLC NPKTB OPTIMIZATSIYA, Moscow

e-mail: mbkrakov@yandex.ru

Игорь Николаевич Тихонов✉, д-р техн. наук, профессор кафедры «Строительные сооружения, конструкции и материалы» АО «НИЦ «Строительство»; руководитель центра № 21 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: tikhonovniizhb21@yandex.ru

Igor N. Tikhonov✉, Dr. Sci. (Engineering), Professor of the Department of Building Structures, Constructions and Materials, JSC Research Center of Construction; Head of the Center No. 21, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: tikhonovniizhb21@yandex.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



Вышло в свет учебное пособие «Долговечность бетона».

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

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

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

О.И. ПОНОМАРЕВ, А.Ю. ДОЗОРОВА, М.А. МУХИН✉

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

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УВЛАЖНЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ БЕТОННЫХ И КЕРАМИЧЕСКИХ КЛАДОЧНЫХ СТЕНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация

Введение. В материале статьи рассматриваются прочностные характеристики керамических и бетонных кладочных изделий, эксплуатация которых осуществляется в сложных условиях. Проведенный в данной работе анализ отечественных и зарубежных публикаций и источников, в том числе результатов ранее выполненных экспериментов и натурных исследований, показал, что значения предела прочности бетонных и керамических кладочных изделий в значительной степени зависят от влагонасыщенности.

Цель. При анализе ранее выполненных работ установлено, что в значительной степени влагонасыщенность и условия эксплуатации влияют на прочностные свойства бетонных и керамических кладочных изделий в виде кирпича и мелких блоков. Отмечено, что в отдельных случаях наблюдался эффект деградации физико-механических свойств изделий. При выполнении обследований зданий и сооружений возникает необходимость определения несущей способности кладки фундаментов и стен подвалов, расположенных ниже отметки прилегающей поверхности грунта. Указанные конструкции находятся в среде избыточной влажности, следовательно сами кладочные изделия находятся в состоянии повышенной влагонасыщенности, например по причине отсутствия или повреждения гидроизоляции, нарушения тепло-влажностного режима микроклимата помещения.

Материалы и методы. При выполнении работ использовались кладочные керамические изделия в виде кирпича – новые, изготовленные по ГОСТ 530-2012; исторический кирпич, отобранный при обследовании зданий и сооружений исторической застройки, а также бетонные стеновые изделия, изготовленные по ГОСТ 6133-2019. Методика испытаний соответствует установленной стандартом ГОСТ Р 58527-2019.

Результаты. Проведение исследований и разработка методов оценки влияния увлажнения керамических и бетонных кладочных изделий на прочность кладки имеют важное значение для оценки надежности зданий и сооружений.

Выводы. Сложившаяся проблема требует проведения комплексных исследований прочностных характеристик керамических и бетонных кладочных стеновых изделий с учетом влияния влажности.

Ключевые слова: кладка, испытания, керамическое кладочное изделие, бетонные кладочные изделия, предел прочности при сжатии, прочность

Для цитирования: Пономарев О.И., Дозорова А.Ю., Мухин М.А. Оценка влияния увлажнения на прочность бетонных и керамических кладочных стеновых изделий // *Бетон и железобетон*. 2024. № 1 (620). С. 14–21. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1\(620\)-14-21](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1(620)-14-21)

Вклад авторов

Авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 03.02.2024

Поступила после рецензирования 01.03.2024

Принята к публикации 07.03.2024

O.I. PONOMAREV, A.Yu. DOZOROVA, M.A. MUKHIN✉

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

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF MOISTURE ON THE STRENGTH OF CONCRETE AND CERAMIC MASONRY WALL PRODUCTS

Abstract

Introduction. The material of the article considers the strength characteristics of ceramic and concrete masonry products, the operation of which is carried out in difficult conditions. The analysis of domestic and foreign publications and sources carried out in this work, including the results of previously performed experiments and field studies, showed that the values of the tensile strength of concrete and ceramic masonry products largely depend on moisture saturation.

Aim. When analyzing previously performed works, it was found that moisture saturation and operating conditions significantly affect the strength properties of concrete and ceramic masonry products in the form of bricks and small blocks. It is noted that in some cases, the effect of degradation of the physical and mechanical properties of the products was observed. When performing surveys of buildings and structures, it becomes necessary to determine the bearing capacity of the masonry of foundations and basement walls located below the mark of the adjacent ground surface. These structures are located in an environment of excessive humidity, therefore, the masonry products themselves are in a state of increased moisture saturation, for example, due to the absence or damage of waterproofing, violation of the heat and humidity regime of the indoor microclimate.

Materials and methods. During the work, masonry ceramic products in the form of bricks were used – new ones made according to State Standard 530-2012; historical bricks selected during the inspection of buildings and structures of historical buildings, as well as concrete wall products made according to State Standard 6133-2019. The test procedure complies with the established standard State Standard R 58527-2019.

Results. Conducting of the research and developing of methods to assess the effect of humidification of ceramic and concrete masonry products on the strength of masonry is important for assessing the reliability of buildings and structures.

Conclusions. The current problem requires comprehensive studies of the strength characteristics of ceramic and concrete masonry wall products, taking into account the influence of humidity.

Keywords: masonry, testing, ceramic masonry, concrete masonry, compressive strength, strength

For citation: Ponomarev O.I., Dozorova A.Yu., Mukhin M.A. Assessment of the effect of moisture on the strength of concrete and ceramic masonry wall products. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 1 (620), pp. 14–21. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1\(620\)-14-21](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1(620)-14-21)

Author contribution statements

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

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 03.02.2024

Revised 01.03.2024

Accepted 07.03.2024

Увлажнение кладочных стеновых изделий существенно ухудшает их физико-механические характеристики, в том числе прочность, долговечность и теплопроводность.

Под воздействием воды изменяется текстура материала, что может привести к ухудшению механических свойств, из-за присутствия воды происходит процесс химической коррозии, которая приводит к выцветанию, появлению налета на стенах за счет фильтрации растворов солей через капилляры и, следовательно, к ухудшению их эстетических качеств. Кроме того, воздействие влаги может создать условия для биологической коррозии [1].

Следует отметить, что разрушительное воздействие воды на кирпичную и каменную кладку может быть как прямым, так и косвенным.

Прямое воздействие заключается в изменении текстуры материала и его физико-механических свойств. Косвенное воздействие связано факторами, допускающими и инициирующими определенные разрушающие процессы, в том числе разрушение при отрицательных температурах, химическую и биологическую коррозию.

При проведении данных исследований основное внимание было уделено изучению непосредственно влияния увлажнения на физико-механические характеристики кладочных стеновых изделий из бетона и керамики. Влияние на физико-механические характеристики отрицательных температур и коррозионных процессов в данной работе не рассматривалось.

Источником влаги в реальных объектах являются в основном грунтовые воды, осадки в виде дождя и снега, а в прибрежной зоне на берегах рек, водохранилищ, морей и океанов таким источником может служить ветер.

Проведенные обследования сооружений и насыщенных влагой конструкций кирпичных и каменных зданий, особенно зданий исторической застройки, показывают, что из-за отсутствия горизонтальной и вертикальной гидроизоляции они часто насыщаются водой за многие годы эксплуатации. В ряде случаев достигается практически полное насыщение влагой. Проведенные исследования показали, что увлажнение несущих конструкций даже без воздействия отрицательных температур сопровождается снижением прочности и появлением сверхнормативных деформаций.

При выполнении настоящей научно-исследовательской работы был проведен комплексный обзор научных технических трудов, затрагивающих вопросы прочности и деформативности кладки из крупных кладочных изделий с различными видами заполнения горизонтального шва. Проанализированы механические показатели различных видов крупных кладочных изделий, применяемых в отечественном строительном комплексе, был изучен современный опыт определения прочности кладки из кладочных

стеновых изделий, применяемых при возведении кирпичных и каменных конструкций.

T. Stryzewska и S. Kanka [2] провели анализ разрушения керамического кирпича при замерзании воды в порах, а также разрушения кирпича в связи с солевой и биологической коррозией. Авторы отмечают, что к основным внешним факторам, приводящим к разрушению стен, относятся физические воздействия, возникающие в результате замерзания воды, химические воздействия, связанные с наличием солей, и биологические воздействия. Каждый из этих механизмов разрушения требует присутствия воды. Замерзание воды вызывает увеличение объема, что приводит к разрушению материала. Кроме того, вода повреждает внутреннюю текстуру керамических материалов, снижает их механические свойства. Химическая коррозия, связанная с кристаллизацией соли, также обусловлена присутствием воды. Мигрирующая вода с растворенными солями движется в материале и при благоприятных условиях испаряется. Этот процесс приводит к кристаллизации соли. Эти соли увеличивают свой объем, что вызывает разрушение материала. Наименее опасны биологические коррозионные процессы, в первую очередь вызывающие ухудшение эстетических показателей, реже – механических свойств.

Исследования P. Matysek, T. Stryzewska [3], проведенные в 2016 году, позволили уточнить причины снижения прочности керамического кирпича при интенсивном увлажнении. Исследование проводилось для двух видов кирпича с различными физико-механическими характеристиками. В частности, были исследованы полнотелые керамические кирпичи, выпускаемые на современных технологических линиях, а также кирпичи, отобранные при обследовании зданий исторической застройки XVII века. Испытываемые кирпичи выпускались по различным технологиям. Для их производства применялось разное сырье. Результаты исследований показали, что при сравнительно небольшой выдержке в воде (в течение одного месяца) было зафиксировано снижение прочности у обоих видов кирпича примерно на 10 %.

В статье P. Matysek, T. Stryzewska, S. Kanka, M. Witkowski [3] «Влияние водонасыщения на механические характеристики керамического кирпича 19 века и современного кирпича» представлены результаты испытаний полнотелого керамического кирпича, изготовленного в 1880-х годах. Кирпичи (historic brick – HB) были отобраны из зданий казарм владения эрцгерцога Рудольфа в Кракове. Для сравнения в статье приведены результаты испытаний полнотелого керамического кирпича, выпущенного на одном из современных заводов (modern brick – MB). Насыщение водой образцов до постоянной массы производилось двумя способами: с использованием замачивания и с капиллярным подсосом влаги.

Проведенные исследования показали, что методы водонасыщения кладочных изделий (замачивание) не повлияли на результаты испытаний. Следует отметить, что абсорбционная способность исторического кирпича (НВ) была значительно ниже, чем у кирпича, выпускаемого на современных технологических линиях (МВ).

При испытании на прочность было подготовлено по 12 образцов, сделанных из исторического и современного кирпича. Из каждого кирпича были вырезаны кубики со сторонами, равными высоте кирпича. Опорные поверхности выравнивались методом шлифования. Прочность каждого образца определялась после его насыщения в течение 1 месяца и 6 месяцев.

Проведенные испытания показали, что прочность на сжатие у водонасыщенных образцов значительно ниже – более чем на 20 % при увлажнении в течение 6 месяцев и более по сравнению с прочностью высушенных образцов. При насыщении образцов водой в течение месяца имело место незначительное снижение прочности – до 10 %. Такие результаты были зафиксированы при испытании образцов из современного кирпича.

Длительное насыщение водой образцов из исторического кирпича не привело к значительному снижению прочности (больше чем 10–12 %). Проведенный спектроскопический анализ показал, что при длительном увлажнении в современных керамических материалах происходят процессы выщелачивания глины и разрушения кремниево-кислородных мостиков. Оба этих процесса привели к снижению прочности керамических материалов.

Кроме того, очевидной причиной снижения прочности является уменьшение трения между структурными элементами материалов при водонасыщении, т. е. вода действует как смазка, снижающая трение.

Твердость двух испытанных типов керамического кирпича в сухом состоянии отличалась на 13 %. Причем материал исторического кирпича (НВ) показал большую твердость при меньшей прочности и меньшей пористости.

Было также отмечено, что при увеличении времени насыщения водой наблюдалось большое снижение твердости для материала современного кирпича – до 30 %.

В заключении авторы отмечают, что снижение прочности керамического кирпича при замачивании (от 10 до 21 %) необходимо учитывать при оценке прочности кладки и определении несущей способности конструкций обследуемых зданий.

Необходимо также учитывать факт незначительного снижения твердости исторического кирпича при увлажнении по сравнению с современными кирпичными материалами при оценке прочности кирпича неразрушающими методами.

В статье G. Castellazzi и др. [4] рассмотрено влияние капиллярного подсоса влаги на разрушение керамических кирпичей и природных камней.

В статье отмечается, что каменные конструкции исторической застройки часто подвергаются процессам деградации из-за увеличения влажности, переноса и кристаллизации соли. Поры строительных материалов, таких как натуральный камень или обожженный кирпич, заполнены газообразной и жидкой фазами. Жидкая фаза может состоять из воды и растворенных солей, которые затем вынуждены мигрировать внутри пор при изменении внешней температуры и относительной влажности. Эти изменения могут вызвать осаждение твердой фазы, так называемую кристаллизацию соли, на поверхности кладки (высолы) или внутри материала (субфлуоресценция). Первая является чисто эстетической проблемой, вторая может привести к структурному повреждению, называемому сколом – отслаиванию поверхностного материала. Авторы подчеркивают зависимость влияния свойств пористых материалов на интенсивность и характер разрушения кладки.

Кроме того, в материалах [5] статьи показано, что при оценке прочности кладочных изделий из разных материалов следует применять различные коэффициенты, так как реологические свойства материалов влияют на результаты проведенных испытаний.

Результаты современных экспериментальных работ показывают, что в настоящее время вопрос о влиянии влажности на предел прочности керамических и бетонных кладочных изделий в отечественной нормативной базе проработан в недостаточном объеме. Отсутствуют сформулированные требования к методике определения предела прочности для изделий, находящихся в условиях избыточной увлажненности [6].

В исследованиях влияния влаги в кирпичах, камнях и растворе на их механические свойства, представленные в первоисточниках, указывается на зависимость между степенью влажности кладочных материалов, их деформативностью и прочностью при сжатии.

В отечественной научно-технической литературе однозначного мнения по вопросу предельного значения влажности кирпича нет [7, 8]. В пособии по обследованию в качестве нормальной влажности керамического кирпича указано значение 1,5 %. В то же время в Постановлении «Об утверждении Правил и норм технической эксплуатации жилищного фонда» [9] в качестве нормальной для кирпичных стен указывается влажность до 4 %. Нормальной для керамического кирпича считается влажность до 0,5 %. До недавнего времени в основных стандартах четких указаний по этому поводу не было. Ситуация изменилась с введением с января 2013 г. СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии» [10], где в Приложении Ч указано предельное значение влажности кирпича – 2 %.

Влияние влажности на прочность кирпича недостаточно освещено в научно-технической литературе. Коэффициент размягчения, определяющий соотно-

шение прочностей материала в водонасыщенном и сухом состояниях, нормируется только для природных камней по ГОСТ 4001-84 «Камни стеновые из горных пород. Технические условия» [11]. В нормативных документах на изготовление керамического кирпича и камней аналогичный коэффициент отсутствует. Для учета снижения несущей способности кладки при увлажнении в [8] приводится коэффициент $K_{тс} = 0,85$. Однако в действительности степень снижения зависит от разных факторов, среди которых фактическая влажность, вид камня и раствора, их изначальная прочность и другие.

Отдельные контрольные образцы показаны на рис. 1 и 2.



Рис. 1. Стеновой бетонный камень 390 × 188 × 90 мм, контроль высоты образца

Fig. 1. Wall concrete stone 390 × 188 × 90 mm, height control of the sample



Рис. 2. Керамический кирпич 265 × 140 × 65 мм, отобранный из здания исторической застройки – стены (прясла)

Fig. 2. Ceramic brick 265 × 140 × 65 mm, selected from the building of the historical building – fortification wall

Исторический кирпич отбирался как с поврежденных участков кладки (вследствие длительного воздействия увлажненного состояния), так и с неповрежденных участков (отдельные локальные зоны стеновых конструкций, которые находились в благо-

приятных условиях). Методика отбора исторического кирпича включала осмотр внешнего вида и цвета изделия с целью исключения пережженного кирпича, контроль геометрии (допустимое отклонение не более ± 5 мм), отсутствие сколов величиной более 1/10 кирпича (20–30 мм), отсутствие трещин, пересекающих более половины изделия по одной из плоскостей (тычок, ложок, пастель).

Образцы отличаются параметрами влагонасыщенности: контрольными образцами для 1-й и 2-й серий испытаний являются целые кладочные стеновые бетонные и керамические изделия соответственно, высушенные до постоянной массы при $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ и охлажденные в условиях лабораторного помещения. Образцами 3-й и 4-й серий являются целые кладочные стеновые бетонные и керамические изделия, выдержанные в среде, имитирующей состояние избыточной влажности 3 и 6 месяцев, и испытанные после выдерживания в течение 60 минут в условиях лабораторного помещения.

Сроки выдержки образцов для серий 3 и 4 включают как керамические, так и бетонные кладочные изделия при сроке выдержки 3 и 6 месяцев соответственно. Выдержка образцов показана на рис. 3.



Рис. 3. Выдержка во влажной среде образцов кладочных изделий

Fig. 3. Exposure of masonry products samples in a humid environment

Результаты работы позволят уточнить нормируемые параметры кладочных стеновых изделий разных типоразмеров и требования к подготовке образцов для испытаний, оборудованию, методикам и средствам измерений деформаций, используемых при испытаниях и обработке результатов.

Сводные данные, полученные по результатам испытаний, представлены в виде графиков изменения прочности кладочных изделий в зависимости от выдержки в среде избыточной влажности на рис. 4.

Представленные исследования выполнены сотрудниками ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко для полу-

чения данных о влиянии увлажнения на прочность и деформативность керамических и бетонных кладочных изделий, разработаны предложения для корректировки нормативных документов и стандартов.

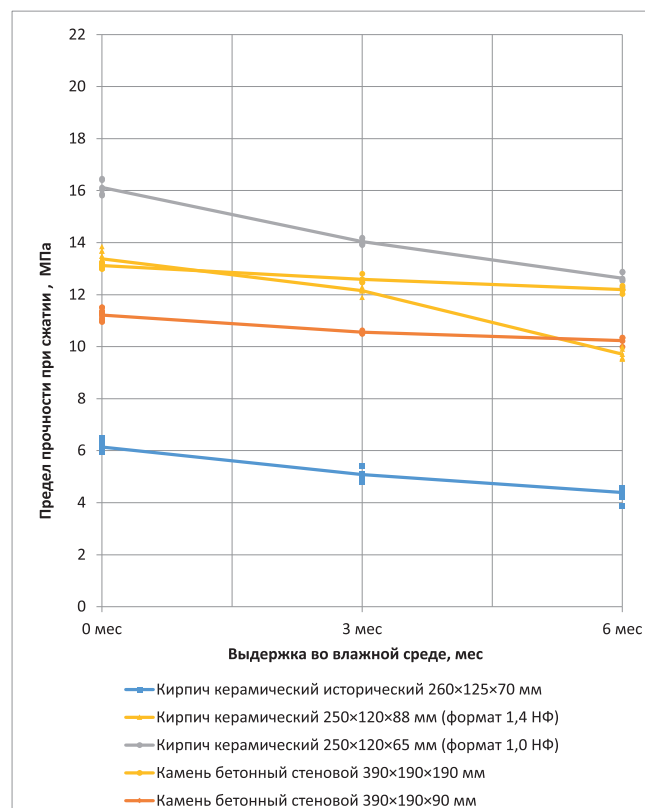


Рис. 4. Сводный график изменения прочности кладочных изделий в зависимости от выдержки в среде избыточной влажности

Fig. 4. Summary graph of changes in the strength of masonry products depending on exposure in an environment of excessive humidity

Полученные данные позволяют повысить надежность существующих кирпичных и каменных конструкций зданий исторической застройки при проведении работ по реконструкции и восстановлению памятников архитектуры, а также современных зданий и сооружений.

Исходя из анализа данных, полученных в ходе экспериментальных работ, установлено, что деградация прочностных свойств кладочных и керамических изделий происходит нелинейно. Наиболее интенсивно снижение прочности происходит на ранних этапах влияния фактора избыточной влажности, со снижением прочности деградация свойств также замедляется.

Влияние влажности следует учитывать при определении пределов прочности кирпича исторических и реконструируемых зданий, что обеспечит более рациональное назначение пределов прочности кладочных стеновых изделий, что необходимо учитывать при проведении реконструкции, перепланировки, надстройки зданий и сооружений. Бетонные изделия не так выражено теряют прочностные свойства под воздействием фактора избыточной влажности.

Коэффициент влияния влажности следует определять как отношение среднего предела прочности изделий, которые находились во влагонасыщенном состоянии, к среднему пределу прочности изделий, которые находились в состоянии нормальной влажности.

В отдельных сериях испытаний установлен повышенный разброс результатов определения предела прочности кладочных изделий во влагонасыщенном состоянии. Поэтому при обработке результатов и установлении коэффициента учета влажности следует производить отбраковку.

Для определения переходного (поправочного) коэффициента следует использовать не менее 10 результатов испытаний бетонных или керамических изделий в состоянии нормальной влажности и в состоянии избыточной влажности. Количество результатов указано с учетом отбраковки.

Среднее значение предела прочности по серии испытания изделий в состоянии нормальной влажности предлагается устанавливать по следующей формуле:

$$\bar{R}_{сж, \Phi} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{сж, \Phi i}}{n}, \quad (1)$$

где $R_{сж, \Phi i}$ – предел прочности на сжатие кладочных изделий, определенный для изделий в состоянии нормальной влажности, МПа.

Среднее значение предела прочности по серии испытания изделий в состоянии нормальной влажности устанавливается по следующей формуле:

$$\bar{R}_{сж, V} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{сж, V i}}{n}, \quad (2)$$

где $R_{сж, V i}$ – предел прочности на сжатие кладочных изделий, определенный для изделий во влагонасыщенном состоянии, МПа.

Выполняют отбраковку результатов, неудовлетворяющих следующему условию, при этом допускается исключать не более двух:

$$\frac{|R_{сж, \Phi n} - R_{сж, V n}|}{S_{сж}} \leq 6,0, \quad (3)$$

где $S_{сж}$ – остаточное среднеквадратическое отклонение.

Необходимо определить остаточное среднеквадратическое отклонение по формуле:

$$S_{сж} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{сж, V i} - R_{сж, \Phi})^2}{n-1}}. \quad (4)$$

Коэффициент влияния влажности b на результаты испытаний влажности керамических и бетонных кладочных изделий определяется по формуле:

$$b = \frac{R_{сж, V i}}{R_{сж, \Phi i}}. \quad (5)$$

Результаты проведения исследований позволяют более корректно определять пределы прочности кладочных изделий, находящихся в агрессивных условиях избыточной влажности, которые использованы в стеновых конструкциях цокольных частей здания, в том числе через которые происходит фильтрация вод.

Внедрение в действующие нормативные документы и стандарты результатов выполнения настоящей научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы позволит более корректно определять пределы прочности кладочных стеновых изделий и кладки, эксплуатация которых осуществляется в сложных условиях, в том числе в водонасыщенном состоянии.

Результаты экспериментов показали, что наибольшее значение оказывает вид материала, из которого изготовлены кладочные стеновые изделия. Так, для бетонных кладочных изделий снижение прочности в среднем составило до 4 %, тогда как для отдельных керамических изделий в серии снижение могло составлять 30 % и более, при этом снижение предела прочности на сжатие исторического керамического кирпича составляло в среднем до 15 %.

Проведенные исследования выполнены с применением аттестованного оборудования и современных подходов к реализации поставленных задач. Результаты работы позволяют обеспечить развитие отечественной нормативной базы в части достоверности определения прочности керамических и бетонных кирпича и камня.

Внедрение результатов настоящих научных исследований позволит повысить надежность зданий и сооружений, возводимых из кладочных стеновых материалов, а именно из керамических и бетонных кирпича и камня.

