

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0005-9889

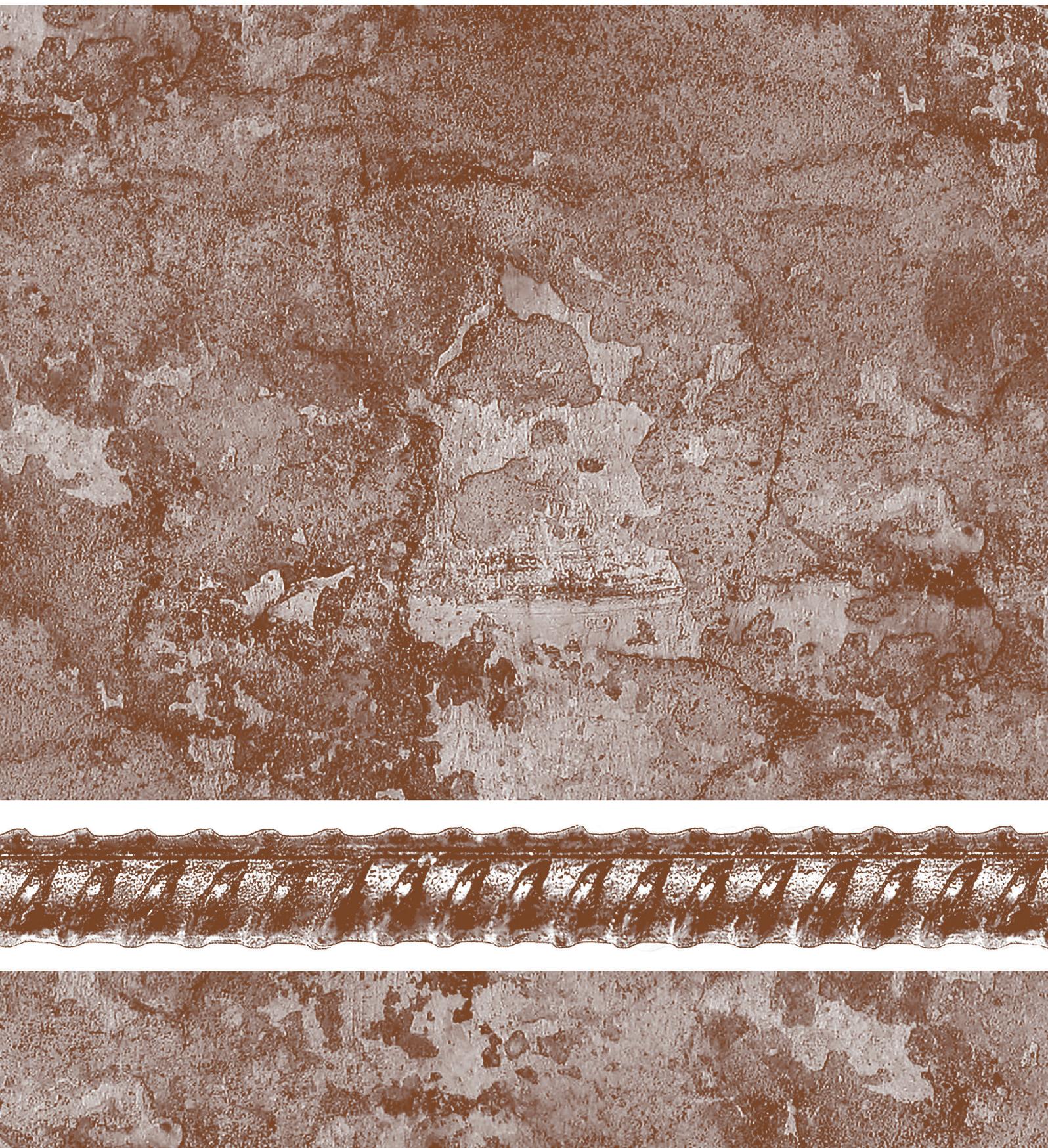
БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

3

617
2023

WWW.BZHB.RU

ИЗДАЕТСЯ С 1955 ГОДА



100+ TECHNO BUILD

X Международный
строительный форум
и выставка

3-6 ОКТЯБРЯ 2023
ЕКАТЕРИНБУРГ

forum-100.ru

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.

