

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0005-9889

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

4

618

2023

[BZNB.ELPUB.RU](http://bznb.elpub.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 в Министерстве печати и
информации РФ
Рег. ПИ № ФС 77-76959 от 09.10.2019
ISSN 0005-9889 (Print)
Основан: Институт НИИЖБ Госстроя СССР
и ВНИИЖелезобетон
Минстройматериалов СССР

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Издается с 1955 г.

4 (618)
Сентябрь–октябрь 2023

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

М.Б. КРАКОВСКИЙ, И.Н. ТИХОНОВ

**Особенности расчетов нормальных сечений
железобетонных конструкций по СП 63.13330.2018. 5**

Б.С. СОКОЛОВ, В.А. ТИТАЕВ, М.В. ГЛУШКОВА

**Актуализация межгосударственного стандарта
«Камни бетонные и железобетонные бортовые» 12**

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

К.В. АВДЕЕВ, А.Н. БОЛГОВ, С.А. ЗЕНИН, К.В. МАРТЬЯНОВ

**Проектирование железобетонных конструкций с петлевыми
стыками арматуры в соответствии с ГОСТ Р 70447–2022 18**

В.П. БЛАЖКО, Л.Н. СМИРНОВА

**Технические решения сборно–монолитного здания для заводов ЖБИ
с ограниченными технологическими возможностями 28**

Е.Ю. БУШНЕВА, В.П. РАСТОРОПОВ, С.И. ИВАНОВ, А.И. ПАСТУХОВ

**Обеспечение термической трещиностойкости
конструкции опоры моста. 37**

ЮБИЛЕИ

Эмилю Наумовичу Кодышу 90 лет! 44

ВЫДАЮЩИЕСЯ СООРУЖЕНИЯ

И.Н. УСАЧЕВ, Н.К. РОЗЕНТАЛЬ

Выдающиеся сооружения XX века: Кислогубская ПЭС 45

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.elpub.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

The journal is registered by the RF
 Ministry of Press, Broadcasting and Mass
 Communications PI № FS 77-76959
 dated 09.10.2019 (Russia)
 ISSN 0005-9889 (Print)

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

BETON I ZHELEZOBETON

Published since 1955

4 (618)
 September–October'2023

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

M.B. KRAKOVSKY, I.N. TIKHONOV

**Features of calculations of normal cross sections
 of reinforced concrete structures according to SP 63.13330.2018 5**

B.S. SOKOLOV, V.A. TITAEV, M.V. GLUSHKOVA

**Renewal of interstate standard
 “Concrete and reinforced concrete board stones” 12**

TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

K.V. AVDEEV, A.N. BOLGOV, S.A. ZENIN, K.V. MARTYANOV

**Design of reinforced concrete structures with loop joints
 of rebar in accordance with State Standard R 70447–2022 18**

V.P. BLAZHKO, L.N. SMIRNOVA

**Technical solutions of a prefabricated monolithic building
 for reinforced concrete plants with limited technological capabilities 28**

E.YU. BUSHNEVA, V.P. RASTOROPOV, S.I. IVANOV, A.I. PASTUKHOV

Ensuring thermal crack resistance of the bridge pier structure. 37

ANNIVERSARIES

90th anniversary of Emil Naumovich Kodyshev 44

OUTSTANDING BUILDINGS

I.N. USACHEV, N.K. ROZENTAL

Outstanding buildings of the twentieth century: Kislogubskaya TPP. 45

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.elpub.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)

МАИЛЯН Д.Р., д-р техн. наук, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций, Донской государственной технической 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 государственной технической 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. КРАКОВСКИЙ^{1,✉}, И.Н. ТИХОНОВ²¹ ООО НПКТБ «ОПТИМИЗАЦИЯ», ул. Дмитрия Ульянова, д. 24, кв. 331,
г. Москва, 117036, 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

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТОВ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО СП 63.13330.2018

Аннотация

Введение. СП 63.13330.2018 предусматривает два подхода к расчету прочности нормальных сечений железобетонных конструкций: нелинейную деформационную модель НДМ (общий подход) и метод предельных усилий МПУ (для простых элементов прямоугольного, таврового и двутаврового сечений с арматурой, расположенной у граней элемента). Насколько известно авторам, подробных исследований по сопоставлению результатов, полученных при обоих подходах, не проводилось.

Цель. Провести исследование по сопоставлению результатов, получаемых при расчетах по НДМ и МПУ, выявить различия, установить их физическую причину, оценить экономические аспекты проблемы, дать необходимые рекомендации.

Материалы и методы. Расчеты проводили по программе «ОМ СНИП Железобетон». Исследования выполняли для трех типов конструкций. К первому типу относились четыре сечения элементов при двух напряженных состояниях: изгибе (тавровое и прямоугельное), внецентренном сжатии (прямоугельное и кольцевое). Второй тип конструкций включал балки, испытанные в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. Третий тип – перемычки по ГОСТ 948-84. Во всех типах конструкций при действии одинаковых усилий подбирали армирование по НДМ и МПУ.

Результаты. Оказалось, что сжатая зона бетона в МПУ участвует в сопротивлении сечений действующим усилиям гораздо более эффективно, чем в НДМ. Это может приводить к существенной разнице в армировании. В одном из случаев расход стали при расчетах по МПУ оказался на 78 % меньше, чем по НДМ.

Выводы. Для рассмотренных конструкций расчет прочности нормальных сечений по МПУ оказался более эффективным, чем по НДМ. При этом все необходимые нормативные требования выполнены. Необходимы дальнейшие исследования для внесения поправок в действующие нормативные документы.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, нормальные сечения, расчет, прочность, нелинейная деформационная модель, метод предельных усилий, сопоставление результатов

Для цитирования: 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. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4\(618\)-5-11](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4(618)-5-11)

Вклад авторов

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 03.07.2023

Поступила после рецензирования 28.07.2023

Принята к публикации 03.08.2023

M.B. KRAKOVSKY^{1,✉}, I.N. TIKHONOV²

¹ LLC NPKTB OPTIMIZATSIYA, Dmitry Ulyanov str., 24, appt. 331,
Moscow, 117036, Russian Federation

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

FEATURES OF CALCULATIONS OF NORMAL CROSS SECTIONS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES ACCORDING TO SP 63.13330.2018

Abstract

Introduction. SP 63.13330.2018 provides two approaches to calculating the strength of normal cross sections of reinforced concrete structures: the nonlinear deformation model NDM (general approach) and the method of ultimate forces UFM for simple elements of rectangular, T-shaped and I-shaped sections with reinforcement located at the edges of the element. As far as the authors are aware, no detailed studies have been conducted to compare the results obtained with both approaches.

Aim. Conduct research to compare the results obtained in the calculations for NDM and UFM, identify the differences, establish their physical cause, evaluate the economic aspects of the problem, and make the necessary recommendations.

Materials and methods. Calculations were carried out according to the program "OM SNIIP Reinforced Concrete". Studies were performed for three types of structures. The first type included four cross sections of elements under two stress states: bending (T-shaped and rectangular), off-center compression (rectangular and annular). The second type of structures included beams tested at the NIIZHB named after A.A. Gvozdev. The third type is lintels according to State Standard 948-84. In all types of structures, under the action of the same forces, reinforcement was selected according to NDM and UFM.

Results. It turned out that the compressed zone of concrete in UFM participates in the resistance of cross sections to acting forces much more effectively than in NDM. This can lead to a significant difference in reinforcement. In one of the cases, the steel consumption in the calculations for UFM turned out to be 78 % less than for NDM.

Conclusions. For the considered structures, the calculation of the strength of normal cross sections by UFM turned out to be more effective than by NDM. At the same time, all the necessary regulatory requirements are met. Further research is needed to amend the existing regulations.

Keywords: reinforced concrete structures, normal cross sections, calculation, strength, nonlinear deformation model, ultimate forces method, comparison of results

For citation: 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). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4\(618\)-5-11](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4(618)-5-11)

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 03.07.2023

Revised 28.07.2023

Accepted 03.08.2023

СП 63.13330.2018 предусматривает два подхода к расчету прочности нормальных сечений железобетонных конструкций: нелинейную деформационную модель НДМ (общий подход), метод предельных усилий МПУ для простых элементов. Указанные подходы отличаются критериями прочности. В МПУ в общем случае сечение считают прочным, если выполнено условие (65) [1]:

$$M \leq \pm(R_b S_b - \sum \sigma_{si} S_{si}), \quad (1)$$

Здесь M – действующий момент, определяемый относительно оси, зависящей от вида напряженного состояния сечения;

R_b – расчетное сопротивление бетона;

S_b – статический момент площади сечения сжатой зоны бетона;

σ_{si} – напряжение в i -ом стержне продольной арматуры;

S_{si} – статический момент площади сечения i -го стержня продольной арматуры.

Все статические моменты определяют относительно той же оси, что и M .

В НДМ сечение считают прочным, если выполнены условия (8.37) и (8.38) [2]:

$$|\varepsilon_{b,max}| \leq \varepsilon_{b,ult},$$

$$\varepsilon_{s,max} \leq \varepsilon_{s,ult}.$$

Здесь $\varepsilon_{b,max}$, $\varepsilon_{s,max}$ – максимальные относительные расчетные деформации;

$\varepsilon_{b,ult}$, $\varepsilon_{s,ult}$ – предельные относительные деформации соответственно бетона и арматуры.

На конкретных примерах сопоставим результаты, получаемые при обоих подходах. Для расчетов используем ЭВМ-программу «ОМ СНИП Железобетон» [3].

Рассмотрим результаты расчетов прочности четырех сечений, показанных в табл. 1. Во всех примерах использована арматура класса А500, для примеров 1, 2, 3, 4 классы бетона соответственно В15, В20, В25, В25. Чтобы исключить влияние продольного изгиба при внецентренном сжатии, усилия для расчетов сечений 3 и 4 считались полученными по деформированной схеме.

Расчет сечений 1 и 2 изгибаемых элементов проводили в соответствии со следующим алгоритмом:

1. Задавали армирование.

2. Расчет по МПУ проверяли заданное армирование и определяли максимальный изгибающий момент M_{ult} , воспринимаемый сечением, а также высоту сжатой зоны бетона при действии M_{ult} .

3. Расчет по НДМ подбирали минимальное армирование из условий прочности сечения при действии момента M_{ult} ; если армирование подобрать не удалось, расчеты заканчивали.

4. Расчет по НДМ для определения высоты сжатой зоны бетона проводили проверку прочности сечения при действии момента M_{ult} , определенного на шаге 2, и армировании, определенном на шаге 3.

5. Определяли процент превышения площади сечения арматуры, полученной на шаге 3, над площадью, заданной на шаге 1.

Таблица 1
Table 1

Рассчитанные сечения
Calculated cross sections

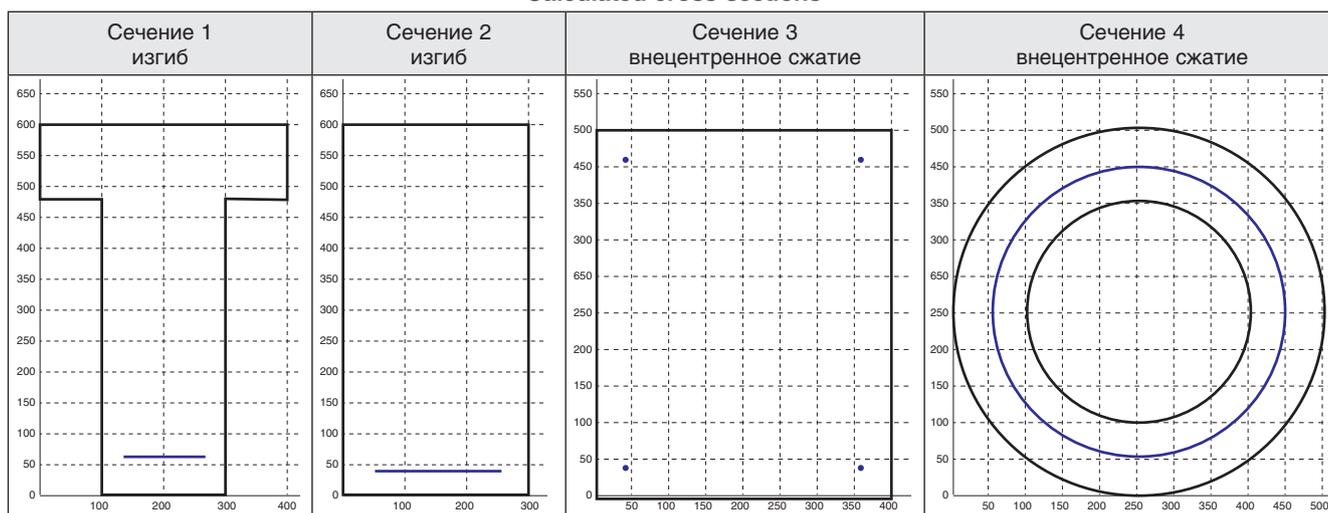


Таблица 2
Table 2

Результаты расчетов сечений 1 и 2
Results of calculations of sections 1 and 2

№ расчета	Момент, M_{ult} , кНм	Решение МПУ		Решение НДМ		Перерасход НДМ, %
		Армирование	ξ_m	Армирование	ξ_n	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Сечение 1						
1	98,7	4Ø12	0,12	4Ø12	0,13	0
2	204,5	4Ø18	0,31	4Ø18	0,36	0
3	239,8	4Ø20	0,43	4Ø22	0,62	21
4	270,5	4Ø22	0,57	4Ø28	0,83	62
5	284,2	4Ø25	0,65	—*	—*	—*
Сечение 2						
1	104,9	3Ø14	0,11	3Ø14	0,19	0
2	165,9	3Ø18	0,19	3Ø18	0,31	0
3	236,4	3Ø22	0,28	3Ø22	0,40	0
4	290,1	3Ø25	0,36	3Ø28	0,65	25,4
5	342,7	3Ø28	0,46	—*	—*	—*

* прочность по НДМ не может быть обеспечена ни при каком армировании.

Результаты расчетов сечений 1 и 2 представлены в табл. 2. В первом столбце таблицы приведен номер расчета. В столбце 3 показано армирование, задаваемое на шаге 1 алгоритма, в столбце 2 – момент M_{ult} , определенный по МПУ на шаге 2. Армирование, полученное по НДМ на шаге 3, представлено в столбце 5. В столбцах 4 и 6 приведены относительные высоты сжатой зоны бетона ξ_m и ξ_n при расчетах соответственно по МПУ и НДМ (шаги алгоритма соответственно 2 и 4). При расчете по НДМ высоту сжатой зоны определяли из условия равенства нулю деформаций на границе зоны. Столбец 7 содержит перерасход в процентах площади сечения арматуры,

полученной расчетом по НДМ (см. столбец 5), над площадью сечения арматуры, заданной для расчета по МПУ (см. столбец 3).

Как видно, во всех расчетах $\xi_n \geq \xi_m$ и перерасход арматуры, получаемый по НДМ, тем больше, чем больше разница между ξ_n и ξ_m . При небольшой разнице между ξ_n и ξ_m в расчетах № 1, 2 и 1–3 для сечений соответственно 1 и 2 армирование по МПУ и НДМ оказывается одинаковым. При возрастании разницы между ξ_n и ξ_m в расчете № 4 по НДМ для обоих сечений **перерасход арматуры увеличивается и достигает величин 62 и 25,4 %**

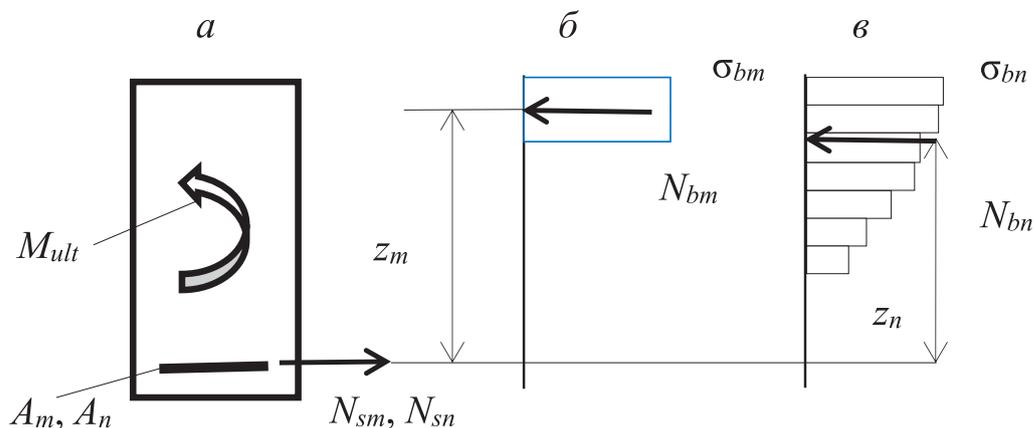


Рис. 1. Напряженное состояние сечения изгибаемого элемента: а – схема сечения; б, в – усилия и напряжения при расчетах соответственно по МПУ (индекс m) и НДМ (индекс n); σ_{bm} , σ_{bn} – напряжения в сжатой зоне бетона; N_{bm} , N_{bn} – усилия в сжатой зоне бетона; N_{sm} , N_{sn} – усилия в арматуре; A_m , A_n – площади сечения арматуры

Fig. 1. Stress state of the section of the bent element: а – section diagram; б, в – forces and stresses in calculations, respectively, according to UFM (index m) and NDM (index n); σ_{bm} , σ_{bn} – stresses in the compressed zone of concrete; N_{bm} , N_{bn} – forces in the compressed concrete zone; N_{sm} , N_{sn} – forces in the reinforcement; A_m , A_n – reinforcement cross section areas

Этот факт объясняется следующими обстоятельствами (рис. 1). 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 ($A_n > A_m$).

Обратим внимание на расчеты № 5 обоих сечений. При расчете по МПУ граница сжатой зоны совпадает с границей переармирования, однако решение существует. При расчете по НДМ подобрать арматуру невозможно, поскольку уравнения равновесия (8.39)–(8.41) [2] решения не имеют.

Рассмотрим результаты расчетов сечений 3 и 4, представленные в табл. 3. Действующие усилия – продольная сила N и изгибающий момент M . Внесены следующие изменения в приведенный выше алгоритм расчета сечений 1 и 2:

- на шаге 2 расчетом по МПУ подбирали такие значения N и M , при которых были практически равны левые и правые части критерия прочности (1);
- на шаге 3 при расчете по НДМ подбирали минимальное армирование при действии усилий N и M , значения которых определены на шаге 2.

Для сечения 3 результаты аналогичны полученным для сечений 1 и 2. При увеличении ξ_m и ξ_n **перерасход арматуры**, получаемый по НДМ, увеличивается и **достигает 30 %**.

При расчетах сечения 4 при увеличении армирования **перерасход арматуры по НДМ изменяется от 78 до 27 %** (столбец 8). Это объясняется расположением арматуры не у граней, а равномерно по сечению.

Сравним результаты расчетов и экспериментальных исследований. В НИИЖБ им. А.А. Гвоздева были испытаны на изгиб прямоугольные балки сечениями 120 × 200 мм и 120 × 300 мм, показанные на рис. 2 [4]. Образцы изготовлены из бетона классов В30 и В60, арматура класса – Аv500П. Расчеты выполняли в следующем порядке:

- при принятых в эксперименте характеристиках каждой балки по МПУ определяли максимальный воспринимаемый момент M_{ult} ;
- подбирали армирование балок по НДМ при действии момента M_{ult} .

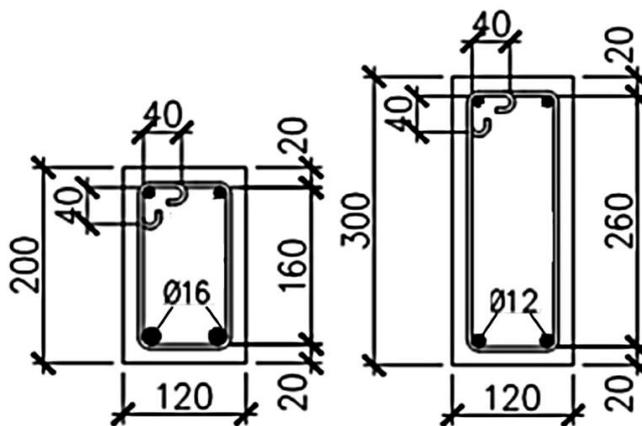


Рис. 2. Сечения экспериментальных балок
Fig. 2. Sections of experimental beams

Таблица 3
Table 3

**Результаты расчетов сечений 3 и 4
Results of calculations of sections 3 and 4**

№ расчета	Усилия		Решение МПУ		Решение НДМ		Перерасход НДМ, %
	N , кН	M , кНм	Армирование	ξ_m	Армирование	ξ_n	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Сечение 3							
1	900	180	4Ø12	0,37	4Ø12	0,52	0
2	1362	234	4Ø18	0,62	4Ø20	0,81	23
3	1900	315	4Ø28	0,66	4Ø32	0,87	30
4	2090	350	4Ø32	0,68	4Ø36	0,89	27
Сечение 4							
1	1270	150	13Ø12	–	13Ø16	–	78
2	1535	183	13Ø16	–	13Ø20	–	56
3	1900	230	13Ø20	–	13Ø22	–	21
4	3312	400	13Ø32	–	13Ø36	–	27

Результаты расчетов, аналогичные полученным для сечений 1 и 2, представлены в табл. 4:

– при расчете по МПУ в обеих балках при обоих классах бетона полученное армирование совпадает с действительно установленным;

– во всех случаях $\xi_m < \xi_n$;

– при небольших значениях ξ_m и ξ_n в балке 120 × 300 мм армирование по НДМ совпадает с полученным по МПУ;

– при возрастании значений ξ_m и ξ_n в балке 120 × 200 мм перерасход армирования по НДМ составляет 27 %.