Список литературы

1. Старцев С.А. Проблемы обследования строительных конструкций, имеющих признаки биоповреждения // *Инженерно-строительный журнал*. 2010. № 7 (17). С. 41–46.
2. Stryzewska T., Kańka S. Characterization of factors determining the durability of brick masonry. In book: *Brick and Block Masonry – From Historical to Sustainable Masonry*. 2020, pp. 159–164.
3. Matysek P., Stryzewska T., Kańka S., Witkowski M. The influence of water saturation on mechanical properties of ceramic bricks – tests on 19-th century and contemporary bricks. *Materiales de Construcción*. 2016, vol. 66, issue 323, e095.
4. Castellazzi G., D'Altri A.M., de Miranda S., Molari L., Ubertini F. On the effect of tortuosity on the spalling prediction in masonry through a multiphase numerical model. In book: *Brick and Block Masonry – From Historical to Sustainable Masonry*. 2020, pp. 723–730.
5. Пономарев О.И., Мухин М.А., Ветков А.С., Иванова А.Ю. Влияние шлифования нагружаемой поверхности на прочность кладочных стеновых кера-

мических изделий при сжатии // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2021. № 1 (28). С. 74–84.

6. Улыбин А.В., Старцев С.А., Зубков С.В. Контроль влажности при обследовании каменных конструкций // *Инженерно-строительный журнал*. 2013. № 7. С. 32–39.

7. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Москва: Стандартинформ; 2014.

8. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий. Москва: АО «ЦНИИПромзданий»; 2004. 275 с.

9. Постановление Госстроя РФ от 27 сентября 2003 г. N 170 «Об утверждении Правил и норм технической эксплуатации жилищного фонда»; 2003.

10. СП 28.13330.2012. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85.

11. ГОСТ 4001-84. Камни стеновые из горных пород. Технические условия.

12. ГОСТ 530-2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия.

13. ГОСТ 6133-2019. Камни бетонные стеновые. Технические условия.

14. ГОСТ Р 58527-2019. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе.

References

1. Startsev S.A. Problems of survey of building structures with signs of bio-damage. *Magazine of Civil Engineering*. 2010, no. 7 (17), pp. 41–46. (In Russian).
2. Stryzewska T., Kańka S. Characterization of factors determining the durability of brick masonry. In book: *Brick and Block Masonry – From Historical to Sustainable Masonry*. 2020, pp. 159–164.
3. Matysek P., Stryzewska T., Kańka S., Witkowski M. The influence of water saturation on mechanical properties of ceramic bricks – tests on 19-th century and contemporary bricks. *Materiales de Construcción*. 2016, vol. 66, issue 323, e095.
4. Castellazzi G., D'Altri A.M., de Miranda S., Molari L., Ubertini F. On the effect of tortuosity on the spalling prediction in masonry through a multiphase numerical model. In book: *Brick and Block Masonry – From Historical to Sustainable Masonry*. 2020, pp. 723–730.
5. Ponomarev O., Mukhin M., Vetkov A., Ivanova A. The effect of grinding the loaded surface on the strength of masonry wall ceramic products in compression. *Vestnik NIC Stroitel'stvo* [Bulletin of Science and Research Center of Construction]. 2021, no. 1 (28), pp. 74–84. (In Russian).
6. Ulybin A.V., Startsev S.A., Zubkov S.V. Humidity control in the inspection of masonry structures. *Magazine of Civil Engineering*. 2013, no. 7, pp. 32–39. (In Russian).
7. State Standard 31937-2011. Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition. Moscow: Standartinform; 2014. (In Russian).

8. Manual on the survey of the structures of buildings. Moscow: JSC "Tsniipromzdaniy"; 2004. 275 p. (In Russian).

9. Resolution of the State Construction Committee of the Russian Federation dated September 27, 2003 N 170 "On approval of the Rules and Standards for the Technical Operation of the Housing Stock"; 2003. (In Russian).

10. SP 28.13330.2012. Protection against corrosion of construction. Updated version of SNiP 2.03.11-85. (In Russian).

11. State Standard 4001-84. Natural rock wall blocks. Specifications. (In Russian).

12. State Standard 530-2012. Ceramic brick and stone. General specifications. (In Russian).

13. State Standard 6133-2019. Concrete wall unit. Specifications. (In Russian).

14. State Standard R 58527-2019. Wall materials. Methods for determination of ultimate compressive and bending strength. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Олег Иванович Пономарев, канд. техн. наук, заведующий лабораторией кирпичных, блочных и панельных зданий (№ 7) ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: 1701088@mail.ru
тел.: +7 (499) 170-10-59

Oleg I. Ponomarev, Cand. Sci. (Engineering), Head of Laboratory of Brick, Block and Panel Buildings (No. 7), Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: 1701088@mail.ru
tel.: +7 (499) 170-10-59

Александра Юрьевна Дозорова, инженер лаборатории кирпичных, блочных и панельных зданий (№ 7) ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: 1701088@mail.ru
тел.: +7 (499) 170-10-88

Aleksandra Yu. Dozorova, Engineer, Laboratory of Brick, Block and Panel Buildings (No. 7), Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: 1701088@mail.ru
tel.: +7 (499) 170-10-88

Михаил Александрович Мухин✉, заместитель заведующей лабораторией кирпичных, блочных и панельных зданий (№ 7) ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: lkksp@mail.ru
тел.: +7 (499) 174-77-93
Mikhail A. Mukhin✉, Deputy Head, Laboratory of Brick, Block and Panel Buildings (No. 7), Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: lkksp@mail.ru
tel.: +7 (499) 174-77-93

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

И.Н. ТИХОНОВ^{1,2,✉}, В.Г. КРЮЧКОВ¹, А.И. ЗВЕЗДОВ¹, Б.С. СОКОЛОВ², Г.И. ТИХОНОВ²

¹ АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6,
г. Москва, 109428, Российская Федерация

² 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

КОНСТРУКТИВНАЯ РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА АЭС ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Аннотация

Введение. В данной работе приводятся материалы, обосновывающие внедрение нового конструктивного решения железобетонной защитной оболочки ядерного реактора АЭС в сборном и монолитном исполнении.

Цель. В числе задач, которые были поставлены при разработке конструктивного решения, основной явилась задача обеспечения работы железобетона на сжатие при всех видах нагружения и восприятие растягивающих усилий канатами, находящимися в свободном состоянии, доступными для обслуживания и эксплуатации.

Материалы и методы. Расчеты выполнены методом конечных элементов с использованием программного комплекса для расчета пространственных конструкций на прочность, устойчивость и колебания MicroFe-СтаДиКон.

Результаты. Разработано принципиально новое конструктивное решение защитной оболочки ядерного реактора АЭС, состоящей из железобетонных элементов в виде цилиндрических складок с выпуклостью, направленной навстречу возможному внешнему и внутреннему силовому аварийному воздействию, в том числе от взрыва реактора. Разработаны варианты защитных оболочек с проработкой принципиальных технических решений унифицированных складчатых элементов из железобетона с возможностью их монолитного и сборного изготовления. Предложена схема открытого расположения и натяжения пучков тросов с передачей напряжения на предварительно изготовленные конструкции внутренней и внешней частей защитной оболочки.

Выводы. Данное конструктивное решение обеспечивает при нагружении сжимающие усилия в железобетоне складок внутренней и внешней частей защитной оболочки от нагрузки, что препятствует образованию в них трещин. Растягивающие усилия в оболочке воспринимаются предварительно напряженной арматурой, расположенной внутри ее конструкции, свободной для обслуживания и контроля. В процессе исследова-

ния разработаны принципиальные решения конструктивных узловых соединений сборных складчатых железобетонных элементов, технологических отверстий в конструкции оболочки и осуществления в ней предварительного напряжения. Сопоставительный технико-экономический анализ предлагаемой и существующей внутренней защитной оболочки показал возможность снижения расхода бетона в 1,5–2 раза, ненапрягаемой арматуры – в 3–4 раза, сроков строительства – в 4 раза.

Ключевые слова: АЭС, ядерный реактор, защитная оболочка, железобетон, преднапряженная арматура, складчатые элементы

Для цитирования: Тихонов И.Н., Крючков В.Г., Звездов А.И., Соколов Б.С., Тихонов Г.И. Конструктивная разработка и расчетное обоснование защитной оболочки ядерного реактора АЭС из железобетона // *Бетон и железобетон*. 2024. № 1 (620). С. 22–33. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1\(620\)-22-33](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1(620)-22-33)

Вклад авторов

Тихонов И.Н. – сбор данных, разработка конструктивного решения, анализ результатов расчетов, написание статьи.

Крючков В.Г., Звездов А.И. – разработка конструктивного решения, анализ результатов расчетов.

Соколов Б.С. – разработка конструктивного решения, проведение расчетов, написание статьи.

Тихонов Г.И. – сбор данных, разработка конструктивного решения, написание статьи.

Финансирование

Исследование финансировалось за счет средств АО «НИЦ «Строительство».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 10.02.2024

Поступила после рецензирования 01.03.2024

Принята к публикации 07.03.2024

I.N. TIKHONOV^{1,2,✉}, V.G. KRYUCHKOV¹, A.I. ZVEZDOV¹, B.S. SOKOLOV², G.I. TIKHONOV²

¹ JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6,
Moscow, 109428, Russian Federation

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

CONSTRUCTIVE DEVELOPMENT AND DESIGN JUSTIFICATION OF THE PROTECTIVE SHELL OF A NUCLEAR REACTOR MADE OF REINFORCED CONCRETE

Abstract

Introduction. This paper provides materials justifying the introduction of a new constructive solution for the reinforced concrete protective shell of a nuclear reactor in a prefabricated and monolithic design.

Aim. Among the tasks that were set during the development of the constructive solution, the main one was to ensure the work of reinforced concrete for compression under all types of loading and the perception of tensile forces by ropes that are in a free state, available for maintenance and operation.

Materials and methods. The calculations were performed by the finite element method using a software package MicroFe-StaDiCon for calculation of the spatial structures for strength, stability and vibrations.

Results. A fundamentally new constructive solution has been developed for the protective shell of the nuclear reactor of the NPP, consisting of reinforced concrete elements in the form of cylindrical folds with a bulge directed towards possible external and internal force emergency effects, including the explosion of the reactor. Variants of protective shells have been developed with the elaboration of fundamental technical solutions for unified folded elements made of reinforced concrete with the possibility of their monolithic and prefabricated manufacture. A scheme of open arrangement and tensioning of cable bundles with tension transfer to pre-fabricated structures of the inner and outer parts of the protective shell is proposed.

Conclusions. This design solution provides compressive forces in reinforced concrete of the folds of the inner and outer parts of the protective shell from the load during loading, which prevents the formation of cracks in them. The tensile forces in the shell are perceived by the prestressed reinforcement located inside its structure, free for maintenance and control. In the process of work, fundamental solutions have been developed for the structural nodal joints of prefabricated folded reinforced concrete el-

ements, technological holes in the shell structure and the implementation of prestressing in it. A comparative technical and economic analysis of the proposed and existing inner protective shell showed the possibility of reducing concrete consumption by 1.5–2 times, non-stressed reinforcement by 3–4 times, construction time by 4 times.

Keywords: nuclear power plant, nuclear reactor, protective shell, reinforced concrete, prestressed reinforcement, folded elements

For citation: Tikhonov I.N., Kryuchkov V.G., Zvezdov A.I., Sokolov B.S., Tikhonov G.I. Constructive development and design justification of the protective shell of a nuclear reactor made of reinforced concrete. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 1 (620), pp. 22–33. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1\(620\)-22-33](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1(620)-22-33)

Author contribution statements

Tikhonov I.N. – data collection, development of a constructive solution, analysis of calculation results, writing an article.

Kryuchkov V.G., Zvezdov A.I. – development of a constructive solution, analysis of calculation results.

Sokolov B.S. – development of a constructive solution, carrying out calculations, writing an article.

Tikhonov G.I. – data collection, development of a constructive solution, writing an article.

Funding

The study was funded by JSC Research Center of Construction.

Conflict of interest

Authors declares no conflict of interest.

Received 10.02.2024

Revised 01.03.2024

Accepted 07.03.2024

Введение

Защитные оболочки атомных электростанций должны обеспечивать безопасность при следующих технологических режимах и внешних воздействиях [1] (рис. 1):

1. Локализация в объеме защитной оболочки последствий распространения радиоактивных продуктов в окружающую среду в установленных нормах пределах в случае максимально опасной проектной аварии (МПА).

2. Обеспечение безопасных условий эксплуатации реакторной установки, парогенераторов и другого технологического оборудования при любых климатических воздействиях, таких как ветер, ураган, торнадо и др.

3. Защита технологического оборудования герметичного объема реакторного отделения от внешних особых динамических воздействия, таких как ударная волна от возможных взрывов, удар падающих летательных аппаратов.

4. Обеспечение сейсмостойкости строительных конструкций защитной оболочки и размещенного в ней технологического оборудования при сейсмических воздействиях, включая максимальное расчетное землетрясение (МРЗ).

Обзор состояния вопроса по конструктивным решениям защитных оболочек ядерных реакторов по доступным отечественным и зарубежным источникам, в том числе нормативной документации и патентной базе, позволил сделать вывод, что во многих случаях требования российских нормативных документов и принятые на их базе конструктивные решения носят более конкретный и реалистичный характер, чем зарубежные решения и нормы, включая нормы МАГАТЭ [1–20].

Использование российских технологий при сооружении и эксплуатации атомных станций, основанных на российских нормах и правилах, обеспечивает им высокий уровень ядерной и радиационной безопасности, соответствующий современным международным стандартам.

В настоящее время, несмотря на высокую трудоемкость строительства, наибольшее распространение в мировой практике имеют защитные оболочки, изготовленные с использованием предварительно напряженного монолитного железобетона, содержащие внешний и внутренний цилиндрические контуры, имеющие сверху раздельные купольные покрытия, опирающиеся на единое плоское железобетонное плитное основание (рис. 1, 2).

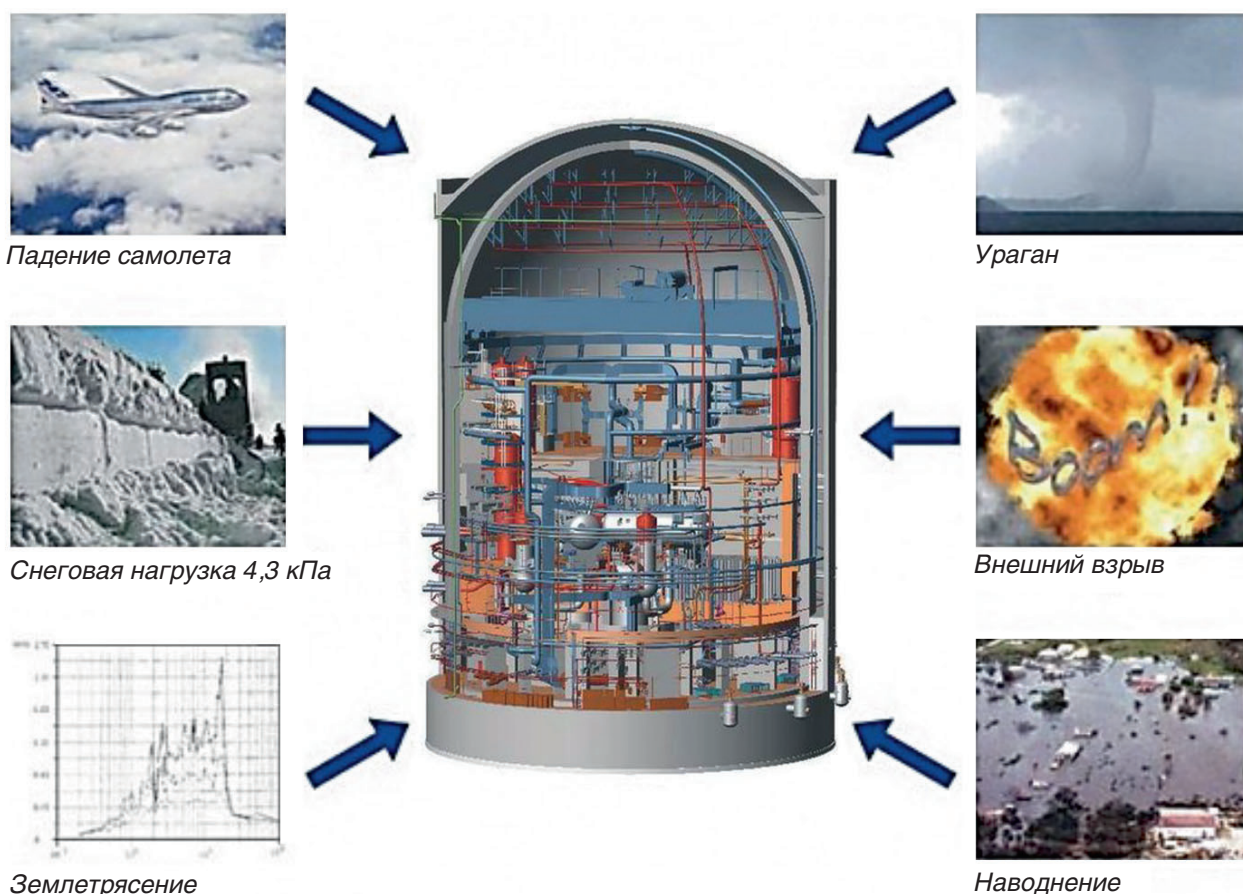


Рис. 1. Устройство защитных оболочек АЭС и внешние воздействия на них
Fig. 1. The arrangement of NPP protective shells and external influences on them

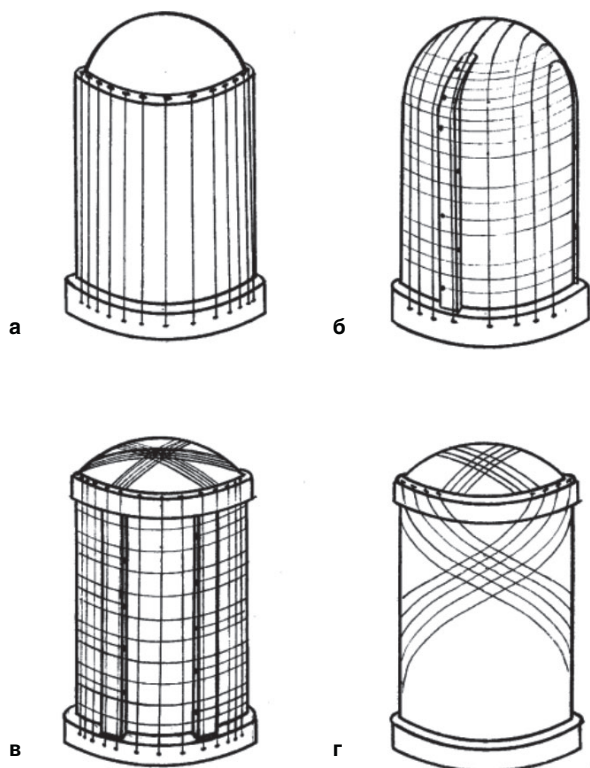


Рис. 2. а – частичное преднапряжение цилиндрической части в меридиональном направлении; б – совмещенная (ортогонально-петлевая) схема преднапряжения; в – раздельная ортогональная схема преднапряжения в цилиндре и трехпутная в куполе; г – раздельная геликоидальная (контргеликоидальная) схема преднапряжения в цилиндре и двухпутная в куполе

Fig. 2. а – partial prestressing of the cylindrical part in the meridional direction; б – combined (orthogonal-loop) prestressing scheme; в – separate orthogonal prestressing scheme in the cylinder and three-way in the dome; г – separate helicoidal (counterhelicoidal) prestressing scheme in the cylinder and two-way in the dome

Один из вариантов сборных железобетонных защитных оболочек реакторов АЭС, позволяющих значительно ускорить сроки строительства, создавался и исследовался в 80-х годах на Украине [21] (рис. 3, 4). К сожалению, внедрение ограничилось положительными испытаниями модели конструктивного решения в масштабе 1:5.

Учитывая актуальность строительства АЭС в России и за рубежом, увеличиваются требования по безопасности принимаемых конструктивных и технологических решений, по срокам строительства, а также по эксплуатационным затратам. В настоящее время отдается предпочтение высокоскоростным технологиям возведения сооружений основных и вспомогательных объектов, включая укрупненную сборку отдельных конструктивных элементов и укрупненных частей армирования (рис. 5, 6).

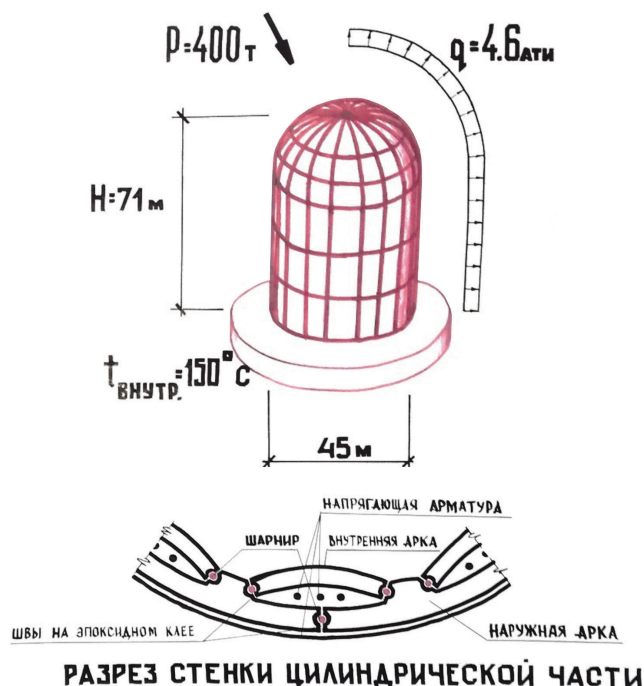


Рис. 3. Модель полносборной защитной оболочки АЭС
Fig. 3. Model of prefabricated NPP protective shell

Высокоскоростные технологии бетонирования и армирования монолитных железобетонных конструкций с использованием инновационной винтовой арматуры и ее муфтовых соединений, которая обеспечивает до 30 % снижения металлоемкости возводимых конструкций и до 20 % уменьшения трудоемкости, рекомендуются учеными НИИЖБ им. А.А. Гвоздева для применения на объектах массового и специального назначения (рис. 7).

Сотрудники НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» принимают активное участие в работах по совершенствованию строительства АЭС путем внедрения новых бетонов и арматуры, технологии их эффективного применения.

В данной работе приводятся материалы, обосновывающие внедрение нового конструктивного решения железобетонной защитной оболочки ядерного реактора АЭС в сборном и монолитном исполнении.

В числе задач, которые были поставлены при разработке конструктивного решения, основной задачей стало обеспечение работы железобетона на сжатие при всех видах нагружения и восприятие растягивающих усилий канатами, находящимися в свободном состоянии, доступными для обслуживания и эксплуатации. Решение указанных задач выполнялось оптимизацией предложенной конструкции по результатам серии расчетов напряженно-деформированного состояния с варьированием отдельных конструктивных параметров.