3 (617)
Май–июнь 2023

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

А.В. БУЧКИН, К.Л. КУДЯКОВ, С.Д. ЕПИХИН, Е.Ю. ЮРИН, С.К. ХЛЕБНИКОВ

**Развитие технического регулирования
для матов цементных композитных 5**

В.А. РАХМАНОВ, В.И. МЕЛИХОВ, А.А. САФОНОВ

**Испытания на ветровые нагрузки стеновой
кладки из негорючих полистиролбетонных блоков 15**

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Д.В. ПАСХИН, Б.С. СОКОЛОВ, С.М. БАЕВ, А.С. БАЕВ

**Проектирование и возведение куполов
храма Вознесения Господня в городе Электростали 25**

В.В. РЕМНЕВ, Д.В. КУЗЕВАНОВ, А.В. РЕМНЕВ

Быстровозводимые здания из блок–модулей с несъемной опалубкой. . 32

Авторы

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

Редакция

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

Перепечатка

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

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

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

Свободная цена

А.И. САГАЙДАК, Е.С. БОРОВКОВА

**Применение акустико–эмиссионных критериев
для исследования процессов деформирования
и разрушения конструкций из железобетона 38**

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 No. FS 77-76959
 dated 09.10.2019 (Russia)
 ISSN 0005-9889 (Print)

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

BETON I ZHELEZOBETON

Published since 1955

3 (617)
 May–June'2023

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

A.V. BUCHKIN, K.L. KUDYAKOV, S.D. EPIKHIN, E.Y. YURIN, S.K. KHLEBNIKOV

**Development of technical regulation
 for cement composite mats 5**

V.A. RAKHMANOV, V.I. MELIKHOV, A.A. SAFONOV

**Wind loads tests of external walls blocks masonry
 of non-combustible polystyrene concrete 15**

TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

D.V. PASHKIN, B.S. SOKOLOV, S.M. BAEV, A.S. BAEV

**Design and construction of domes of the Church of
 the Ascension of the Lord in the city of Elektrostal 25**

V.V. REMNEV, D.V. KUZEVANOV, A.V. REMNEV

**Prefabricated buildings made of block modules
 with non-removable formwork 32**

A.I. SAGAIDAK, E.S. BOROVKOVA

**Application of acoustic emission criteria
 for the study of deformation processes
 and destruction of reinforced concrete structures 38**

The authors

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

The Editorial Staff

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

Reprinting

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

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

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

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

E-mail: bzhb.ru@yandex.ru

http://bzhb.ru

Free price

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

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

МАИЛАН Д.Р., д-р техн. наук, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций, Донской 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 национального 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 Technical University of Denmark (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 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 VNIIZhelezbekon" 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 Kharkiv National University of Construction and Architecture (Kharkiv, Ukraine)

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

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

А.В. БУЧКИН¹, К.Л. КУДЯКОВ^{1,2,✉}, С.Д. ЕПИХИН^{1,2}, Е.Ю. ЮРИН¹, С.К. ХЛЕБНИКОВ^{1,2}

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

РАЗВИТИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ МАТОВ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТНЫХ

Аннотация

Введение. В настоящее время широкое применение в строительстве находит такой инновационный материал, как маты цементные композитные (бетонное полотно). В связи с относительной новизной данного материала на сегодняшний день отсутствуют утвержденные нормативно-технические документы, регламентирующие общие технические условия бетонного полотна (нормируемые показатели, определяющие качество материала), а также методы испытаний его нормируемых показателей.

Целью являлось изучение и систематизация имеющихся на сегодняшний день сведений о матах цементных композитных, а также формирование подходов для разработки ряда соответствующих нормативно-технических документов.

Материалы и методы. Выполнен обзор, систематизация и анализ отечественных и зарубежных научно-исследовательских и практических работ, а также аспектов технического регулирования для матов цементных композитных.

Результаты. Приведен текущий статус технического регулирования для матов цементных композитных, обозначены подходы для его развития. Обобщены области применения матов цементных композитных; показатели качества материала, рекомендованные для нормирования, и методы испытаний по их определению; даны рекомендации по разработке стандартных методов испытаний.

Выводы. Для повышения качества и доступности данного материала, а также для увеличения доли его применения в строительной отрасли требуется разработка нормативных документов, устанавливающих технические требования к нему, его нормируемым показателям качества и методам испытаний по их контролю. При их разработке рационально использовать накопленный опыт практического применения и исследований матов цементных композитных, который обобщен в настоящей статье и отражает основ-

ные тенденции по развитию нормативной базы для данного материала.