Сравнение армирования при расчетах по МПУ и НДМ выполняли также для железобетонных перемычек в ГОСТ 948-84 [5]. Согласно требованиям [5] в рассмотренных ниже конструкциях используют бетон класса В25 и арматуру класса А-III. Исследовалась возможность экономии стали при использовании арматуры А500СП и А500СП. Условия и результаты расчетов представлены соответственно в табл. 5 и 6.

В столбце 2 (табл. 6) показано армирование, принятое в [5], при стали класса А-III, а в столбцах 3 и 5 – полученное в расчетах соответственно по

МПУ и НДМ при стали класса А500СП и А500СП. Рассмотрим полученные результаты:

– при расчетах по МПУ экономия стали, по сравнению с ГОСТ, составляет до 56 % (см. столбцы 2–4);

– при расчетах по НДМ экономия стали, по сравнению с ГОСТ, оставляет 36 и 22 % в перемычках 2 и 4, а в перемычке 3 допущен перерасход 56 % (см. столбцы 2, 5, 6);

– при расчетах по НДМ, по сравнению с МПУ, перерасход стали составляет до 56 % (см. столбцы 3, 5, 7).

Обратим внимание на результаты расчетов перемычки 3. ГОСТ [5] введен в действие около 40 лет назад. За это время разработаны новые классы стали А500СП и А500СП, а также новый метод расчета НДМ. В результате оказалось, что **использование новых разработок может привести к возрастанию расхода стали** в перемычках, ранее успешно применявшихся в течение многих лет.

В общем, расчет по МПУ является гораздо более экономичным, чем по НДМ. При этом надежность результатов по МПУ подтверждается десятилетиями успешного проектирования по [1].

Таблица 4
Table 4

Результаты расчетов экспериментальных балок
Results of calculations of experimental beams

Размеры балки, мм	Класс бетона	$M_{уп}$, кНм	Решение МПУ		Решение НДМ		Перерасход НДМ, %
			Армирование	ξ_m	Армирование	ξ_n	
120 × 200	В30	23,00	2Ø16	0,45	2Ø18	0,51	27
	В60	27,5	2Ø16	0,24	2Ø18	0,33	27
120 × 300	В30	24,50	2Ø12	0,16	2Ø12	0,39	0
	В60	25,50	2Ø12	0,10	2Ø12	0,26	0

Таблица 5
Table 5

Условия расчетов перемычек
Conditions for lintels calculation

№	Марка перемычки	Размеры прямоугольного сечения, мм		Действующий момент, кНм
		ширина	высота	
1	2ПБ-25-3	120	140	2,34
2	3ПБ16-37	120	220	9,04
3	4ПБ30-4	120	290	4,14
4	5ПБ27-27	250	220	21,37

Таблица 6
Table 6

Результаты расчетов перемычек
Results of lintels calculation

№	Армирование по ГОСТ, диаметры стержней А-III	Армирование стержнями А500СП, А500СП при расчете по				
		МПУ		НДМ		
		диаметры стержней	экономия, ГОСТ, %	диаметры стержней	экономия, ГОСТ, %	перерасход МПУ, %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	1Ø10	1Ø8	56	1Ø10	0	56
2	1Ø14	1Ø12	36	1Ø12	36	0
3	1Ø8	1Ø8	0	1Ø10	-56	56
4	2Ø12 + 2Ø10	2Ø10 + 2Ø8	46	4Ø10	22	22

В перемычках [5] дополнительную экономию стали можно получить, учитывая особенности расчетов конструкций на трещиностойкость при арматуре классов А500СП, Ау500СП [6, 7].

Выводы

1. В расчетах прочности нормальных сечений железобетонных конструкций по НДМ сопротивление бетона сжатой зоны учитывается менее эффективно, чем при расчетах по МПУ.

2. В некоторых случаях это приводит к большому неоправданному перерасходу арматуры (в рассмотренных случаях – до 78 %).

3. Расчет прочности простых типов железобетонных конструкций массового применения (прямоугольного, таврового и двутаврового сечений с арматурой, расположенной у граней сечения) следует производить по МПУ. Такой расчет, а также использование арматуры классов А500СП, Ау500СП, Ав500СП позволят сэкономить миллиарды рублей при строительстве зданий и сооружений из железобетона.

4. Целесообразно продолжить исследования для обоснования возможности включения в [2] общего случая расчета по МПУ конструкций при любых сечениях, внешних усилиях и любом армировании согласно п. 3.28* [1].

Список литературы

1. Бетонные и железобетонные конструкции СНиП 2.03.01-84*. Москва: Госстрой СССР; 1989.
2. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: Стройинформ; 2019.
3. Краковский М.Б. Развитие программы «ОМ СНиП ЖЕЛЕЗОБЕТОН» для расчета железобетонных конструкций на ЭВМ по СНиП 2.03.01-84*, СНиП 52-01-2003 и СП 52-101-2003 // *Бетон и железобетон*. 2005. № 5 (536). С. 19–22.
4. Тихонов И.Н., Крылов С.Б., Звездов А.И., Смирнова Л.Н., Тихонов Г.И., Гончаров Е.Е. Оценка сейсмостойкости зданий из железобетона на стадии проектирования // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2022. № 5. С. 31–46. <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-5-31-46>
5. ГОСТ 948-84. Перемычки железобетонные для зданий с кирпичными стенами. Технические условия. Москва: ИПК Издательство стандартов; 2002.
6. СТО 36554501-005-2020*. Применение арматуры классов А500СП, Ау500СП и А600СП в железобетонных конструкциях. Москва: АО «НИЦ «Строительство»; 2021.
7. Тихонов И.Н., Блажко В.П., Тихонов Г.И., Казарян В.А., Краковский М.Б., Цыба О.О. Инновационные решения для эффективного армирования железобетонных конструкций // *Жилищное строительство*. 2018. № 8. С. 3–10. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2018-8-3-10>.

References

1. Concrete and reinforced concrete structures SNiP 2.03.01-84*. Moscow: Gosstroy of the USSR; 1989. (In Russian).
2. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Moscow: Stroyinform; 2019. (In Russian).
3. Krakovsky M.B. Development of the "OM SNiP Reinforced Concrete" program for the calculation of reinforced concrete structures on a computer by SNiP 2.03.01-84*, SNiP 52-01-2003 и SP 52-101-2003. *Beton i Zhelezobeton*. 2005, no. 5, pp. 19–22. (In Russian).
4. Tihonov I.N., Krylov S.B., Zvezdov A.I., Smirnova L.N., Tikhonov G.I., Goncharov Ye.Ye. Assessment of earthquake resistance of reinforced concrete buildings at the design stage. *Seismostoikeye stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2022, no. 5, pp. 31–46. (In Russian). <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-5-31-46>
5. State Standard 948-84. Reinforced concrete lintels for brick wall buildings. Specifications. Moscow: PPP "Publishing house of standards"; 2002.
6. STO 36554501-005-2020*. Application of reinforcement of A500SP, Au500SP & A600SP classes in reinforced concrete structures. Moscow: JSC Research Center of Construction; 2021. (In Russian).
7. Tikhonov I.N., Blazhko V.P., Tikhonov G.I., Kazaryan V.A., Krakovsky M.B., Tsyba O.O. Innovative solutions for efficient reinforcement of reinforced concrete structures. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018, no. 8, pp. 3–10. (In Russian). <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2018-8-3-10>

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

Michael B. Krakovsky [✉], Dr. Sci. (Engineering), Professor, Director, LLC NPKTБ Optimization, Moscow

e-mail: mbkrakov@yandex.ru

Игорь Николаевич Тихонов, д-р техн. наук, руководитель центра № 21 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: tikhonovniizhb21@yandex.ru

Igor N. Tikhonov, Dr. Sci. (Engineering), Head of the Center No. 21, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: tikhonovniizhb21@yandex.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Б.С. СОКОЛОВ¹, В.А. ТИТАЕВ^{1,2,✉}, М.В. ГЛУШКОВА¹

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

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

АКТУАЛИЗАЦИЯ МЕЖГОСУДАРСТВЕННОГО СТАНДАРТА «КАМНИ БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ БОРТОВЫЕ»

Аннотация

Введение. За 35 лет с момента ввода ГОСТ 6665-91 существенно изменена и дополнена нормативная база по проектированию и производству железобетонных изделий. В связи с этим разработан актуализированный межгосударственный стандарт на бетонные и железобетонные бортовые камни, учитывающий изменения в нормативной литературе.

Цель. Ознакомление специалистов по проектированию и производству бетонных и железобетонных бортовых камней с актуализированным ГОСТ 6665-91 в связи с обновлением нормативной базы.

Материалы и методы. Изложены сведения об актуализированном межгосударственном стандарте ГОСТ 6665 «Камни бетонные и железобетонные бортовые. Технические условия», в котором даны правила и требования по конструированию, испытаниям и технологии изготовления бетонных и железобетонных бортовых камней.

Результаты. В результате пересмотра стандарта установлены более строгие требования к бетону, расширен выбор классов арматуры для армирования бортовых камней, что позволяет существенно увеличить ресурс их долговечности.

Выводы. Актуализация требований по правилам приемки и методам контроля позволяет повысить качество заводского изготовления сборных бетонных и железобетонных бортовых камней.

Ключевые слова: железобетон, конструирование, испытание, приемка, метод контроля, бортовой камень

Для цитирования: Соколов Б.С., Титаев В.А., Глушкова М.В. Актуализация межгосударственного стандарта «Камни бетонные и железобетонные бортовые» // *Бетон и железобетон*. 2023. № 4 (618). С. 12–17. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4\(618\)-12-17](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4(618)-12-17)

Вклад авторов

Соколов Б.С., Титаев В.А. – анализ и систематизация современных методов по проектированию и заводскому производству железобетонных изделий, подготовка текста статьи.

Глушкова М.В. – систематизация исследований по технологии изготовления бетонных и железобетонных изделий.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках договорных работ между АО «НИЦ «Строительство» и ФАУ «ФЦС».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 14.07.2023

Поступила после рецензирования 02.08.2023

Принята к публикации 10.08.2023

B.S. SOKOLOV¹, V.A. TITAEV^{1,2,✉}, M.V. GLUSHKOVA¹

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

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

RENEWAL OF INTERSTATE STANDARD "CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE BOARD STONES"

Abstract

Introduction. For 35 years since the introduction of State Standard 6665-91, the regulatory framework for the design and production of reinforced concrete products has been significantly changed and supplemented. In this regard, an updated interstate standard for concrete and reinforced concrete side stones has been developed, taking into account changes in the regulatory literature.

Aim. Familiarization of specialists in the design and production of concrete and reinforced concrete side stones with the updated State Standard 6665-91 in connection with the updating of the regulatory framework.

Materials and methods. The information about the updated interstate standard State Standard 6665 "Concrete and reinforced concrete side stones. Technical conditions", which provides rules and requirements for the design, testing and manufacturing technology of concrete and reinforced concrete side stones.

Results. As a result of the revision of the standard, stricter requirements for concrete have been established, the choice of reinforcement classes for reinforcing side stones has been expanded, which can significantly increase their durability.

Conclusions. Updating the requirements for acceptance rules and control methods allows to improve the quality of factory production of precast concrete and reinforced concrete side stones.

Keywords: reinforced concrete, construction, testing, acceptance, control method, board stone

For citation: Sokolov B.S., Titaev V.A., Glushkova M.V. Renewal of interstate standard "Concrete and reinforced concrete board stones". *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 4 (618), pp. 12–17. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4\(618\)-12-17](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4(618)-12-17)

Author contribution statements

Sokolov B.S., Titaev V.A. – analysis and systematization of modern methods for the design and factory production of reinforced concrete products, preparation of the text of the article.

Glushkova M.V. – systematization of researches on the technology of the manufacturing of concrete and reinforced concrete products.

Funding

The study was carried out within the framework of contractual work between JSC Research Center of Construction and FAI "FCS".

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 14.07.2023

Revised 02.08.2023

Accepted 10.08.2023

Коллективом сотрудников Научно-исследовательского, проектно-конструкторского и технологического института бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева выполнена работа по актуализации ГОСТ 6665-91 «Камни бетонные и железобетонные бортовые. Технические условия» [1].

Стандарт распространяется на бетонные и железобетонные бортовые камни, изготавливаемые из мелкозернистого и тяжелого бетонов в климатическом исполнении УХЛ по ГОСТ 15150 [2], предназначенные для отделения проезжей части улиц и дорог от тротуаров, газонов, площадок и т. п., и устанавливает требования к их изготовлению.

Стандарт пересмотрен в обеспечение требований ГОСТ 13015 [3], ГОСТ 26633 [4], ГОСТ 31384 [5].

Межгосударственный стандарт ГОСТ 6665 разработан с учетом требований Федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [6], распространяется на бетонные и железобетонные бордюрные камни, предназначенные для применения в сухих и водонасыщенных грунтах, и устанавливает технические требования к бетону изделий и арматуре, к изготовлению, маркировке, приемке, транспортированию и хранению железобетонных и бетонных бортовых камней.

Целью пересмотра ГОСТ 6665-91 [1] является актуализация его положений в части технических условий на изготовление железобетонных и бетонных бортовых камней в связи с обновлением нормативной базы по производству железобетонных конструкций и изделий.

При пересмотре ГОСТ 6665-91 [1] решены следующие задачи:

– откорректирована структура и положения стандарта в связи с изменениями требований основополагающего стандарта ГОСТ Р 1.5 [7];

– уточнены требования к правилам обеспечения единства измерений в Российской Федерации, установленным Федеральным законом от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [8] и документами уполномоченных федеральных органов исполнительной власти.

Назначением класса бетона по прочности на сжатие обеспечивается только прочность камней в зависимости от автомобильной нагрузки. Этого недостаточно для обеспечения долговечности изделий в разнообразных условиях их применения, включая использование камней в сухих и водонасыщенных грунтах, при расчетной температуре наружного воздуха (средней температуре воздуха наиболее холодной пятидневки района строительства согласно СП 131.13330.2020 [9]) до минус 40 °С включительно, в грунтах и грунтовых водах с неагрессивной степенью воздействия на железобетонные изделия. В связи с этим установлены требования по водонепроницаемости и морозостойкости, которые опосредованно

защищают бетон от коррозии. Поэтому при пересмотре стандарта назначен определенный уровень по морозостойкости и водонепроницаемости, назначен класс бетона по прочности, гарантирующий обеспечение заданных морозостойкости и водонепроницаемости.

Кроме этого, одной из задач пересмотра межгосударственного стандарта ГОСТ 6665-91 [1] является также установление актуальных технических требований в связи с применением новых классов арматуры для армирования бортовых камней.

В разработанной редакции стандарта пересмотрена структура прежней редакции. Актуализированный межгосударственный стандарт содержит 9 разделов и 2 приложения.

Некоторые пункты прежней редакции стандарта исключены.

В раздел 1 «Область применения» уточнено, что камни бортовые являются сборными изделиями.

В разделе 2 «Нормативные ссылки» уточнен и расширен перечень используемых стандартов.

В раздел 3 «Термины и определения» внесен ряд редакционных изменений.

Раздел 4 «Условные обозначения» поясняет структуру маркировки камней.

Раздел «Технические условия» ГОСТ 6665-91 [1] реструктурирован с образованием двух разделов: раздел 5 «Форма и основные размеры» и раздел 6 «Технические требования»; текст существенно сокращен с внесением ряда изменений.

Раздел 5 «Форма и основные размеры» содержит требования к основным геометрическим параметрам бортовых камней и монтажных приспособлений.

Раздел 6 «Технические требования» содержит перечень конструктивных и технологических требований, предъявляемых стандартами и другими нормативными документами к бетонным камням, а также к материалам и арматурным изделиям, используемым для железобетонных камней.

Добавлена иллюстрация рекомендуемой схемы основных размеров и поверхностей.

Основные параметры бетона, представленные ниже в таблице, назначены на основании требований к бетону изделий по прочности, морозостойкости и водонепроницаемости с учетом класса среды эксплуатации в соответствии с требованиями ГОСТ 31384 [5].

Раздел 7 «Правила приемки» переработан в соответствии с ГОСТ 13015 [3].

В раздел 8 «Методы контроля» внесен ряд изменений.

Раздел 9 «Маркировка, транспортирование и хранение» реструктурирован и сокращен.

В Приложении А (обязательном) в графической форме представлены типы и основные геометрические размеры бортовых камней.

В Приложении Б (обязательном) приведены принципиальные схемы армирования камней.

Таблица
Table

Основные параметры бетона камней
The main parameters of the concrete of stones

№	Характеристика	Бортовые камни	
		для дорожного строительства	для благоустройства территорий
1	Класс по прочности на сжатие, не менее	B30	B25
2	Класс по прочности на растяжение при изгибе, не менее	B _{тб} 4.0	B _{тб} 3.6
3	Марка по морозостойкости, не ниже	F ₂ 200	F ₂ 150

Примечание – Морозостойкость бортовых камней, эксплуатируемых при температуре воздуха наиболее холодной пятидневки ниже –20 до –40 °С, следует принимать F₂300.

Из прежней редакции ГОСТ 6665-91 [1] исключены чертежи армирования камней со спецификацией расходов арматурной стали.

Процесс проектирования арматурных элементов: каркасов, сеток и отдельных арматурных элементов железобетонных камней – передан в проектные организации. В актуализированном ГОСТ нет жесткой привязки между маркой камня и расходом, а также диаметрами арматурной стали.

Актуализированная редакция ГОСТ одобрена и рекомендована к утверждению на заседании научно-технического совета НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство».

В ходе состоявшегося публичного обсуждения актуализированного ГОСТ получены предложения в основном редакционного характера, которые в большинстве были частично или полностью учтены.

Наибольшее количество предложений поступило от Ассоциации «Производителей мелкоштучных бетонных изделий».

В частности, предлагалось внести изменения в актуализированный ГОСТ 6665, касающиеся использования крупного заполнителя для бетона, щебня, щебня из гравия и гравия из плотных горных пород по стандартам ГОСТ 8267 [10] и ГОСТ 32703 [11]. Данное предложение было отклонено в связи с тем, что в стандарте ГОСТ 32703 [11] отсутствует ряд требований к материалам, гарантирующим обеспечение долговечности бетонных изделий, отвечающей требованиям ГОСТ 27751 [12].

Авторы статей [13–15] отмечают, что исследования в области прочности и деформативности бетона при различных подходах к нормированию инертных заполнителей следует продолжить и расширить. Ввиду многофакторности в решении поставленной задачи, а именно в оценке влияния крупного заполнителя бетона на его прочность и деформативные свойства, предлагается выполнить ряд НИОКР, охватывающих всю гамму проблем для применения щебня и гравия по ГОСТ 8267 [10] и ГОСТ 32703 [11]. Исследования должны поставить точку в вопросе определения границ применимости каждого стандарта.

Поступил ряд предложений о внесении в актуализированный ГОСТ положений о применении мине-

ральных пигментов белых (по ГОСТ 965 [16]) и цветных (по ГОСТ 15825 [17]) портландцементов, песка и щебня декоративного по ГОСТ 22856 [18]. Данные предложения были отклонены по причине недостаточной изученности влияния присутствия пигмента и цветных портландцементов на эксплуатационные характеристики и долговечность бетона изделий в виде бортовых камней. Ну а применение декоративного щебня ограничено областью применения этого стандарта. В основном этот щебень применяется для отделки поверхностей, декоративных и архитектурно-строительных изделий. Применение пигментов, цветных цементов и декоративного щебня возможно при соответствующем обосновании по специализированным техническим условиям, учитывающим конкретные требования по условиям эксплуатации и назначения бортовых камней.