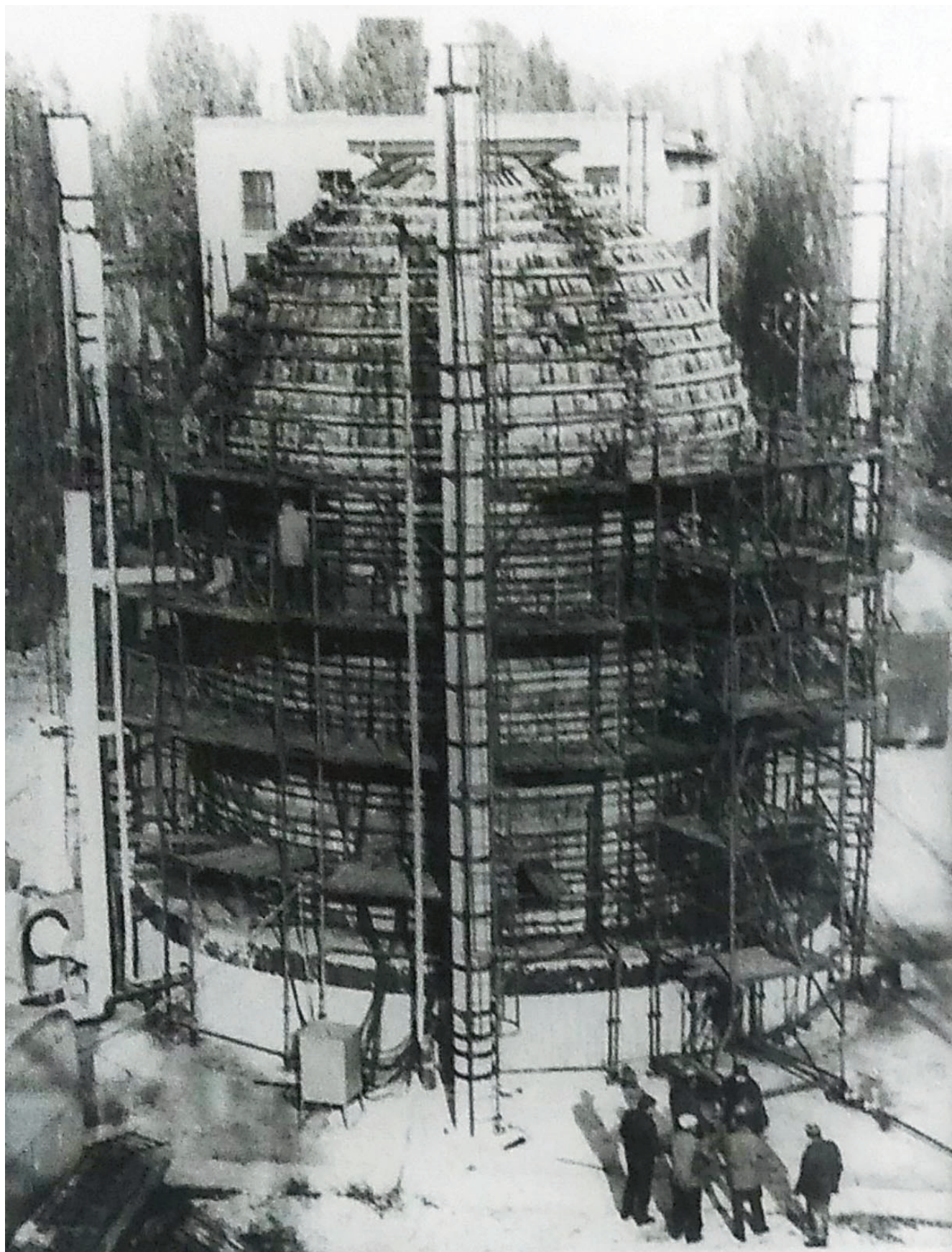


Рис. 4. Испытания модели в масштабе 1:5 (совместно с Киевским АТЭП)
Fig. 4. Tests of the model on a scale of 1:5 (together with the Kiev ATEP)

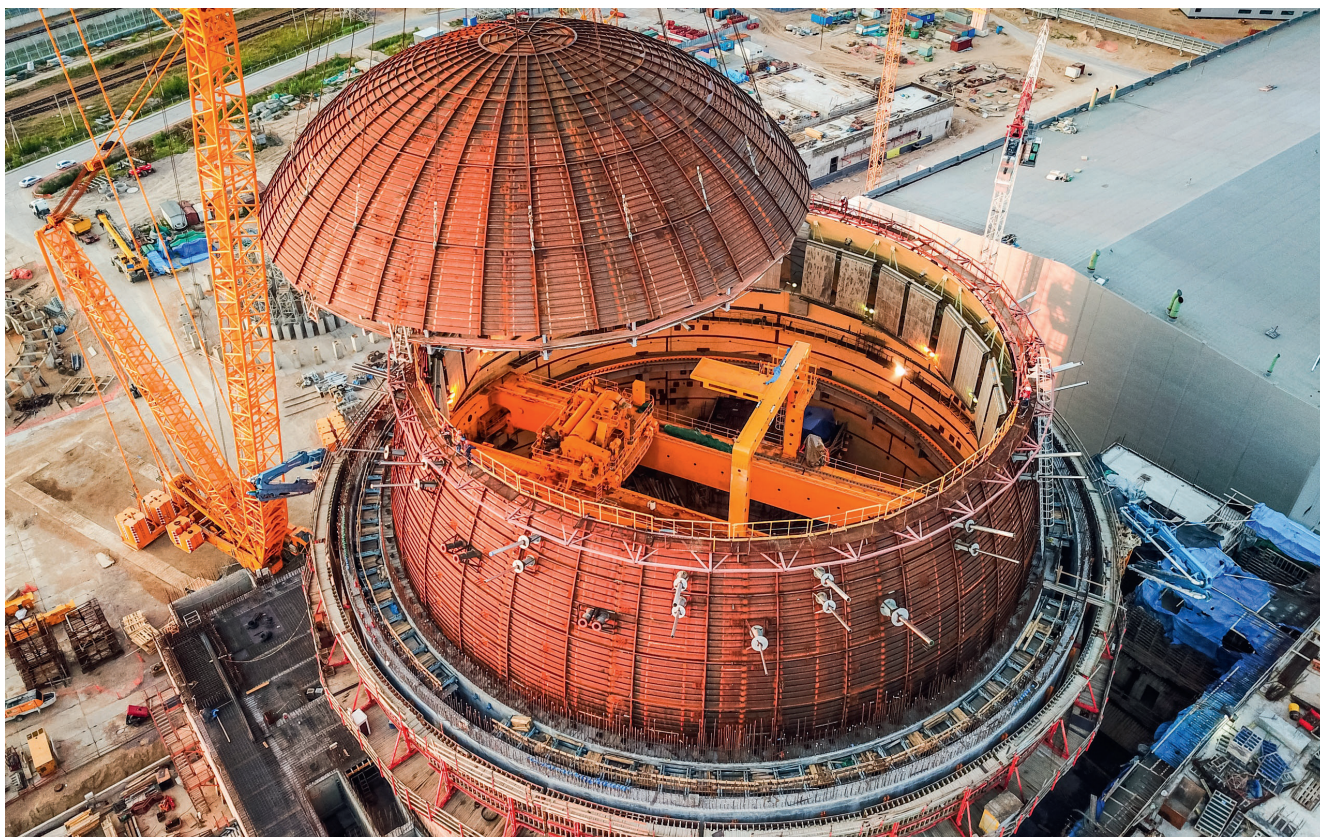


Рис. 5. Монтаж купольной металлической части внутренней защитной оболочки реактора Ленинградской АЭС-2
Fig. 5. Installation of the dome metal part of the inner protective shell of the Leningrad NPP-2 reactor

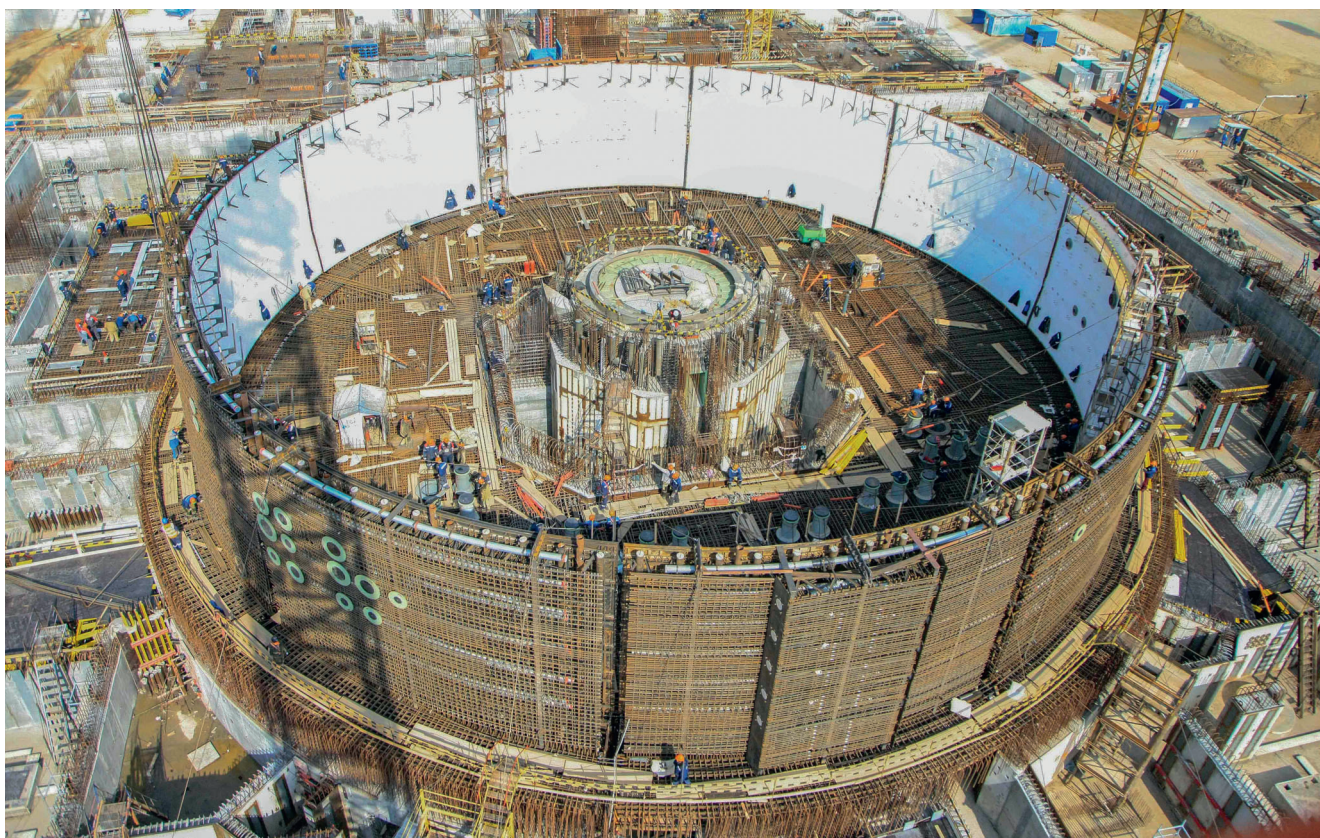


Рис. 6. Монтаж армоблоков железобетонной части внутренней защитной оболочки реактора Ленинградской АЭС-2
Fig. 6. Installation of reinforcing blocks of the reinforced concrete part of the inner protective shell of the Leningrad NPP-2 reactor

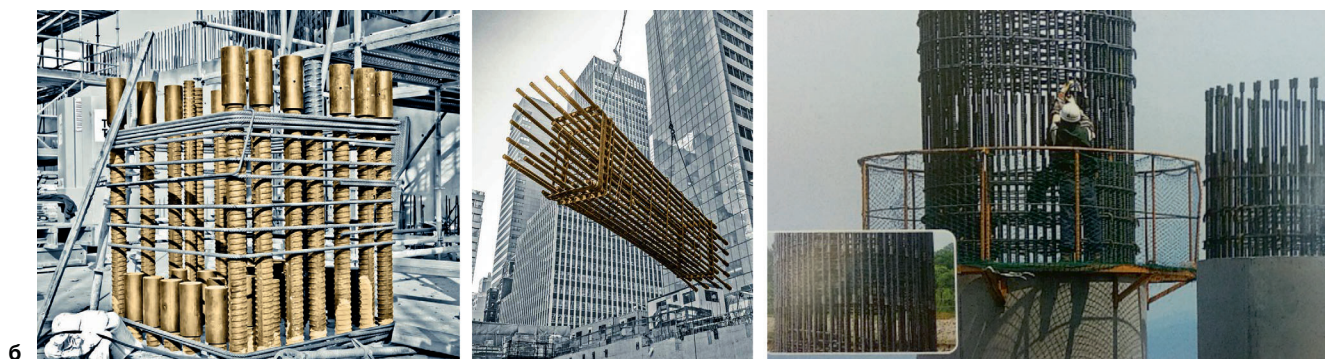
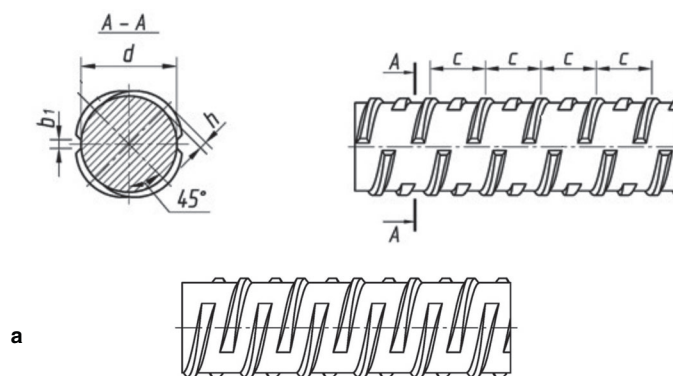


Рис. 7. а – арматура с винтовым четырехрядным профилем; б – примеры для ее эффективного применения
Fig. 7. а – reinforce bar with a four-row screw profile; б – examples for its effective use

Материалы и методы

Расчеты выполнены методом конечных элементов с использованием программного комплекса для расчета пространственных конструкций на прочность, устойчивость и колебания MicroFe-СтаДиКон. Конечно-элементная расчетная модель включала

фундаментную плиту переменной толщины на упругом основании, двухслойные стены цилиндрической части в виде многоволновых оболочек, стержневые элементы вертикальных и горизонтальных армопучков и купол с опорным кольцом (рис. 8).

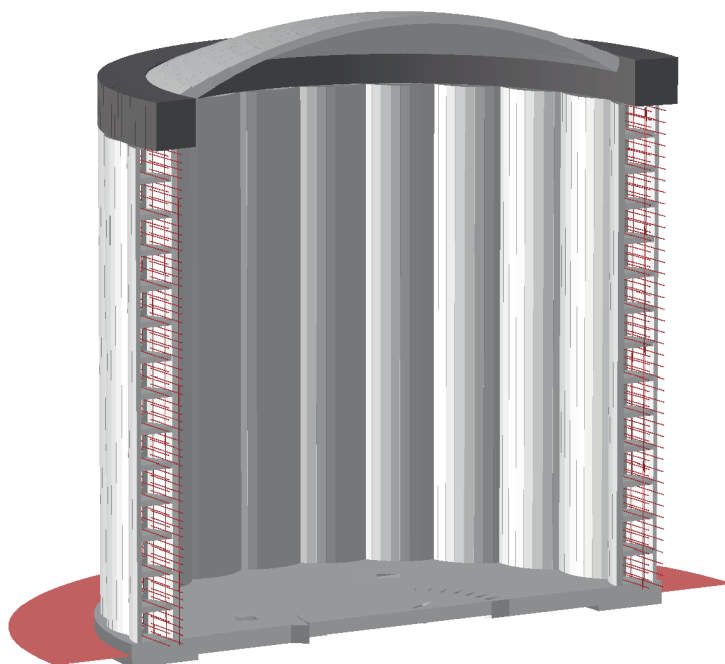


Рис. 8. Защитная оболочка. Разрез
Fig. 8. Protective shell. Cut

Результаты

Постоянными параметрами модели сооружения были приняты: радиус оси опорного кольца и цилиндрической части $R_0 = 23,3$ м; высота сооружения до уровня оси опорного кольца $H = 44,0$ м; количество волн по окружности стен – 24 (через 15°); размеры сечения опорного кольца 4×4 м и радиус кривизны купола $R_k = 45,0$ м, что соответствует стреле подъема купола $f = 6,5$ м.

Переменными геометрическими параметрами явились толщины и кривизны волн внешнего и внутреннего слоев стен цилиндрической части, а также переменная толщина купола. Окончательно принятое по результатам расчетов конструктивное решение поперечного сечения одной волны стены цилиндрической части для сборного варианта стен показано на рис. 9а.

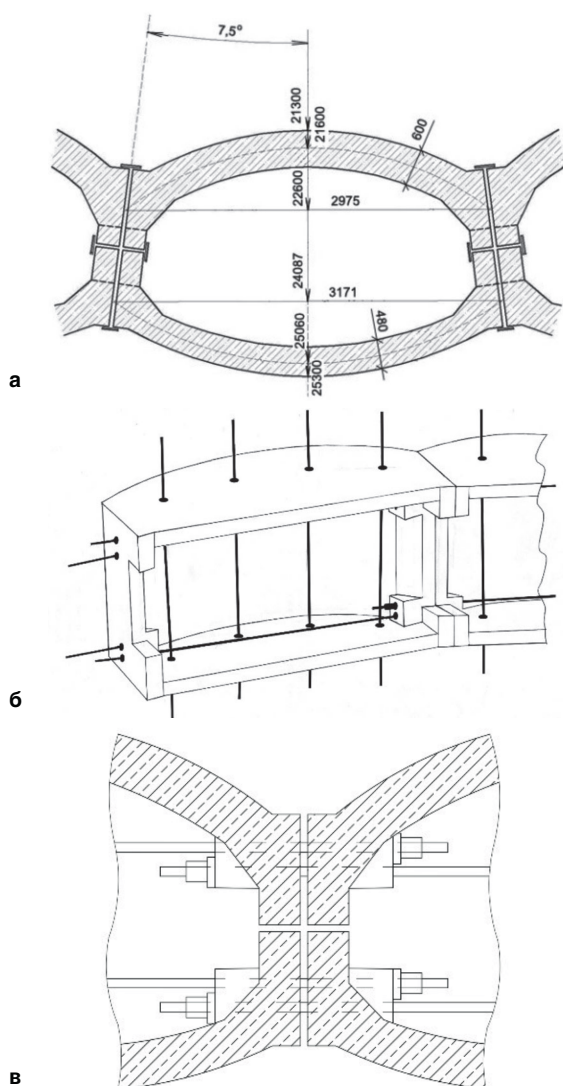


Рис. 9. а – конструктивное решение стены цилиндра;
б – сборные элементы внешней стены цилиндра;
в – схема анкерования затяжек
Fig. 9. а – the structural solution of the cylinder wall;
б – the prefabricated elements of the outer wall of the cylinder;
в – the scheme of anchoring the ties

В конструкции применены следующие материалы: бетон класса В40, напрягаемая арматура – канаты $\varnothing 15K1400$ (К7), ненапрягаемая арматура класса А500С, стальная облицовка внутренней поверхности сооружения толщиной 6 мм класса С245.

Предварительно напряженная арматура выполнена в виде армопучков (рис. 9б, в). Количество канатов определено из условия восприятия нагрузки при аварийном внутреннем давлении $p = 396$ кПа: вертикальная арматура – 192 армопучка (по 8 в каждой волне) из 19 канатов; горизонтальная (кольцевая) арматура – 98 армопучков (по 8 на 3 м высоты стен) из 37 канатов. Расчет потерь предварительного напряжения выполнен в соответствии с рекомендациями [8].

В расчетах учтены следующие виды нагрузок и воздействий:

Нагружение Н1 – собственный вес железобетонных конструкций.

Нагружение Н2 – нагрузки предварительного напряжения.

Нагружение Н3 – аварийное давление на внутренние поверхности сооружения.

Нагружение Н4 – избыточное давление во фронте воздушной ударной волны ($\Delta P_{\text{ф}} = 30$ кПа), направленной вертикально (против оси Z) с распределением давления на внешней поверхности купола по методике [20].

Нагружение Н5 – избыточное давление во фронте воздушной ударной волны ($\Delta P_{\text{ф}} = 30$ кПа), направленной горизонтально (по оси X) с распределением давления на внешней поверхности цилиндрической части по методике [1].

Нагружение Н6 – удар падающего самолета ($P = 12$ МН с $k_{\text{дин}} = 1,3$; пятно 12 м²; угол падения 45°) в центр купола.

Нагружение Н7 – удар падающего самолета в $1/4$ пролета купола.

На данном этапе исследования задачи аварийного совместного воздействия давления и температуры на внутренние поверхности сооружения, а также сейсмические воздействия не рассматривались.

В основном сочетании, включающем нагрузки Н1 и Н2, учитывался коэффициент надежности по ответственности $\gamma_n = 1,1$; в особых сочетаниях, включающих Н1, Н2 и одну из нагрузок Н3–Н7, $\gamma_n = 1,0$.

В результате выполненных расчетных исследований получены данные о напряженно-деформированном состоянии конструкции защитной оболочки и ее отдельных элементов при различных воздействиях на эксплуатационной стадии работы и при аварийных воздействиях.

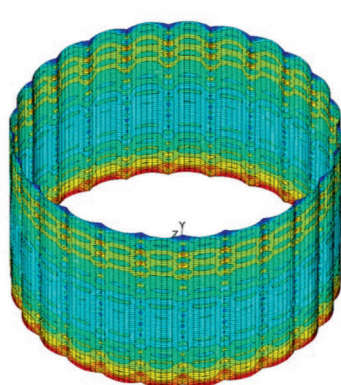
Рассмотрено напряженное состояние внутренней и внешней железобетонных стен цилиндрической части защитной оболочки. При заданном уровне предварительного напряжения, обеспечиваемом заданным количеством вертикальных и горизонталь-

ных (кольцевых) канатных пучков, практически все железобетонные конструкции испытывают сжатие. Уровень растягивающих напряжений, имеющих место в отдельных зонах, ниже напряжений трещинообразования (рис. 10). Исключение составляют узкие зоны в основании цилиндрической части, непосредственно прилегающие к фундаментной плите, и в верхнем уровне цилиндрической части, сопряженные с опорным кольцом купола. В этих зонах следует предусмотреть локальное усиление дополнительным армированием.

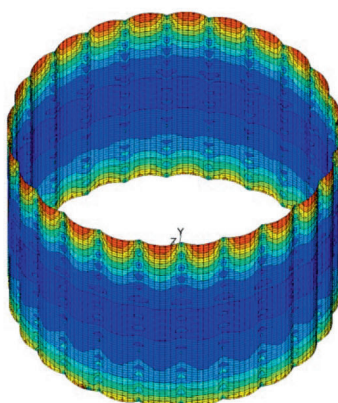
Купольная часть защитной оболочки при действии внешних нагрузок испытывает сжатие по всей площади, за исключением достаточно узкой приконтурной зоны, работающей совместно с опорным кольцом на растяжение и изгиб.