Ключевые слова: композитные цементные маты, бетонное полотно на цементном вяжущем, нормативно-техническая документация, ключевые потребительские показатели качества, методы испытаний

Для цитирования: Бучкин А.В., Кудяков К.Л., Епихин С.Д., Юрин Е.Ю., Хлебников С.К. Развитие технического регулирования для матов цементных композитных // *Бетон и железобетон*. 2023. № 3 (617). С. 5–14. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-5-14](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-5-14)

Благодарности

Авторы выражают благодарность АО «НИЦ «Строительство» за предоставленные материалы, а также Г.И. Капаеву, канд. хим. наук, заведующему лабораторией химических добавок и модификаторов бетона ООО «Институт ВНИИжелезобетон» (г. Москва), за консультации по вопросам методологии испытаний исследуемого материала.

Вклад авторов

Бучкин А.В., Кудяков К.Л. – общее руководство работой, анализ результатов ранее выполненных исследований и источников литературы, подготовка текста статьи.

Епихин С.Д., Юрин Е.Ю., Хлебников С.К. – обзор и систематизация результатов ранее выполненных исследований и источников литературы.

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 26.04.2023

Поступила после рецензирования 11.05.2023

Принята к публикации 18.05.2023

A.V. BUCHKIN¹, K.L. KUDYAKOV^{1,2,✉}, S.D. EPIKHIN^{1,2}, E.Y. YURIN¹, S.K. KHLEBNIKOV^{1,2}

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

DEVELOPMENT OF TECHNICAL REGULATION FOR CEMENT COMPOSITE MATS

Abstract

Introduction. Currently, such an innovative material as composite cement mats (concrete cloth) is widely used in construction. Due to the novelty of this material, there are currently no approved regulatory and technical documents regulating the general technical conditions of the concrete cloth (including a list and normalized values of indicators that determine the quality of the material), as well as test methods for its normalized indicators.

The aim of the research was to study and systematize the currently available information about cement composite mats, as well as to form approaches for the development of a number of relevant regulatory and technical documents.

Materials and methods. A review, systematization and analysis of domestic and foreign research and practical works, as well as aspects of technical regulation for cement composite mats, has been carried out.

Results. The characteristic of the current status of technical regulation for cement composite mats is given, approaches for its development are indicated. The areas of application of cement composite mats are summarized; material quality indicators recommended for rationing and test methods for their determination; recommendations for the development of standard test methods are given.

Conclusions. To improve cement mats quality and accessibility, as well as to increase the share of their use in the construction industry, it is necessary to develop regulatory documents that establish technical requirements for the material, its standardized quality indicators and test methods for their control. When developing them, it is rational to use the accumulated experience of practical application and research of cement composite mats, which is summarized in this article and reflects the main trends in the development of the regulatory framework for this material.

Keywords: composite cement mats, concrete cloth on cement binder, regulatory and technical documentation, key consumer quality indicators, test methods

For citation: Buchkin A.V., Kudyakov K.L., Epikhin S.D., Yurin E.Y., Khlebnikov S.K. Development of technical regulation for cement composite mats. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 3 (617), pp. 5–14. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-5-14](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-5-14)

Author contribution statement

Buchkin A.V., Kudyakov K.L. – general management of the work, analysis of the results of previously performed researches and literary sources, preparation of the text of the article.

Epikhin S.D., Yurin E.Y., Khlebnikov S.K. – review and systematization of the results of previously performed researches and literary sources.

Funding

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 26.04.2023

Revised 11.05.2023

Accepted 18.05.2023

Введение

Маты цементные композитные (бетонное полотно на цементном вяжущем, «рулонный» бетон) являются перспективным и относительно новым строительным материалом. В связи с этим у потребителей такого материала возникает ряд трудностей:

- характеристики материала изучены недостаточно;
- материал производится на территории РФ преимущественно по зарубежным технологиям, которые зачастую имеют отличия, влияющие на его потребительские показатели качества; как следствие, имеются различия в значениях основных характеристик для материала от разных производителей;
- для данного материала отсутствуют единые общепринятые нормы, в частности, отсутствуют общие технические требования к материалу, его нормируемым показателям качества и методам испытаний по их определению.

Кроме этого, производителям матов цементных композитных отсутствие единой нормативной документации не позволяет реализовывать свою продукцию в проектах, в которых применение такого типа материала экономически целесообразно.