Предложения об увеличении стандартизуемой номенклатуры изделий бортовых камней, в частности применение камней длиной 800, 600, 500 и 250 мм, применение камней с разными радиусами лицевой и тыльной поверхностей и т. д., были отклонены по причине невозможности нормировать все многообразие размеров и форм, которые могут потребоваться строителям.

В части внедряемых передовых технологий следует отметить, что актуализация регламентируемых данным стандартом требований обеспечит расширение области применения стандарта в рамках действующей нормативной базы и позволит производить камни бетонные и железобетонные бортовые, обеспечивающие требуемый уровень долговечности изделий.

Актуализированный ГОСТ 6665 будет способствовать более качественному проектированию и изготовлению бетонных и железобетонных бортовых камней.

Список литературы

1. ГОСТ 6665-91. Камни бетонные и железобетонные бортовые. Технические условия. Москва: ИПК Издательство стандартов; 2002.
2. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов, категории, условия эксплуа-

тации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. Москва: Стандартинформ; 2010.

3. ГОСТ 13015-2012. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. Москва: Стандартинформ; 2018.

4. ГОСТ 26633-2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2007.

5. ГОСТ 31384-2017. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования. Москва: Стандартинформ; 2018.

6. Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30 декабря 2009 года №. 384-ФЗ [интернет]. Консультант Плюс. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720

7. ГОСТ 1.5-2001. Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению. Москва: Стандартинформ; 2010.

8. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26 июня 2008 года №. 102-ФЗ [интернет]. Консультант Плюс. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77

9. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. Москва: Стандартинформ; 2020.

10. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2018.

11. ГОСТ 32703-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Технические требования. Москва: Стандартинформ; 2019.

12. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. Москва: Стандартинформ; 2019.

13. Зенин С.А., Кудяков К.Л., Кудинов О.В. Оценка влияния бетонов на заполнителях по ГОСТ 32703-2014 на прочностные и деформативные свойства изгибаемых железобетонных конструкций // *Бетон и железобетон*. 2022. № 1 (609). С. 10–16. DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-10-16>

14. Розенталь Н.К., Любарская Г.В. Коррозия бетона при взаимодействии щелочей с диоксидом кремния заполнителя // *Бетон и железобетон*. 2012. № 1 (609). С. 50–60.

15. Фаликман В.Р., Сиротин П.Н. Оценка возможности использования щебня по ГОСТ 32703 для производства бетонов общегражданского строительства // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022. № 2 (33). С. 194–212. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-194-212](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-194-212)

16. ГОСТ 965-89. Портландцементы белые. Технические условия. Москва: ИПК Издательство стандартов; 2002.

17. ГОСТ 15825-80. Портландцемент цветной. Технические условия. Москва: Издательство стандартов; 1980.

18. ГОСТ 22856-89. Щебень и песок декоративные из природного камня. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2019.

References

1. State Standard 6665-91. Concrete and reinforced concrete curbs. Specifications. Moscow: PPP “Publishing house of standards”; 2002. (In Russian).

2. State Standard 15150-69. Machines, instruments and other industrial products. Modifications for different climatic regions. Categories, operating, storage and transportation conditions as to environment climatic aspects influence. Moscow: Standartinform Publ.; 2010. (In Russian).

3. State Standard 13015-2012. Concrete and reinforced concrete products for construction. General technical requirements. Rules for acceptance, marking, transportation and storage. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).

4. State Standard 26633-2015. Normal-weight and sand concretes. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2007. (In Russian).

5. State Standard 31384-2017. Protection of concrete and reinforced concrete structures against corrosion. General technical requirements. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).

6. Federal Law No. 384-FZ of December 30, 2009 “Technical Regulations on the safety of Buildings and Structures” [internet]. Konsul’tant Plyus. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (in Russian).

7. State Standard 1.5-2001. Interstate System for Standardization. Interstate standards, rules and recommendations on interstate standardization. General requirements for structure, drafting, presentation, content and indication. Moscow: Standartinform Publ.; 2010. (In Russian).

8. Federal Law No. 102-FZ of June 26, 2008 “On ensuring the uniformity of measurement” [internet]. Konsul’tant Plyus. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904/ (in Russian).

9. SP 131.13330.2020. Building climatology. Updated version of SNiP 23-01-99*. Moscow: Standartinform Publ.; 2020. (In Russian).

10. State Standard 8267-93. Crushed stone and gravel of solid rocks for construction works. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).

11. State Standard 32703-2014. Automobile roads of general use. Crushed stone and gravel from rocks. Technical requirements. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).

12. State Standard 27751-2014. Reliability for constructions and foundations. General principles. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).

13. Zenin S.A., Kudyakov K.L., Kudinov O.V. Evaluation of the influence of concretes on aggregates according to GOST 32703–2014 on the strength and deformative properties of bent reinforced concrete structures. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022, no. 1 (609), pp. 10–16. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-10-16>

14. Rosenthal N.K., Lyubarskaya G.V. Corrosion of concrete in the interaction of alkalis with silica of the filler. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2012, no. 1 (609), pp. 50–60. (In Russian).

15. Falikman V.R., Sirotin P.N. Prospects of using crushed stone in accordance with GOST 32703 to produce concrete for general civil construction. *Vestnik NIC Stroitel'stvo* [Bulletin of Science and Research Center of Construction]. 2022, no. 2 (33), pp. 194–212. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-194-212](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-194-212)

16. State Standard 965-89. Portland cements, white. Specifications. Moscow: PPP "Publishing house of standards"; 2002. (In Russian).

17. State Standard 15825-80. Coloured portland cement. Specifications. Moscow: Publishing house of standards; 1980. (In Russian).

18. State Standard 22856-89. Decorative crushed natural stone and sand. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Борис Сергеевич Соколов, канд. техн. наук, заведующий лабораторией тонкостенных и пространственных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: moo-shell@mail.ru
тел.: +7 (499) 174-74-80

Boris S. Sokolov, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory for Thin-Walled and Spatial Structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: moo-shell@mail.ru
tel.: +7 (499) 174-74-80

Виталий Александрович Титаев ✉, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории тонкостенных и пространственных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»; доцент кафедры железобетонных конструкций НИУ МГСУ, Москва
e-mail: titaev@bk.ru
тел.: +7 (499) 174-74-92

Vitaly A. Titaev ✉, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Leading Researcher, Laboratory of the Thin-Walled and Spatial Structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction; Associate Professor, Department of Reinforced Concrete Structures, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow
e-mail: titaev@bk.ru
tel.: +7 (499) 174-74-92

Марина Вячеславовна Глушкова, инженер центра № 20 научно-технического сопровождения технически сложных объектов строительства НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: concrete15@mail.ru
тел.: +7 (499) 174-75-92

Marina V. Glushkova, Engineer, Center No. 20 for Scientific and Technical Support of Technically Complex Construction Objects, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: concrete15@mail.ru
tel.: +7 (499) 174-75-92

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

К.В. АВДЕЕВ¹, А.Н. БОЛГОВ², С.А. ЗЕНИН^{2,✉}, К.В. МАРТЬЯНОВ³

¹ АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений» (АО «ЦНИИПромзданий»), Дмитровское шоссе, д. 46, к. 2, г. Москва, 127238, 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

³ Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» по реализации капитальных проектов, Люсиновская ул., д. 38, г. Москва, 115093, Российская Федерация

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПЕТЛЕВЫМИ СТЫКАМИ АРМАТУРЫ В СООТВЕТСТВИИ С ГОСТ Р 70447–2022

Аннотация

Введение. В настоящее время в железобетонных конструкциях находят применение петлевые нахлесточные соединения арматурных стержней. Наиболее широко такие типы соединений рабочей арматуры применяют в сооружениях АЭС при устройстве конструкций плит и стен из монолитного железобетона. Петлевые стыки в данных конструкциях применяют для соединения смежных объемных армоблоков, собираемых заранее и устанавливаемых в проектное положение перед бетонированием. Данный вид соединений приводит к повышению технологичности строительно-монтажных работ, так как значительно сокращает трудозатраты на строительной площадке при устройстве арматурных каркасов.

Актуальность разработки стандарта обусловлена тем, что в действующей нормативной базе отсутствовали детальные указания по конструктивным требованиям к такого рода соединениям. Отсутствие указанных положений приводило к существенным затруднениям при проектировании таких конструкций, что приводило к излишним материальным и временным затратам.

Целью работы является совершенствование системы градостроительной деятельности в части уточнения и дополнения действующих нормативных документов по проектированию железобетонных конструкций.

Материалы и методы. Разработка стандарта выполнялась с учетом современных требований, а также анализа результатов последних научных исследований. Дополнительно был проанализирован практический отечественный опыт применения петлевых стыков в области строительства объектов использования атомной энергии.

Результаты. Результатом работы является стандарт ГОСТ Р 70447-2022, положения которого включают в

себя новые расчетные методики, а также уточнения существующих методов расчета и конструирования, уточненные требования. Проект стандарта прошел публичные обсуждения, а также необходимые экспертизы, введен в действие.

Выводы. Разработан стандарт ГОСТ Р 70447-2022 «Железобетонные конструкции с петлевыми стыками арматуры для объектов использования атомной энергии», положения которого позволят разрабатывать надежные конструктивные решения таких конструкций, в том числе с достижением определенного экономического эффекта. При этом отмечены отдельные направления по совершенствованию положений данного стандарта.

Ключевые слова: железобетон, конструкции, петлевые стыки арматуры, объекты использования атомной энергии, конструирование, расчет

Для цитирования: Авдеев К.В., Болгов А.Н., Зенин С.А., Мартьянов К.В. Проектирование железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры в соответствии с ГОСТ Р 70447-2022 // *Бетон и железобетон*. 2023. № 4 (618). С. 18–27. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4\(618\)-18-27](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4(618)-18-27)

Вклад авторов

Авдеев К.В., Болгов А.Н., Зенин С.А., Мартьянов К.В. – разработка стандарта.

Финансирование

Финансирование осуществлялось за счет средств АО ИК «АСЭ».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 10.07.2023

Поступила после рецензирования 17.08.2023

Принята к публикации 24.08.2023

K.V. AVDEEV¹, A.N. BOLGOV², S.A. ZENIN^{2,✉}, K.V. MARTYANOV³

¹ JSC Central Research, Design and Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures (JSC TSNIPromzdaniy), Dmitrovskoe sh., 46, bld. 2, Moscow, 127238, Russian Federation

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

³ JSC Concern Rosenergoatom Branch for the Implementation of Capital Projects, Lyusinovskaya str., 38, Moscow, 115093, Russian Federation

DESIGN OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH LOOP JOINTS OF REBAR IN ACCORDANCE WITH STATE STANDARD R 70447–2022

Abstract

Introduction. Currently, loop overlapping joints of reinforcing bars are used in reinforced concrete structures. These types of working rebar connections are most widely used in NPP structures for the construction of slabs and walls made of monolithic reinforced concrete. Loop joints in these structures are used to connect adjacent three-dimensional reinforced blocks that are assembled in advance and installed in the design position before concreting. This type of connection leads to an increase in the manufacturability of construction and installation works, as it significantly reduces labor costs on the construction site when installing reinforcement frames.

The relevance of the development of the standard is due to the fact that the current regulatory framework did not contain detailed instructions on the design requirements for such connections. The absence of these provisions led to significant difficulties in the design of such structures, which led to excessive material and time costs.

The aim of the work is to improve the system of urban planning activities in terms of clarifying and supplementing existing regulatory documents on the design of reinforced concrete structures.

Materials and methods. The development of the standard was carried out taking into account modern requirements, as well as an analysis of the results of recent scientific research. Additionally, the practical domestic experience of using loop joints in the construction of nuclear power facilities was analyzed.

Results. The result of the work is the State Standard R 70447-

2022 standard, the provisions of which include new calculation methods, as well as clarifications of existing calculation and design methods, and updated requirements. The draft standard passed public discussions, as well as the necessary expertise and was put into effect.

Conclusions. The standard State Standard R 70447-2022 "Reinforced concrete structures with loop joints of reinforcement for nuclear power facilities" has been developed, the provisions of which will allow developing reliable structural solutions for such structures, including achieving a certain economic effect. At the same time, certain areas for improving the provisions of this standard are noted.

Keywords: reinforced concrete, structures, loop joints of reinforcement, objects of atomic energy use, design, calculation

For citation: Avdeev K.V., Bolgov A.N., Zenin S.A., Martyanov K.V. Design of reinforced concrete structures with loop joints of rebar in accordance with State Standard R 70447-2022. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 4 (618), pp. 18–27. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4\(618\)-18-27](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4(618)-18-27)

Author contribution statements

Avdeev K.V., Bolgov A.N., Zenin S.A., Martyanov K.V. – development of the standard.

Funding

Financing was provided at the expense of JSC EC "ACE".

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 10.07.2023

Revised 17.08.2023

Accepted 24.08.2023

Введение

Актуальность разработки стандарта по проектированию железобетонных конструкций с петлевыми стыками для объектов использования атомной энергии (далее – ОИАЭ) обусловлена тем, что в действующей нормативной базе отсутствовали детальные указания по конструктивным требованиям к такого рода соединениям.

Отсутствие указанных положений приводило к существенным затруднениям при проектировании таких конструкций, что приводило к излишним материальным и временным затратам.

Целью работы является совершенствование системы градостроительной деятельности в части уточнения и дополнения действующих нормативных документов по проектированию железобетонных конструкций.

Материалы и методы

Разработка ГОСТ Р 70447-2022 [1] выполнялась с учетом современных требований, а также анализа результатов последних научных исследований. Дополнительно был проанализирован практический отечественный опыт применения петлевых стыков в области строительства объектов использования атомной энергии.

Результаты

В 2022 году вышел стандарт ГОСТ Р 70447-2022 [1], касающийся проектирования железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры на ОИАЭ. Данный стандарт был разработан специалистами НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» и АО «ЦНИИПромзданий».

Разработке данного стандарта предшествовала значительная экспериментальная работа [2, 3], в том числе последние исследования [4] касались анализа работы конструкций петлевых стыков арматуры в изгибаемых железобетонных конструкциях при действии малоцикловых и многократно повторяющихся нагрузок (сейсмических нагрузок и выносливости соответственно).

Ниже кратко остановимся на наиболее характерных положениях ГОСТ Р 70447-2022 [1].

Стандарт состоит из десяти разделов, а также библиографии. Область применения стандарта, приведенная в его первом разделе, включает в себя требования к конструированию и расчету плоскостных железобетонных конструкций с петлевыми стыками стержневой арматуры (стены и плиты) для зданий и сооружений объектов использования атомной энергии. При этом также имеются отдельные ограничения, в частности, стандарт не распространяется на предварительно напряженные железобетонные конструкции с петлевыми стыками арматуры для зданий и сооружений ОИАЭ, а также на железобетонные конструкции, рассчитываемые на воздействия однократных аварийных нагрузок высокой интенсивности (воспринимающих непосредственное воздействие от падения самолета и т. п.).

Второй, третий и четвертый разделы стандарта включают в себя перечень ссылочных нормативных документов, перечень необходимых для работы со стандартом терминов и их определений, а также обозначения величин, применяемых в стандарте.

Пятый раздел стандарта содержит общие положения по проектированию железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры. Раздел 6 стандарта «Требования к строительным материалам» состоит из двух подразделов, содержащих требования к бетону и арматуре.

Одним из наиболее интересных является раздел 7 стандарта «Конструктивные решения железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры». В нем содержатся различные принципиальные конструктивные решения петлевых стыков, а также отмечены особенности их работы.

В соответствии со стандартом железобетонные конструкции с петлевыми стыками арматуры при сопряжении отдельных конструктивных элементов в зависимости от принятой конструкции могут воспринимать продольные и поперечные силы, а также изгибающие и крутящие моменты.

Основными характеристиками петлевых стыков стержневой арматуры в железобетонных конструкциях являются: форма очертания бетонного ядра петлевого стыка арматуры, количество стыкуемых конструктивных элементов, количество рядов арматуры у растянутых и сжатых граней железобетонной конструкции, взаимное размещение арматурных петель в стыке, наличие армирования бетонного ядра петлевого стыка.

По форме очертания бетонного ядра петлевого стыка арматуры различают стыки с бетонным ядром овального очертания и с бетонным ядром полигонального (прямоугольного) очертания (рис. 1).

Стыки имеют горизонтальную прямую вставку длиной s_n (рис. 1а, б).

Количество стыкуемых железобетонных конструктивных элементов, армирование которых соединяется при помощи петлевых стыков, зависит от принимаемых конструктивных решений и составляет, как правило, от двух до четырех элементов.

По количеству рядов арматуры у растянутых и сжатых граней железобетонных конструкций петлевые стыки стержневой арматуры проектируют одно- или двухрядными. При однорядном армировании предусматривают по одному ряду арматуры у растянутой и сжатой граней железобетонной конструкции (рис. 1). При двухрядном армировании устанавливают по два ряда арматуры у растянутой (наименее сжатой) и сжатой граней железобетонной конструкции. При этом петлевые стыки могут иметь одно либо два бетонных ядра, сформированных петлями (рис. 2).

Расположение арматурных петель в железобетонных конструкциях принимают попарным (рис. 3) с учетом дополнительных требований, приведенных ниже.

Исходя из конструктивных соображений в бетонном ядре петлевого стыка арматуры в железобетонных конструкциях, подверженных знакопеременным или динамическим воздействиям, может быть дополнительно предусмотрена установка продольной арматуры (рис. 4).

Дополнительная продольная арматура, устанавливаемая в бетонном ядре петлевых стыков арматуры, у открытых торцевых поверхностей, должна быть заанкерена за крайнюю продольную арматуру путем установки Г-образных или П-образных стержней продольной арматуры.

Раздел 8 стандарта содержит требования по конструированию железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры.

Согласно разделу 8 стандарта минимальный диаметр оправки арматурных стержней для образования петель принимают в соответствии с требованиями СП 63.13330.2018 [5].

Значение длины линейного петлевого стыка арматуры $D + c_n$ с овальным очертанием бетонного ядра (рис. 5а) принимают согласно СП 63.13330.2018 [5] как требуемую расчетную длину зоны анкеровки стержней ненапрягаемой арматуры l_{an} с учетом ее снижения за счет анкерирующих устройств.

Длину прямой вставки c_n в линейных петлевых стыках принимают не менее $10d_s$. Фактическое значение длины линейного петлевого стыка арматуры $D + c_n$ принимают не менее чем $0,7l_{an}$. При установке в зоне петлевого стыка поперечной арматуры, отвечающей дополнительным требованиям по сварке, длину линейного петлевого стыка допускается снижать, принимая ее не менее $0,5l_{an}$ (рис. 5б).