Следует отметить, что в выполненных расчетах в целях упрощения конструктивного решения принято выполнение опорного кольца без предварительного напряжения его продольной арматуры. Принятых габаритов сечения опорного кольца достаточно для размещения в нем количества арматуры, обеспечи-

Внешняя железобетонная стена цилиндрической части



Нормальные напряжения
в горизонтальном направлении
 $\text{Min } S_r = -595.77 \text{ кН/м}^2$,
 $\text{Max } S_r = 1597.24 \text{ кН/м}^2$

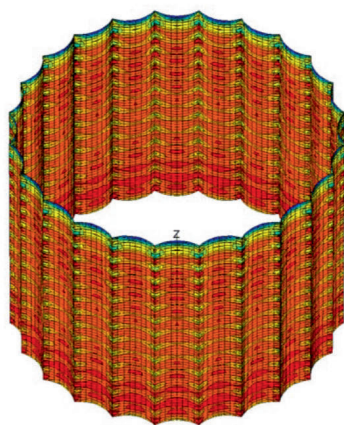


Нормальные напряжения
в вертикальном направлении
 $\text{Min } S_s = -4646.91 \text{ кН/м}^2$,
 $\text{Max } S_s = -1309.24 \text{ кН/м}^2$

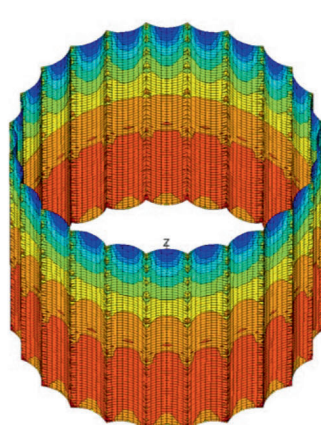


Погонные изгибающие моменты
в горизонтальном направлении
 $\text{Min } M_r = -13.8588 \text{ кНм/м}$,
 $\text{Max } M_r = 59.6758 \text{ кНм/м}$

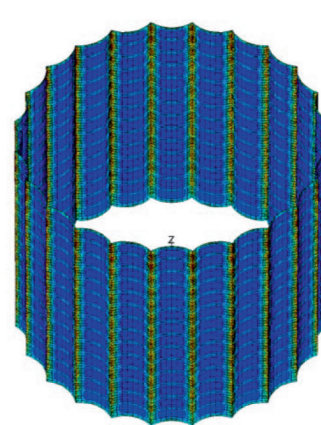
Внутренняя железобетонная стена цилиндрической части



Нормальные напряжения
в горизонтальном направлении
 $\text{Min } S_r = -1447.44 \text{ кН/м}^2$



Нормальные напряжения
в вертикальном направлении
 $\text{Min } S_s = -3330.03 \text{ кН/м}^2$



Погонные изгибающие моменты
в кольцевом направлении
 $\text{Min } M_r = -231.99 \text{ кНм/м}$,
 $\text{Max } M_r = 73.39 \text{ кНм/м}$

Рис. 10. Напряженное состояние внешней и внутренней стен цилиндрической части при воздействии аварийного внутреннего давления
Fig. 10. The stress state of the outer and inner walls of the cylindrical part under the influence of emergency internal pressure

вающего отсутствие в монолитном железобетонном кольце сквозных трещин. Однако деформации кольца под нагрузкой достаточны для появления в сопряженных с кольцом конструкциях растягивающих усилий, способных вызвать в них появление трещин или локальное раскрытие швов между сборными элементами.

Анализ результатов расчета требуемого армирования, с учетом трещиностойкости в стенах цилиндрической части, показал, что практически по всей площади, за исключением отдельных зон, расход ненапрягаемой продольной и поперечной арматуры минимален ввиду преобладания сжимающих усилий в бетоне. В случае аварийного внутреннего давления на многоволновую оболочку внутреннего слоя стены к усилиям сжатия, обеспечиваемым напрягаемой арматурой, добавляются усилия распора вследствие пространственного характера работы оболочки. Аналогичный эффект имеет место во внешнем слое стены цилиндрической части при воздействии на нее воздушной ударной волны.

Отдельно решался вопрос о технической возможности выполнения в стенах цилиндрической части предложенной конструкции технологических проемов и различного рода проходок. С этой целью выполнен ряд расчетов на моделях, включающих круглые отверстия (от 1 до 7 м в диаметре) и прямоугольные сквозные проемы различного размера (от 3×3 до 6×6 м). Расчеты напряженного состояния стен вблизи отверстий показали принципиальную возможность выполнения таких отверстий, в том числе при больших размерах проемов с соответствующим усилением железобетонных конструкций по контуру металлоконструкциями.

Выводы

1. В процессе поисковой научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы на тему «Конструктивная разработка и расчетное обоснование защитной оболочки ядерного реактора АЭС» разработано принципиально новое конструктивное решение защитной оболочки ядерного реактора АЭС, состоящей из железобетонных элементов в виде цилиндрических складок с выпуклостью, направленной навстречу возможному внешнему и внутреннему силовому аварийному воздействию, в том числе от взрыва реактора.

2. Разработаны варианты защитных оболочек с проработкой принципиальных технических решений унифицированных складчатых элементов из железобетона с возможностью их монолитного и сборного изготовления.

3. Предложена схема открытого расположения и натяжения пучков тросов с передачей напряжения на предварительно изготовленные конструкции внутренней и внешней частей защитной оболочки.

4. Выполнено теоретическое обоснование нового конструктивного решения.

Данное конструктивное решение обеспечивает при нагружении сжимающие усилия в железобетоне складок внутренней и внешней частей защитной оболочки от нагрузки, что препятствует образованию в них трещин.

Растягивающие усилия в оболочке воспринимаются предварительно напряженной арматурой, расположенной внутри ее конструкции, свободной для обслуживания и контроля.

Эффективность и правильность предпосылок принятого конструктивного решения подтверждены расчетом.

5. В процессе исследования разработаны принципиальные решения конструктивных узловых соединений сборных складчатых железобетонных элементов, технологических отверстий в конструкции оболочки и осуществления в ней предварительного напряжения.

6. Сопоставительный технико-экономический анализ предлагаемой и существующей внутренней защитной оболочки показал возможность снижения расхода бетона в 1,5–2 раза, ненапрягаемой арматуры – в 3–4 раза, сроков строительства – в 4 раза.

7. Основные технические решения предлагаемой защитной оболочки защищены патентами на изобретения [22, 23].

8. Перспективы продолжения работы:

а) разработка рабочей документации по модели защитной оболочки;

б) изготовление модели внутренней и внешней частей оболочки с их преднапряжением стержневой винтовой арматурой класса Аv1000П;

в) разработка приспособлений и методики проведения испытаний моделей оболочек статической нагрузкой;

г) оценка эффективности внедрения по результатам изготовления и испытания модели.

Список литературы

1. Соколов В.А. Защитные оболочки атомных электростанций: учебное пособие. Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та; 2003. 106 с.

2. Бирбраер А.Н. Экстремальные воздействия на сооружения / А.Н. Бирбраер, А.Ю. Роледер. Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та; 2009. 594 с.

3. Бирбраер А.Н. Расчет конструкции на сейсмостойкость. Санкт-Петербург: Наука; 1998. 255 с.

4. Белов Н.Н., Копаница Д.Г., Кумпяк О.Г., Югов Н.Т. Расчет железобетонных конструкций на взрывные и ударные нагрузки. Нортхэмптон-Томск: STT; 2004. 465 с.

5. Проект АЭС 2006. Санкт-Петербург: Атомэнергопроект; 2013.

6. Железобетонные пространственные конструкции атомных и тепловых электростанций / Л.А. Коробов, О.К. Назарьев, В.Я. Павилайнен. Москва: Энергоиздат; 1981. 328 с.

7. СТО СРО-С 60542960 00014-2014. Объекты использования атомной энергии. Работы бетонные при строительстве защитной оболочки реакторной установки атомных электростанций. Основные требования и организация контроля качества. Москва; 2014.

8. СТО СРО-С 60542960 00017-2014. Объекты использования атомной энергии. Система предварительного напряжения защитной оболочки реакторного отделения АЭС. Требования к конструированию, строительству, эксплуатации и ремонту. Москва; 2014.

9. НП-031-01. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. Москва; 2001.

10. НП-064-17. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии. Москва; 2018.

11. ПИН АЭ-5.6. Нормы строительного проектирования АЭС с реакторами различного типа. 1986.

12. ПНАЭ Г-10-007-89. Нормы проектирования железобетонных конструкций локализирующих систем безопасности атомных станций. Москва; 1991.

13. Безопасность атомных электростанций: проектирование. Конкретные требования безопасности № SSR-2/1 (Rev. 1). Вена: МАГАТЭ; 2016.

14. Проектирование систем защитной оболочки реактора для атомных электростанций. Руководство по безопасности. № NS-G-1.10. Вена: МАГАТЭ; 2008.

15. Учет внешних событий, исключая землетрясения, при проектировании атомных электростанций. Руководство по безопасности. № NS-G-1.5. Вена: МАГАТЭ; 2008.

16. Проектирование и аттестация сейсмостойких конструкций для атомных электростанций. Руководство по безопасности. № NS-G-1.6. Вена: МАГАТЭ; 2008.

17. Букринский А.М. Безопасность атомных станций по федеральным нормам и правилам России и стандартам МАГАТЭ. Сравнение основных принципов и требований по обеспечению безопасности. Труды НТЦ ЯРБ. Москва: ФБУ «НТЦ ЯРБ»; 2019. 196 с.

18. BS EN IEC/IEEE 60980-344:2021. Nuclear facilities. Equipment important to safety. Seismic qualification.

19. ASCE/SEI 4-16. Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers; 2017.

20. СП 88.13330.2014. Защитные сооружения гражданской обороны. Актуализированная редакция СНиП II-11-77*. Москва: Минстрой России; 2014.

21. Васягин Н.Г., Живов А.Н., Переяславцев Н.А., Сухенко И.В., Шоцкий В.И. Защитная оболочка ядерного реактора. Авторское свидетельство на изобретение SU 963376 А. Оpubл. 23.04.83.

22. Тихонов И.Н., Крючков В.Г., Звездов А.И., Соколов Б.С., Тихонов Г.И., Гришин Г.Е. Защитная оболочка ядерного реактора. Патент на полезную модель RU208108U1. Оpubл. 02.12.2021.

23. Тихонов И.Н., Крючков В.Г., Звездов А.И., Соколов Б.С., Тихонов Г.И. Защитная оболочка ядерного реактора. Патент на изобретение RU2784712C1. Оpubл. 29.11.2022.

References

1. Sokolov V.A. Protective shells of nuclear power plants: a textbook. Saint Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University; 2003. 106 p. (In Russian).

2. Birbraer A. N. Extreme impacts on structures / A.N. Birbraer, A.Y. Roleder. Saint Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University; 2009. 594 p. (In Russian).

3. Birbraer A.N. Calculation of the structure for seismic resistance. Saint Petersburg: Science; 1998. 255 p. (In Russian).

4. Belov N.N., Kopanitsa D.G., Kumpyak O.G., Yugov N.T. Calculation of reinforced concrete structures for explosive and shock loads. Northampton-Tomsk: STT; 2004. 465 p. (In Russian).

5. NPP project 2006. St. Petersburg: Atomenergo-proekt; 2013. (In Russian).

6. Reinforced concrete spatial structures of nuclear and thermal power plants / L.A. Korobov, O.K. Nazarov, V.Ya. Pavilainen. Moscow: Energoizdat; 1981. 328 p. (In Russian).

7. ORGANIZATION STANDARD SRO-C 60542960 00014-2014. Facilities for the use of atomic energy. Concrete works during the construction of the protective shell of the reactor plant of nuclear power plants. Basic requirements and organization of quality control. Moscow; 2014. (In Russian).

8. ORGANIZATION STANDARD SRO-C 60542960 00017-2014. Facilities for the use of atomic energy. The pre-voltage system of the protective shell of the reactor compartment of the NPP. Requirements for design, construction, operation and repair. Moscow; 2014. (In Russian).

9. NP-031-01. Standards for the design of earthquake-resistant nuclear power plants. Moscow; 2001. (In Russian).

10. NP-064-17. Consideration of external impacts of natural and manmade origin on nuclear energy facilities. Moscow; 2018. (In Russian).

11. ПИН АЭ-5.6. Standards for the construction design of nuclear power plants with reactors of various types. 1986. (In Russian).

12. PNAE G-10-007-89. Standards for the design of reinforced concrete structures of localizing safety systems of nuclear power plants. Moscow; 1991.

13. Safety of nuclear power plants: design. Specific safety requirements No. SSR-2/1 (Rev. 1). Vienna: IAEA; 2016. (In Russian).

14. Design of reactor containment systems for nuclear power plants. Safety Guide. No. NS-G-1.10. Vienna: IAEA; 2008. (In Russian).

15. Consideration of external events, excluding earthquakes, in the design of nuclear power plants. Safety Guide. No. NS-G-1.5. Vienna: IAEA; 2008. (In Russian).

16. Design and certification of aseismic structures for nuclear power plants. Safety Guide. No. NS-G-1.6. Vienna: IAEA; 2008. (In Russian).

17. Bukrinsky A.M. Safety of nuclear power plants according to federal norms and rules of Russia and IAEA standards. Comparison of the basic principles and requirements for ensuring safety. Proceedings of the NTC YARB. Moscow: FBI "NTC YARB"; 2019. 196 p. (In Russian).

18. BS EN IEC/IEEE 60980-344:2021. Nuclear facilities. Equipment important to safety. Seismic qualification.

19. ASCE/SEI 4-16. Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers; 2017.

20. SP 88.13330.2014. Protective structures of civil defense. Updated version of SNiP II-11-77*. Moscow: Ministry of Construction of Russia; 2014. (In Russian).

21. Vasyagin N.G., Zhivov A.N., Pereyaslavtsev N.A., Sukhenko I.V., Shotsky V.I. Protective shell of a nuclear reactor. Copyright certificate for the invention SU 963376 A. Publ. 04/23/83. (In Russian).

22. Tikhonov I.N., Kryuchkov V.G., Zvezdov A.I., Sokolov B.S., Tikhonov G.I., Grishin G.E. The protective shell of a nuclear reactor. The patent for the utility model RU208108U1. 02.12.2021. (In Russian).

23. Tikhonov I.N., Kryuchkov V.G., Zvezdov A.I., Sokolov B.S., Tikhonov G.I. The protective shell of a nuclear reactor. Patent for the invention RU2784712C1. Published on 11/29/2022. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Игорь Николаевич Тихонов ✉, д-р техн. наук, профессор кафедры «Строительные сооружения, конструкции и материалы» АО «НИЦ «Строительство»; руководитель центра № 21 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: tikhonovniizhb21@yandex.ru

Igor N. Tikhonov ✉, Dr. Sci. (Engineering), Professor of the Department of Building Structures, Constructions and Materials, JSC Research Center of Construction; Head of the Center No. 21, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: tikhonovniizhb21@yandex.ru

Виталий Геннадьевич Крючков, д-р экон. наук, генеральный директор АО «НИЦ «Строительство», Москва

Vitaly G. Kryuchkov, Dr. Sci. (Economics), General Director, JSC Research Center of Construction, Moscow

Андрей Иванович Звездов, д-р техн. наук, профессор, заместитель генерального директора по научной работе, заведующий кафедрой «Строительные сооружения, конструкции и материалы» АО «НИЦ «Строительство», Москва

Andrey I. Zvezdov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Deputy General Director for Scientific Work, Head of the Department Building Structures, Constructions and Materials, JSC Research Center of Construction, Moscow

Борис Сергеевич Соколов, канд. техн. наук, заведующий лабораторией тонкостенных и пространственных конструкций (№ 4) НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Boris S. Sokolov, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory of Thin-walled and Spatial Structures (No. 4), Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Георгий Игоревич Тихонов, инженер-конструктор центра № 21 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Georgy I. Tikhonov, Design Engineer of the Center No. 21, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

В.И. ТРАВУШ¹, Д.В. КУЗЕВАНОВ², С.С. КАПРИЕЛОВ², Ю.С. ВОЛКОВ^{1,2,✉}

¹ Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН),
ул. Большая Дмитровка, д. 24, стр. 1, Москва, 107031, Российская Федерация

² 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

БЕТОН КАК ЭКОФАКТОР СТАБИЛИЗАЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Аннотация

В разработанной Минстроем России «Стратегии развития строительной отрасли до 2030 года и на перспективу до 2035 года» указано, что одной из целей развития строительства на данную перспективу является «снижение углеродного следа как причины потепления атмосферы Земли».

В статье анализируются факторы, которые позволяют основному строительному материалу, т. е. бетону, внести заметный вклад в снижение углеродного следа в атмосфере как причины потепления окружающей среды. Приводятся примеры европейских практик по решению этой проблемы, показана необходимость проведения соответствующих научно-исследовательских работ, касающихся оценки влияния производства цемента и бетона на повышение уровня углеродного следа, разработка методов решения указанной проблемы и учет этого фактора для практических нужд.

Ключевые слова: бетон, цемент, окружающая среда, углеродный след, атмосфера, климат, экология

Для цитирования: Травуш В.И., Кузеванов Д.В., Каприелов С.С., Волков Ю.С. Бетон как экофактор стабилизации изменения климата // *Бетон и железобетон*. 2024. № 1 (620). С. 34–41. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1\(620\)-34-41](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1(620)-34-41)

Вклад авторов

Авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 17.02.2024

Поступила после рецензирования 05.03.2024

Принята к публикации 07.03.2024

V.I. TRAVUSH¹, D.V. KUZEVANOV², S.S. KAPRIELOV², Yu.S. VOLKOV^{1,2,✉}

¹ Russian Academy of Architecture and Construction Sciences,

Bolshaya Dmitrovka str., 24, bld. 1, Moscow, 107031, Russian Federation

² Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev,
JSC Research Center of Construction,

2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

CONCRETE AS AN ECO–FACTOR FOR CLIMATE CHANGE STABILIZATION

Abstract

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

Keywords: concrete, cement, environment, carbon footprint, atmosphere, climate, ecology

For citation: Travush V.I., Kuzevanov D.V., Kaprielov S.S., Volkov Yu.S. Concrete as an eco-factor for climate change stabilization. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 1 (620), pp. 34–41. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1\(620\)-34-41](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1(620)-34-41)

Author contribution statements

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

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 17.02.2024

Revised 05.03.2024

Accepted 07.03.2024

Мировое строительство развивается в настоящее время в беспрецедентных объемах. Только в Китае ежегодно возводится 15 миллионов новых домов, что в пять раз больше, чем в США и Европе вместе взятых [1]. К 2050 году население земного шара по прогнозу возрастет до 9,8 млрд человек. Среда обитания человечества формируется, прежде всего, путем применения бетона и железобетона, глобальный объем которых ежегодно превышает 14 млрд кубометров, из них 40 % идет на возведение жилищ. Цемента на каждого жителя Земли выпускается 0,5 тонны ежегодно [1].

Мировое промышленное развитие одновременно сопровождается ростом экологических проблем, в том числе изменением климата. За последние 50 лет средняя температура атмосферы земного шара увеличилась на 1,5 °C, это явление вызывает таяние арктических и антарктических льдов, подъем уровня мирового океана, возмущения атмосферы (ураганы, торнадо, лесные пожары и др.). Причиной потепления атмосферы считается повышение содержания в ней углекислого газа CO_2 , создающего парниковый эффект. Подсчитано, что повышение средней температуры атмосферы Земли на 1,5 °C соответствует выбросу в атмосферу 500 гигатонн CO_2 (приставка «гига» соответствует множителю 10 в девятой степени, т. е. миллиард), потеплению на 2 °C будет соответствовать уже 1150 гигатонн CO_2 . Прирост выбросов CO_2 к 2100 году будет составлять ежегодно 10 гигатонн, а общий прирост по отношению к нынешнему периоду времени составит 3500 гигатонн CO_2 [2].

На долю промышленности мирового производства цемента приходится 7 % общего объема выбросов CO_2 . Доля европейской цементной промышленности, которая включает 200 печей и на которую приходится 10 % общеевропейского ВВП, в мировом объеме сравнительно невелика – всего 4,4 %. Евросоюз ставит амбициозные цели: к 2050 году снизить выбросы CO_2 на 90 %, а также оставить достигнутый уровень постоянным до 2100 года. В абсолютных цифрах это составляет с нынешних 2140 мегатонн до 1795 мегатонн CO_2 в 2030 году и до 125 мегатонн в 2050 году. Перспективным является замещение энергоемких строительных материалов на более экономичные, например на древесину.

Следует отметить, что существуют и другие точки зрения на причину потепления климата планеты. В частности, отдельные специалисты считают, что потепление является результатом изменения угла наклона (осцилляция) оси вращения планеты Земля относительно орбиты ее движения вокруг солнца. Однако превалирует первая точка зрения, объясняющая этот эффект ростом содержания CO_2 в атмосфере.

Общественную значимость борьбы против потепления климата применительно к Европе можно проиллюстрировать фактом избрания представителей партии «зеленых», которая проповедует эту доктри-

ну, в коалиционное правительство самой развитой страны Европы (и третьей в мире) – Федеративной Республики Германии. Представитель этой фракции в Парламенте Германии, в Бундестаге, – Анналена Бербок, являющаяся министром иностранных дел страны. В рекомендациях программы этой партии указано на необходимость преимущественного строительства ветровых и солнечных установок, гидроэлектростанций с соответствующим снижением числа (а в отдаленной перспективе и отказ) тепловых станций, работающих на угле, производящих как попутный продукт углекислый газ CO_2 , который накапливается в атмосфере и дает упомянутый парниковый эффект. Строительство ветровых и солнечных установок требует, однако, использования таких дорогих энергоемких материалов, как алюминий и медь, которые для своего производства также нуждаются в немалых затратах энергии. Для достижения углеродной нейтральности путем применения этих установок потребуется многократно, по оценке, в 26 раз, увеличить добычу редкоземельных металлов, что, в свою очередь, даст свой негативный экологический эффект [1]. Прогнозируется, что прирост выбросов CO_2 до 2100 года будет составлять ежегодно 10 гигатонн. Если же отсчет вести от 1850 года, то прирост промышленных выбросов CO_2 по сравнению с сегодняшним днем, т. е. за 170 лет, составит более 2000 % [2].

Источники выброса CO_2 многолики, это теплоэлектростанции, металлургия, автотранспорт и т. д. Не стоит в стороне и строительная отрасль. В разработанной Минстроем России «Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года» [3] указано, что одной из целей развития строительства на обозримую перспективу является «снижение углеродного следа от воздействия строительной отрасли на окружающую среду», хотя строительство по этому показателю находится далеко не в первых рядах среди остальных отраслей промышленности. Текущая ситуация потепления климата на 1,5 °C соответствует выбросу в атмосферу 500 гигатонн CO_2 , прогнозируемое потепление на 2 °C будет соответствовать выбросу дополнительно еще 1150 гигатонн CO_2 . Прогнозируется, что прирост выбросов CO_2 до 2100 года будет составлять ежегодно 10 гигатонн. При суммарном приросте 3500 гигатонн CO_2 по всем отраслям на долю строительного сектора, по оценке экспертов, будет приходиться всего 5 % [1].

Основная доля повышения содержания CO_2 в атмосфере, как результат, – потепление климата, как сказано выше, приходится на тепловые электростанции и автомобильный транспорт. Производство строительных материалов тем не менее вносит свой вклад: на производство цемента в настоящее время приходится 7 % общемировых выбросов CO_2 .

Но одновременно цементный бетон является фактором снижения углеродного следа в атмосфере, об этом будет сказано ниже.

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

В октябре 2021 года в Лондоне сорок крупнейших мировых компаний-производителей цемента (80 % мирового производства, исключая Китай) взяли обязательство сократить к 2030 году выбросы CO_2 на 25 %, что отвечает целям ограничения глобального потепления до 1,5 °C. Это означает, что выбросы в атмосферу CO_2 к этому сроку сократятся на 5 млрд тонн. Намеченное снижение выбросов CO_2 гипотетически эквивалентно объему выбросов от двигателей пассажирских авиалайнеров за 15 миллиардов рейсов по маршруту Париж – Нью-Йорк [1].

Недавно созданная Европейская Объединенная Ассоциация цемента и бетона (Global Cement and Concrete Association – GCCA, (www.gccassociation.org)) поставила задачу к 2050 году достичь углеродной нейтральности производства цемента и бетона в Евросоюзе. Иными словами, достичь ситуации, когда выбросы CO_2 в процессе производства цемента и бетона не будут приводить к увеличению его содержания в атмосфере. В качестве первого шага в этом направлении намечено уже к 2030 году снизить на 25 % выбросы CO_2 при производстве цемента и бетона. Стартовое заседание GCCA, на котором было принято указанное решение, собрало более 1000 специалистов из различных стран [5]. Это событие освещалось крупными информационными агентствами, такими как Рейтер, Блумберг, Евроньюс, БиБиСи и др.

Подготовленный по результатам упомянутого заседания документ [1] собрал более 800 тыс. просмотров в Интернете. Заметим, что за последние тридцать лет, по данным GCCA, выбросы CO_2 при производстве цемента снизились на 20 %. В период до 2030 года, то есть за 8 лет, намечено снижение сразу еще на 25 %.