Рассмотренные выше аспекты приводят к тому, что производителям и потребителям невозможно контролировать качество этого продукта, а также объективно сравнивать показатели и свойства этого материала от разных производителей, что зачастую приводит к недобросовестной конкуренции. Взаимное недопонимание среди участников рынка приводит к тому, что возникают барьеры к использованию матов цементных композитных на строительных объектах, появляются существенные риски безопасности и надежности конструкций из данного материала, снижается экономическая эффективность использования материала, материал применяется в конструкциях, для которых он не предназначен. Все это в дальнейшей перспективе влечет дискредитацию данного строительного материала, что, в конечном счете, невыгодно всем участникам рынка. От-

сутствие государственного нормирования для такого типа строительных материалов, как маты цементные композитные, приводит к значительному замедлению темпов его распространения и объемов применения среди потенциальных потребителей и, как следствие, отсутствию положительного влияния на темпы развития отдельных областей строительной отрасли.

Решением данной ситуации является разработка единых инструментов технического регулирования в части общих технических требований к материалу, его нормируемым показателям качества и методам испытаний по их определению.

Маты цементные композитные (полотно бетонное на цементном вяжущем)

Маты цементные композитные (GCCM, geosynthetic cement composite mats, полотно бетонное на цементном вяжущем) – это, как правило, трехслойный композитный материал, состоящий из слоев проницаемого геотекстиля и водонепроницаемой геомембраны, между которыми устроена трехмерная матрица из волокон, заполненная сухой смесью из минерального вяжущего. Возможны иные варианты исполнения матов цементных композитных.

Материал выпускается и поставляется в рулонах различной ширины и толщины. В исходном незатвердевшем состоянии материалу можно придавать требуемую (в т. ч. сложную) форму, что позволяет его использовать в труднодоступных местах и стесненных условиях. Затворение матов цементных композитных водой осуществляется без перемешивания и какого-либо смесительного оборудования путем полива, как правило, избыточным количеством воды. После смачивания водой материал твердеет за счет процессов гидратации вяжущего и образует прочное покрытие заданной толщины и формы (рис. 1).

Скрепление и стыковка отдельных полос материала осуществляется механически (при помощи метизов и пр.) с возможной герметизацией области стыка.

Перспективы применения матов цементных ком-



а



б

Рис. 1. Общие виды матов цементных композитных [1]:

а – кромка затвердевшего материала; б – цементный мат в исходном незатворенном состоянии, смотанный в рулон на паллете

Fig. 1. General types of cement composite mats [1]:

а – the edge of the hardened material; б – cement mat in its original unmixed state, rolled up on a pallet

позитных во многом обусловлены особенностями применения материала, к которым можно отнести исключение необходимости использования автомиксеров, бетононасосов и тяжелой спецтехники в процессе создания строительных конструкций; возможность поддержания высокой скорости возведения сооружений; относительную легкость и простоту монтажа и пр.

Ниже приведен ряд областей применения для использования бетонного полотна [2–12]:

- укрепление и футеровка каналов, траншей, тоннелей, насыпей, дамб и склонов при различных углах уклона (в т. ч. более 60°) и типах грунтов;
- подавление растительности;
- обвалование территорий;
- подготовка под фундамент;
- ремонт и восстановление разрушенных или поврежденных бетонных и железобетонных конструкций и изделий (материал укладывается сверху и скрепляется с существующим бетонным основанием, обеспечивая его защиту от эрозии, гидроизоляционные свойства и пр.);
- устройство вентиляционные каналов, перемычек для шахт и пр.;
- гидроизоляция и ремонт поврежденных водоводов, каналов и пр.;
- возведение гидросооружений (отстойников, бассейнов, хвостохранилищ, водосбросов, водосливов и т. д.);
- вентиляционные перемычки, взрывозащитные стены;
- защита трубопроводов, опор и выводов труб;
- создание быстровозводимых защитных и гидроизоляционных конструкций и покрытий в рамках аварийно-восстановительных работ.

Зарубежный опыт применения матов цементных композитных составляет более 50 лет. Широкое применение данного материала в РФ сдерживается недостаточностью нормативно-технической базы, однако за последние 15 лет имеется положительный отечественный опыт его использования на различных объектах [1, 3, 4, 11–13].

Текущее состояние нормативно–технической базы

В результате обзора нормативно-технических документов не выявлено отечественных нормативных технических документов (кроме локальных, например, [2–4] и пр.), регламентирующих перечень и значения нормируемых показателей и методы испытаний по их определению для матов цементных композитных. В связи с этим вопросы разработки соответствующих нормативных документов являются весьма актуальными.