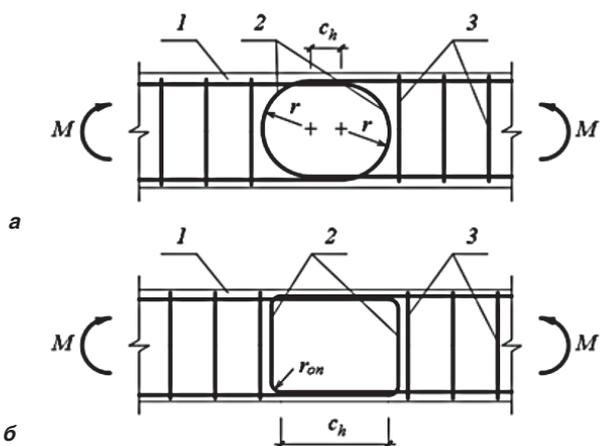


Рис. 1. Формы очертания бетонного ядра петлевых стыков арматурных стержней:
а – ядро овального очертания; б – ядро прямоугольного очертания;
1 – железобетонная конструкция; 2 – петля продольной арматуры; 3 – поперечная арматура

Fig. 1. The shapes of the outlines of the concrete core of the loop joints of reinforcing bars:
а – the core of an oval shape; б – the core of a rectangular shape;
1 – reinforced concrete structure; 2 – loop of longitudinal reinforcement; 3 – transverse reinforcement

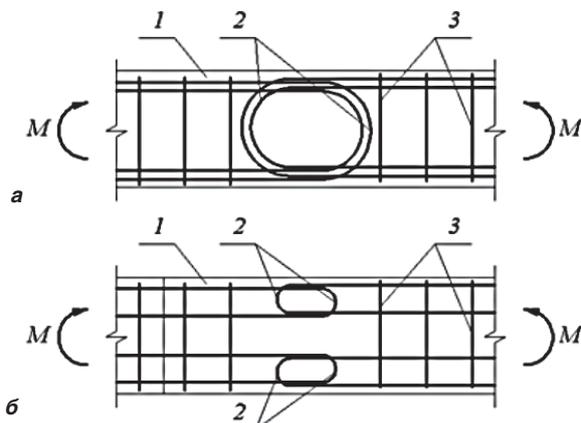


Рис. 2. Возможные варианты количества бетонных ядер петлевых стыков арматурных стержней при двухрядном армировании:
а – одноядерное армирование; б – двухядерное армирование;
1 – железобетонная конструкция; 2 – петля продольной арматуры; 3 – поперечная арматура

Fig. 2. Possible options for the number of concrete cores of loop joints of reinforcing rods with double-row reinforcement:
а – single-core reinforcement; б – dual-core reinforcement;
1 – reinforced concrete structure; 2 – loop of longitudinal reinforcement; 3 – transverse reinforcement

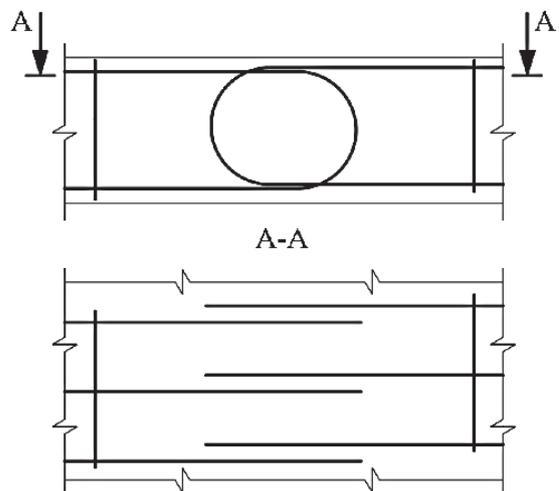


Рис. 3. Петлевые стыки по взаимному размещению арматурных петель в железобетонных конструкциях

Fig. 3. Loop joints for the mutual placement of reinforcement loops in reinforced concrete structures

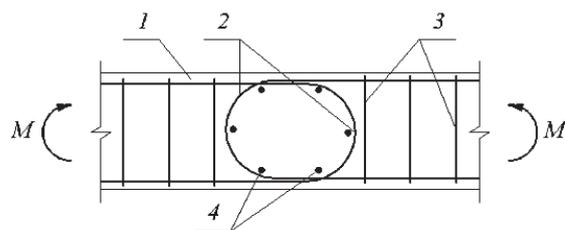


Рис. 4. Железобетонная конструкция с армированием бетонного ядра петлевого стыка арматуры:

1 – железобетонная конструкция; 2 – петля продольной арматуры; 3 – поперечная арматура; 4 – дополнительная продольная арматура в бетонном ядре

Fig. 4. Reinforced concrete structure with reinforcement of the concrete core of the loop joint of the reinforcement:
1 – reinforced concrete structure; 2 – loop of longitudinal reinforcement; 3 – transverse reinforcement; 4 – additional longitudinal reinforcement in the concrete core

Для линейного петлевого стыка арматуры с бетонным ядром полигонального (прямоугольного) очертания длину стыка назначают, принимая вместо D диаметр оправки стержня.

Максимальное расстояние между смежными петлями должно быть таким, чтобы встречные петли в стыке располагались с расстоянием между ними в свету не более $5d_s$ (рис. 6). Здесь можно отметить, что на аналогичном рисунке нового стандарта была допущена неточность, которая будет исправлена при выпуске изменения к нему. Решения стыков следует выполнять согласно тексту соответствующего пункта стандарта, отраженному на рис. 6.

Допускается принимать максимальное расстояние в свету между встречными петлями в линейном петлевом стыке, равное $8d_s$, при диаметре рабочей арматуры 16 мм и менее, при этом минимальную длину прямой вставки умножают на коэффициент 1,6.

Для исключения выкалывания бетона вследствие краевого эффекта следует предусматривать специальные конструктивные мероприятия. В частности, петлевые стыки, расположенные у свободных краев железобетонных конструкций, рекомендуется заменять на сплошную арматуру такого же диаметра и класса.

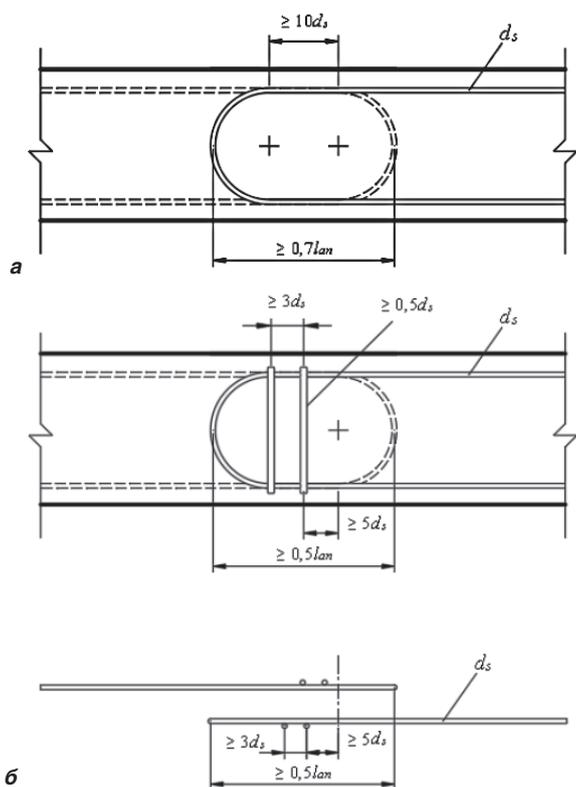


Рис. 5. Конструктивные требования к линейному петлевому стыку арматуры:

а – без поперечной арматуры; б – с поперечной арматурой

Fig. 5. Design requirements for the linear loop joint of the reinforcement:

a – without transverse reinforcement; б – with transverse reinforcement

В зоне линейного петлевого стыка арматуры рекомендуется предусматривать установку не менее двух стержней поперечной арматуры в пределах прямой вставки петлевого стыка путем приварки поперечной арматуры к каждой из петель стыка. Сварное крестовое соединение продольной и поперечной арматуры стыка следует выполнять по типу К1-Кт ГОСТ 14098-2014 [6], соблюдающим требования к соединениям нормированной прочности согласно ГОСТ Р 57997-2017 [7]. Диаметр поперечной арматуры принимают не менее 0,5 диаметра арматуры петлевого стыка. При использовании арматуры петлевого стыка диаметром 36 и 40 мм допускается применение поперечной арматуры диаметром 16 мм.

Девятый раздел стандарта «Требования к выполнению расчета железобетонных конструкций с петлевыми стыками стержневой арматуры на статические воздействия» состоит из трех подразделов: общие требования, а также требования по расчету по предельным состояниям первой и второй групп.

В зависимости от конструкции петлевого стыка арматуры, действующих усилий и напряженного состояния бетонного ядра петлевого стыка арматуры при выполнении расчетов железобетонных конструкций с петлевыми стыками стержневой арматуры по первой группе предельных состояний следует рассматривать четыре формы разрушения и соответствующие им расчетные формы разрушения стыков, приведенные в таблице.

На основании выполнения расчетов по приведенным формам разрушения параметры стыка принимают по наименьшей несущей способности.

Направление усилий и схемы магистральных трещин (рис. 7, 8) принимают в зависимости от конструкции петлевого стыка стержневой арматуры.

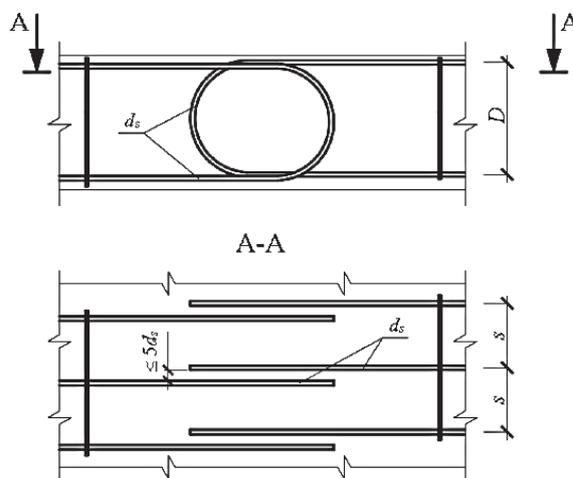


Рис. 6. Требование к расстоянию между петлями

Fig. 6. The requirement for the distance between the loops

Формы разрушения бетонного ядра петлевого стыка
Forms of destruction of the concrete core of the loop joint

Обозначение формы разрушения	Формы разрушения	Тип стыка*	Расчетные формы разрушения стыков
А	Раскалывание ядра под петлями	Л-1	А или Б – на раскалывание ядра под петлями и на срез по наклонным сечениям (в зависимости от шага петель)
Б	Срез ядра по наклонным площадкам от вторичных поперечных сил	Л-2	Б, В** и Г – на срез по наклонным сечениям, кручение и на анкерующую способность
В	Сдвиг ядра от кручения	У-1	Б, В** и Г – на срез по наклонным сечениям, кручение и на анкерующую способность
Г	Потеря анкерующей способности петлевых выпусков с образованием шарнира пластичности	У-2	А и Г – на кручение и на анкерующую способность

* Типы стыков см. на рис. 7 и 8.

** Форму разрушения учитывают для железобетонных конструкций, испытывающих динамические воздействия и претерпевающих попеременное растяжение на противоположных гранях.

Расчет на раскалывание бетона под петлями по форме разрушения А (рис. 9) выполняют исходя из условия

$$N_{cl1} \geq N_s, \quad (1)$$

где N_{cl1} – несущая способность бетонного ядра петлевого стыка при раскалывании, кгс;

N_s – усилие в одном арматурном стержне при однорядном армировании или суммарное усилие в двух параллельных арматурных стержнях при двухрядном одноядерном армировании, кгс.

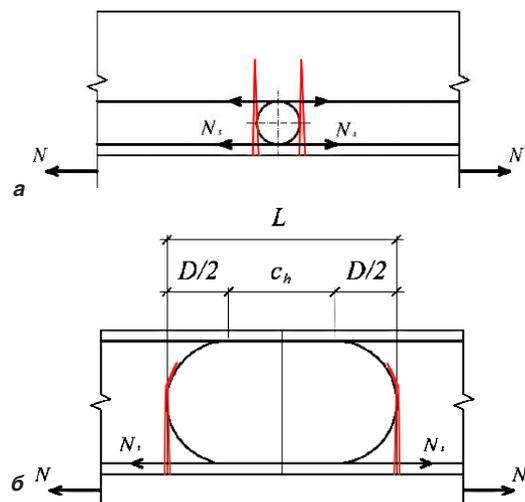


Рис. 7. Схемы передачи усилий и положения магистральных трещин в линейных петлевых стыках: а – тип Л-1 – петлевой стык с двумя рядами арматуры у растянутой грани; б – тип Л-2 – петлевой стык-перепуск с одним рядом арматурных сеток у растянутой и сжатой грани

Fig. 7. Schemes of force transmission and the position of main cracks in linear loop joints: а – L-1 type – loop joint with two rows of reinforcement at the stretched face; б – L-2 type – loop joint-bypass with one row of reinforcement grids at the stretched and compressed faces

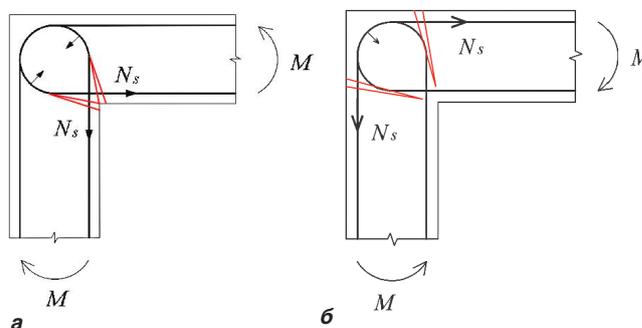


Рис. 8. Схемы передачи усилий и положения магистральных трещин в угловых петлевых стыках:

а – тип У-1 – угловой стык с растянутой внутренней гранью; б – тип У-2 – угловой стык со сжатой внутренней гранью

Fig. 8. Schemes of force transmission and the position of main cracks in angular loop joints:

а – type U-1 – angular joint with a stretched inner face; б – type U-2 – angular joint with a compressed inner face

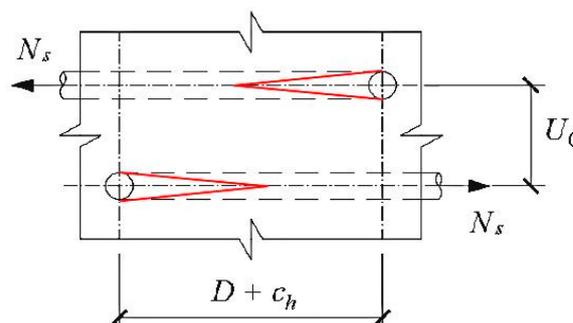


Рис. 9. Схема усилий и характер трещинообразования при раскалывании ядра петлевого стыка под петлями (ломаными линиями обозначены возникающие трещины)

Fig. 9. The scheme of forces and the nature of cracking when splitting the core of the loop joint under the loops (broken lines indicate the cracks that occur)

Несущую способность бетонного ядра петлевого стыка при раскалывании N_{cl1} определяют по формуле

$$N_{cl1} = \left[2,3 \left(\frac{U_0}{D + c_h} \right)^2 + 1,3 \right] \times S_{cl} \times k_c \times R_{bt}, \quad (2)$$

где U_0 – расстояние в осях между смежными стержнями рабочей арматуры в зоне петлевого стыка;

c_h – длина горизонтальной прямой вставки, см;

S_{cl} – площадь бетонного ядра петлевого стыка, см², определяемая по формуле

$$S_{cl} = 0,25\pi \times D^2 + c_h \times (D + c_v) + c_v \times D, \quad (3)$$

где c_v – длина вертикальной прямой вставки в петлевом стыке, см;

D – диаметр бетонного ядра петлевого стыка, принимаемый по минимальному диаметру петли продольной арматуры, см. Для петлевого стыка арматуры с бетонным ядром полигонального (прямоугольного) очертания принимают вместо D диаметр оправки стержня;

k_c – коэффициент, учитывающий повышение прочности бетонного ядра петлевого стыка в зависимости от его армирования:

– в стыке типа Л1:

$$k_c = 1 + 0,125 \times \frac{A_c}{A_s} \leq 1,5, \quad (4)$$

где A_s – площадь сечения одного стержня рабочей арматуры, см²;

A_c – площадь сечения всех стержней, армирующих бетонное ядро петлевого стыка, см²;

– в стыке-перепуске типа Л2 и в угловых стыках-перепусках типа У1 и У2:

$$k_c = 1 + \frac{4 \times A_c}{\pi \times D^2} \times \frac{E_s}{E_b} \leq 1,5, \quad (5)$$

где E_s – модуль упругости арматуры, кгс/см²;

E_b – начальный модуль упругости бетона при сжатии и растяжении, кгс/см².

При двухрядном одноядерном армировании значение R_{bt} принимают согласно СП 63.13330.2018 [5] с учетом коэффициента условий работы 0,95.

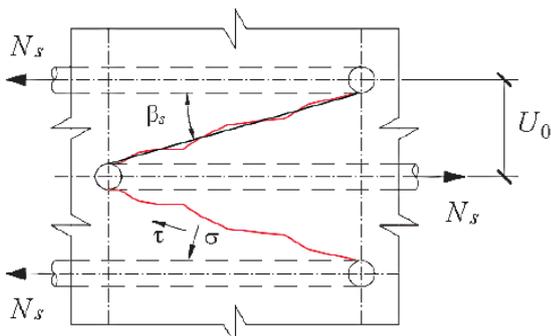


Рис. 10. Схема усилий и характер трещинообразования при срезе по наклонным сечениям (ломаными линиями обозначены возникающие трещины)

Fig. 10. The scheme of forces and the nature of cracking when cutting along inclined sections (broken lines indicate the cracks that occur)

Расчет петлевых стыков по форме разрушения Б (рис. 10) выполняют исходя из условия

$$N_{cl2} \geq N_s, \quad (6)$$

где N_{cl2} – несущая способность бетонного ядра петлевого стыка при срезе, кгс;

N_s – то же, что в (1).

Несущую способность бетонного ядра петлевого стыка при срезе N_{cl2} определяют по формуле:

$$N_{cl2} = \gamma_l \times S_s \times k_c \times ([\tau] \times \cos\beta_s + [\sigma] \times \sin\beta_s), \quad (7)$$

где γ_l – коэффициент, учитывающий особенности распределения напряжений по сечению бетонного ядра петлевого стыка:

– для стыка типа Л1: $\gamma_l = 1$,

– в стыке-перепуске типа Л2: $\gamma_l = 0,9$,

– в угловых стыках-перепусках типа У1 и У2: $\gamma_l = 1,1$;

β_s – угол среза (рис. 10), определяемый по формуле

$$\beta_s = \arctg \frac{U_0 - d_s}{D + c_h}, \quad (8)$$

S_s – площадь наклонного сечения, см², определяемая по формуле

$$S_s = \frac{S_{cl}}{\cos\beta_s}, \quad (9)$$

где S_{cl} – площадь бетонного ядра петлевого стыка, определяемая по формуле (7);

$[\sigma]$ – средние нормальные напряжения в наклонном сечении, кгс/см²:

$$[\sigma] = \frac{1,35R_{bt}}{1 - k_R + 2 \times \sqrt{k_R} \times \text{ctg}\beta_s}, \quad (10)$$

где

$$k_R = \frac{R_{bt}}{R_b}, \quad (11)$$

$[\tau]$ – средние касательные напряжения в наклонном сечении:

$$[\tau] = [\sigma] \times \text{ctg}\beta_s. \quad (12)$$

Расчет по форме разрушения В выполняют исходя из условия

$$D_k \geq D_{req}, \quad (13)$$

где D_k – диаметр эквивалентного кругового бетонного ядра петлевого стыка, определяемый по формуле

$$D_k = 2 \sqrt{\frac{S_{cl}}{\pi}}, \quad (14)$$

D_{req} – требуемый диаметр бетонного ядра петлевого стыка, определяемый по формуле

$$D_{req} = k \times d_s \times \sqrt{\frac{R_s}{R_b}}, \quad (15)$$

где $k = 2,58$ – для линейного стыка-перепуска;

$k = 1,72$ – для углового стыка-перепуска.

Имеются отдельные уточнения при двухрядном одноядерном армировании.

Расчет по форме разрушения Г выполняют исходя из условия

$$D_k \geq D_{req}, \quad (16)$$

где D_k – диаметр эквивалентного кругового бетонного ядра петлевого стыка, определяемый по формуле (14).

Требуемый диаметр бетонного ядра петлевого стыка D_{req} определяют по формуле

$$D_{req} = \frac{0,5 \times R_s \times d_s}{\pi \times R_{bond3}}, \quad (17)$$

где R_{bond3} – среднее сопротивление сцепления арматуры с бетоном по криволинейному анкеру, кгс/см², определяемое по формуле

$$R_{bond3} = \eta_3 \times R_{bt}, \quad (18)$$

где η_3 – коэффициент, учитывающий влияние диаметров петли и арматуры и определяемый по формуле

$$\eta_3 = 5,7 - 0,12 \times \frac{D}{d_s}. \quad (19)$$

Если $D_{req} > D_k$, длину прямой вставки c_h в стыках с бетонным ядром овального очертания принимают не менее чем

$$c_h = \frac{0,25 \times R_s \times d - 0,5 \times \pi \times D \times R_{bond3}}{\eta_1 \times R_{bt}}, \quad (20)$$

где η_1 – коэффициент, учитывающий влияние вида поверхности арматуры, определяемый согласно СП 63.13330.2018 [5].

В полигональных (прямоугольных) стыках в зависимости (20) левую часть принимают равной $c_h + c_v$.

В угловых петлевых соединениях, в которых увеличение прямой вставки конструктивно невозможно, прочность соединения рекомендуется увеличивать за счет:

- повышения класса бетона по прочности на сжатие;

- увеличения бетонного ядра петлевого стыка (переход на форму петли типа «лампочка» при соединении железобетонных конструктивных элементов с разной толщиной/высотой сечения);

- применения конструктивного передаточного элемента, армирования бетонного ядра петлевого стыка.

Расчеты железобетонных конструкций с петлевыми стыками стержневой арматуры по второй группе предельных состояний включают выполнение:

- расчетов по образованию трещин, которые следует проводить так же, как для монолитных конструкций по СП 63.13330.2018 [5] для проверки необходимости учета трещин при расчете по деформациям;

- расчетов по раскрытию трещин исходя из условия, согласно которому ширина раскрытия трещин в стыке от различных нагрузок и воздействий не должна превышать предельно допустимых значений, устанавливаемых в зависимости от требований, предъявляемых к конструкции, от условий ее эксплуатации, воздействия окружающей среды и характеристик материалов с учетом особенностей коррозионного поведения арматуры и бетона;

- расчетов по деформациям, которые следует производить как для монолитных железобетонных конструкций по СП 63.13330.2018 [5] из условия, по которому перемещения и амплитуды колебаний конструкции от различных нагрузок и воздействий не должны превышать соответствующих предельно допустимых значений, при превышении которых нарушается нормальная эксплуатация железобетонных конструкций или исчерпывается ресурс их долговечности.