За последние три десятилетия сокращение выбросов CO_2 составило на стадии производства цемента 20 %. Этот показатель позволяет быть уверенным, что к 2050 году будет достигнут нулевой уровень выбросов CO_2 в этой области. Пока же в этом секторе производства объем выбросов CO_2 составляет 2,5 гигатонны в год. Суммарный эффект снижения выбросов CO_2 будет достигнут путем:

- совершенствования нормативных требований на стадии проектирования;
- снижения расхода цемента, улавливания и утилизации CO_2 на стадии производства;
- декарбонизации производства электроэнергии.

Доля альтернативных видов топлива с нынешних 6 % может быть к 2030 году увеличена до 22 % и к 2050 году до 43 %. Использование в значимых объемах водородного топлива ожидается не ранее 2040 года.

Совершенствование технологии производства бетона также может дать экономию цемента (и косвенно снизить выбросы CO_2), по оценке, на 5 % к 2030 году и на 14 % к 2050 году.

Карбонизация – это процесс адсорбции CO_2 бетоном, который был известен давно [6], но лишь недавно было предложено учитывать его как фактор в общем балансе утилизации парниковых газов [7]. Численно карбонизация в мировом масштабе оценивается в объеме 200–300 миллионов тонн CO_2 в год. Процесс карбонизации небезобидный, так как вследствие его протекания ухудшаются защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре. Процесс адсорбции CO_2 , однако, относится к слабым видам агрессии [6–8], но благодаря значительным объемам применения бетона в мире количество адсорбированного углекислого газа идет на сотни миллионов, внося свой вклад в замедление потепления климата планеты Земля.

Таблица 1
Table 1

**Аспекты мероприятий по снижению углеродного следа.
Предложения Global Cement and Concrete Association – GCCA
Aspects of measures to reduce the carbon footprint.
Global Cement and Concrete Association – GCCA offers**

№ п/п	Мероприятие по снижению выбросов CO_2	Доля от общего эффекта, %	Абсолютные объемы CO_2 , мегатонн
1	Совершенствование технологии производства цемента и бетона, оптимизация составов, контроль качества (экономия топлива и др.)	22	840
2	Применение смешанных цементов, экономия электроэнергии	14	540
3	Адсорбция CO_2 бетоном	6	240
4	Улавливание CO_2 на цементных заводах	36	1370
5	Совершенствование проектирования и технологии строительства	22	840

На долю строительного сектора приходится 14 % общемирового ВВП. Мировой объем производства цемента и бетона в денежном выражении оценивается в 440 миллиардов долларов США в год. В мире для изготовления бетона ежегодно расходуется более одного миллиарда тонн цемента. Бетон и железобетон как строительные материалы в наибольшей степени отвечают критериям устойчивого развития с учетом требований экологии, главными из которых являются:

- прочность и долговечность;
- сочетаемость с другими видами материалов;
- высокие эстетические и архитектурные качества;
- возможность использования вторичных продуктов (отходов) других отраслей для его производства;
- безопасность для окружающей среды на стадиях производства материала и его последующей эксплуатации;
- перерабатываемость по исчерпанию эксплуатационного ресурса для строительных или иных нужд.

В мире за 2020 год было произведено 14 млрд кубометров бетона, из них 5,6 млрд (40 %) ушло на возведение жилья, к 2050 году этот объем по прогнозу возрастет чуть ли не вдвое – до 9,8 млрд кубометров. Производство стройматериалов в Европе является высокодоходной отраслью. Один евро, вложенный в производство цемента и бетона, дает мультипликативный эффект в 2,8 евро в общем ВВП. Продукция этого сектора составляет 10 % от совокупного общественного продукта в странах ЕС, в отрасли занято 13 млн работников. Иными словами, снижение объемов производства бетона в мире вряд ли произойдет в обозримом будущем.

В Евросоюзе в 2021 году был введен в действие евростандарт EN 16757 «Экологичное строительство. Экологическая декларация строительных материалов. Правила для бетона и железобетона (Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Product Category Rules for concrete and concrete elements)» [9]. Стандарт содержит комплекс процедур по оценке экологического воздействия бетона и железобетона на различных этапах жизненного цикла конструкций, начиная от изготовления и кончая утилизацией. Кроме упомянутого выше по вопросам экологической оценки строительных материалов и строительных работ (sustainability of construction) в настоящее время действуют шесть стандартов, которые касаются только бетона.

С учетом требований разработанных стандартов намечено снизить выброс парниковых газов на 55 % к 2050 году, планируется также ежегодно обновлять не менее 3 % общеевропейского жилого фонда. К этому же сроку окружающая среда должна стать углеродно-нейтральной, т. е. выбросы CO₂ должны быть нейтрализованы путем расширения площадей зеленых насаждений.

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

Европейская цементная промышленность насчитывает 200 заводов. Их ежегодная производительность составляет 180 млн тонн.

В России отрасль производства бетона также развивается успешно: по данным Минпромторга, в 2022 году производство товарного бетона выросло на 20 % по отношению к 2021 году, в то время как производство кирпича возросло лишь на 2,7 %. Абсолютный объем всего нового строительства ведется из бетона и железобетона. Инновации в этой области определяют прогресс всей отрасли производства строительных материалов.

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

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

Применение бетона в транспортном строительстве, помимо повышения надежности и долговечности сооружений, позволяет снизить выбросы парникового газа CO₂ от выхлопа движущегося автотранспорта суммарно на одну тонну в год на один километр автодороги за счет пониженного расхода автомобильного топлива. Перспективно применение инновационных бетонов в транспортном строительстве, поскольку в России свыше трети протяженности автомобильных дорог федерального значения и мостовым сооружениям на них требуется ремонт из-за ускоренной деградации примененных материалов. Анализ фактических сроков службы дорожных покрытий показывает, что в сопоставимых условиях эксплуатации цементобетонные дорожные покрытия имеют в среднем в 2 раза более продолжительный срок эксплуатации, чем асфальтобетонные.

Что касается в целом цементной промышленности, то, как уже указывалось, на ее долю приходится 7 % общемирового объема выброса парниковых газов.

За последние 30 лет выбросы CO_2 при производстве цемента были снижены на 20 % в основном путем применения смешанных цементов с использованием зол, молотых гранулированных шлаков (GGBS), молотых известняков, рециклированных заполнителей, совершенствования технологии бетонов. В Европе выбросы CO_2 на 1 тонну производимого цемента в 1990 году составляли 783 кг, но к 2030 году эта цифра должна быть снижена до 472 кг, а к 2050 году выброс парниковых газов планируется уменьшить дополнительно еще на 55 %. Полностью исключить выбросы CO_2 невозможно, но достижение указанных показателей будет ощутимым вкладом в снижение углеродного следа. Страны Евросоюза намерены достичь окончательно углеродной нейтральности производства и применения цемента к 2050 году [1].

Британский научно-исследовательский институт по строительству British Research Establishment выполнил анализ экологической эффективности применения бетона на рециклированном заполнителе. За эталонный наиболее широко применяемый бетон был принят бетон класса по прочности на сжатие C28/35 (в числителе прочность, определенная по цилиндрам, а в знаменателе – определенная по кубам, МПа). Виды рециклированного заполнителя для бетона были выбраны следующие:

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

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

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

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

Среди многих строительных материалов, «дружественных» по отношению к окружающей среде, железобетон является абсолютным лидером.

Производство бетона практически не загрязняет окружающую среду и по энергоемкости намного более эффективно, чем производство кирпича или стали. Средний расход энергии на отопление в железобетонных зданиях за счет тепловой инерции ограждающих конструкций ниже, чем в кирпичных.

Железобетон является основным материалом для строительства не только зданий, но и объектов инфраструктуры, наиболее гармонично сочетающихся с природой, – это дороги, мосты, акведуки, каналы, плотины и другие гидротехнические сооружения. Железобетон – основной материал для возведения природоохранных сооружений (отстойников, аэротенков, берегоукреплений, шумовых экранов и т. д.), в том числе сооружений для хранения радиоактивных, взрывчатых и ядовитых веществ.

Концепция защиты окружающей среды в настоящее время основное внимание уделяет снижению выбросов токсичных веществ, повышению уровня очистки промышленных выбросов, анализу воздействия различных веществ на экосистему. В структуре антропогенного воздействия человека на окружающую среду накопление крупнотоннажных промышленных отходов, прежде всего, зол и шлаков, анализируется недостаточно. Между тем, по данным Стратегии [4], в РФ свыше 30 млрд тонн отходов производства и потребления накоплено в результате прошлой хозяйственной и иной деятельности. По итогам инвентаризации территорий выявлено 340 объектов накопленного вреда окружающей среде, являющихся источником потенциальной угрозы жизни и здоровью 17 млн человек.

Стратегия [4] констатирует, что ежегодно образуется примерно 4 млрд тонн отходов производства и потребления. Увеличивается количество отходов, которые не вовлекаются во вторичный хозяйственный оборот, а размещаются на полигонах и свалках, что приводит к выводу продуктивных сельскохозяйственных угодий из оборота. Между тем именно в производстве строительных материалов могут и должны в широких масштабах использоваться крупнотоннажные отходы энергетики, металлургии и других отраслей. Было доказано, что введение в бетоны 100–200 кг/м³ золы позволяет экономить от 20 до 100 кг/м³ цемента, шлаковый песок может заменить природный песок, шлаковый щебень – крупный заполнитель (его часть или полностью). Применение зол улучшает формовочные свойства бетонных смесей и качество поверхностей изделий, снижает плотность и теплопроводность всех видов бетонов, что особенно важно для легких и ячеистых бетонов.

Одним из важнейших экологических показателей стройматериалов является расход энергии на единицу продукции, который для железобетона на одну тонну в 16 раз ниже, чем для стали, и вдвое ниже, чем количество энергии, необходимой для производства одной тонны кирпича.

Таким образом, по уровню экологических, технических и экономических показателей железобетон является основным конструкционным материалом современности, лидируя в общей структуре мирового производства строительной продукции. Он фактически является безальтернативным материалом для применения в жилищном, гражданском, дорожном, промышленном и других видах строительства.

Выводы

Применение бетона играет важную роль в снижении углеродного следа по отношению к окружающей среде, но решение этой проблемы должно иметь соответствующее научное обеспечение. Необходимо формулирование проблемы, выделение финансирования и проведение соответствующих научно-исследовательских работ, касающихся качественной и количественной оценки влияния производства бетона на снижение уровня углеродного следа.

Далее необходима разработка мер по снижению выбросов CO₂ на стадии производства исходных составляющих (цемента, заполнителей, добавок). Является целесообразной подготовка методик по численному измерению поглощения CO₂ видами бетонов с различным расходом цемента на разных заполнителях на стадии эксплуатации, предстоит разработка нормативных документов, определяющих методы решения указанной проблемы и учета этого фактора для практических нужд.

На сегодняшний день цементный бетон и железобетон – это единственные материалы, объемы применения которых в различных сферах мировой строительной деятельности способны внести ощутимый вклад в замедление потепления климата на Земле.

Список литературы

1. Concrete Future. The GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete. URL: <https://gccassociation.org/concretefuture>
2. Carbon Accounting for Building Materials. An Assessment of Global Warming Potential, June 2022, P.O.BOX 1475,3430 Newvegein, the Netherlands, www.lbpsht.nl
3. Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года. Минстрой; 2022.
4. Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года. Указ Президента Российской Федерации № 176 от 19 апреля 2017 г.
5. Concrete 2030 – Challenges and Opportunities, ERMCO Representative meeting, Amsterdam, 14.02.2021.
6. Чехов А.П., Сергеев А.М. Справочник по бетонам и растворам. Киев: Будивельник. 1972. 192 с.
7. FIB Model Code For Concrete Structures 2010. Verlag fur Archtektture Berline 2010.

8. Guide to Durable Concrete. Standard 201.2R – 08. American Concrete Institute.

9. EN 16757:2017. Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Product Category Rules for concrete and concrete elements.

10. Будущее России. Национальные проекты, проблемы и перспективы. Доклады РААСН. Москва; 2021. 156 с.

11. Травуш В.И., Кузеванов Д.В., Каприелов С.С., Волков Ю.С. Цементный бетон как фактор снижения углеродного следа // *Цемент и его применение*. 2022. № 5. С. 20–21.

12. Principles and Rules for the Structural and Drafting of CEN Documents (ISO / IEC Directives-P).

13. Jenisch J., Gullot T. Our Concrete Future. Global Cement and Concrete Association. Issue 1, October 2021.

References

1. Concrete Future. The GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete. URL: <https://gccassociation.org/concretefuture>
2. Carbon Accounting for Building Materials. An Assessment of Global Warming Potential, June 2022, P.O.BOX 1475,3430 Newvegein, the Netherlands, www.lbpsht.nl
3. Strategy for the development of the construction industry and housing and communal services of the Russian Federation for the period up to 2030 with a forecast up to 2035. Ministry of Construction; 2022. (In Russian).
4. The 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. (In Russian).
5. Concrete 2030 – Challenges and Opportunities, ERMCO Representative meeting, Amsterdam, 14.02.2021.
6. Chekhov A.P., Sergeev A.M. Handbook of concretes and mortars. Kiev: Budivelnik; 1972. 192 p. (In Russian).
7. FIB Model Code For Concrete Structures 2010. Verlag fur Archtektture Berline 2010.
8. Guide to Durable Concrete. Standard 201.2R – 08. American Concrete Institute.
9. EN 16757:2017. Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Product Category Rules for concrete and concrete elements.
10. The future of Russia. National projects, problems and prospects. RAACS reports. Moscow; 2021. 156 p. (In Russian).
11. Travush V.I., Kuzevanov D.V., Kaprielov S.S., Volkov Yu.S. Cement concrete as a factor to reduce the carbon footprint. *Journal cement and its applications*. 2022, no. 5, pp. 20–21. (In Russian).
12. Principles and Rules for the Structural and Drafting of CEN Documents (ISO / IEC Directives-P).
13. Jenisch J., Gullot T. Our Concrete Future. Global Cement and Concrete Association. Issue 1, October 2021.

Информация об авторах / Information about the authors

Владимир Ильич Травуш, д-р техн. наук, профессор, вице-президент РААСН, Москва

Vladimir I. Travush, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Vice President of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow

Дмитрий Владимирович Кузеванов, канд. техн. наук, член-корреспондент Международной инженерной академии, директор НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Dmitry V. Kuzevanov, Cand. Sci. (Engineering), Corresponding Member of the International Academy of Engineering, Director, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Семен Суренович Каприелов, д-р техн. наук, профессор, руководитель лаборатории химических добавок и модифицированных бетонов (№ 16) НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»; академик РААСН, Москва

Semyon S. Kaprielov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Laboratory of Chemical Additives and Modified Concretes (No. 16), Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction; Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow

Юрий Сергеевич Волков ✉, канд. техн. наук, ученый секретарь НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»; почетный член РААСН, Москва
e-mail: volkov@cstroy.ru

Yuri S. Volkov ✉, Cand. Sci. (Engineering), Scientific Secretary, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction; Honorary Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow
e-mail: volkov@cstroy.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



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

Мы – команда единомышленников, способных реализовать сложнейшие инженерные проекты

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



Изыскания



Проектирование



Строительство



Эксплуатация



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



ниц строительство
научно-исследовательский центр



ЦНИИСК
им. А.А. Кучеренко

НИИЖБ
им. А.А. Гвоздева

НИИОСТ
им. Н.М. Переплывина

А.Г. БУБЛИЕВСКИЙ^{1,✉}, С.Н. ЛАПЫРЕВ^{1,2}¹ Ассоциация «Железобетон», Рязанский пр-кт, д. 22, к. 2,
г. Москва, 109428, Российская Федерация² Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт
бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»,
2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ 2023 ГОДА В БЕТОННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Аннотация

Аналитический обзор 2023 года подготовлен на основе анализа материалов и публикаций информационного центра Beton GmbH (Германия)*.

Бетонное строительство, технологии бетона и железобетона, углеродно-нейтральность, эффективность использования ресурсов – это центральные темы, над которыми сегодня работает информационный центр Beton GmbH (IZB) от имени немецких производителей цемента и бетона. Являясь аналитической платформой для производителей и движущей силой отрасли, центр продвигает новые области применения цементно-связанных строительных материалов и внедряет инновационные продукты и процессы. Учитывая исключительную важность цемента и бетона в строительстве, отрасль также несет особую ответственность за смягчение последствий изменения климата. Поэтому цементная промышленность Германии уже много лет активно ведет работы над сокращением выбросов углерода и сохранением природных ресурсов. Используя инновационные технологии, Германия планирует производить цемент и бетон с нулевым выбросом углерода к 2045 году. Важным элементом продвижения и обучения устойчивому строительству с использованием бетона является предоставление технических консультаций строителям, исполнителям работ, архитекторам и инженерам в области гражданского, дорожного, высотного и сельскохозяйственного строительства.

Основное внимание уделяется бетону и процессам, которые обеспечивают устойчивые, надежные решения, а также способствуют реализации крупных плановых идей в соответствии с основными мировыми трендами: эффективность с точки зрения климата, ресурсосбережение, энергосбережение.

Ключевые слова: бетонное строительство, устойчивое строительство, углеродно-нейтральность, энергоэффективность, энергосбережение, эффективность использования ресурсов, ресурсосбережение, повторное использование ресурсов

Для цитирования: Бублиевский А.Г., Лапырев С.Н. Основные тенденции 2023 года в бетонном строительстве // Бетон и железобетон. 2024. № 1 (620). С. 42–52. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1\(620\)-42-52](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1(620)-42-52)

Вклад авторов

Авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 28.12.2023

Поступила после рецензирования 30.01.2024

Принята к публикации 01.02.2024

* Информационный центр Beton GmbH был основан в 1972 году немецкой цементной промышленностью с целью обеспечения универсальной потребности в информации о строительных материалах, скрепленных цементом, с помощью комплексной платформы. Его основной задачей является разработка и редактирование технических публикаций и предоставление экспертных консультаций архитекторам, инженерам-строителям или строительным компаниям, что является важной задачей, выполняемой совместно со специалистами-консультантами на федеральной территории.

A.G. BUBLIEVSKY^{1,✉}, S.N. LAPYREV^{1,2}¹ Association "Reinforced Concrete", Ryazansky Ave., 22, bld. 2,
Moscow, 109428, Russian Federation² Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev,
JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5,
Moscow, 109428, Russian Federation

THE MAIN TRENDS OF 2023 IN CONCRETE CONSTRUCTION

Abstract

The analytical review of 2023 was prepared based on the analysis of materials and publications of the Beton GmbH information center (Germany).

Concrete construction, concrete and reinforced concrete technologies, carbon neutrality, and resource efficiency are the central topics that the Beton GmbH (IZB) information center is working on today on behalf of German cement and concrete manufacturers. As an analytical platform for manufacturers and the driving force of the industry, the center promotes new applications of cement-bonded building materials and introduces innovative products and processes. Given the critical importance of cement and concrete in construction, the industry also has a special responsibility to mitigate the effects of climate change. Therefore, the German cement industry has been actively working for many years to reduce carbon emissions and conserve natural resources. Using innovative technologies, Germany plans to produce cement and concrete with zero carbon emissions by 2045.

An important element of the promotion and training of sustainable concrete construction is the provision of technical advice to builders, contractors, architects and engineers in the field of civil, road, high-rise and agricultural construction. The main focus is on concrete and processes that provide sustainable, reliable solutions, as well as contribute to the implementation of major planned ideas in accordance with the main global trends: climate efficiency, resource conservation, energy conservation.

Keywords: concrete construction, sustainable construction, carbon neutrality, energy efficiency, energy conservation, resource efficiency, resource conservation, resource reuse

For citation: Bubleivsky A.G., Lapyrev S.N. The main trends of 2023 in concrete construction. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 1 (620), pp. 42–52. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1\(620\)-42-52](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1(620)-42-52)

Author contribution statements

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

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 28.12.2023

Revised 30.01.2024

Accepted 01.02.2024

Основные направления реализации концепции устойчивого строительства

Декарбонизация цемента и бетона: пути смягчения последствий и стратегия действий

Что уже возможно при проектировании и выполнении строительных работ сегодня? Исходя из цели производства цемента и бетона с нулевым выбросом углерода к 2045 году, есть краткий обзор возможностей, которые архитекторы, проектировщики и строители уже сегодня могут использовать для значительного сокращения углеродного следа и использования ресурсов бетонных конструкций для строительства устойчивых сооружений. Мы показываем, какие действия и решения в области планирования могут наилучшим образом реализовать потенциал устойчивого развития бетона – от выбора строительных материалов и строительства до этапа использования и до конца срока службы, какие конкретные шаги можно предпринять для достижения экономии CO₂, ресурсов или энергии уже сейчас и в какой степени. Кроме того, вот прогноз того, как достичь углеродной нейтральности к 2045 году и каковы потенциальные возможности экономии первичного сырья (рис. 1).

Как к 2045 году может быть реализован метод строительства из бетона с нулевым выбросом углерода?

Дорожная карта по выбросам углерода в цементной промышленности Германии дает ответы на этот вопрос. Это подчеркивает, что цель углеродной нейтральности может быть достигнута с помощью широкого спектра мер на всех уровнях цепочки создания стоимости – от производства клинкера, цемента и бетона до применения бетона в строительстве. В дополнение к представленным здесь подходам это включает, прежде всего, улавливание CO₂ на цементном заводе и его использование или переработку при использовании концептуальных решений технологии (Carbon Capture and Utilisation/Storage – CCUS). Совершенно новые цементы с очень низким содер-

жанием клинкера, которые в настоящее время находятся на стадии вывода на рынок, или использование водорода в качестве энергоносителя также будут играть решающую роль.

К 2045 году цементная промышленность Германии намерена добиться полного сокращения выбросов CO₂, используя все доступные варианты снижения выбросов углерода в цепочке создания стоимости, включая внешние эффекты. При этом ежегодное снижение количества CO₂ за счет повсеместного использования технологий CCUS прогнозируется в 10,4 млн тонн. За счет использования топлива, содержащего биомассу, с одновременным улавливанием CO₂, можно исключить дополнительно около 1,6 млн тонн CO₂, которые отбираются из атмосферы и регистрируются как отрицательные выбросы. Таким образом, в расчетах общий объем выбросов сокращается более чем на 100 %. В качестве внешних эффектов, не поддающихся непосредственному влиянию, в этом сценарии учитывается естественное поглощение CO₂ в бетоне (рекарбонизация), а также небольшое снижение спроса на бетон к 2045 году.

Ресурсы будущего для цемента и бетона

Наряду с сохранением климата, сохранение природных ресурсов является одной из основных экологических проблем нашего времени. В исследовании, опубликованном Ассоциацией немецких цементных заводов (VDZ), были выявлены и оценены различные возможности сохранения ресурсов в рамках сценария до 2050 года.

Меры, рассмотренные в исследовании, приведут к общему сокращению использования первичного сырья в цепочке создания стоимости цемента и бетона в сценарии 2050 года в общем объеме 96,8 млн тонн в 2050 году, что на 41 % меньше, чем в 2020 году. Наибольший потенциал проявляется в производстве бетона (-52,1 млн тонн) за счет замены значительной части природного щебня в бетоне в будущем на повторно переработанный щебень.



Рис. 1. Основные составляющие достижения углеродной нейтральности к 2045 году
Fig. 1. The main components of achieving carbon neutrality by 2045

Дополнительные возможности открываются на уровне производства клинкера и цемента за счет использования песка из дробленного бетона и цемента соответственно, а также переработанной муки, полученной в результате переработки бетона и каменной кладки. В сценарии 2050 года эта мера может заменить более 4 млн тонн известняка. Тем не менее, особенно при производстве цемента, в результате уменьшения количества металлургического песка (шлака) и летучей золы также наблюдаются противоположные эффекты, требующие более широкого использования определенного первичного сырья. В первую очередь это известняк и обожженные глины, предназначенные для снижения содержания клинкера в цементе.