Близким аналогом по структуре материала и областям его применения являются геосинтетические бентонитовые маты, технические требования к которым установлены в ГОСТ Р 70090-2022 «Материалы геосинтетические бентонитовые рулонные для гидроизоляции. Общие технические условия» [14]. В дан-

ном документе рассмотрены нормируемые показатели и методы испытаний по их определению, однако они имеют специфическую направленность, обусловленную особенностями бентонита, и не применимы для адаптации к матам цементным композитным.

Большая часть технических характеристик матов цементных композитных, указанных отечественными производителями, определена по методикам стандарта EN 12467 «Листы плоские из фиброцементобетона. Технические условия на продукцию и методы испытаний» [15] (схожие отечественные стандарты – ГОСТ 8747 «Изделия асбестоцементные листовые. Методы испытаний» [16], ГОСТ 18124 «Листы хризотилцементные плоские. Технические условия» [17] и ГОСТ 30340 «Листы хризотилцементные волнистые. Технические условия» [18]).

Имеется ряд зарубежных стандартов, разработанных за последнее десятилетие, в которых рассмотрены общие технические условия материала (включая перечень основных показателей качества), а также методы испытаний, подготовка опытных образцов и руководство по использованию материала в строительстве:

- ASTM D8364/D8364M Standard Specification for Geosynthetic Cementitious Composite Mat (GCCM) Materials (Стандартная спецификация для геосинтетических цементирующих композитных материалов) [19];
- ASTM D8030/D8030M Standard Practice for Sample Preparation for GCCM (Стандартная практика для подготовки образцов из GCCM) [20];
- ASTM D8058 Standard Test Method for Determining the Flexural Strength of a Geosynthetic Cementitious Composite Mat (GCCM) Using the Three-Point Bending Test (Стандартный метод испытаний для определения прочности на изгиб GCCM с использованием испытания на трехточечный изгиб) [21];
- ASTM D8329 Standard Test Method for Determination of Water/Cementitious Materials Ratio for Geosynthetic Cementitious Composite Mats (GCCMs) and Measurement of the Compression Strength of the Cementitious Material Contained Within (Стандартный метод испытаний для определения соотношения вода / цементные материалы для GCCM и измерение прочности на сжатие цементного материала, содержащегося внутри) [22].
- ASTM D8173 Standard Guide for Site Preparation, Layout, Installation, and Hydration of Geosynthetic Cementitious Composite Mats (Стандартное руководство для подготовки, раскладки, монтажа и гидратации GCCM) [23].

Перспективы развития нормативно–технической базы

Для нормального применения матов цементных композитных требуется разработка как минимум ряда государственных стандартов (ГОСТ), регламентирующих общие технические требования к материалу, его нормируемым показателям качества и методам испытаний по их определению.

Таблица 1
Table 1

Технические характеристики материала по данным производителей
Technical characteristics of the material according to manufacturers

Наименование показателя	Ед. изм.	Значения показателей			
		по [2]	по [3]	по [4, 5]	по [6]
Номинальная толщина	мм	5–13	5–11	5–13	5–11
Плотность в сухом (негидратированном) состоянии, не менее	кг/м ³	1500–1800	1450	1400	1450
Рабочее время (до начала схватывания) при температуре от +5 до +20 °С	ч	1–2	1	1–2	1
Набор прочности при изгибе через 24 часа гидратации при температуре +20 °С, не менее	%	80	75 (через 72 ч)	80	75 (через 72 ч)
Плотность в затвердевшем состоянии, не менее	кг/м ³	1700–2025	1700	1950–2025	1700
Прочность на изгиб в воздушно-сухом состоянии в возрасте 28 суток, не менее	МПа	4,5–5	4	–	4
Прочность на изгиб в насыщенном водой состоянии в возрасте 28 суток, не менее	МПа	3,4	–	3,4	–
Морозостойкость, количество циклов замораживания-оттаивания, не менее	марка	F ₁ 200–F ₁ 300			
Стойкость к попеременному водонасыщению-высушиванию, не менее	циклы	50	–	50	–
Водонепроницаемость	24 ч	Водонепроницаем			
Водопоглощение	%	16–25	–	–	–

Основой для разработки нормативно-технической базы является обобщение результатов целевых исследований, опыта применения строительного материала и технических документов.

В табл. 1 сведены технические характеристики матов цементных композитных, указанные в информационных буклетах производителей материала. Анализ табл. 1 показал близкие значения технических характеристик для производимых и реализуемых в России матов цементных композитных.