Для железобетонных конструкций с угловыми и линейными петлевыми стыками стержневой арматуры ширину раскрытия нормальных трещин a_{crc} , см, определяют по формуле

$$a_{crc} = \left[\left(0,062 \frac{d_s}{R_{bt,n}} \times \sigma_{s,crc} + 0,5 \times D \right) \times \Psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} + 0,25 \times \Psi'_s \frac{\sigma'_s}{E_s} \times c + 1,56 \times \frac{d^2}{U_0} \times \frac{\sigma'_{b,r}}{E_{b,r}} \right], \quad (21)$$

где $\sigma_{s,crc}$ – напряжение в растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин, кгс/см², согласно СП 63.13330.2018 [5];

σ_s – напряжение в растянутой арматуре в сечении с трещиной при действии рассматриваемой нагрузки, кгс/см², согласно СП 63.13330.2018 [5];

Ψ_s – коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами, принимаемый согласно СП 63.13330.2018 [5];

Ψ'_s – коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами в зоне прямой вставки с двойным армированием, принимаемый согласно СП 63.13330.2018 [5];

$E_{b,r}$ – модуль деформации бетона при продолжительном действии нагрузки, кгс/см², принимаемый согласно СП 63.13330.2018 [5];

σ'_s – напряжение в арматуре в начале криволинейного участка петлевого выпуска, кгс/см², определяемое по формуле

$$\sigma'_s = \sigma_s \times \left(1 - \frac{0,25c_h}{l_{0,an}} \right), \quad (22)$$

где $l_{0,an}$ – базовая (основная) длина анкеровки арматуры, см, определяемая согласно СП 63.13330.2018 [5].

Десятый раздел стандарта включает в себя требования к выполнению расчета железобетонных конструкций с петлевыми стыками стержневой арматуры на динамические воздействия. В общем случае расчет выполняют по указаниям разделов 8 и 9 стандарта с учетом требований СП 14.13330.2018 [8], НП-031-01 [9], СП 63.13330.2018 [5]. При этом в качестве динамических воздействий рассматривают только малоцикловые воздействия (сейсмические), а также многоцикловые воздействия (выносливость) на железобетонные конструкции с петлевыми стыками арматуры.

Выводы

Разработан стандарт ГОСТ Р 70447-2022 «Железобетонные конструкции с петлевыми стыками арматуры для объектов использования атомной энергии», положения которого позволят разрабатывать надежные конструктивные решения таких конструкций, в том числе с достижением определенного экономического эффекта.

Как видно, ГОСТ Р 70447-2022 [1] содержит достаточно детальные указания по расчету и конструированию железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры. В основу данного стандарта, как указывалось выше, легли научные исследования [2–5].

Учитывая перспективу применения конструкций петлевых стыков арматуры в железобетонных конструкциях, представляется целесообразным выполнить ряд экспериментальных исследований с целью верификации расчетных методик стандарта [1] для внецентренно сжатых железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры. В настоящее время в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева проводятся такие исследования. Наряду со снижением трудозатрат на устройство арматурного каркаса это также позволит обеспечить необходимую надежность и механическую безопасность конструкций, включая достоверность теоретической методики расчета. Дополнительно к вышеуказанным исследованиям в АО «ЦНИИПромзданий» продолжаются исследования по определению влияния краевых зон элементов для уточнения конструктивных требований стандарта. Отдельно следует отметить, что расчетные методики стандарта [1] обладают существенной эмпирикой, в расчетных методах присутствует значительное количество условных коэффициентов, учитывающих различные факторы и сближающие опытные данные с теоретическими. При накоплении достаточного количества опытных данных в дальнейшем представляется возможным в ряде случаев упростить расчетные методики стандарта для их практического инженерного применения.

Список литературы

- ГОСТ Р 70447-2022. Железобетонные конструкции с петлевыми стыками арматуры для объектов использования атомной энергии. Требования к конструированию и расчету.
- Николаев В.Б., Рубин О.Д., Селезнев С.В. Расчет прочности и конструирование петлевых стыков сборных элементов // *Бетон и железобетон*. 1987. № 1. С. 38–40.
- Николаев В.Б., Горбов В.А., Белов А.А., Климов Е.А., Лисичкин С.Е. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций АЭС с модифицированными петлевыми стыками на крупномасштабных железобетонных моделях балочного типа // *Безопасность энергетических сооружений*. 2016. № 1. С. 66–81.
- Авдеев К.В., Мамин А.Н., Бобров В.В., Бамматов А.А., Квасников А.А., Мартыанов К.В., Пугачев Б.А. Испытания элементов железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры // *Промышленное и гражданское строительство*. 2023. № 6. С. 24–30. DOI: <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2023.06.24-30>
- СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.
- ГОСТ 14098-2014. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры.
- ГОСТ 57997-2017. Арматурные и закладные изделия сварные, соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Общие технические условия.
- СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*.
- Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. НП-031-01. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций.

References

- State Standard R 70447-2022. Reinforced concrete structures with loop joints of reinforcement for nuclear power facilities. Requirements for design and calculation. (In Russian).
- Nikolaev V.B., Rubin O.D., Seleznev S.V. Strength calculation and construction of loop joints of prefabricated elements. *Beton i Zhelezobeton*. 1987, no. 1, pp. 38–40. (In Russian).
- Nikolaev V.B., Gorbov V.A., Belov A.A., Klimov E.A., Lisichkin S.E. Experimental studies of reinforced concrete structures of nuclear power plants with modified loop joints on large-scale reinforced concrete models of beam type. *Safety of energy facilities*. 2016, no. 1, pp. 66–81. (In Russian).
- Avdeev K.V., Mamin A.N., Bobrov V.V., Bammатов A.A., Kvasnikov A.A., Martyanov K.V., Pugachev B.A. Testing of Elements of Reinforced Concrete Structures With Looped Joints of Reinforcement. *Proyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2023, no. 6, pp. 24–30. (In Russian). <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2023.06.24-30>
- SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003. (In Russian).
- State Standard 14098-2014. Welded joints of reinforcement and inserts for reinforced concrete structures. Types, constructions and dimensions. (In Russian).
- State Standard 57997-2017. Welded reinforcing products and inserts, welded joints of reinforcement and inserts for reinforced concrete structures. General specifications. (In Russian).

8. SP 14.13330.2018. Seismic building design code. Updated version of SNiP II-7-81*. (In Russian).

9. Federal norms and rules in the field of the use of atomic energy. NP-031-01. Standards for the design of aseismic nuclear power plants. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Кирилл Владимирович Авдеев, заместитель генерального директора – главный инженер ЦНИИПромзданий, Москва
e-mail: 6136133@mail.ru

Kirill V. Avdeev, Deputy General Director – Chief Engineer, TSNIIPromzdaniy, Moscow
e-mail: 6136133@mail.ru

Андрей Николаевич Болгов, канд. техн. наук, заведующий лабораторией № 2 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: 200651@mail.ru

Andrey N. Bolgov, Cand. Sci. (Engineering), Head of Laboratory No. 2, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: 200651@mail.ru

Сергей Алексеевич Зенин ✉, канд. техн. наук, заведующий лабораторией № 2 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: lab01@mail.ru

Sergey A. Zenin ✉, Cand. Sci. (Engineering), Head of Laboratory No. 2, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: lab01@mail.ru

Кирилл Владимирович Мартьянов, начальник отдела филиала АО «Концерн Росэнергоатом» по реализации капитальных проектов, Москва

e-mail: martyanov-kv@rosenergoatom.ru

Kirill V. Martyanov, Head of the Department, JSC Concern Rosenergoatom Branch for the Implementation of Capital Projects, Moscow
e-mail: martyanov-kv@rosenergoatom.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.

В.П. БЛАЖКО^{1,✉}, Л.Н. СМИРНОВА²

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

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

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ СБОРНО–МОНОЛИТНОГО ЗДАНИЯ ДЛЯ ЗАВОДОВ ЖБИ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

Аннотация

Введение. В статье рассматривается инновационная конструктивная система КПСМ (каркас пространственный сборно-монолитный) в части ее практической реализации на предприятиях, производящих сборные железобетонные конструкции. В частности, имеются в виду заводы малой мощности, расположенные в регионах и не располагающие развитой технологической базой. Внедрение КПСМ на этих предприятиях позволит организовать выпуск изделий для строительства объектов соцкультбыта, а также жилых зданий в обычных и сейсмоактивных районах. Конструктивная система состоит из Н-образных рам, расположенных ортогонально друг другу и связанных между собой по высоте монолитными вставками, а по горизонтали – стяжками. Перекрытия сборные из полнотелых железобетонных плит, соединяемых между собой через закладные детали с помощью сварки. Возможно применение многпустотного настила. Ограждающие конструкции из мелкоштучных элементов либо навесных панелей на каркасе с эффективным утеплителем.

Н-образные рамы располагаются на сетке осей 6 × 3 м или 6 × 6 м – в случае применения многпустотного настила. Рама изготавливается в горизонтальном положении. Габарит форм по длине не превышает 3 000 мм, в форме изготавливается одна полурама. Габариты полурамы – 2 000 × 3 000 мм. Полурамы имеют арматурные выпуски в ригельной части для последующей укрупнительной сборки. Укрупнительная сборка может производиться на заводе или на стройплощадке в процессе монтажа. Перевозятся изделия в горизонтальном положении бортовыми трейлерами.

Для зданий малоэтажной застройки предусмотрена сейсмозащита с помощью технологии «скользящий фундамент».

Материалы и методы. На основании заданного архитектурно-планировочного решения жилого 4-этажного дома, расположенного в районе г. Прокопьевск, для завода ЖБИ ООО «Промкомбинатъ» в г. Калтане Новокузнецкой области на стадии «концепции» были разработаны схемы расположения рам, плит перекрытий, а также основные технические решения узловых соединений, выполнен расчет здания.

Номенклатура изделий для возведения надземной части дома состоит из 10 позиций: полурама – 2 ед.; плиты перекрытий – 2 ед.; диафрагмы жесткости – 2 ед.; лестничные площадки – 2 ед.; лестничные марши – 2 ед.

Фундамент под здание предусматривается из монолитного бетона с устройством активной сейсмоизоляции в виде скользящего пояса, который устраивается под стойками Н-образных рам. В качестве элемента скольжения рассматривается пара фторопласт Ф-4 – сталь.

Результаты. Дан практический пример реализации инновационной каркасной системы КПСМ на конкретном предприятии.

Выводы. В процессе опытно-конструкторских работ по адаптации каркасной системы КПСМ на заводе ЖБИ получены технические решения для 4-этажного жилого дома, расположенного в районе с сейсмической активностью 8 баллов. Основные несущие элементы каркаса Н-образной рамы и перекрытия изготавливаются в горизонтальных формах, имеющих в наличии у предприятия. Габариты изделий не превышают установленных для перевозки бортовым автотранспортом. Внедрение на предприятии данной системы позволяет наладить в регионе выпуск жилых домов, а также объектов соцкультбыта.

Ключевые слова: каркасная система КПСМ, сейсмоизоляция, агрегатно-поточная технология, транспортировка изделий без применения панелевозов

Для цитирования: Блажко В.П., Смирнова Л.Н. Технические решения сборно-монолитного здания для заводов ЖБИ с ограниченными технологическими возможностями // *Бетон и железобетон*. 2023. № 4 (618). С. 28–35. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4\(618\)-28-35](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4(618)-28-35).

Вклад авторов

Блажко В.П. – основной текст статьи, технические решения.

Смирнова Л.Н. – частично текст статьи, расчетное обоснование принятых технических решений.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 05.07.2023

Поступила после рецензирования 11.08.2023

Принята к публикации 17.08.2023

V.P. BLAZHKO^{1,✉}, L.N. SMIRNOVA²

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

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

TECHNICAL SOLUTIONS OF A PREFABRICATED MONOLITHIC BUILDING FOR REINFORCED CONCRETE PLANTS WITH LIMITED TECHNOLOGICAL CAPABILITIES

Abstract

Introduction. The article discusses the innovative structural system of SPMF (prefabricated monolithic spatial frame) in terms of its practical implementation at enterprises producing precast reinforced concrete structures. In particular, we mean low-capacity plants located in the regions and not having a developed technological base. The introduction of SPMF at these enterprises will allow to organize the production of products for the construction of social and cultural facilities, as well as residential buildings in conventional and seismically active areas. The structural system consists of H-shaped frames arranged orthogonally to each other and interconnected in height by monolithic inserts, and horizontally by ties. The floors are prefabricated from solid reinforced concrete slabs, connected to each other through embedded

parts by welding. It is possible to use multi-hollow flooring. Enclosing structures made of small-piece elements or hinged panels on a frame with effective insulation.

H-shaped frames are located on a grid of axes of 6×3 m or 6×6 m – in the case of multi-hollow flooring. The frame is manufactured in a horizontal position. The size of the molds in length does not exceed 3,000 mm, one half-frame is made in the mold. The dimensions of the half-frame are $2,000 \times 3,000$ mm. The half-frames have rebar outlets in the crossbar part for subsequent enlargement assembly. The consolidation assembly can be carried out at the factory or on the construction site during the installation process. Products are transported in a horizontal position by flatbed trailers.

For low-rise buildings, seismic protection is provided using the "sliding foundation" technology.

Materials and methods. On the basis of a given architectural and planning solution of a residential 4-storey building located in the Prokopyevsk area, for the concrete plant of LLC Promkombinat in Kaltan, Novokuznetsk region, at the "concept" stage, the layout schemes of frames, floor slabs, as well as the main technical solutions of nodal connections were developed, the calculation of the building was carried out.

The range of products for the construction of the above-ground part of the house consists of 10 positions: half-frame – 2 units; floor slabs – 2 units; stiffness diaphragms – 2 units; staircases – 2 units; staircases – 2 units.

The foundation for the building is provided from monolithic concrete with an active seismic isolation device in the form of a sliding belt, which is arranged under the pillars of H-shaped frames. A pair of fluoroplast F-4 – steel is considered as a sliding element.

Results. A practical example of the implementation of an innovative frame system of SPMF at a specific enterprise is given.

Conclusions. During the development work on the adaptation of the SPMF frame system at the precast concrete plant, technical solutions were obtained for a 4-storey residential building located in an area with seismic activity of 8 points. The main load-bearing elements of the H-shaped frame and the ceiling are made in horizontal forms available at the enterprise. The dimensions of the

products do not exceed those established for transportation by flatbed vehicles. The introduction of this system at the enterprise makes it possible to establish the production of residential buildings in the region, as well as social and cultural facilities.

Keywords: SPMF frame system, seismic isolation, aggregate flow technology, transportation of products without the use of panel carriers

For citation: Blazhko V.P., Smirnova L.N. Technical solutions of a prefabricated monolithic building for reinforced concrete plants with limited technological capabilities. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 4 (618), pp. 28–35. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4\(618\)-28-35](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4(618)-28-35)

Author contribution statements

Blazhko V.P. – the main text of the article, technical solutions.

Smirnova L.N. – partially the article text, the calculation justification of the adopted technical solutions.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 05.07.2023

Revised 11.08.2023

Accepted 17.08.2023

В настоящее время во многих регионах РФ техническое состояние заводов по производству сборного железобетона не позволяет наладить выпуск комплектов изделий для строительства жилья на устаревшем или изношенном оборудовании. В то же время в регионах высока потребность в жилье экономкласса для переселения из ветхого и аварийного жилья.

На примере ЖБИ ООО «Промкомбинатъ», расположенного в Кемеровской области, показано, как при ограниченных ресурсах завода можно наладить выпуск комплектов для строительства жилья, чтобы решить такую важную социальную проблему, как обеспечение жильем мало-обеспеченных слоев населения.

ООО «Промкомбинатъ» имеет возможность изготовления изделий по агрегатно-поточной технологии. Могут изготавливаться изделия шириной 3 000 мм и высотой 2 100 мм. Формование плит происходит на вибростолах. Термовлажностная обработка в ямных пропарочных камерах по четыре формы в штабеле. Панелевозов завод не имеет.

Район относится к сейсмически активным – 7, 8 баллов по шкале МКС. В качестве объекта строительства рассмотрено 4-этажное здание длиной 42 м и шириной 12 м. Высота этажа принята равной 2,7 м. Конструктивные решения здания жилого дома приняты в соответствии с объемно-планировочными решениями, с учетом климатических, инженерно-геологических и сейсмических условий площадки строительства. Здание запроектировано в соответствии с требованиями СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» [1], СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» [2], СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции» [3], СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» [4], СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах» [5].

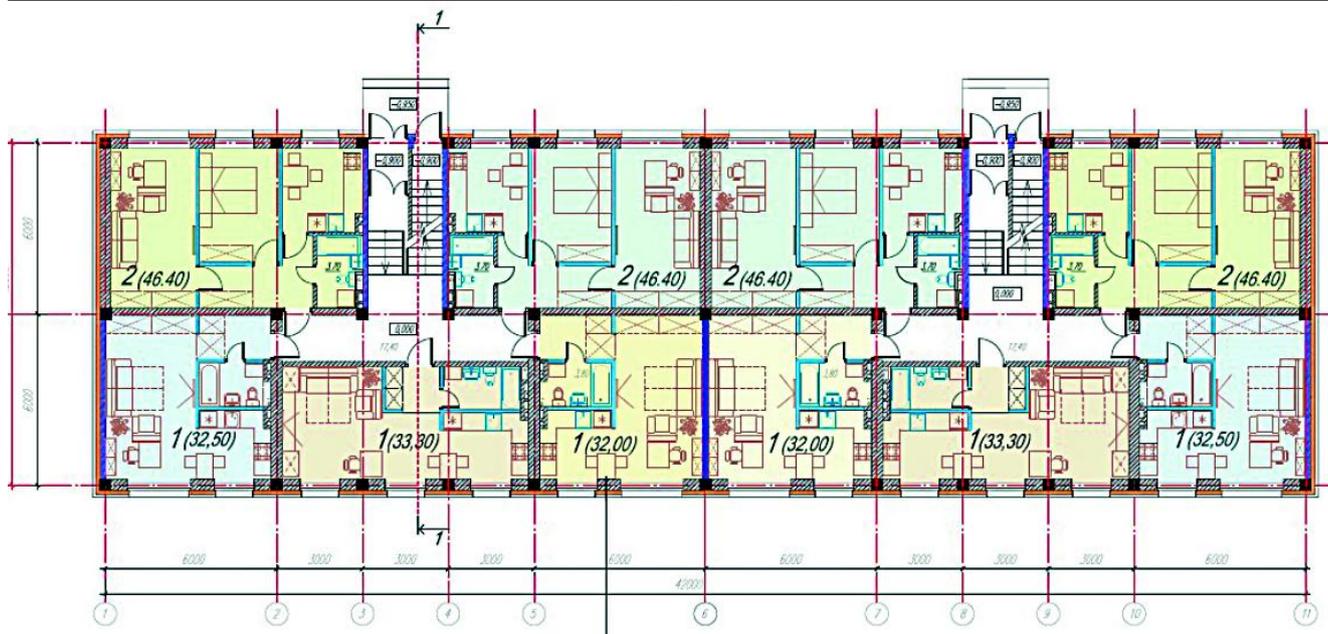
Здание запроектировано с техническим подпольем высотой 2,1 м.

На рис. 1 показан архитектурный план первого этажа, на рис. 2 показан фасад здания.

**Таблица
Table**

**Основные планировочные показатели здания
The main planning indicators of the building**

Наименования	Примечания
Количество этажей	4 (без учета техподполья)
Количество квартир	40 (24 однокомнатных, 16 двухкомнатных)
Площадь застройки	562,0 м ²
Общая площадь квартир	1525,6 м ²
Площадь жилого здания	1939,50 м ²
Строительный объем (отапливаемый)	6829 м ³



**Рис. 1. План первого этажа
Fig. 1. Ground floor plan**

Несущие конструкции здания решены в каркасе пространственном сборно-монолитном (КПСМ). Основа каркаса – несущие Н-образные рамы, расположенные вдоль поперечных строительных осей здания. Шаг осей в направлении цифровых осей – 3 000 мм, в направлении буквенных осей – 6 000 мм. Стойки рам приняты сечением 400 × 400 мм. Ригельная часть – 400 × 400 мм. Длина рамы в сборе – 6 190 мм. Принятые сечения в дальнейшем могут уточняться расчетом.