Использование углеродозффективных цемента и бетонов

Производство бетона связано с выбросом CO_2 – в среднем от 180 до 300 кг на м^3 , в зависимости от требуемой производительности. Интенсивность CO_2 при этом зависит в первую очередь от используемого цемента и его доли в обожженном известняке (портландцементном клинкере). Выбросы от переработки щебня и использования других исходных материалов, а также от транспортировки играют второстепенную роль.

В этой связи использование в бетоне углеродозффективных цементов является решающим рычагом при декарбонизации бетонных конструкций.

Углеродозффективные цементы и бетоны можно использовать практически во всех типичных областях применения в строительстве и гражданском строительстве. Потенциал смягчения последствий велик, особенно в случае внутренних и обычных внешних строительных конструкций, поскольку именно там используется около 60–80 % товарного бетона, производимого в Германии. Эти бетонные конструкции, как правило, подвергаются низкому или умеренному воздействию окружающей среды соответственно, что делает их очень подходящими для использования в бетоне, особенно при использовании углеродозффективных цементов. Это позволяет уже сегодня, без технических ограничений, достичь экономии CO_2 примерно на 20 % на м^3 бетона по сравнению со средним показателем (рис. 2).

Устойчивое строительство – к чему это приводит?

Чтобы соответствовать требованиям устойчивого строительства, важные направления могут быть заданы уже при планировании проекта. При этом необходимо учитывать различные факторы, которые особенно влияют на экологический баланс сооружения в течение его жизненного цикла. Опыт показывает, что для проектировщиков и архитекторов особенно важны региональность, снижение выбросов углерода, пригодность для вторичной переработки, а также энергосбережение и долговечность. Бетонные



Рис. 2. Снижение CO_2 примерно на 20 % при использовании углеродозффективных бетонов и цементов
Fig. 2. CO_2 reduction by about 20 % using carbon efficient concretes and cements

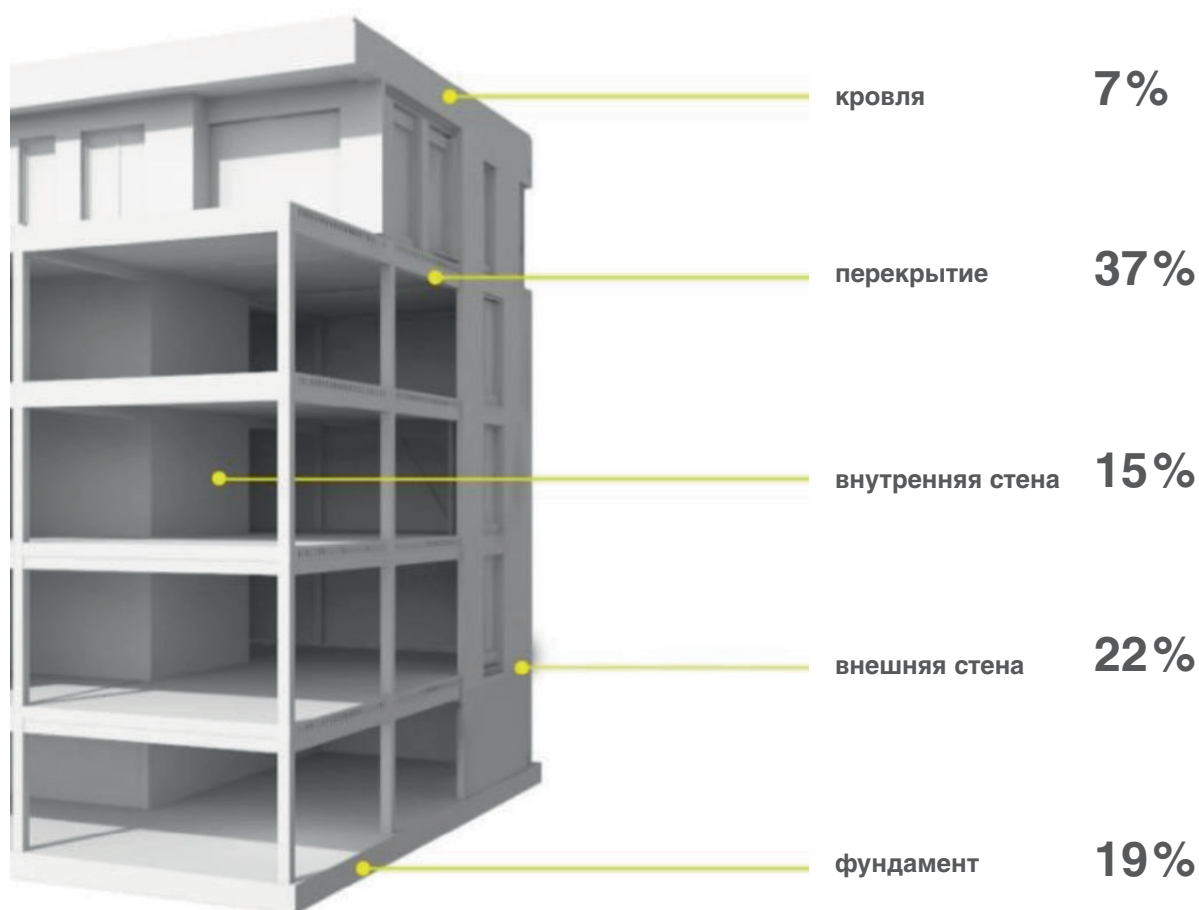


Рис. 3. Углеродный фон по элементам конструкции здания
Fig. 3. Carbon stock by building structural elements

конструкции и конструктивные элементы также обеспечивают тепловые преимущества при эксплуатации зданий. Это позволяет снизить потребление энергии при эксплуатации здания и обеспечивает комфортный микроклимат в помещении независимо от времени года. Кроме того, целенаправленно активируя бетонные конструкции для отопления и охлаждения, возможно внести важный вклад в интеграцию возобновляемых источников энергии для производства тепла и холода в зданиях.

Почему снижение выбросов углерода – это так сложно?

Предыстория заключается в том, что для производства цемента из известняка необходимо обжигать до клинкера. Этот процесс включает в себя высвобождение CO_2 , содержащегося в известняке. В результате этого процесса происходит выброс примерно двух третей от связанного объема углерода. Только треть выбросов приходится на производство энергии, необходимой для этого. Следовательно, даже при использовании 100 % возобновляемых источников энергии в производстве можно было бы предотвратить лишь

часть общих выбросов. Поэтому в будущем решающую роль в декарбонизации также будут играть новые технологии и инновации, благодаря которым производство цемента и бетонных конструкций претерпит фундаментальные изменения.

Углеродный след конструкции по компонентам

В зависимости от здания и метода строительства значения углеродного фона по элементам конструкции здания могут варьироваться, но они дают ориентир для оценки потенциала выбросов углерода и экономии ресурсов на всех этапах жизненного цикла уже на стадии планирования. При этом углеродный фон от строительства здания с массивной конструкцией обычно формируется в основном из конструкции и фундамента здания. Таким образом, меры по оптимизации выбросов углерода в бетонных конструкциях, каждый из элементов которых имеет собственное значение углеродного фона (рис. 3), в основном относятся к потолкам, наружным стенам, внутренним стенам, конструктивным элементам, контактирующим с землей, а также к фундаменту. Крыши, фасады, а также инженерное оборудование

зданий также способствуют выбросам углерода, но их значения сравнительно малы.

Потребности в тепле и электроэнергии на этапе эксплуатации зданий в настоящее время в основном являются причиной наибольшей доли выбросов парниковых газов. В зданиях, оцененных в 2021 г., при эксплуатации в течение 50 лет образуется $25 \text{ кг м}^2 \text{ NRF}^* \text{ а}$ выбросов, при производстве конструкции получается около $7,5 \text{ кг м}^2 \text{ NRF}^* \text{ а}$.

Таким образом, оценка устойчивости сооружений должна проводиться на протяжении всего жизненного цикла, даже если по мере увеличения декарбонизации энергоснабжения важность эксплуатации в отношении выбросов в течение жизненного цикла будет снижаться. Кроме того, нельзя игнорировать и другие аспекты устойчивости, такие как потенциал сохранения ресурсов, влияние различных методов строительства на биоразнообразие и охрану окружающей среды или вклад коротких цепочек поставок в создание региональной стоимости на местном уровне.

Путь к углеродному нейтралитету в 2045 году

Благодаря экономичному планированию, использованию углеродозффективных цемента и другим мерам уже сегодня можно добиться значительной экономии углерода, ресурсов и энергии с помощью бетонных конструкций. Однако для достижения цели углеродного нейтралитета к 2045 году этого будет недостаточно. Кроме того, потребуются совершенно новые подходы к производству и применению цемента и бетона. Необходимо использовать эффективные методы строительства, которые обеспечивают сопоставимую производительность при меньшем объеме бетона.

После 2050 года будет виден дальнейший потенциал за счет расширения возможностей повторного использования компонентов или целых структур конструкции с помощью модульных методов строительства.

В качестве внешнего эффекта сценарий 2050 года рассматривал небольшое снижение спроса на строительство в качестве смягчающего фактора (-12,0 млн тонн). Что касается топлива, предполагается, что к 2050 году ископаемое топливо, которое все еще используется в некоторых частях, будет полностью заменено альтернативным топливом и экологически чистым водородом. В целом использование материалов, вероятно, будет иметь такой же масштаб (около 5 млн тонн).

Климатозффективное строительство из бетона

Модуль CO_2 Совета по устойчивому развитию бетона обеспечивает хорошее руководство по снижению выбросов CO_2 при бетонировании различных классов прочности бетона на сжатие за счет использования цемента с пониженным содержанием клинкера. Исходя из отраслевого эталона, он определяет четыре класса CO_2 на основе удельных выбросов парниковых газов на м^3 бетона в соответствующем классе прочности бетона. Бетоны класса CO_2 «Уровень 1» соответствуют экономии на 30 % по сравнению с эталонными, «Уровень 2» – на 40 %, «Уровень 3» – на 50 % и «Уровень 4» – на 60 %. Бетоны уровней 1 и 2, как правило, используются в конструкциях интерьера и обычных конструкциях экстерьера зданий и уже доступны сегодня в большинстве регионов.



Рис. 4. Конструктивные элементы потолочных систем с пониженным углеродным фоном
Fig. 4. Structural elements of ceiling systems with a reduced carbon background

Углеродно-нейтральные цементы с использованием улавливания CO₂

Чтобы производить цементы и бетоны с нулевым выбросом углерода, необходимо полностью исключить выбросы, связанные с сырьем в технологических процессах. Это пока невозможно с помощью технологий, доступных сегодня. Вот почему немецкие производители цемента и VDZ уже около 15 лет работают над улавливанием CO₂ на цементном заводе и его последующим использованием или хранением (улавливание и утилизация углерода / улавливание и хранение углерода). Первые пилотные и демонстрационные установки в Германии в настоящее время вводятся в эксплуатацию, в ближайшие несколько лет их будет еще больше. По состоянию на 2030 год, согласно дорожной карте отрасли по выбросам углерода, около 1 млн тонн CO₂ могут быть сокращены за счет его использования в качестве сырья или хранения, что также сделает доступными углеродно-нейтральные цементы и бетоны в среднесрочной перспективе.

Проектирование бетонных конструкций и конструкций с низким уровнем выбросов углерода из бетона

Для снижения углеродного следа бетонной конструкции уже сейчас применяются методики проектирования, основанные на применении концептуальных конструктивных решений, включающих основные элементы, имеющие пониженный углеродный фон. Рассмотрим данную методику на примере использования в бетонном строительстве различных потолочных систем, которые в общей структуре здания представляются наиболее значимыми по степени формирования углеродного фона (рис. 4).

Предварительно напряженные бетонные потолки требуют на 40 % меньше бетона и на 75 % меньше стали по сравнению с другими бетонными потолочными системами при сопоставимых статических требованиях к потолку. Также возможно уменьшение толщины компонента за счет уменьшения бетонного покрытия. Пролет длиной 7 м может быть достигнут при толщине потолка 15 см или 18 см при толщине потолка 40 см. Кроме того, использование пустотелых элементов позволяет значительно сократить расход материалов, не влияя на несущую способность (пустотелые потолки). Возможна интеграция труб отопления и вентиляции, а также активация бетонного сердечника. Предварительно напряженные бетонные сборные перекрытия также подходят для гибридного строительства из дерева и бетона, в частности, для экономичного удовлетворения требований звукоизоляции и противопожарной защиты.

Предварительно напряженные сэндвич-потолки – один из способов изготовления сборных потолочных систем с минимальным весом. Две внешние бетонные оболочки, а также бетонные ребра, расположенные между ними, обеспечивают статические характеристики. Между ребрами размещены вытеснитель-

ные тела, где статический бетон не требуется. Нижняя сэндвич-панель и ребра изготовлены из сборного материала. На строительной площадке инженерные коммуникации здания и верхняя бетонная сэндвич-панель дополняются. Система обеспечивает гибкую планировку помещений для различных нужд использования. Возможны пролеты до 20 м и экономия веса до 50 % по сравнению с массивными потолками. Системы сэндвич-потолков доступны в виде сборных или полуфабрикатов.

Монолитные пустотелые перекрытия также обеспечивают сопоставимую экономию (до 35 % сокращения бетона, до 15 % сокращения стали, до 20 % снижения углеродного следа). При толщине компонентов от 20 до 80 см проявляется большая гибкость полых потолочных систем. Особенно для больших пролетов установка пустотелых элементов, например из переработанного пластика, в местах с низким статическим напряжением потолка может снизить вес потолка. Меньший собственный вес позволяет уменьшить толщину потолка или увеличить пролет. Кроме того, он снижает нагрузку на компоненты, снимающую нагрузку. В последние годы был разработан ряд различных полых саржевых систем. Даже после демонтажа монолитных пустотелых перекрытий с использованием простых методов обработки (бетон / пластик / бумага различной плотности) можно добиться разделения материалов, которые можно повторно использовать в качестве переработанных для дальнейшей рециркуляции.

Инновационные формообразующие корпуса и системы опалубки

Инновацией в монолитных пустотелых перекрытиях являются экструзионные корпуса из переработанного картона, которые разрабатываются в настоящее время. Так называемый волокнистый формовочный материал изготовлен из переработанной бумаги и уже используется в упаковочной промышленности (например, в качестве картонной коробки для яиц).

Еще одним нововведением является потолочная опалубка произвольной формы с 3D-печатью, которая заменяет предварительно напряженные бетонные ребристые перекрытия, имеющие бетон только в тех местах, которые требуются статически. Потолочные системы разрабатываются, производятся и тестируются в Швейцарском федеральном испытательном центре в Цюрихе в реальных условиях в исследовательском здании. Этот тип «потерянной» опалубки позволяет изготавливать потолки произвольной формы из бетона открытого типа.

Энергосбережение благодаря высокой теплоемкости бетона

Высокая теплоемкость бетона может быть оптимизирована с точки зрения планирования. В то время как основное внимание уделяется теплотермам в ограждающей конструкции здания, внутренние массивные конструктивные элементы могут оказывать

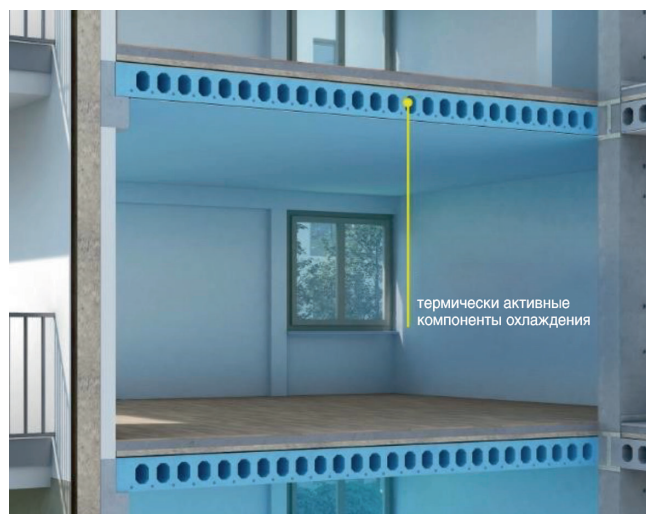
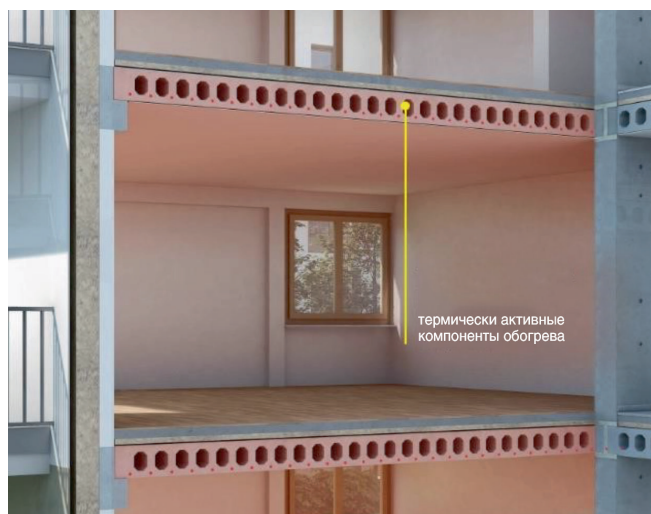


Рис. 5. Формирование термоактивных компонентов в бетонной конструкции
Fig. 5. Formation of thermoactive components in a concrete structure

регулирующее воздействие на температуру в здании. Благодаря соответствующему детальному планированию и детальному формированию конструкции из бетона могут быть спроектированы практически без мостиков тепла и визуально высокого качества. В частности, с помощью железобетонных многослойных фасадов и бетонных навесных стен можно оптимизировать здания с помощью термического регулирования. Справочная информация по этому поводу, а также обширная коллекция деталей содержатся в атласе планирования. Однако при этом следует обращать внимание на возможность повторного использования и долговечность используемых теплоизоляционных материалов. Интересные альтернативы также могут появиться с новыми концепциями ступенчатых или многослойных бетонных сечений, особенно в потолочных и стеновых системах.

Тепловая инерция бетона (при теплоемкости около $2400 \text{ кДж} / (\text{м}^3 \text{ К})$) соответствует, прежде всего, ощущению комфорта человека. Поскольку температура наружного воздуха в Германии обычно опускается ниже 20°C ночью, даже летом, массивные компоненты могут снова остыть, а затем опять медленно поглощать дополнительное тепло в течение дня. Это означает, что при хорошей теплозащите существует небольшой перепад между температурой компонента и воздуха в помещении, который считается комфортным. Это свойство становится еще более эффективным в сочетании с активацией компонента. Исследования показали, что традиционные системы отопления должны повышать температуру в помещении на $1\text{--}2^\circ \text{C}$, чтобы создать сопоставимое ощущение комфорта.

Способность бетона удерживать тепло оказывает положительное влияние при эксплуатации по сравнению с более легкими методами строительства. Меньшая способность легких материалов (например, дерева) удерживать тепло приводит к большей потребности в теплоснабжении при содержании зда-

ния по сравнению с конструкцией из массива дерева. На примере типичного многоквартирного дома потребность в тепловой энергии деревянного дома в сравнении с железобетонным зданием в течение 50 лет выше на 5 %, при этом выбросы CO_2 более чем на 3 % выше. Это значение увеличивается при более длительном контроле.

Отопление и охлаждение бетоном: эффективное и возобновляемое

Термическая активация бетонных компонентов использует теплоизоляционную способность бетона, стабилизируя температуру в помещении как летом, так и зимой. Это не только обеспечивает комфортный климат в помещении без завихрения воздуха, но и снижает потребность в энергии для обогрева и охлаждения здания.

Так называемая активация конструктивного элемента, или бетонного сердечника, позволяет обогревать и охлаждать все типы высотных зданий в течение всего года. В сочетании с возобновляемыми источниками энергии потолки и стены в качестве термоактивных компонентов создают наилучшие условия для энергоэффективного и экономичного строительства. Это делается путем интеграции системы трубопроводов в бетонные компоненты, по которым подается горячая или холодная вода (рис. 5). Вода отдает тепло бетону или охлаждает его, отводя тепло.

Бетон обменивается теплом с пространством на 60 % за счет излучения и на 40 % за счет конвекции. Система работает в низкотемпературном энергосберегающем диапазоне, типичная тепловая мощность составляет от 25 до 30 Вт/м^2 , а охлаждающая способность – от 30 до 40 Вт/м^2 . Активированные бетонные элементы конструкции обеспечивают бесперебойную работу без движущихся частей и имеют срок службы, соответствующий конструкции. Нагревательные элементы большой площади – потолочные перекрытия и, возможно, вентиляционные отверстия. Настенные

элементы заменяют классический радиатор и кондиционеры из-за их большой массы. Низкие затраты энергии, необходимые для обогрева или охлаждения, могут преимущественно покрываться за счет возобновляемых источников энергии, например: тепла окружающей среды от геотермальной энергии или подземных вод, централизованного теплоснабжения, солнечной энергии, фотоэлектрической энергии или других источников энергии.

Активация компонентов позволяет распределять потребности в энергии во времени с помощью соответствующего регулирования и ограничивать подачу энергии в те периоды, когда возобновляемая электроэнергия доступна в избытке и, следовательно, недорого стоит. В частности, для предварительно напряженных бетонных перекрытий тепловые и охлаждающие перекрытия в настоящее время стали обычной и проверенной практикой. Здесь экономятся не только материалы, но и время строительства.

Инновации в энергосбережении бетона

Бетонный теплоаккумулятор. Бетон является отличным теплоаккумулятором благодаря плотности материала. Особенно при использовании солнечной и ветровой энергии необходимо создать емкости для хранения, чтобы компенсировать неравномерное обеспечение энергией. Стальные трубы, залитые термомасляным или водяным паром, залитые в высокотемпературный бетон, заполняют или опорожняют резервуар, также называемый накопителем тепловой энергии. Используются температуры до 450 °C. Он может хранить до 2 МВт энергии на модуль хранения.

Бетонная батарея. Идея электрической батареи, изготовленной из бетона, в настоящее время разрабатывается в Швеции. Небольшое количество углеродного волокна добавляется в мелкозернистый бетон для повышения электропроводности. В бетонный компонент конструкции, например в плиту перекрытия здания, вставляются металлические сетки из углеродного волокна – железо для анода, никель для катода. Это создает постоянно перезаряжаемую батарею для децентрализованного хранения солнечной энергии и ее доставки в здание по мере необходимости. В настоящее время ведутся исследования того, как низкая энергоемкость данного источника, по сравнению с классическими батареями, может быть компенсирована большими бетонными площадями в зданиях.

Планирование энергосбережения в строительстве

Возврат бетона в цикл обработки материалов

Даже сегодня использование дробленого бетона в качестве вторичного строительного материала является обычной практикой во многих областях. Бетонная крошка зарекомендовала себя как каменная крошка в бетоне или несвязанный несущий и морозостойкий слой в дорожном строительстве, заменяя там первичное сырье. Кроме того, повтор-

ное использование избыточного и остаточного количества после обработки является обычной практикой при производстве свежего бетона. Коэффициент использования бетона уже очень высок – более 90 %. При этом потенциал в первую очередь раскрывается в дорожном строительстве. Арматура, отделенная от бетона, на 100 % повторно поступает в цикл переработки в виде стального лома.

Учитывая, что в обозримом будущем количество твердого бетона, получаемого в результате демонтажа, будет увеличиваться, существует потенциал для значительного расширения переработки бетона в строительстве зданий в будущем. Тонны первичного сырья можно сэкономить за счет использования переработанного каменного песка в бетоне. Использование рециклинговых строительных материалов уже может быть включено в технологию. Следует учитывать региональную доступность и транспортные маршруты.