Рама изготавливается в горизонтальном положении. Поскольку габарит форм по длине не превышает

3 000 мм, в форме изготавливается одна полурама. Габариты полурамы – 2 000 × 3 000 мм. Полурамы имеют арматурные выпуски в ригельной части для последующей укрупнительной сборки. Укрупнительная сборка может производиться на заводе или на стройплощадке в процессе монтажа. На торцевых частях стоек также предусмотрены арматурные выпуски для стыковки полурам по высоте. Для увеличения жесткости каркаса в продольном направлении вдоль фасадов предусматриваются связевые рамы РЗ (рис. 3), к которым крепятся балконные плиты. На рис. 3 показана схема расположе-



Рис. 2. Фасад здания
Fig. 2. The facade of the building



Рис. 3. Схема расположения рам на отм. 0,00
Fig. 3. The layout of the frames at the level of 0,00

ния рам, на рис. 4 показана схема расположения рам и диафрагм жесткости, на рис. 5 показана схема расположения плит перекрытий, на рис. 6 показан поперечный разрез по рамам.

На рис. 7 показана полурама Р1, там же показаны полурамы Р1 в сборе. Сборка полурам в раму осуществляется при помощи сварки арматурных выпусков. Сборка рам по вертикали осуществляется с помощью обжимных муфт.

Транспортировка рам и полурам может осуществляться на трейлерах в горизонтальном положении, так как габарит рам по горизонтали не превышает 2,55 м.

Перекрытия выполнены в виде плит габаритами 3 000 × 2 100 мм и толщиной 120 мм.

Перекрытия укладываются на ригели Н-образных рам и фиксируются с помощью закладных деталей и сварки. В составе каркаса предусматриваются диафрагмы жесткости, которые встраиваются между

стойками и ригелями Н-образных рам. Соединения Н-образных рам с диафрагмами осуществляется также через закладные детали на сварке. Габариты плит перекрытий – 3 000 × 2 100 мм. Опирание плит балочное. Плиты для создания диска жесткости соединяются между собой и ригелями посредством закладных деталей на сварке. Транспортировка плит может осуществляться в горизонтальном положении, так как габариты позволяют это делать. Таким образом, для транспортировки всех элементов каркаса не потребуются панелевозы.

Номенклатура изделий для возведения надземной части дома состоит из 10 позиций:

- полурама – 2 ед.;
- плиты перекрытий – 2 ед.;
- диафрагмы жесткости – 2 ед.;
- лестничные площадки – 2 ед.;
- лестничные марши – 2 ед.

Схема расположения диафрагм жесткостей на отм 0,00

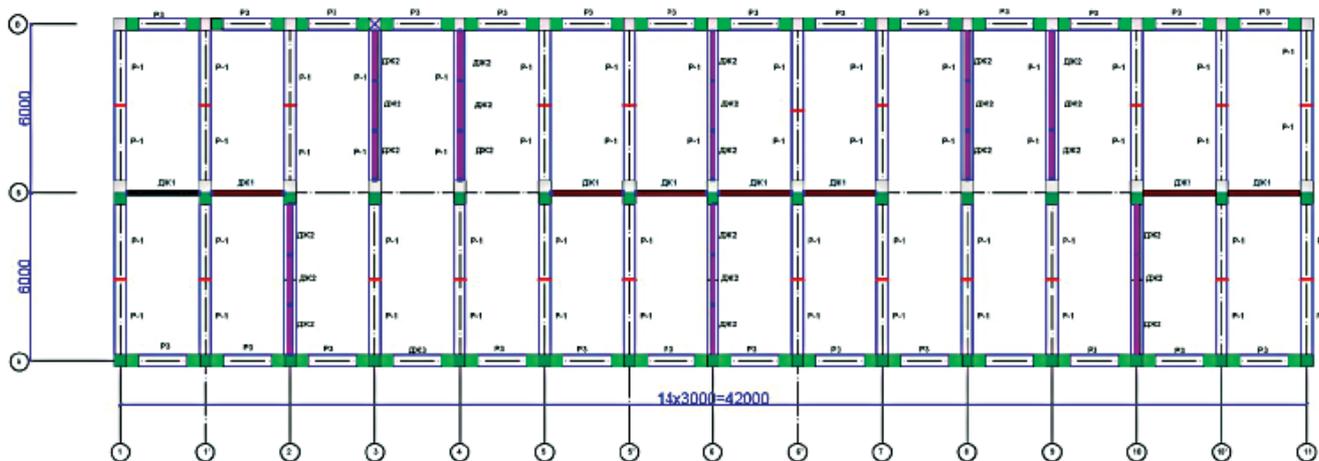


Рис. 4. Схема расположения рам и диафрагм жесткостей на отм. 0,00

Fig. 4. The layout of the frames and rigidity diaphragms at the level of 0,00

Схема расположения плит перекрытий на отм 0,00

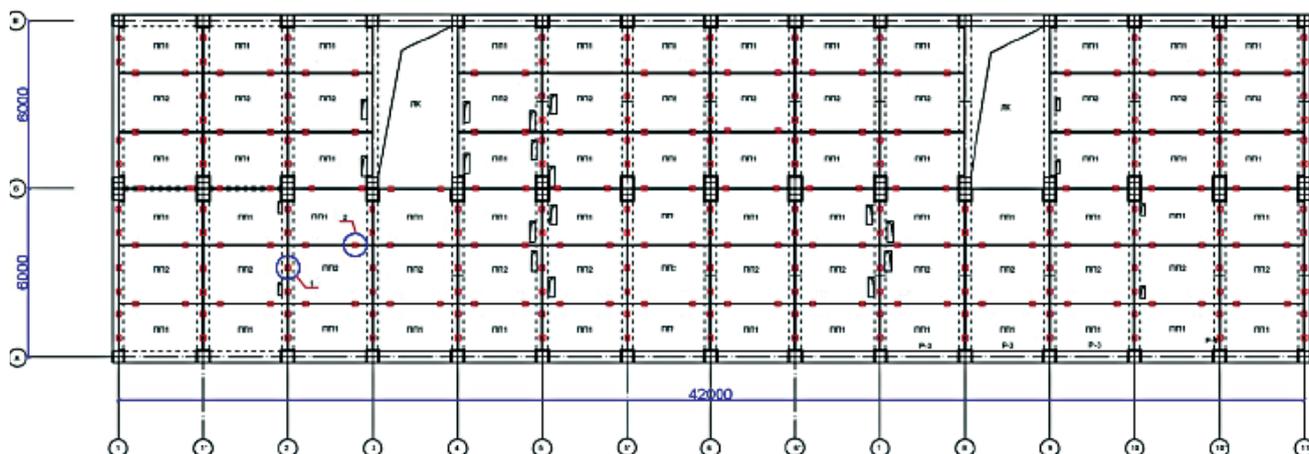


Рис. 5. Схема расположения плит перекрытий на отм. 0,00

Fig. 5. The layout of the floor slabs at the level of 0,00

Фундамент под здание предусматривается из монолитного бетона с устройством активной сейсмоизоляции в виде скользящего пояса, который устраивается под стойками Н-образных рам. В качестве элемента скольжения рассматривается пара фторопласт Ф-4 – сталь. Ограждающими конструкциями в рассмотренной системе может служить мелкоштучный заполнитель с дополнительным утеплением фасада и системой «мокрый фасад». Возможно применение навесных стеновых панелей на каркасе с минераловатным утеплителем.

Таким образом, при весьма ограниченной по возможностям технологии завод может без особых переделок и затрат приступить к изготовлению комплектов жилых домов. Также можно использовать рамы, составленные из двух полурам на сетке осей 6 × 6 м. Только для этого заводу потребуется приобрести на стороне многопустотные плиты стенового формирования пролетом 6 м.

В рассмотренной конструктивной системе сейсмостойкость зданий обеспечивается несущей способностью пространственного каркаса и применением сейсмоизоляции. Учитывая печальные последствия землетрясения в Турции, где преобладающим воздействием была ударная волна, применение сейсмоизоляции в виде скользящих фундаментов вполне оправдано, учитывая тот факт, что стоимость таких фундаментов ниже, а срок службы выше, чем для систем с резинометаллическими амортизаторами. Система скользящих опор органично вписывается в каркасную систему КПСМ, так как стойки в опорной части здания обладают малой гибкостью и устанавливаются непосредственно на фторопластовые пластины.

Список литературы

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
2. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*.
3. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80.
4. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия.
5. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*.
6. Блажко В.П. Каркас сборный из Н-элементов для жилищного строительства // *Жилищное строительство*. 2019. № 10. С. 3–8. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-10-3-8>
7. Аптикаев Ф.Ф., Масляев А.В. Защита жизни и здоровья людей не признается главной целью при возведении зданий в России // *Жилищное строительство*. 2019. № 11. С. 58–64. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-11-58-64>
8. Николаев С.В. Инновационная замена КПД на панельно-монолитное домостроение (ПМД) // *Жилищное строительство*. 2019. № 3. С. 3–10. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-3-3-10>
9. Масляев А.В. Защита жизни и здоровья людей – главная функция зданий и сооружений при землетрясении // *Жилищное строительство*. 2019. № 1–2. С. 69–75. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-69-75>
10. Масляев А.В. О безопасности массовых жилых и общественных зданий при опасных природных воздействиях // *Жилищное строительство*. 2021. № 1–2. С. 40–49. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-1-2-40-49>

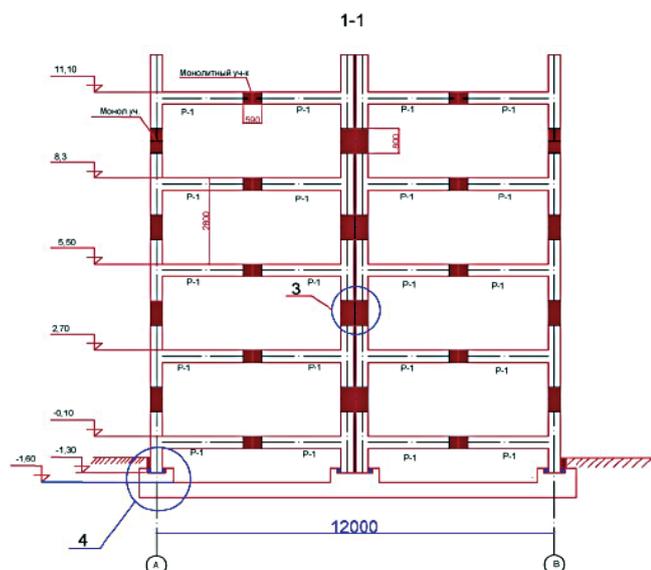


Рис. 6. Схема расположения рам (разрез)
Fig. 6. The layout of the frames (section)

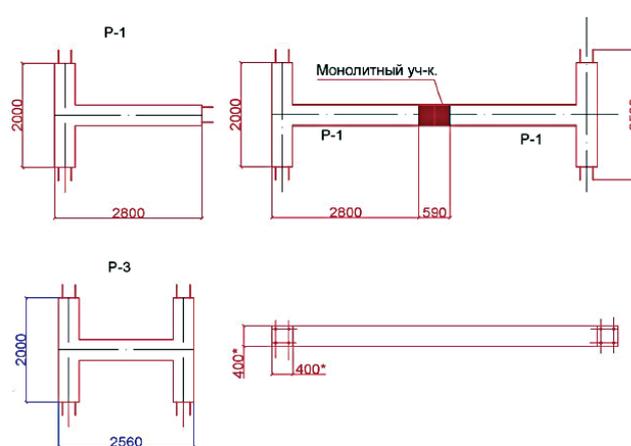


Рис. 7. Полурамы P1, P3, рама P2 (составная)
Fig. 7. Half-frames P1, P3, frame P2 (composite)

11. Казин А.С. Дефицит промышленных мощностей индустриального домостроения – реальная угроза для исполнения государственной программы «Обеспечение жильем граждан России» // *Жилищное строительство*. 2021. № 5. С. 10–13. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-5-10-13>

12. Николаев С.В. Строительство панельно-монолитных домов из домокомплектов заводского производства // *Жилищное строительство*. 2021. № 10. С. 10–16. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-10-10-16>

References

1. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. (In Russian).

2. SP 16.13330.2017. Steel structures. Updated version of SNiP II-23-81*. (In Russian).

3. SP 64.13330.2017. Timber structures. Updated version of SNiP II-25-80. (In Russian).

4. SP 20.13330.2016. Loads and actions. (In Russian).

5. SP 14.13330.2018. Seismic building design code. Updated version of SNiP II-7-81*. (In Russian).

6. Blazhko V.P. Prefabricated frame of H-elements for housing construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019, no. 10, pp. 3–8. (In Russian). <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-10-3-8>

7. Aptikaev F.F., Maslyaev A.V. Protection of life and health of people is not recognized as the main goal in the construction of buildings in Russia. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019, no. 11, pp. 58–64. (In Russian). <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-11-58-64>

8. Nikolaev S.V. Innovative Replacement of Large-Panel Housing Construction by Panel-Monolithic Housing Construction (PMHC). *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019, no. 3, pp. 3–10. (In Russian). <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-3-3-10>

9. Maslyaev A.V. Protection of life and health of people – the main function of buildings and facilities during earthquake. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019, no. 1–2, pp. 69–75. (In Russian). <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-69-75>

10. Maslyaev A.V. About the safety of mass residential and public buildings in case of dangerous natural influences. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021, no. 1–2, pp. 40–49. (In Russian). <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-1-2-40-49>

11. Kazin A.S. The shortage of industrial capacities of industrial housing construction is a real threat to the implementation of the State Program “Providing Housing for Russian Citizens”. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021, no. 5, pp. 10–13. (In Russian). <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-5-10-13>

12. Nikolaev S.V. Construction of panel-monolithic houses from factory-made house kits. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021, no. 10, pp. 10–16. (In Russian). <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-10-10-16>

Информация об авторах / Information about the authors

Владимир Павлович Блашко ✉, канд. техн. наук, заместитель руководителя центра № 21 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: ihtias46@mail.ru

Vladimir P. Blazhko ✉, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Head of Center No. 21, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: ihtias46@mail.ru

Любовь Николаевна Смирнова, канд. техн. наук, ученый секретарь АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: lyubovsmirnova80@gmail.com

Lyubov N. Smirnova, Cand. Sci. (Engineering), Academic Secretary, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: lyubovsmirnova80@gmail.com

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



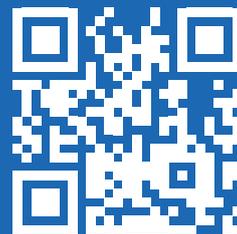
АПРЕЛЬ 2024

II МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОНГРЕСС

Наука. Инновации. Цели. Строительство (МСК-2024)

сайт конгресса

www.forum-cstroy.ru



Е.Ю. БУШНЕВА¹, В.П. РАСТОРОПОВ², С.И. ИВАНОВ^{3,✉}, А.И. ПАСТУХОВ³

¹ АО «БТС-МОСТ», пр-т 60-летия Октября, д. 10А, пом. 1/5,
г. Москва, 117292, Российская Федерация

² ООО «СК «Мостотрест», Правая набережная, д. 10, пом. 15-1,
г. Калининград, 236006, Российская Федерация

³ 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

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИИ ОПОРЫ МОСТА

Аннотация

Введение. В условиях отрицательных температур или при отсутствии возможности оптимизировать состав бетона в период набора прочности бетона монолитных железобетонных конструкций возможно образование термических трещин, ремонт которых требует значительных дополнительных затрат, не предусмотренных перед началом работ.

Цель работы – снижение затрат на ремонт указанных дефектов изготовления в виде доэксплуатационных температурно-усадочных трещин.

Материалы и методы. Снижение затрат было достигнуто за счет назначения нескольких вариантов ухода за бетоном, расчета термонапряженного состояния конструкций для каждого из назначенных вариантов и выбора оптимального варианта ухода за бетоном, обеспечивающего минимальные растягивающие напряжения, приводящие к появлению в конструкциях температурно-усадочных трещин, с наименьшим количеством, шириной раскрытия и глубиной распространения трещин.

Расчет выполнялся с применением современных расчетных программ по методике, применяемой в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство». Особенности условий строительства являлись: бетонирование при отрицательной температуре окружающей среды, применение бетонной смеси с расходом цемента 440 кг/м³; бетонирование конструкции секциями высотой 2,25–5,05 м с промежутком между захватками в 12 суток; обеспечение теплообмена конструкции с окружающей средой в начальный период 2–3 суток после бетонирования и регулирования скорости охлаждения конструкции с использованием теплоизоляционных материалов.

Результаты. По результатам работ удалось практически исключить появление рассматриваемых дефектов и исключить затраты на ремонт трещин.

Выводы. Затраты на выполнение работы и ремонт оказались примерно в 10 раз меньше предполагаемых затрат на ремонт трещин, обычно возникающих в аналогичных конструкциях и условиях строительства.

Ключевые слова: опора, тонкостенная конструкция, тепловыделение бетона, термическая трещиностойкость, выдерживание бетона, захватка, термонапряженное состояние

Для цитирования: Бушнева Е.Ю., Расторопов В.П., Иванов С.И., Пастухов А.И. Обеспечение термической трещиностойкости конструкции опоры моста // *Бетон и железобетон*. 2023. № 4 (618). С. 37–43. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4\(618\)-37-43](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4(618)-37-43)

Вклад авторов

Бушнева Е.Ю. – финансирование работ, внедрение результатов.

Расторопов В.П. – организация работ, сбор исходных данных для расчета, контроль реализации рекомендаций, разработанных на основании расчета.

Иванов С.И., Пастухов А.И. – выполнение расчетов, разработка рекомендаций, составление статьи.

Финансирование

Финансирование работы выполнялось за счет средств заказчика в рамках выполнения работ по хозяйственному договору.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 19.07.2023

Поступила после рецензирования 04.08.2023

Принята к публикации 10.08.2023

E.YU. BUSHNEVA¹, V.P. RASTOROPOV², S.I. IVANOV^{3,✉}, A.I. PASTUKHOV³

¹ JSC BTS-MOST, 60th Anniversary of October Ave., 10A, room 1/5,
Moscow, 117292, Russian Federation

² LLC SC Mostotrest, Right Embankment, 10, room 15-1,
Kaliningrad, 236006, Russian Federation

³ Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev,
JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5,
Moscow, 109428, Russian Federation

ENSURING THERMAL CRACK RESISTANCE OF THE BRIDGE PIER STRUCTURE

Abstract

Introduction. In conditions of negative temperatures or in the absence of the possibility to optimize the composition of concrete during the period of strength gain of concrete monolithic reinforced concrete structures, the formation of thermal cracks is possible, the repair of which requires significant additional costs that are not provided before the start of work.

The aim of the work is to reduce the cost of repairing these manufacturing defects in the form of pre-operational temperature-shrinkage cracks.

Materials and methods. Cost reduction was achieved by assigning several options for concrete care, calculating the thermally stressed state of structures for each of the assigned options and choosing the optimal option for concrete care, providing minimal tensile stresses leading to the appearance of temperature-shrinkage cracks in structures, with the least amount, width of opening and depth of crack propagation.

The calculation was carried out using modern calculation programs according to the methodology used in the NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction.

The features of the construction conditions were: concreting at a negative ambient temperature, the use of a concrete mixture with a cement consumption of 440 kg/m³; concreting the structure with sections 2.25–5.05 m high with an interval of 12 days between divisions; ensuring heat exchange of the structure with the environment in the initial period of 2–3 days after concreting and regulating the cooling rate of the structure using thermal insulation materials.

Results. According to the results of the work, it was possible to practically eliminate the appearance of the defects in question and the cost of repairing cracks.

Conclusions. The cost of work and repairs turned out to be about 10 times less than the estimated cost of repairing cracks that usually occur in similar structures and construction conditions.

Keywords: piers, thin-walled structure, heat release of concrete, thermal crack resistance, curing of concrete, division, thermally stressed state

For citation: Bushneva E.Yu., Rastoropov V.P., Ivanov S.I., Pastukhov A.I. Ensuring thermal crack resistance of the bridge pier structure. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 4 (618), pp. 37–43. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4\(618\)-37-43](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4(618)-37-43)

Author contribution statements

Bushneva E.Yu. – financing of work, implementation of results.

Rastoropov V.P. – organization of work, collection of initial data for calculation, control of implementation of recommendations developed on the basis of calculation.

Ivanov S.I., Pastukhov A.I. – performing calculations, developing recommendations, writing an article.

Funding

The financing of the work was carried out at the expense of the customer's funds as part of the performance of work under the economic contract.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 19.07.2023

Revised 04.08.2023

Accepted 10.08.2023

Введение

ООО «СК «Мостотрест» – компания, с 2008 года занимающаяся строительными работами на объектах транспортной инфраструктуры, приняла участие в реконструкции разводного моста через реку Преголю на участке «Калининград» – «Советск» Калининградской железной дороги. Наряду с проектными характеристиками бетона в ответственных конструкциях требовалось обеспечить термическую трещиностойкость [1] в период набора прочности, которая зависит от геометрических особенностей конструкции, армирования, состава бетонной смеси, внешних условий и технологии ухода. Для производства работ был назначен бетон класса В35, содержащий большое количество цементного вяжущего (440 кг/м³). И хотя конструкции опор моста не являлись массивными (модуль поверхности более 2) и в ядре бетона не возникали полудиабатические температурные условия, способствующие высокому разогреву бетона в ядре, повышенный расход цемента в применяемой бетонной смеси мог приводить к высокому саморазогреву смеси в период набора прочности, появлению недопустимо высокого перепада температур между ядром и поверхностью сечения, особенно с учетом отрицательных температур наружного воздуха, и появлению термических трещин.

Опыт возведения монолитных сооружений свидетельствует о том, что в стеновых конструкциях без выполнения специальных мероприятий по снижению температурно-усадочных напряжений появляются сквозные трещины с шагом 2–2,5 высоты захватки бетонирования [2, 3]. Для возводимой опоры это соответствовало пяти трещинам в пределах одной захватки бетонирования (при высоте захватки около 3 м), или ориентировочно $5 \times 60 \times 2 = 600$ м сквозных трещин.

Сметная стоимость ремонта одного погонного метра трещины инъектированием низковязких полимеров составляет 44 тыс. рублей при работе с автогидроподъемником и 31 тыс. рублей при работе с лесов. Учитывая возможность принятия оперативных технологических мер для уменьшения количества трещин, приводящих к снижению количества трещин примерно в 10 раз (оптимистичный прогноз), ориентировочная сметная стоимость ремонта трещин с внутренней и внешней сторон могла составить до $0,1 \times (44 + 31) \times 0,5 \times 2 \times 600 = 4\,500$ тыс. руб.

В связи с этим для снижения затрат на ремонт трещин (путем увеличения трещиностойкости конструкции и снижения количества трещин) было принято решение рассмотреть несколько вариантов ухода за бетоном и подобрать оптимальный вариант, при котором возникают наименьшие температурные напряжения. Выбор вариантов ухода выполнялся на основании анализа результатов расчета термонапряженного состояния бетона в период набора прочности. В настоящей статье приведены результаты расчета для наиболее оптимального с точки зрения трещиностойкости режима ухода.

Особенности конструкции

Монолитная железобетонная конструкция опоры моста представляет в плане два овала размерами 4,0 × 9,05 м, расположенными на расстоянии 11,4 м друг от друга на монолитном основании. Низ опоры находится на отм. 6 000 м, верх – на отм. 60 000 м. План и сечения опоры приведены на рис. 1.

Бетон опоры моста тяжелый класса по прочности В35, марки В35 F1300 W8. Объем бетона на одну опору составляет 991,8 м³.

Основное вертикальное армирование опоры состоит из арматуры класса А400 диаметром 25 мм, расположенной у внешней и внутренней граней сечений, шаг арматуры от 150 × 125 мм до 150 × 280 мм. Горизонтальное армирование состоит из арматуры класса А400 диаметрами 12, 16, 25 мм с шагом 150 мм. Шаг поперечных каркасов, хомутов и шпилек 300 × 300 мм. Удельный расход арматуры в конструкции опоры моста составляет 236,7 кг/м³, процент армирования сечения ≈ 3 %.

Защитный слой бетона для нижнего и верхнего рядов горизонтальной арматуры составляет 90 и 60 мм для первого этапа бетонирования (нижняя захватка); 40 и 60 мм – для последующих соответственно.

С учетом опыта возведения подобных сооружений бетонирование опоры следовало выполнять захватками в четырнадцать этапов (рис. 2). Для расчета были выбраны первые четыре этапа как воспринимающие на себя наибольшие температурные нагрузки,

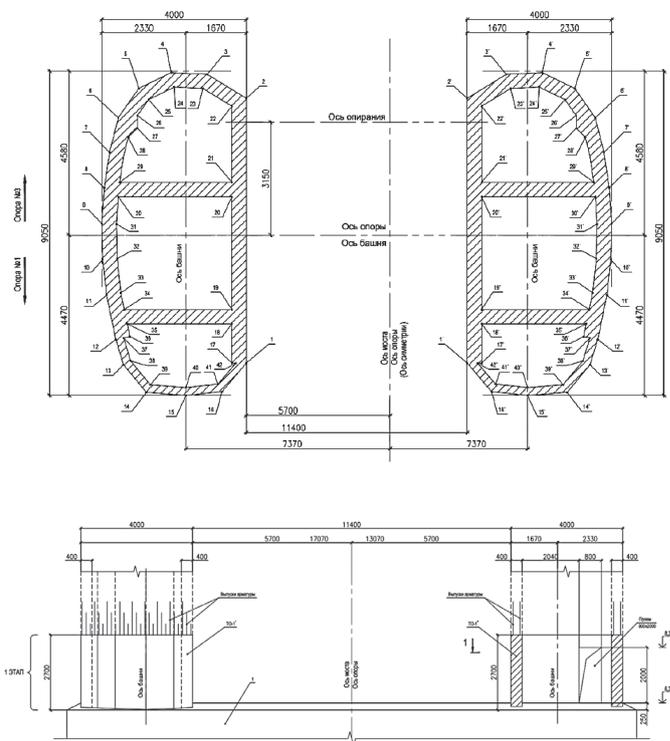


Рис. 1. План и сечение опоры моста
Fig. 1. Plan and section of the bridge pier

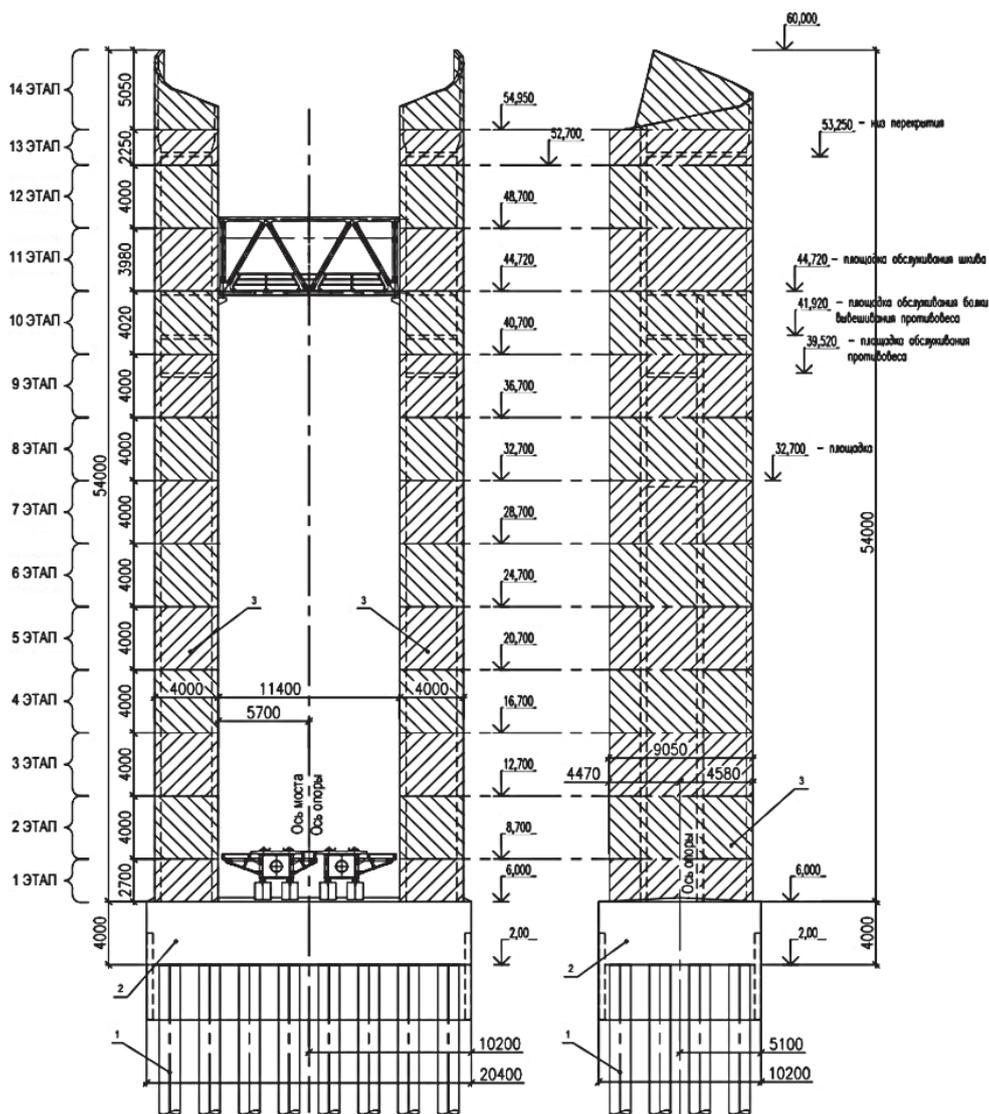


Рис. 2. Этапы бетонирования опоры моста
Fig. 2. Stages of concreting of the bridge pier

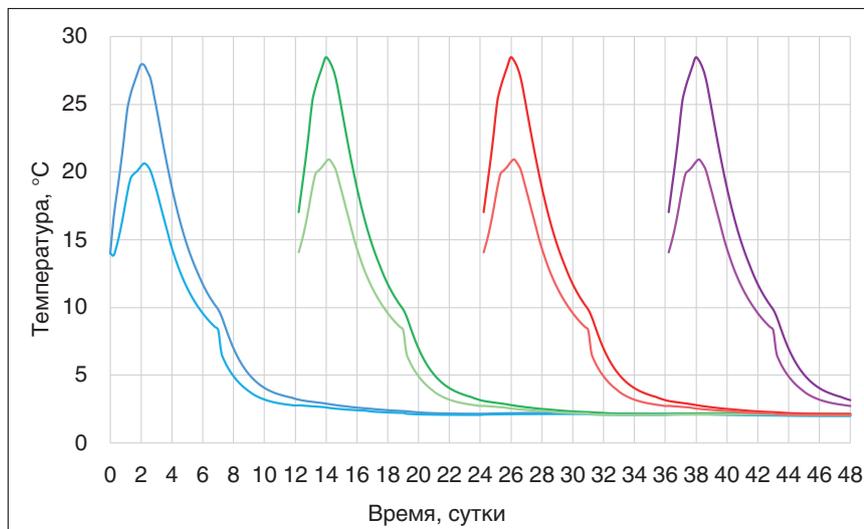


Рис. 3. Распределение температур 1-4 захватки
Fig. 3. Temperature distribution of 1-4 divisions

имеющие наиболее жесткие граничные условия и бетонизируемые в зимнее время года. На первом этапе бетонировался фрагмент высотой 2,7 м до отм. 8 700 м, последующие фрагменты (захватки бетонирования) – высотой 4,0 м до отм. 20 700 м.

Расчет термонапряженного состояния

Расчет термонапряженного состояния опоры моста через реку Преголь выполнялся по применяемой в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева методике [4] с учетом положений рекомендаций [5] и возможностей современных программных комплексов, реализующих метод конечных элементов. Расчет выполнялся по программе Atena [6, 7] в два этапа:

- на первом этапе решалась нестационарная задача теплопроводности, в результате которой определялись поля температур по сечениям и объему конструкции (рис. 3);
- на втором этапе решалась статическая задача, в которой определялось распределение напряжений по объему конструкции и вероятные зоны трещинообразования (рис. 4).

По результатам проведенных расчетов установлено, что интенсивный разогрев бетона в ядре опоры происходит в течение первых двух суток твердения бетона. Максимальный разогрев будет наблюдаться ко вторым суткам с момента укладки бетона, а температура в ядре сечения опоры не превышает 30 °С. Вследствие малой толщины внешние условия влияют на температуру разогрева ядра – условия твердения экзотермические.

По результатам расчетов, представленных на рисунках, установлено, что температурный перепад

между поверхностями и ядром не превышает 10 градусов, последующие захватки влияют на тепловые поля конструкции несущественно.

По данным, представленным на рис. 4, следует, что в первой (нижней) захватке опоры моста при твердении в условиях оптимального ухода возможно образование ограниченного количества (не более 3–4 метра) вертикальных термических трещин (черным цветом на рис. 4) с шириной раскрытия более 0,2 мм.

В остальных захватках по высоте опоры трещины не образовывались.

Подбор технологического ухода

Полагаясь на выполненные расчеты, данные строительной климатологии и условия строительной площадки, был подобран наиболее оптимальный с точки зрения обеспечения трещиностойкости и оптимальный для реализации вариант ухода за молодым бетоном конструкции опоры моста:

1. Устройство кольцевого тепляка вокруг бетонизируемой захватки с поддерживаемой температурой +15 °С.
2. Бетонирование и выдерживание бетона в условиях тепляка до седьмых суток.
3. Укрытие открытых поверхностей теплоизоляционным материалом «Дорнит» со вторых по седьмые сутки.
4. Демонтаж опалубки и удаление тепляка на седьмые сутки, укрытие тремя слоями «Дорнита» 3 × 3 = 9 мм и выдерживание до 12 суток с переходом к следующей захватке.
5. В течение всего периода ухода минимизировать ветровые потоки на захватках, расположенных ниже бетонизируемой, с помощью свободновисящих выпусков тепляка.

Результаты мониторинга температуры и дефектоскопии в период возведения

На строительной площадке была создана система контроля за температурой бетона с помощью датчиков, установленных в тело бетона, которая позволила контролировать разогрев конструкции. На рис. 5

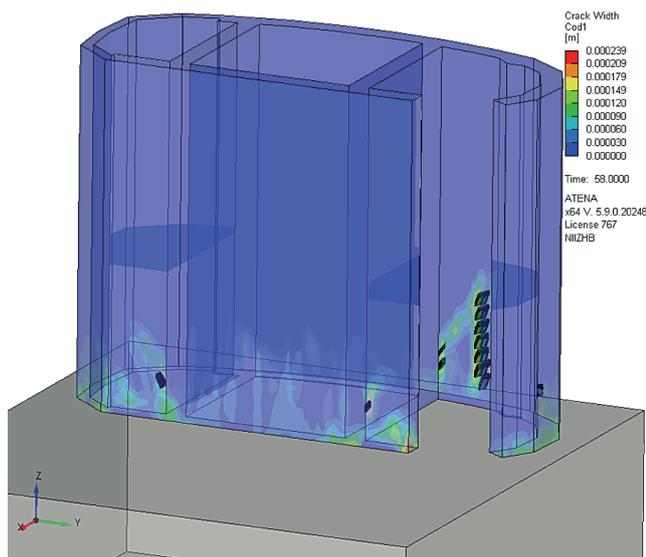


Рис. 4. Изополя участков потенциального образования трещин и ширины их раскрытия в возрасте 14 суток после начала бетонирования

Fig. 4. Isofields of areas of potential formation of cracks and the width of their opening at the age of 14 days after start of concreting

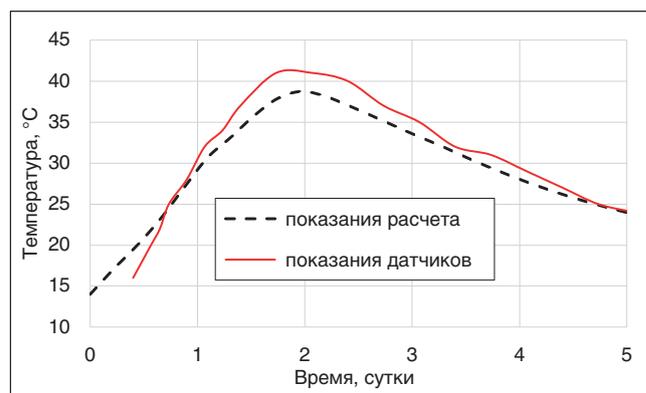


Рис. 5. Сравнение расчетных и фактических значений температуры в ядре сечения

Fig. 5. Comparison of calculated and actual temperatures

показано сравнение расчетных значений температур ядра конструкции и полученных на строительной площадке.

Дефектоскопия опоры моста в молодом возрасте выявила одну несквозную (глубиной не более толщины защитного слоя бетона) трещину с шириной раскрытия 0,3 мм в первой захватке, длиной не более 3 м. После достижения проектного возраста бетона сквозные трещины термического происхождения выявлены не были (рис. 6), что указывает на правильность выбора основных положений расчета термонапряженного состояния конструкции и обоснованность использования его результатов при назначении параметров ухода за массивной конструкцией.

В заключение следует отметить, что суммарные затраты на выполнение расчета термонапряженного состояния и ремонта выявленных трещин оказались примерно на порядок (в 10 раз) ниже предполагаемых затрат в случае отсутствия ухода за бетоном и ремонта возникающих в таком случае температурных трещин.

Выводы

1. Произведена оценка термической трещиностойкости конструкций опоры моста на объекте реконструкции разводного моста через реку Преголь на участке «Калининград» – «Советск» Калининградской железной дороги.

2. Подобран оптимальный технологический режим ухода в период набора прочности бетона, предотвращающий образование температурно-усадочных трещин с недопустимой шириной раскрытия и обеспечивающий проектные характеристики рассматриваемых конструкций.

3. Выполнение расчетов термонапряженного состояния и подбор на их основе оптимальной технологии ухода позволили существенно снизить экономические затраты, связанные с распространением и последующим ремонтом температурно-усадочных трещин.



Рис. 6. Конструкция опоры моста первых семи этапов
Fig. 6. Bridge piers structure in the first seven stages

Список литературы

1. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В. Обеспечение термической трещиностойкости массивных фундаментных плит из модифицированных бетонов нового поколения // *Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве: матер. Международ. конф.* Санкт-Петербург; 2007. С. 240–245.

2. Рекомендации по обеспечению трещиностойкости монолитных стен. Москва: ЦНИИЭП жилых зданий; 1984. 49 с.

3. Фрид С.А. Температурные напряжения в бетонных и железобетонных гидротехнических сооружениях. Ленинград; 1959. 72 с.

4. Болгов А.Н., Невский А.В., Иванов С.И., Сокуров А.З. Численное моделирование температурных напряжений в бетоне массивных конструкций в период твердения // *Промышленное и гражданское строительство*. 2022. № 4. С. 6–13. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2022.04.06-13>

5. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях. Москва: РААСН, НИИЖБ; 2005.

6. Červenka V., Jendele L., Červenka J. ATENA Program Documentation. Part 1. Theory. Part 3–2 Example Manual. Prague; 2021.

7. Eduardo M.R. Fairbairn, Miguel Azenha. Thermal Cracking of Massive Concrete Structures. *State of the Art Report of the RILEM Technical Committee 254–CMS* [Термическое растрескивание массивных бетонных конструкций. *Отчет о состоянии дел технического комитета RILEM 254–CMS*]. RILEM State Art Reports. Vol. 27. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-76617-1>

References

1. Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V., Kardumyan G.S., Kiseleva Yu.A., Prigozhenko O.V. Providing thermal crack resistance of massive foundation slabs made of modified concretes of a new generation. *Problems of durability of buildings and structures in modern construction: materials of the International conference*. St. Petersburg; 2007. pp. 240–245.

2. Recommendations for ensuring crack resistance of monolithic walls. Moscow: Central research institute of experimental design of dwelling; 1984. 49 p.

3. Frid S.A. Temperature stresses in concrete and reinforced concrete hydraulic structures. Leningrad; 1959. 72 p.

4. Bolgov A.N., Nevskii A.V., Ivanov S.I., Sokurov A.Z. Numerical Modeling of Thermal Stresses in Concrete of Massive Structures During the Hardening Period. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2022, no. 4, pp. 6–13. (In Russian) <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2022.04.06-13>

5. Guidelines for heating concrete in monolithic structures. Moscow: RAASN, NIIZHB; 2005.

6. Červenka V., Jendele L., Červenka J. ATENA Program Documentation. Part 1. Theory. Part 3–2 Example Manual. Prague; 2021.