Использование переработанного бетона в строительстве зданий

Использование повторно переработанного щебня в несущих конструкциях регулируется нормативно и, следовательно, уже возможно сегодня. Уже в 1990-х годах были реализованы такие проекты, как административное здание Немецкого федерального фонда охраны окружающей среды (DBU) в Оснабрюке или Waldspirale в Дармштадте с использованием более 12 000 м³ переработанного бетона. Таким образом, эффективность так называемых R-бетонов подтверждена на протяжении многих лет и характеризуется высоким процентом их использования в конструкциях новых зданий (рис. 6).

Циклы использования материалов в цепочке формирования структуры цемента и бетона

В будущем необходимо больше использовать переработанный бетон, экономя таким образом природные ресурсы, например гравий и песок. В зависимости от класса воздействия и типа рециклированного каменного зерна до 45 % (сухих внутренних компонентов) природного каменного зерна может быть заменено рециклированным каменным зерном ≥ 2 мм. Помимо дробленого бетона, допускается также включение ограниченного количества других строительных материалов без какого-либо неблагоприятного воздействия на качество бетона. Это значительно повышает экономичность подготовки бетона. Например, в зависимости от типа рециркулируемой породы может содержаться до 10 % или до 30 % других компонентов, таких как кирпич, известняковый песчаник, а также небольшое количество других материалов. Бетоны с классом прочности на сжатие до C30/37 и WU могут быть изготовлены с использованием повторно обработанной каменной крошки. Но до сих пор этот потенциал для экономики в строительстве еще не полностью использован.



Рис. 6. Содержание переработанных бетонов в конструкции здания
Fig. 6. The content of recycled concrete in the building structure

С введением нового поколения стандартов DIN 1045 мелкодисперсная каменная крошка ≤ 2 мм (называемая бетонным дробленным песком, или переработанной мукой) также может быть использована в будущем, а пропорции крупнозернистой повторно переработанной каменной крошки могут быть увеличены в некоторых применениях.

Доступность переработанного каменного зерна

В настоящее время повторно переработанная каменная крошка еще не доступна повсеместно и в достаточных количествах для производства бетона. Важно активно стимулировать спрос на переработанный бетон и таким образом также стимулировать соответствующие цепочки создания стоимости и производственно-сбытовых циклов. Важным условием для этого является подготовка, то есть максимально чистое разделение различных материалов сноса, а также улучшенное отделение цементного камня от щебня.

Заключение

Что возможно при проектировании и выполнении строительных работ сегодня?

Бетон по праву называют строительным материалом XX века, и то, что он также обладает потенциалом стать строительным материалом XXI века, доказывают многочисленные технологические инновации в области бетона. Прошли те времена, когда бетон все еще был простой смесью цемента, воды и заполнителя. Сегодня высокотехнологичный бетон представляет собой многокомпонентную систему. Разумно изменяя и модифицируя эти компоненты, бетон может приобретать совершенно новые технологические и эксплуатационные свойства. В связи с этим большое внимание в эффективном развитии получили направления развития бетонных технологий: легкий бетон (LVB), самоуплотняющийся бетон (SVB), сверхпрочный бетон как кислотостойкий строительный материал, фибробетон с добавлением стального волокна или стекловолокна, самоочищающийся бетон.

При всем многообразии основ бетонных конструкций и конструктивных элементов в привычном восприятии бетон не исчерпал своих возможностей в развитии основных тенденций и мировых трендов: эффективность с точки зрения климата, ресурсосбережение, энергосбережение. Современные подходы уже сегодня позволяют обеспечивать тепловые преимущества зданий, снижая потребление энергии при его эксплуатации и обеспечивая комфортный микроклимат независимо от времени года. Кроме того, целенаправленно активируя бетонные конструкции для отопления и охлаждения, возможно внести важный вклад в интеграцию возобновляемых источников энергии для производства тепла и холода в зданиях.

Исходя из цели производства цемента и бетона с нулевым выбросом углерода к 2045 году, формируются новые возможности, которые архитекторы, проектировщики и строители уже сегодня могут использовать для значительного сокращения углеродного следа и использования ресурсов бетонных конструкций для строительства устойчивых сооружений. Успешные действия и решения в области планирования могут наилучшим образом реализовать потенциал устойчивого развития бетона – от выбора строительных материалов и строительства до этапа использования в течение всего срока службы.

Список литературы

1. Материалы и публикации Информационного центра Beton GmbH (Германия). URL: www.beton.org
2. DIN 1045 «Конструкции несущие из бетона, железобетона и напряженного бетона» – национальный стандарт Германии, разработанный немецким институтом по стандартизации (Deutsches Institut für Normung).

References

1. Materials and publications of the Beton GmbH Information Center (Germany). URL: www.beton.org
2. DIN 1045 “Load bearing structures made of concrete, reinforced concrete and stressed concrete” German national standard developed by the German Institute for Standardization (Deutsches Institut für Normung).

Информация об авторах / Information about the authors

Александр Георгиевич Бублиевский✉, заместитель директора Ассоциации «Железобетон», руководитель ЭГ1.3 «Товарный бетон и раствор, сборные железобетонные изделия и конструкции», член НТС Минпромторга РФ, Москва
e-mail: bubalex@mail.ru

Alexander G. Bublevsky✉, Deputy Director of the Association “Reinforced Concrete”, Head of EG1.3 “Factory concrete and mortar, precast reinforced concrete products and structures”, Member of the STC of the Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation, Moscow
e-mail: bubalex@mail.ru

Сергей Николаевич Лапырев, руководитель направления промышленных технологий НИИЖБ им. А.А. Гвоздева; член консультационно-экспертного Совета Ассоциации «Железобетон», Москва
Sergey N. Lapyrev, Head of the Industrial Technologies, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction; Member of the Advisory and Expert Council, Association “Reinforced Concrete”, Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

А.Л. КАЛИНИЧЕНКО

АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6,
г. Москва, 109428, Российская Федерация

УЧИЛ СТРОИТЬ НЕ ТОЛЬКО ДЕШЕВО, КАПИТАЛЬНО, НО И КРАСИВО

Аннотация

Введение. В строительной науке имя профессора Бориса Григорьевича Скрамтаева широко известно инженерной общественности страны и далеко за ее пределами. Он активно участвовал в становлении и развитии отечественной научной школы бетона и железобетона. Строительная промышленность активно внедряла новаторство исследователя Скрамтаева и его коллег, используя на масштабных стройках предложенный учеными сборный железобетон, внедряя разработанные ими новые виды цементов для возведения жилищных и промышленных объектов.

В содержательной биографии Бориса Григорьевича, помимо исследовательских работ по гидротехническим, крупнопористым и высокопрочным бетонам, ярко отражено участие в разработке неорганических вяжущих материалов. Он много сил и времени уделял руководству коллективами исследователей, результаты которых впечатляют и по меркам сегодняшнего дня. Так, в трудный для страны военный период ученые под руководством профессора Бориса Григорьевича Скрамтаева способствовали полноценному и своевременному обеспечению отечественной промышленности строительными материалами, прежде всего, бетонами и железобетонами высокого качества.

Целью данной статьи является проведение авторского анализа плодотворной научной деятельности профессора Б.Г. Скрамтаева, подтверждение его таланта руководителя научно-исследовательских коллективов. Проследить биографию выдающегося отечественного ученого Бориса Григорьевича Скрамтаева, основателя отечественной школы железобетона, внесшего большой вклад в создание современных строительных материалов, различных видов бетонов, активно использовавшихся в строительной отрасли.

Результаты. В статье изучены и проанализированы вновь открывшиеся биографические данные о профессоре Б.Г. Скрамтаеве, проанализировано влияние среды, в которой формировалось мировоззрение ученого, мотивы его активной и плодотворной деятельно-

сти в области бетоноведения. Впервые приведены отклики представителей научного сообщества и руководителей заинтересованных министерств страны о популярном учебнике Б.Г. Скрамтаева «Строительные материалы», выдержавшем пять переизданий, ставшем настольной книгой для нескольких поколений студентов и инженеров.

Выводы. Расширена источниковая база исследования, введены в научный оборот архивные документы и материалы, которые ранее были неизвестны или малоизвестны научной общественности. Обнаружено несколько материалов, подтверждающих эвристические способности исследователя Б.Г. Скрамтаева в области бетоноведения.

Определены роль и место научной деятельности профессора Б.Г. Скрамтаева как теоретика по созданию новых перспективных бетонов и смесей для строительной отрасли.

В статье ученый Б.Г. Скрамтаев показан как разносторонний и глубокий исследователь, автор многочисленных учебников и монографий, актуальных статей по исследуемым им темам. К примеру, его учебник 1952 г. «Строительные материалы» полнее, чем предыдущие издания, отражает приоритет отечественной науки и техники. В нем представлены достижения советской технологии строительных материалов и изменения устаревшей терминологии по строительным материалам. В пятом издании приведены новые данные о материалах и железобетонных деталях для сборного строительства, учтены принципиальные установки проекта Урочного положения, дополнен раздел «Достижения отечественной науки и практики», отражены работы, успешно внедренные в практику 1950–1952 гг., в том числе личные работы авторов, особенно в области новых цементов, технологии бетона и строительных растворов.

Выводы, полученные в результате анализа материала, вносят вклад в изучение своеобразия разносторонней личности Б.Г. Скрамтаева, его феномена в научной мысли в области бетоноведения и строительных материалов в период 1930–1960-х гг.

Ключевые слова: Сталинская премия, учебник «Строительные материалы», Б.Г. Скрамтаев, бетон, железобетон, ЦНИПС, Великая Отечественная война 1941–1945 гг.

Для цитирования: Калининченко А.Л. Учил строить не только дешево, капитально, но и красиво // *Бетон и железобетон*. 2024. № 1 (620). С. 53–63. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1\(620\)-53-63](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1(620)-53-63)

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 23.12.2023

Поступила после рецензирования 20.01.2024

Принята к публикации 25.01.2024

A.L. KALINICHENKO

JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5,
Moscow, 109428, Russian Federation

HE TAUGHT TO BUILD NOT ONLY CHEAPLY, CAPITAL, BUT ALSO BEAUTIFULLY

Abstract

Introduction. In construction science, the name of Professor Boris Grigoryevich Skramtaev is widely known to the engineering community of the country and far beyond its borders. He actively participated in the formation and development of the Russian scientific school of concrete and reinforced concrete. The construction industry actively implemented the innovation of researcher Skramtaev and his colleagues, using precast concrete proposed by scientists on large-scale construction sites, introducing new types of cements developed by them for the construction of residential and industrial facilities.

In Boris Grigoryevich's informative biography, in addition to research on hydraulic engineering, coarse-porous and high-strength concretes, participation in the development of inorganic binders is vividly reflected. He devoted a lot of time and effort to leading research teams, the results of which are impressive by today's standards. Thus, during the difficult for the country war period, scientists under the leadership of Professor Boris Grigoryevich Skramtaev contributed to the full and timely provision of domestic industry with building materials, primarily high-quality concrete and reinforced concrete, even in extremely difficult periods for the construction industry during the Great Patriotic War and the post-war restoration of the national economy.

The aim of this article is to conduct an author's analysis of the fruitful scientific activity of Professor B.G. Skramtaev, to confirm his talent as a leader of research teams. To trace the biography of the outstanding Russian scientist Boris Grigoryevich Skramtaev, the founder of the Russian school of reinforced concrete, who made a great contribution to the creation of modern building materials, various types of concrete, which were actively used in the construction industry.

Results. The article examines and analyzes the newly discovered biographical data about Professor B.G. Skramtaev, analyzes the influence of the environment in which the scientist's worldview was formed, the motives of his active and fruitful activity in the field of concrete science. For the first time, the responses of representatives of the scientific community and heads of interested ministries of the country about B.G. Skramtaev's popular textbook "Building Materials", which has undergone five reprints, has become a reference book for several generations of students and engineers.

Conclusions. The source base of the research has been expanded, archival documents and materials that were previously unknown or little known to the scientific community have been introduced into scientific circulation. Several materials have been found confirming the heuristic outstanding abilities of researcher B.G. Skramtaev in the field of concrete science.

The role and place of scientific activity of Professor B.G. Skramtaev as a theorist on the creation of new promising concretes and mixtures for the construction industry are determined.

In the article, the scientist B.G. Skramtaev is shown as a versatile and in-depth researcher, the author of numerous textbooks and monographs, relevant articles on the topics he studies. For example, his 1952 textbook "Building Materials" reflects the priority of Russian science and technology more fully than previous editions. It presents the achievements of Soviet construction materials technology and changes in outdated terminology on building materials. The fifth edition provides new data on materials and reinforced concrete parts for prefabricated construction, takes into account the basic principles of the draft Schedule, replenishes the section "Achievements of domestic science and practice", reflects the works successfully implemented in practice in 1950–1952, including personal works of the authors, especially in the field of new cements, concrete technology and building solutions.

The conclusions obtained as a result of the analysis of the material contribute to the study of the originality of the versatile personality of B.G. Skramtaev, his phenomenon in scientific thought in the field of concrete science and building materials in the period of the 1930s–1960s.

Keywords: Stalin Prize, textbook "Building Materials", B.G. Skramtaev, concrete, reinforced concrete, TSNIPS, the Great Patriotic War of 1941–1945

For citation: Kalinichenko A.L. He taught to build not only cheaply, capital, but also beautifully. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 1 (620), pp. 53–63. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1\(620\)-53-63](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1(620)-53-63)

Author contribution statement

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

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 23.12.2023

Revised 20.01.2024

Accepted 25.01.2024

Введение

Заслуги видного ученого, основателя школы железобетона НИИЖБ имени А.А. Гвоздева, специалиста в области строительных материалов Бориса Григорьевича Скрамтаева высоко чтит нынешнее поколение исследователей АО «НИЦ «Строительство». За свою непродолжительную, но яркую жизнь он, действительный член Академии строительства и архитектуры СССР (1956), доктор технических наук, профессор (1936), достиг многого на исследовательской ниве, став лауреатом Сталинской премии (1950), инженер-полковником, директором ЦНИПС (1941–1945). Борис Григорьевич входил в состав редколлегии журнала «Бетон и железобетон», международного журнала «Бюллетень РИЛЕМ», Международного союза лабораторий по испытаниям и исследованиям материалов и конструкций (РИЛЕМ), Американского общества исследований материалов и Американского института бетона (1944–1946). За выдающийся вклад в науку Б.Г. Скрамтаев награжден орденами Красного Знамени и Трудового Красного Знамени, двумя орденами Красной Звезды, медалями.

Мечтал до истины добаться

Борис Григорьевич Скрамтаев родился 1 (14) января 1905 г. в селе Гончарная Слобода Суджанского района Курской области в многодетной семье крестьянского происхождения (рис. 1).

Его отец, Григорий Власович Скрамтаев, служил техником на строительстве мелиоративных сооружений, а в годы Гражданской войны возглавлял военно-гидротехнические работы на Южном фронте, став со временем одним из организаторов и руководителей службы мелиорации на Украине, участвовал в работе Первого съезда украинских мелиораторов в 1923 г., состоявшегося в Харькове. Мать, Лидия Васильевна, работала сельским учителем. Борису Григорьевичу передались лучшие черты его родителей, людей трудолюбивых, заботливых, целеустремленных, патриотов, любящих Родину. Они мечтали, чтобы их пытливый, стремившийся к знаниям сын Борис стал человеком образованным, жил в достатке. Родители сформировали у крепкого молодого человека мировоззрение максималиста и перфекциониста, способного на многие победы в жизни.

Неполное среднее образование мальчик получил в городе Орле, где семья проживала до 1917 г. В Харькове юноша поступил на вечернее отделение Харьковского строительного техникума, который окончил в 1921 г. Учился в вечернее время, а днем работал в лаборатории, которой руководил отец.

По окончании в 1926 г. Харьковского технологического института имени В.И. Ленина начал трудовую деятельность, участвуя в проектировании и строительстве различных сооружений.



Рис. 1. Профессор Борис Григорьевич Скрамтаев
Fig. 1. Professor Boris Grigorievich Skramtaev



Рис. 2. Семья Скрамтаевых (Борис Григорьевич первый слева)
Fig. 2. The Skramtaev family (Boris Grigorievich is the first from the left)

В 1930 г. талантливого исследователя Скрамтаева приглашают к сотрудничеству ученые Государственного института бетонов в Ленинграде, ведущую роль в котором играл Николай Михайлович Беляев, профессор Ленинградского института инженеров путей сообщения (ныне – Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта) и глава ленинградской школы бетоноведов. По его инициативе отдельные статьи Скрамтаева опубликовали в сборниках авторитетного учебного заведения.

В 1929–1931 гг. – заведующий лабораторией строительных материалов в Украинском институте сооружений (г. Харьков). С 1932 года преподавал в Московском инженерно-строительном институте, в Военно-инженерной академии им. В.В. Куйбышева и в других вузах.

Научная деятельность Бориса Григорьевич началась в 1929 г. в Украинском институте сооружений. Ученый уделял большое внимание исследованию строительных материалов, особенно технологии бетона разных видов. Эти исследования имели большое значение для развертывания строительства в годы первой пятилетки.

Организаторские способности, творческий настрой позволили Б.Г. Скрамтаеву занять высокие руководящие должности в ведущих организациях строительной науки. Так, с 1931 г. он был руководителем лаборатории бетонов Государственного института сооружений (ГИС).

В 1927–1934 гг. принимал участие в составлении «Технической энциклопедии» в 26-ти томах под редакцией Л.К. Мартенса. В авторитетном издании Б.Г. Скрамтаев опубликовал статьи по тематике «строительные материалы».

Большая часть жизни Б.Г. Скрамтаева была связана с преподавательской деятельностью. В 1932 г. он возглавил кафедру строительных материалов Московского института инженеров транспорта, а в 1933 г. – кафедру Московского инженерно-строительного института. С 1935 г. начинается его преподавательская работа в Военно-инженерной академии им. В.В. Куйбышева, где он сформировал научную школу по строительным материалам и бетонам. В городе Орле Б.Г. Скрамтаев создал новый методологический подход для понимания бетона как сложного строительного конгломерата, эту концепцию в дальнейшем развивали последующие поколения ученых и практиков. Его докторская диссертация на тему «Исследование прочности и пластичности бетонной смеси», которая в 1936 г. была опубликована в виде монографии, стала весомым вкладом в бетоноведение.

В 1930-е гг. Б.Г. Скрамтаев принимал участие в подготовке и издании ряда важных нормативных документов (технических условий, норм, инструкций и т. п.), консультировал и оказывал научную помощь при расширении автомобильного завода (завода им. Лихачева) в Москве, строительстве канала

Москва – Волга и др. За успешные исследовательские работы и эффективное внедрение их результатов в практику социалистического строительства в 1936 г. Б.Г. Скрамтаев награжден орденом Красной Звезды.

С 1935 по 1939 год он был депутатом Куйбышевского райсовета г. Москвы, в течение 20 лет избирался заместителем председателя центрального правления НТО стройиндустрии.

В годы Великой Отечественной войны он возглавил Центральный научно-исследовательский институт промышленных сооружений (ЦНИИПС).

К началу 1942 г. в Москве осталась небольшая группа сотрудников института. После возвращения многих сотрудников института из эвакуации в 1943 г. он же возглавил весь коллектив ЦНИИПС, оставаясь на этом посту до конца 1945 г. с перерывом на год, когда отправился в США в составе делегации советских специалистов для изучения опыта строительства.

Организаторский талант руководителя Скрамтаева проявился в наиболее трудные месяцы войны при решении сложных задач оборонного значения: возведение инженерных сооружений на подступах к Москве, эвакуация в тыл страны лабораторного оборудования, сотрудников и членов их семей. Кроме того, Борис Григорьевич вместе с преподавателями Военно-инженерной академии, где он преподавал, участвовал в организации и проведении ускоренного выпуска слушателей.

В 1941–1942 гг. в Сибири, на Урале и в Кузбассе в кратчайшие сроки вводили в строй эвакуированные предприятия, реконструировали местные производства, выпускавшие оборонную продукцию. Огромным комплексом работ руководил заместитель

председателя Совета Народных Комиссаров СССР Н.А. Вознесенский, опиравшийся в своей деятельности на опыт и знания авторитетных отечественных специалистов, в том числе и специалистов ЦНИИПС во главе с Б.Г. Скрамтаевым.

В сложных для страны условиях Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. Борис Григорьевич руководил коллективом частично эвакуированного на Урал в город Орск Центрального научно-исследовательского института промышленного строительства, инженерный состав которого обеспечивал строительство важных стратегических объектов в тылу. Одновременно с этим Борис Григорьевич был консультантом по инженерным вопросам для нужд Красной армии. За успешное руководство работами института, непосредственное участие в строительстве и обеспечение ввода в строй важнейших объектов тыла в январе 1943 г. Б.Г. Скрамтаев награжден орденом Трудового Красного Знамени. В 1944 г. его переводят на работу в Народный Комиссариат по строительству.

В 1945–1947 гг. профессор Скрамтаев реализовывал свой талант руководителя в должности заместителя министра промышленности строительных материалов СССР, председателя технического совета Наркомстроя СССР. Он был инициатором создания и руководителем Научно-исследовательского института цемента (1947), Научно-исследовательского института бетона и железобетона (1956).

В 1956 г. его избирают действительным членом Академии строительства и архитектуры СССР, а также членом ее президиума, где он занимается координацией исследований по вяжущим, бетонам и другим строительным материалам.



Рис. 3. Американская делегация в музее минералогии Московского государственного университета им. В.И. Ленина. В центре профессор Б.Г. Скрамтаев

Fig. 3. The American delegation at the Museum of Mineralogy of the V.I. Lenin Moscow State University. Professor B.G. Skramtaev is at the center

Творил, мыслил и дерзал

Имя профессора Б.Г. Скрамтаева, которого называли «королем бетона», и его работы широко известны зарубежным ученым. Он неоднократно выступал на международных конференциях в Болгарии, Венгрии, США, Германии, Англии, Италии, Франции, где достойно представлял советскую школу науки о бетоне. Его основные достижения: ввел основы теории прочности бетона и методы расчета его составов, разработал новые виды цементов и бетонов, предложил эффективные методы контроля качества бетона, усовершенствовал технологию производства бетона.

Как отмечал профессор Ю.М. Баженов, для практических целей применения бетона и железобетона Б.Г. Скрамтаевым «уточнена математическая зависимость прочности бетона от цементно-водного отношения, активности цемента и других факторов. Полученные зависимости широко использовались в технологии бетона».

Б.Г. Скрамтаев указывал, что эмпирические формулы зависимости прочности от качества цемента, цементно-водного отношения и условий твердения не могут считаться анализом прочности бетона, так как не объясняют причин разрушения бетона и не учитывают влияния заполнителей на прочность бетона как материала конгломератного строения. Поэтому он исследовал эту проблему и предложил три гипотезы причин и характера разрушения бетона.

Гипотеза 1. Прочность бетона определяет в первую очередь цементный камень, а прочность цементного камня зависит от его плотности и водоцементного отношения. На прочность бетона оказывают влияние и заполнители. Разрушение материала может происходить по цементному камню, по зоне его сцепления с заполнителем, по заполнителю.

Гипотеза 2. Разрушение при сжатии бетона происходит от среза по наклонной плоскости. Б.Г. Скрамтаев объяснял это тем, что в бетоне возникают сдвиговые напряжения, которым препятствуют силы внутреннего трения, составляющие 20–25 % прочности бетона при сжатии и действующие согласно расчету под углом 60–65°.

Гипотеза 3. Разрушение происходит от поперечных деформаций растяжения продольно сжимаемых элементов конструкции, в результате чего зерна песка отрываются от цементного камня, а зерна щебня (или гравия) – от раствора, так как сцепление между ними меньше их прочности при растяжении. Это подтверждается характером разрушения бетона, особенно при искусственно ликвидированных, например смазкой, силах трения по поверхности соприкосновения образца с плитами испытательного пресса.

В настоящее время исследователи, работающие в области теории прочности бетона, считают наиболее достоверной гипотезу 3. Гипотеза 1 также может быть использована, но с учетом теории микродефектов структуры; гипотеза 2 требует тщательной экспериментальной проверки.