7. Eduardo M.R. Fairbairn, Miguel Azenha. Thermal Cracking of Massive Concrete Structures. *State of the Art Report of the RILEM Technical Committee 254–CMS*. RILEM State Art Reports. Vol. 27. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-76617-1>

**Информация об авторах /
Information about the authors**

Елена Юрьевна Бушнева, канд. техн. наук, заместитель генерального директора по качеству, АО «БТС-МОСТ», Москва
e-mail: BushnevaEY@btsmost.ru

Elena Yu. Bushneva, Cand. Sci. (Engineering), Deputy General Director for Quality, JSC BTS-MOST, Moscow
e-mail: BushnevaEY@btsmost.ru

Владимир Павлович Расторопов, начальник ОСК ООО «СК «Мостотрест», Калининград
e-mail: RastoropovVP@btsmost.ru

Vladimir P. Rastoropov, OSK Chief, LLC SK Mostotrest, Kaliningrad
e-mail: RastoropovVP@btsmost.ru

Сергей Ильич Иванов ✉, канд. техн. наук, заведующий лабораторией № 7 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: 5378018@mail.ru
тел.: +7 (495) 602-00-70

Sergey I. Ivanov ✉, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory No. 7, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: 5378018@mail.ru
tel.: +7 (495) 602-00-70

Александр Игоревич Пастухов, инженер лаборатории № 7 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: apastuhov@mail.ru
тел.: +7 (495) 602-00-70

Alexander I. Pastukhov, Engineer, Laboratory No. 7, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: apastuhov@mail.ru
tel.: +7 (495) 602-00-70

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Коллектив НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», редколлегия журнала «Бетон и железобетон» поздравляют доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ, почетного строителя, почетного члена РААСН, главного научного сотрудника ОКС АО «ЦНИИПромзданий» Эмиля Наумовича Кодыша с 90-летием со дня рождения!



Уважаемый Эмиль Наумович!

Примите искренние поздравления с юбилеем и пожелания отличного здоровья на долгие годы, дальнейших успехов в профессиональной деятельности, любви родных и близких, благополучия и процветания!

Эмиль Наумович Кодыш родился 30 октября 1933 г. в Москве. После окончания МГСУ в 1955 г. в течение восьми лет работал на строительных объектах г. Москвы. С 1963 года работает в АО «ЦНИИПромзданий». Под его руководством и при непосредственном участии разработаны 18 серий типовых конструкций, в том числе серии многоэтажных зданий 1.020 и объединенная серия многопустотных плит 1.041. Э.Н. Кодышем опубликовано 342 работы, в том числе в 2000–2022 гг. – 117, получено 56 авторских свидетельств и патентов. Среди опубликованных работ: монографии «Расчет железобетонных конструкций по прочности, деформативности и трещиностойкости», «Промышленные многоэтажные здания из сборных железобетонных конструкций», «Учет влияния работы железобетонных конструкций в стадии монтажа на эксплуатационный период», «Проектирование зданий ж/д транспорта», «Проектирование многоэтажных зданий с ж/б каркасом для сейсмических районов» и др. Результаты исследований использованы при разработке с его участием нормативных документов: восьми СП, более двадцати ГОСТ, пособий по проектированию.

Научный стаж Э.Н. Кодыша – 51 год! С 1985 г. Эмиль Наумович вел педагогическую работу в МГСУ. Десять лет заведовал кафедрой ПГС в РГОТУПС (МИИТ), тридцать лет являлся председателем ГАК № 1 МГСУ, восемнадцать лет возглавлял сертифицированный центр по повышению квалификации специалистов Москвы, Московской области и сотрудников института. Под руководством Э.Н. Кодыша защищено двенадцать кандидатских и две докторские диссертации.

Э.Н. Кодыш участвовал в проектировании нового строительства и реконструкции большого количества объектов, из которых можно выделить следующие: завод ТНК в Рязани, около 100 башен сотовой связи, здание Большого театра, здание МХАТ, комплекс зданий аэропорта Шереметьево 1 и 2, здания полигона Байконур, здания предприятия «Росавиакосмос», Московского планетария и др.

Э.Н. Кодыш награжден знаком Министерства образования РФ «Отличник народного просвещения». Награжден 11 медалями ВДНХ (1 золотая, 7 серебряных и 3 бронзовые). Избран членом Международной комиссии по предварительно напряженному железобетону. Его работы многократно отмечались грамотами и дипломами, в том числе в 2001 году дипломом РААСН «За большой вклад в развитие архитектуры, строительства, градостроительства, строительной науки, строительства жилищно-коммунальной сферы», в 2003 году – почетной грамотой НОСТРОЙ «За значительный вклад в развитие строительной отрасли Российской Федерации» и др.

Э.Н. Кодыш имеет звания «Мастер спорта СССР», «Заслуженный путешественник России». Эмиль Наумович побывал во многих уникальных районах России, СНГ и других стран. На общественных началах в течение десяти лет был заместителем председателя Всесоюзной Федерации спортивного туризма, а затем помогал воспитывать молодое поколение в Департаменте образования г. Москвы.

Эмиль Наумович Кодыш – выдающийся ученый, замечательный коллега и друг, прекрасный отец, счастливый дедушка четырех внуков. С юбилеем, дорогой Эмиль Наумович!



И.Н. УСАЧЕВ, Н.К. РОЗЕНТАЛЬ

ВЫДАЮЩИЕСЯ СООРУЖЕНИЯ XX ВЕКА: КИСЛОГУБСКАЯ ПЭС

Аннотация

В Арктике в районе губы Кислой Баренцева моря с декабря 1968 г. успешно работает первая российская приливная электростанция – Кислогубская ПЭС имени Л.Б. Бернштейна. В мировой практике гидроэнергетики это единственный опыт сооружения объекта наплавным способом, что кардинально (на треть) сократило смету расходов и ускорило срок ее возведения (вдвое). ПЭС признана выдающимся сооружением XX века, долговечным крупным железобетонным объектом, находящимся в сложных арктических климатических условиях.

О памятнике отечественной науки и техники, истории его создания, проводимых на его базе научных исследованиях рассказывают исследователи: кандидат технических наук Игорь Николаевич Усачев – один из основоположников российской научно-инженерной школы приливной энергии и наплавных конструкций, соавтор создания пионерной в России приливной электростанции; доктор технических наук Николай Константинович Розенталь, авторитетный исследователь количественной теории коррозионных процессов при действии на бетон различных агрессивных сред с прогнозом долговечности конструкций.

Ключевые слова: приливная электростанция, гидроэнергетика, коррозия, железобетон, морозостойкость, технологии защиты, конструкции, ответственные сооружения, арматура

Для цитирования: Усачев И.Н., Розенталь Н.К. Выдающиеся сооружения XX века: Кислогубская ПЭС // *Бетон и железобетон*. 2023. № 4 (618). С. 45–47. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4\(618\)-45-47](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4(618)-45-47)



Кислогубская приливная электростанция (Кислогубская ПЭС)

Кислогубская приливная электростанция (Кислогубская ПЭС) находится на 70° северной широты, вблизи поселка Ура-Губа Мурманской области. Удивительно непростая климатическая особенность этого района: 200 суток в течение года температура воздуха здесь наблюдается отрицательная – до минус 40 °С. В зоне переменного горизонта (прилива и отлива) с амплитудой 1–4 м происходит до 400 циклов замораживания-оттаивания бетона, из которого сооружены конструкции станции.

Известно, что электростанция сооружена силами УС «Севгидрострой» в 1965–1967 гг. в строительном доке города Мурманска. Инициатором же выбора места расположения станции, а также главным инженером этого проекта и строительства сооружения выступил гидростроитель Лев Борисович Бернштейн. О нем практически нет информации.

К сожалению, мало что известно о биографии этого удивительного человека с крепким неустойчивым характером, большими задатками ученого и инженера. Открытые источники сообщают, что капитан 1-го ранга Л.Б. Бернштейн (1911–1967) родился в Нижнем Новгороде, окончил в 1937 г. Московский инженерно-строительный институт имени В.В. Куйбышева, строил Московский метрополитен, возводил военные объекты на базах Северного флота. Лев Борисович – участник Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. Его судьбу не обошло стороной заключение в Горлаге (Горный лагерь – Особый лагерь № 2 с центром в Норильске), которое он мужественно перенес. Л.Б. Бернштейн, талантливый инженер-гидрограф, принес много пользы энергетической промышленности страны, участвуя в реализации стратегических проектов.

Известно, что Лев Борисович накануне возведения Кислогубской ПЭС подробно изучал природные факторы местности, обращаясь в геологические организации Ленинграда, прогнозируя влияние движений земной коры. Научные заключения ученых подтвердили сформировавшееся мнение Бернштейна: использовать в интересах страны огромную силу стихии. Он доказал, что природа на этом участке создала идеальные условия для строительства станции, где в узком проходе скалы морская стихия через тесную скалистую горловину шириной до 30 м в период прилива посылает в губу мощный поток воды. Этот феномен был использован для получения электроэнергии.

Судами Северного флота блок станции буксировали к месту назначения на расстояние 99 км, где его опустили на подводное основание, подготовленное специалистами в 1964–1965 гг. Сооружение ПЭС после проведения пуско-наладочных работ передали на баланс институту «Гидропроект», а для эксплуатации определили в Кольскую энергосистему.

Железобетонные конструкции ПЭС в течение ее более полувековой эксплуатации подвергаются агрессивным воздействиям морской воды, а также находящихся в ней организмов – камнеточцев (морские двусторчатые моллюски, протачивающие ходы в твердых породах), особей, выделяющих в жизнедеятельности углекислоту, растворяющую цементный камень. Обрастание бетонных конструкций в подводной зоне различными растениями не разрушает сооружение, но уменьшает живое сечение трубопроводов, ухудшая режим их работы. Доказано, что камнеточцы способны проникать в бетон на большую глубину, если материал приготовлен на заполнителе из карбонатных пород, но неопасны для бетона на заполнителях из прочных изверженных пород.

Исследования позволяют считать Кислогубскую ПЭС самым долговечным в мире крупным бетонным сооружением в сложных климатических условиях Арктики.

На основании проведенных исследований можно констатировать, что созданные для Кислогубской ПЭС строительные материалы и технологии их защиты от коррозии в океанической среде и биологического обрастания обеспечили уникальную долговечность сооружения на арктическом шельфе без каких-либо ремонтов за весь срок эксплуатации до настоящего времени.

Кислогубская ПЭС по-прежнему используется учеными заинтересованных отраслевых НИИ и институтов РАН как научная морская база в условиях арктического побережья России. В распоряжении исследователей помещения со всеми удобствами; архив, где собраны проекты ПЭС и записи натурных наблюдений; морские стационарные стенды в зоне прилива, под водой и в морской атмосфере; ледовый стенд и экологический полигон в бассейне.

Учеными и строителями создана прочная и жесткая наплавная конструкция здания ПЭС. Мониторинг по установленным в конструкцию дистанционным приборам позволил сделать заключение об ее исключительной долговечности.

Исследования, проведенные специалистами АО «НИИЭС», Института океанологии РАН, НИИ Арктики и Антарктики, НПФ «Эверест» морского льда в бассейне ПЭС на Белом и Охотском морях, подтверждают допустимость строительства электростанций в условиях замерзающего моря при воздействии торосистого льда. В условиях мирового энергетического кризиса это направление перспективно, не требует больших финансовых затрат. Исследования продолжаются, учеными накоплен значительный материал, что позволяет корректировать будущие проекты станций в условиях Арктики.

Защита арматуры железобетонных конструкций ПЭС от электрохимической коррозии приобретает первостепенное значение, так как естественная коррозия металла в условиях среды станции достигает 1 мм/год. При этом долговечность арматуры в тонкостенных железобетонных конструкциях при защитном слое 2 см могла бы ограничиться всего несколькими годами. Для защиты арматуры железобетонных

конструкций от коррозии применялась катодная защита, которая впервые в практике гидротехнического строительства была осуществлена с помощью сменяемых каждые 10–12 лет металлических жертвенных анодов, устанавливаемых в шпациях конструкции и вне ее. По данным специалистов НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, арматура в железобетонных конструкциях здания ПЭС, находясь в морской воде, сохранилась полностью, следов ее коррозии учеными не обнаружено. Надо отметить, что система электрохимической защиты от коррозии по финансовым затратам исключительно дешевая.

Проблема обрастания железобетонных конструкций в морской воде в северных широтах связана с эксплуатацией водоводов. Так, на Кислогубской ПЭС были установлены в водоводах электролизеры, при работе которых образуется хлор. Их кратковременное включение, не нанося вреда экологии морского залива, полностью исключило обрастание трубопроводов.

Говоря об участии специалистов НИИЖБ в строительстве этого уникального объекта, необходимо вспомнить принципы получения бетонов высокой морозостойкости для строительства в суровых климатических условиях, сформулированные основателем отечественной школы бетона и железобетона Владимиром Михайловичем Москвиным, реализованные при строительстве Кислогубской ПЭС.

Проведение в 1950–1960 гг. в ЦНИИС, Гидропроекте и НИИЖБ работы по изучению влияния суровых природных условий Баренцева моря показали, что долговечность бетона в первую очередь зависит от его морозостойкости. Наилучшие результаты показал состав бетона с воздухововлекающей добавкой СНВ и пластифицирующей добавкой ССБ, полученный в ЦНИИС по технологии Гидропроекта под руководством Ф.М. Иванова и И.Н. Усачева.

Бетон проектной марки по прочности 400 готовили на сульфатостойком портландцементе, щебне из изверженных пород и кварцевом песке с комплексной добавкой ССБ+СНВ. Подвижность бетонной смеси характеризовалась осадкой конуса 2–4 см. С целью уменьшения пористости бетона в наружном слое опалубку обшивали влагопоглощающим картоном. Бетонную смесь уплотняли по спецтехнологии высокочастотными вибраторами. Со стороны моря поверхность железобетонных конструкций была защищена вспененным полимерным материалом.

Учеными была проведена огромная работа в подготовительный период строительства ПЭС. Испытания бетона на морозостойкость выполняли в морозильном бассейне на берегу Кольского залива в бассейне Мурманской климатической станции ЦНИИС. При замораживании бетонные образцы обдували наружным морозным воздухом с помощью вентилятора. Для оттаивания образцов ванну с ними заполняли морской водой, подаваемой насосом из Кольского залива. Одновременно в бассейн был поставлен на испытание железобетонный фрагмент блока ПЭС, выполненный в виде полого ящика с толщиной стенок 15 см, по аналогии конструкции ПЭС.

В течение одного зимнего сезона можно было получить около 1000 циклов замораживания и оттаивания. Таким образом, образцы и блок после 1540 проведенных циклов замораживания и оттаивания не имели повреждений, а их прочность возросла.

С вводом станции в эксплуатацию бетонные образцы размерами 100 × 100 × 100 мм были перемещены из бассейна на морской стенд рядом со зданием ПЭС. Во время прилива образцы полностью затапливались водой (стадия оттаивания), при отливе образцы находились на воздухе (стадия замораживания).

Мониторинг состояния бетона ПЭС осуществлялся специалистами АО «НИИЭС» (И.Н. Усачев) и лаборатории коррозии НИИЖБ (Ф.М. Иванов и Н.К. Розенталь). Неразрушающими методами – прибором Шмидта и ультразвуковыми приборами 1401 и УК-14П – определяли прочность бетона в конструкциях. Кроме того, были выбурены керны и испытаны на морозостойкость и прочность, превышавшую 68 МПа.

Микроскопические исследования образцов бетона ПЭС показали наличие равномерно распределенных по телу бетона мелких сферических замкнутых пор. Фактор расстояния по Пауэрсу равнялся 0,115–0,137, что объясняет высокую морозостойкость бетона в конструкции.

В структуре бетона учеными обнаружены негидратированные зерна цементного клинкера размерами 30–50 мкм, что обуславливает возможность самозалечивания микротрещин в бетоне при гидратации зерен клинкера в поздние сроки.

Проводились натурные испытания истирающего действия льда на бетон в условиях службы Кислогубской ПЭС. Они производились на плитах, изготовленных из бетона, применявшегося при бетонировании конструкций ПЭС. Изделия находились в зоне переменного горизонта в части залива губы Кислая,

отгороженной от моря плотиной ПЭС, и в основном подвергались воздействию вертикально перемещающегося льда во время приливов и отливов при незначительном горизонтальном перемещении льда. После 22-х лет испытаний истирания бетона плит не отмечено, что объясняется как прочностью испытываемого бетона, так и ограниченным перемещением льда в зоне ПЭС.

Прочность бетона в фрагменте превышала проектную. Результаты лабораторных испытаний и натурные испытания бетона Кислогубской ПЭС свидетельствуют о высокой стойкости использованного бетона в условиях Арктики.

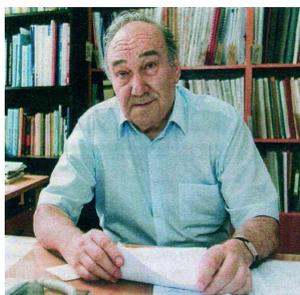
В непосредственной близости от здания ПЭС в зоне прилива-отлива на щебеночную отсыпку плашмя был уложен железобетонный фрагмент в виде плиты, имитирующий стенку здания ПЭС. При приливе фрагмент полностью затапливался водой и обнажался при отливе. После 50 лет испытаний повреждения от размораживания бетона в конструкциях станции и отдельном фрагменте отсутствовали.

Одновременно с наблюдениями за состоянием бетона Кислогубской ПЭС на морском стенде станции был испытан бетон нового поколения, приготовленный с модификатором, содержащим микрокремнезем, суперпластификатор С-3 и микрогазообразующую добавку ГКЖ-94 (136-41). Такой бетон обладает высокой прочностью, низкой проницаемостью, высокой коррозионной стойкостью и морозостойкостью.

Таким образом, результаты исследований и натурных испытаний свидетельствуют о возможности создания железобетонных конструкций из испытанного бетона с добавками, обладающими особо высокой морозостойкостью и коррозионной стойкостью в морской воде в суровых климатических условиях арктической зоны России.

Информация об авторах

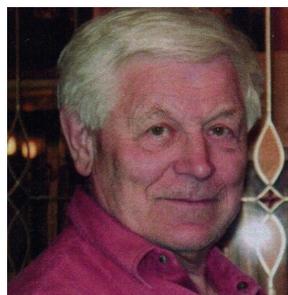
Игорь Николаевич Усачев,



кандидат технических наук, окончил Московский энергетический институт. Один из основоположников российской научно-инженерной школы приливной энергии и наплавных конструкций. Соавтор создания пионерной в России Кислогубской приливной

электростанции (ПЭС) на Баренцевом море. Автор 350 научных работ, опубликованных на русском, английском, испанском и китайском языках. Лауреат Государственной премии России и лауреат премии имени М.В. Ломоносова. Заслуженный работник энергетической отрасли РФ, почетный гидроэнергетик.

Николай Константинович Розенталь,



доктор технических наук, с 1987 по 2019 год – заведующий сектором коррозии бетона лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство». Опыт работы по специальности

62 года. Исследовал коррозионные процессы бетона и железобетона в агрессивных средах, выполнил диагностику состояния конструкций большого числа промышленных, энергетических, гидротехнических и других сооружений с разработкой способов защиты от коррозии. С 2020 г. – профессор отдела подготовки кадров АО «НИЦ «Строительство».



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

Мы – команда единомышленников, способных реализовать сложнейшие инженерные проекты.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ

ИЗЫСКАНИЯ

СТРОИТЕЛЬСТВО

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

УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР

АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



ниц строительство
научно-исследовательский центр



С 1927 ГОДА
95
ЛЕТ

повысить квалификацию специалистов и экспертов

пройти обучение в аспирантуре

подготовить диссертацию в докторантуре

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

Учебный центр
АО «НИЦ «Строительство»
приглашает вас:

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

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

🌐 www.cstroy.ru

✉ motorina@cstroy.ru | smirnova@cstroy.ru





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

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



Преподавательский состав
Учебного центра

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

ФОРМЫ ПОДГОТОВКИ ДИССЕРТАЦИИ В АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



Обучение в аспирантуре,
докторантуре

Прикрепление для
подготовки диссертации без
освоения образовательных
программ



Набор в аспирантуру и докторантуру АО «НИЦ «Строительство» проводится по направлению 08 .06 .01 «Техника и технология строительства» по направлениям:

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



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

Защита диссертаций проводится по следующим научным специальностям:

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

ПРИЕМ В АСПИРАНТУРУ НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО» до 30 сентября 2023 года !

Научные специальности:

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

Обучение очное - 4 года
Подробнее на сайте cstroy.ru



Наши контакты: Центр подготовки кадров (глав.корпус,4 этаж,к.400 (5)
Моторина Екатерина Сергеевна
+7 (495) 602-00-70 доб. 1172, 8-916-307-75-80; motorina@cstroy.ru

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

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

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

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

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

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

Журнал распространяется на конференциях, выставках, форумах строительной отрасли. Подробная информация на сайте vestnik.cstroy.ru.

Телеграм-канал журнала: <https://t.me/vestnikcstroy>.

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

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

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

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

Выпускающий редактор – Починина Наталья

e-mail: pochininane@cstroy.ru



Научно-технический журнал
Бетон и железобетон
Вып. 4 (618) 2023

Редактор выпуска Починина Н.Е.
Компьютерная верстка Болдырев В.
Дата выхода в свет 27.10.2023
Формат 60x88 1/8
Бумага мелованная. Офсетная печать.
Тираж 300 экз. Заказ № 230984

Подписной индекс в каталоге ОАО «АРЗИ» 85502

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