Предложенные Б.Г. Скрамтаевым гипотезы прочности бетона послужили фундаментом, на котором была развита современная теория прочности бетона» [1].

Коллеги по научному цеху подтверждали, что Борис Григорьевич в исследовательской деятельности много внимания уделял разработке цементов, методам испытаний и внедрению новых видов цемента в практику строительства, так как именно цементы определяют в первую очередь прочность бетона и другие его свойства.

Еще в конце 1920-х гг. он обратил внимание на необходимость совершенствования способов испытания и оценки свойств цемента. Его работы были положены в основу новых стандартов на цементы, принятых в 1960-е гг. и действующих с незначительными уточнениями до настоящего времени. В них нашли отражение работы Бориса Григорьевича по совершенствованию метода испытания цемента в растворах пластичной консистенции с целью получения системы расчетных марок цемента по прочности при сжатии.

В работах, относящихся еще к началу 1930-х гг., Б.Г. Скрамтаев первым сделал попытки классифицировать все известные в тот период цементы: портландцемент, роман-цемент и глинистый цемент (низкокачественные цементы на основе глинистого сырья и извести, применявшиеся тогда в строительстве), гипсовые (ангидритовые) цементы, шлаковые цементы, глиноземистый цемент, различные виды смешанных цементов.

В связи с классификацией вяжущих веществ для бетонов и растворов Б.Г. Скрамтаевым была дана оценка минеральных материалов, использовавшихся в качестве добавок к цементам для его экономии или придания бетонам новых свойств. Он показал, что классифицировать все эти вещества наиболее целесообразно по их способности твердеть в смеси с водой или по свойству взаимодействовать с известью, которая обязательно образуется при реакции многих цементов с водой.

Б.Г. Скрамтаев, занимаясь вопросами технологии бетонов, много внимания уделил и исследованиям удобоукладываемости бетонных смесей.

Таким образом, доктор технических наук, профессор Борис Григорьевич Скрамтаев подготовил значительную базу теоретических и практических знаний, отраженных в 440 научных работах, большинство из которых до сих пор широко используется в науке и производстве. Он является автором 30 монографий, более 20 брошюр и 26 авторских свидетельств в области производства и применения строительных материалов.

Дорожим научными открытиями

Творческая мысль ученого Бориса Григорьевича Скрамтаева отражена в подготовленных им и его единомышленниками учебниках, монографиях, пособиях, практикумах, которые по-прежнему широко

используются в исследовательской деятельности, подготовке высококвалифицированных инженеров-строителей в вузах страны.

Широкую известность и большую популярность в научном сообществе получил учебник «Строительные материалы», выдержавший пять переизданий (1936, 1938, 1945, 1950, 1952 гг.), представлявший на соискание Сталинской премии.

Инициатором выдвижения на столь престижную премию выступил директор МИСИ им. В.В. Куйбышева профессор Сергей Борисович Ухов: «В соответствии с решением Ученого Совета от 28 октября 1952 г. Московский ордена Трудового Красного Знамени Инженерно-строительный институт им. В.В. Куйбышева представляет на соискание Сталинской премии учебник «Строительные материалы», 5-ое издание, 1952 г. профессора доктора технических наук СКРАМТАЕВА Бориса Григорьевича /руководитель/, действ. члена Академии архитектуры СССР, профессора, докт. тех. наук ПОПОВА Николая Анатольевича, доцента канд. тех. наук ГЕРЛИВАНОВА Николая Андреевича /посмертно/, доцента канд. тех. наук МУДРОВА Георгия Гавриловича.

Учебник соответствует программе инженерно-строительных институтов и факультетов и принят во всех ВУЗах, как основной учебник по строительным материалам, начиная с 1938 года.

Учебник издания 1952 г. полно отражает приоритет отечественной науки и техники, достижения советской технологии строительных материалов за последний период, борьбу авторов за устранение неправильных иностранных теорий и названий в области строительных материалов, а также личные работы авторов в области новых цементов, технологии бетона, строительных растворов и др. материалов. Учебник является идеологически выдержанным и в методическом отношении представляет большую ценность» [2].

Инициативу руководства учебного заведения поддержал министр высшего образования СССР Всеволод Николаевич Столетов: «Учебник 1952 года издания отражает приоритет отечественной науки и

техники, достижения советской технологии строительных материалов за послевоенный период, а также личные работы авторов в области новых цементов, технологии бетона, строительных растворов и других строительных материалов» [2].

Солидарность с авторитетными руководителями ведомств страны выразил заместитель министра промышленности строительных материалов СССР Константин Васильевич Никулин: «Учебник издания 1952 года, значительно переработан авторами и весьма полно отражает достижения в промышленности строительных материалов и приоритет отечественной науки и техники.

Сочетание полноты материалов в учебнике с краткостью, четкостью и глубиной изложения позволяет работникам производства широко пользоваться им для решения технических вопросов» [2].

От имени сообщества преподавателей характеристику учебнику дал заместитель декана строительного факультета Ростовского-на-Дону инженерно-строительного института доцент, кандидат технических наук Г.Ф. Курлаков: «Этот учебник является единственным, который всесторонне отвечает требованиям, предложенным учебникам для вузов.

Он – настольная книга каждого студента, он – руководство в практической деятельности каждого инженера-строителя и технолога, он одновременно – прекрасный источник ценных указаний и для преподавателя.

Учебник учит строить не только дешево, капитально, но и красиво. В учебнике отражены последние научные достижения наших ведущих научно-исследовательских учреждений (Академия Архитектуры СССР по отделочным материалам, НИИ Цемента по цементам и др.).

В учебнике впервые дано доходчиво, но строго в научной форме изложение даже таких сложных для строителей вопросов, которые вызывают много затруднений на практике (вопрос о свойстве пигментов, лакокрасочных и других отделочных материалов)» [2].

Коллегу поддержал профессор Алексей Георгиевич Панютин из Горьковского инженерно-



Рис. 4. Научные труды Б.Г. Скрамтаева
Fig. 4. Scientific works of B.G. Skramtaev

строительного института им. В.П. Чкалова: «В пятое издание, в связи с быстрым ростом строительной науки, внесены существенные изменения и дополнения. Включены новые советские цементы, указаны достижения новаторов кирпичной промышленности, уделено значительное внимание вопросам экономии материалов в строительстве, указаны современные ГОСТы и т. д. Учебник «Строительные материалы» – 5-ое издание 1952 г. – следует считать лучшим современным учебником по указанной дисциплине» [2].

Таким образом, в отзывах на учебник отмечалось, что творческий коллектив с Борисом Григорьевичем Скрамтаевым во главе являлся ведущим в ряде важнейших областей строительных материалов, систематически оказывал в разных формах активную техническую помощь и поддержку строительствам и промышленности строительных материалов, связывая свои творческие работы с практическими задачами производства. Это позволило авторам при переработке учебника для переизданий систематически улучшать его содержание, полноценно и своевременно отражая успехи советской промышленности строительных материалов и работы ее новаторов-производственников и ученых.

Примечательно, что авторы вынесли свой труд (подготовленный к изданию новый текст учебника «Строительные материалы») на дискуссию, проходившую в 1952 году в Военно-инженерной Краснознаменной академии им. В.В. Куйбышева.

По поводу содержания и востребованности учебника министр промышленности строительных материалов в ноябре 1952 г. Георгий Иванович Сухарев отмечал: «Учебник издания 1952 года, капитально переработанный авторами с учетом принципиальных установок проекта Урочного Положения, весьма полно отражает достижения советской технологии, обобщает огромный практический опыт применения материалов в нашем строительстве и вооружает технические кадры умением успешно справиться с задачами, поставленными решениями XIX съезда Партии в области строительства» [2].

В отзывах специалистов приводились многие факторы, поднявшие работу в число популярных. Отмечалась простота изложения даже самых сложных теоретических вопросов, удачно сочетающаяся с высоким теоретическим уровнем сообщаемых учебником сведений. Весьма ценным является также изложение в ряде разделов личных работ авторов, проведенных ими в области новых цементов со специальными свойствами, новых видов строительных растворов, позволяющих резко уменьшить расход вяжущих, эффективных видов легких бетонов (крупнопористых и др.), производство пористых заполнителей для них и других работ, нашедших широкое применение в современном скоростном и высотном строительстве.

Как акцентировал профессор Ю.М. Баженов, в монографиях «Бетоны различных видов» (1933 г.) [3], «Исследование прочности бетона и пластичности бетонной смеси» (1936 г.) [4] «Борис Григорьевич доказал, что подвижность бетонной смеси – комплексное свойство, включающее такие характеристики, как удобство перемешивания, заполнения формы, растекаемость под собственной массой, нерасплаиваемость при перевозке и другие характеристики» [1].

Однако создать единый метод определения подвижности бетонной смеси было делом чрезвычайно трудным, поэтому Б.Г. Скрамтаев предложил учитывать один-два наиболее существенных фактора, например удобство заполнения формы и нерасплаиваемость при доставке к месту укладки, что вполне удовлетворило бы производителей.

Профессор Б.Г. Скрамтаев занимался исследованиями не только цементов, но и других минеральных вяжущих, например извести и гипса. Наиболее значительной работой, посвященной этим вяжущим, можно считать монографию, подготовленную им совместно с Г.Г. Булычевым, «Высокопрочный гипс по методу «самозапаривания» (1945 г.), имевшую большое практическое значение для строителей [5].

В своей научной и практической деятельности Борису Григорьевичу Скрамтаеву приходилось общаться со многими выдающимися деятелями страны, такими лидерами, как Г.К. Орджоникидзе, Г.И. Петровский, академики Г.М. Кржижановский, Б.Г. Гелеркин и П.А. Ребиндер, члены-корреспонденты АН СССР Н.С. Стрелецкий, П.П. Будников и И.М. Рабинович, академики архитектуры И.В. Жолтовский и Д.Н. Чечулин; видные деятели строительства и промышленности строительных материалов П.А. Юдин, Н.А. Дыгай, С.З. Гинзбург, В.А. Кучеренко и др.; военные инженеры и строители М.П. Воробьев, В.Е. Белокосков, А.И. Шебунин, А.Н. Комаровский; известные ученые-строители А.Ф. Лолейт, В.М. Келдыш, Г.Г. Карлсен, А.А. Гвоздев и др., что подтверждает его высочайший авторитет исследователя и руководителя ведущих НИИ бетона и железобетона.

Борис Григорьевич Скрамтаев умер в 1966 г. в Москве, похоронен на Новодевичьем кладбище. В память о выдающемся отечественном исследователе по адресу Москва, Трехпрудный пер., дом 5 установлена мемориальная доска с надписью: «В этом доме с 1954 по 1966 год жил ученый-строитель доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР Борис Григорьевич Скрамтаев».

Заключение

Профессор Б.Г. Скрамтаев обладал глубокими теоретическими знаниями и выдающейся эрудицией, исключительной трудоспособностью, поддерживал постоянную связь с ведущими коллективами проектных, исследовательских и производственных строительных организаций. Проведенное исследование развивает научные идеи и традиции в области развития истории строительной науки, систематически обобщая и анализируя неизвестные ранее материалы деятельности строительного ведомства в период 1930–1960-х гг., дополняя портретную галерею выдающихся отечественных ученых современности.

За более чем сорокалетнюю трудовую деятельность Борис Григорьевич Скрамтаев, пройдя путь от лаборанта до должности заместителя министра промышленности строительных материалов СССР, сформировался как представитель новой советской интеллигенции, преданный своему народу, способный руководить большим коллективом исследователей, личным примером участвуя в продвижении научных достижений.

Многие подготовленные им учебники и монографии переиздавались несколько раз, в том числе и за рубежом. Его идеи, базирующиеся на глубоком теоретическом анализе и подтвержденные экспериментально, позволяют решать важные вопросы современного строительства.

Список литературы

1. Баженов Ю.М. Борис Григорьевич Скрамтаев и его роль в современном бетоне (1905–1966) // *Строительные материалы*. 2005. № 10. С. 38–39.
2. РГАЭ. Ф. 180. Оп. 12 за 1952 г. Ед. хр. 1562. Дело № 127. Секция строительства. Скрамтаев Б.Г. Л. 171.
3. Скрамтаев Б.Г. Бетоны различных видов. Москва–Ленинград: Госстройиздат; 1933. 224 с.
4. Скрамтаев Б.Г. Исследование прочности бетона и пластичности бетонной смеси: Диссертация / Центр. науч.-иссл. ин-т пром. сооружений НКТП и Воен.-инж. акад. РККА им. В.В. Куйбышева. Москва: 1 тип. Трансжелдориздата; 1936. 222 с.
5. Скрамтаев Б.Г. Высокопрочный гипс по методу «самозапаривания» / Б.Г. Скрамтаев, Г.Г. Булычев. Москва–Ленинград: Стройиздат; 1945. 85 с.
6. Техническая энциклопедия в 26 т. Ред. Л.К. Мартенс. Москва: Советская энциклопедия; 1927–1934. 10000 с.
7. Шубенкин П.Ф., Марцинчук А.В. Б.Г. Скрамтаев: жизнь и творчество. Москва: Стройиздат; 1986. 72 с.
8. Картавцева Н. Скрамтаев Борис Григорьевич // *Гордость земли курской*: Сб. очерков о знаменитых земляках / сост. М. Шехирев. Курск; 1992.
9. Скрамтаев Б.Г. Строительные материалы: Ч. 1 / проф. Б.Г. Скрамтаев. Москва–Ленинград: Госстройиздат; 1932.
10. Скрамтаев Б.Г., Сусников А.А. Дальнейшее совершенствование технологии оборудования в про-

изводстве сборного железобетона / Действ. чл. АС и А СССР Б.Г. Скрамтаев и инж. А.А. Сусников. Москва: Госстройиздат; 1958. 40 с.

11. Скрамтаев Б.Г. Строительные материалы и изделия: ГУУЗ НКТП утв. в качестве учебника для строит. вузов. Ч. 1 / проф. Б.Г. Скрамтаев. Москва–Ленинград: ОНТИ. Гл. ред. строит. лит.; 1935. 616 с.

12. Скрамтаев Б.Г. Простой расчет железобетонных частей зданий: Руководство для рабочих / Проф. Б.Г. Скрамтаев. Москва–Ленинград: Госстройиздат; 1933. 35 с.

13. Скрамтаев Б.Г., Шубенкин П.Ф., Баженов Ю.М. Способы определения состава бетона различных видов. Москва: Стройиздат; 1966. 160 с.

14. Скрамтаев Б.Г. Крупнопористый бетон и его применение в строительстве. Москва: Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре; 1955. 120 с.

15. Скрамтаев Б.Г., Рояк С.М., Малинин Ю.С. Производство и применение пластифицированного цемента / М-во пром-сти строит. материалов СССР. Техн. совет и Техн. упр. Центр. бюро техн. информации. Москва: Промстройиздат; 1953. 20 с.

16. Лещинский М.Ю., Скрамтаев Б.Г. Испытание прочности бетона. Изд. 2-е, перераб. и доп. Москва: Стройиздат; 1973. 272 с.

17. Лещинский М.Ю., Скрамтаев Б.Г. Испытание прочности бетона в образцах, изделиях и сооружениях. Москва: Издательство литературы по строительству; 1964. 176 с.

References

1. Bazhenov Yu.M. B.G. Skramtaev and his role in modern concrete science (1905–1966). *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2005, no. 10, pp. 38–39. (In Russian).
2. RGAE. F. 180. Op. 12 for 1952. Storage unit 1562. Case No. 127. Construction Section. Skramtaev B.G. L. 171.3. (In Russian).
3. Skramtaev B.G. Concrete of various types. Moscow–Leningrad: Gosstroyizdat Publ.; 1933. 224 p. (In Russian).
4. Skramtaev B.G. Study of the strength of concrete and the plasticity of concrete mixture: Dissertation / Center. scientific research inst. prom. structures of NKTP and Military-eng. acad. Red Army named after. V.V. Kuibysheva. Moscow: 1 type. Transzheldorizdata; 1936. 222 p. (In Russian).
5. Skramtaev B.G. High-strength gypsum using the “self-steaming” method / B.G. Skramtaev, G.G. Bulychev. Moscow–Leningrad: Stroyizdat Publ.; 1945. 85 p. (In Russian).
6. Technical encyclopedia in 26 volumes. Edited by L.K. Martens. Moscow: Soviet Encyclopedia; 1927–1934. 10000 p. (In Russian).
7. Shubenkin P.F., Marcinchuk A.V. B.G. Skramtaev: Life and creativity. Moscow: Construction Publishing House; 1986. 72 p. (In Russian).

8. Kartavtseva N. Skramtaev Boris Grigorievich. *Pride of the Kursk land*: Collection of essays on famous countrymen / comp. M. Shekhirev. Kursk; 1992. (In Russian).

9. Skramtaev B.G. Building materials: Part 1 / Prof. B.G. Skramtaev. Moscow–Leningrad: State Construction Publishing House; 1932. (In Russian).

10. Skramtaev B.G., Susnikov A.A. Further improvement of equipment technology in the production of precast reinforced concrete / Full member of the Construction and Architecture Academy of the USSR B.G. Skramtaev and eng. A.A. Susnikov. Moscow: State Construction Publishing House; 1958. 40 p. (In Russian).

11. Skramtaev B.G. Building materials and products: Main Directorate of Educational Institutions of People's Commissariat of Heavy Industry approved as a textbook for building technical educational institutions. Part 1 / prof. B.G. Skramtaev. Moscow–Leningrad: United Scientific and Technical Publishing House. Main editorial office of the construction literature; 1935. 616 p. (In Russian).

12. Skramtaev B.G. Simple calculation of reinforced concrete parts of buildings: A guide for workers / Prof. B.G. Skramtaev. Moscow–Leningrad: State Construction Publishing House; 1933. 35 p. (In Russian).

13. Skramtaev B.G., Shubenkin P.F., Bazhenov Y.M. Methods for determining the composition of concrete of various types. Moscow: Construction Publishing House; 1966. 160 p. (In Russian).

14. Skramtaev B.G. Coarse-pored concrete and its application in construction. Moscow: State Publishing House of Literature on Construction and Architecture; 1955. 120 p. (In Russian).

15. Skramtaev B.G., Royak S.M., Malinin Yu.S. Production and application of plasticized cement / Ministry of Industry of Building Materials of the USSR. Technical Council and Technical Department of the Central Bureau of Technical Information. Moscow: Industrial Construction Publishing House; 1953. 20 p. (In Russian).

16. Leshchinsky M.Yu., Skramtaev B.G. Testing the strength of concrete. 2nd edition, revised and augmented. Moscow: Construction Publishing House; 1973. 272 p. (In Russian).

17. Leshchinsky M.Yu., Skramtaev B.G. Testing the strength of concrete in samples, products and structures. Moscow: Publishing House of literature on construction; 1964. 176 p. (In Russian).

Информация об авторе / Information about the author

Александр Леонидович Калининченко, сотрудник редакционно-издательского отдела департамента научно-методической деятельности АО «НИЦ «Строительство», член Союза писателей России, заслуженный работник культуры Российской Федерации, Москва

e-mail: kalinichenkoal@cstroy.ru

Alexander L. Kalinichenko, Staff Member of the Editorial and Publishing Division of the Department of Scientific and Methodological Activities, JSC Research Center of Construction, Member of the Union of Writers of Russia, Honored Worker of Culture of the Russian Federation, Moscow

e-mail: kalinichenkoal@cstroy.ru



МИНСТРОЙ
РОССИИ



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр



НИИСК
ИМ. В.А. КУЧЕРЕНКО



НИИЖБ
ИМ. А.А. ГВОЗДЕВА



НИИОСП
ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

II МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОНГРЕСС

Наука и инновации

forum-cstroy.ru



Москва
2025

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

Печатное и сетевое рецензируемое научно-техническое издание, в котором публикуются результаты теоретических и экспериментальных исследований по строительным материалам, конструкциям, сооружениям, основаниям и фундаментам при статических и динамических воздействиях.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации печатного издания ПИ № ФС77-75188 от 22.02.2019 г., сетевого издания – Эл № ФС77-82129 от 18.10.2021 г.

Журнал зарегистрирован в Национальном центре ISSN (International Standard Serial Number): печатное – 2224-9494, сетевое – 2782-3938.

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

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

Входит в категорию К2 Перечня ВАК.

Журнал издается на платформе Elpub Национального консорциума российских библиотек (НЭИКОН). Журнал индексируется в академических базах данных и информационных системах: ROAD, CrossRef, Академия Google. Входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе eLIBRARY.ru.

Журнал «Вестник НИЦ «Строительство» (print) включен в утвержденный Минобрнауки России Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук. Тираж печатного издания – 500 экземпляров.

Подробная информация на сайте vestnik.cstroy.ru

Подписной индекс ООО «Урал Пресс», ООО «АРЗИ» – 36569.



***Приглашаем к сотрудничеству
ученых, аспирантов,
исследователей!***

Адрес редакции: г. Москва, 2-я Институтская,
дом 6, корпус 1, кабинет 115

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

Выпускающий редактор – Починина Наталья

e-mail: pochininane@cstroy.ru



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

Мы — команда единомышленников,
способных реализовать самые сложные
инженерные проекты.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ

ИЗЫСКАНИЯ

СТРОИТЕЛЬСТВО

**АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»
ПРЕДЛАГАЕТ ВСЕ СПЕКТР
ИНЖИНИРИНГОВЫХ УСЛУГ
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА**

УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР

АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



ниц строительство
научно-исследовательский центр



ЦНИИСК
ИМ. В.А. КУЧЕРЕНКО



НИИЖБ
ИМ. А.А. ГВОЗДЕВА



НИИОСП
ИМ. Н.М. ПЕРСЕВАНОВА



повысить квалификацию
специалистов и экспертов

пройти обучение в аспирантуре

подготовить диссертацию в докторантуре

защитить диссертацию на соискание ученой
степени **кандидата наук**, на соискание ученой
степени **доктора наук**

**Учебный центр
АО «НИЦ «Строительство»
приглашает вас:**



**г. Москва,
2-я Институтская ул., д. 6**



+7 (499) 174-73-84 | +7 (499) 174-73-80



www.cstroy.ru



motorina@cstroy.ru | smirnova@cstroy.ru





АО «НИЦ «Строительство» проводит подготовку специалистов на курсах повышения квалификации по очной и заочной формам:

- — в области инженерных изысканий
- — в области проектирования
- — в области строительства
- — по уникальным программам АО «НИЦ «Строительство»
- — разработка индивидуальных программ обучения и учебно-тематических планов



Преподавательский состав Учебного центра

- — лекции читают академики, действующие члены и члены-корреспонденты РААСН, лауреаты Премий Правительства РФ, заслуженные деятели науки и техники РФ, доктора и кандидаты технических наук
- — учебный класс рассчитан на обучение до 75 человек одновременно. Оснащен системой кондиционирования и видеонаблюдения



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»

ФОРМЫ ПОДГОТОВКИ ДИССЕРТАЦИИ В АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



Обучение в аспирантуре,
докторантуре

Прикрепление для
подготовки диссертации без
освоения образовательных
программ



В АО «НИЦ «Строительство» работает совет по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Защита диссертаций проводится по следующим научным специальностям:

- 2.1.1** «Строительные конструкции, здания и сооружения»
- 2.1.2** «Основания и фундаменты, подземные сооружения»
- 2.1.5** «Строительные материалы и изделия»

Научно-технический журнал
Бетон и железобетон
Вып. 1 (620) 2024

Редактор выпуска Починина Н.Е.
Компьютерная верстка Болдырев В.В.

Дата выхода в свет 29.03.2024 Формат 60x88 1/8

Бумага мелованная. Офсетная печать. Тираж 300 экз. Заказ № 241280
Подписной индекс в каталоге ОАО «АРЗИ» 85502

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ООО «Андоба пресс»,
125363, Москва, Осташковская ул., 14, стр 18, www.andoba.ru, elena@andoba.ru