При разработке новых нормативных документов рационально обратиться к ряду стандартов, распространяющихся на материалы, близкие к рассматриваемому в части сходства типа и формы материала и его нормируемых характеристик. Например, листовые цементосодержащие материалы (ГОСТ 8747-88 [16], ГОСТ 18124-2012 [17] и пр.) или непосредственно цемент и бетон (ГОСТ 310.3-76 [24], ГОСТ 5802-86 [25], ГОСТ 10060-2012 [26] и пр.).

Из анализа результатов научных исследований, выполненных в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева и ВНИИЖелезобетон, а также [1–13, 19] составлен ориентировочный перечень нормируемых показателей матов цементных композитных, рекомендуемый для включения в разрабатываемый проект ГОСТ Р «Маты цементные композитные. Общие технические условия»:

- толщина;
- плотность в сухом незатворенном состоянии;

- рабочее время до начала схватывания;
- набор прочности при изгибе через 24 часа гидратации при температуре +20 °С;
- плотность в затвердевшем состоянии;
- водопоглощение;
- прочность на изгиб при твердении в воздушно-сухом состоянии (продольное и поперечное направления);
- прочность на изгиб при твердении в насыщенном водой состоянии (продольное и поперечное направления);
- прочность при сжатии образцов из цементной составляющей полотна;
- марка по морозостойкости (с оценкой прочности на изгиб);
- водонепроницаемость.

Для определения минимальных требований к значениям нормируемых показателей требуется их экспериментальная проверка для разных типоразмеров материала, производимого и реализуемого на территории РФ.

В табл. 2 сведены подходы (включая адаптированные стандартные методы испытаний близких аналогов) к испытаниям по определению показателей качества матов цементных композитных, которые приведены в [2, 13, 19] и могут быть использованы при подготовке предложений по разработке проекта ГОСТ Р «Маты цементные композитные. Методы испытаний».

Таблица 2
Table 2

Обзор методов испытаний матов цементных композитных
Overview of test methods for cement composite mats

Основные нормируемые показатели	по [13]	по [2]	по [19]
Толщина*	(ГОСТ 18124 [17] с учетом ГОСТ EN 12431 [39] и ASTM D8030 [20])	ГОСТ 18124 [17]	ASTM D5199 [40]
Плотность в сухом незатвердевшем состоянии*	(СТО [2] с учетом ГОСТ 18124 [17], ГОСТ EN 12431 [39], ASTM D8329 [22])	п. 8.3 СТО [2]	ASTM D5993 [41] с учетом ASTM D5199 [40]
Рабочее время до начала схватывания*	(ГОСТ 310.3 [24] с учетом ASTM D8329 [22])	п. 8.6 СТО [2]	–
Набор прочности при изгибе через 24 часа гидратации при температуре +20 °С	–	(ГОСТ 18124 [17])	–
Плотность в затвердевшем состоянии	(ГОСТ 18124 [17] с учетом СТО [2] и ASTM D8058 [21])	(ГОСТ 18124 [17])	–
Водопоглощение	(ГОСТ 18124 [17] с учетом СТО [2] и ASTM D8058 [21])	(ГОСТ 18124 [17])	–
Прочность на растяжение	–	–	ASTM D6768 [36] с учетом ASTM D4885 [37]
Прочность на изгиб при твердении в воздушно-сухом состоянии	(ГОСТ 18124 [17] с учетом СТО [2] и ASTM D8058 [21])	(ГОСТ 18124 [17])	ASTM D8058 [21]
Прочность на изгиб при твердении в насыщенном водой состоянии	(ГОСТ 18124 [17] с учетом СТО [2] и ASTM D8058 [21])	(ГОСТ 18124 [17])	ASTM D8058 [21]
Прочность при сжатии образцов из полотна	(ГОСТ 5802 [25] с учетом ГОСТ 28570 [42], ГОСТ 10180 [43], ASTM D8030 [20])	–	–
Прочность при сжатии образцов из цементной составляющей полотна	(ГОСТ 5802 [25] с учетом ASTM D8329 [22] и ГОСТ 10180 [43])	–	ASTM D8329 [22]
Прочность на прокол	–	–	ASTM D5494 [38]
Истираемость	–	–	ASTM C1353 [33]
Морозостойкость (базовый метод, с оценкой прочности на изгиб)	–	(ГОСТ 18124 [17])	ASTM C1185 [44] с учетом ASTM D8058 [21]
Морозостойкость (ускоренный метод, с оценкой прочности на изгиб)	(СТО [2] с учетом ГОСТ 10060 [26] и ASTM D8058 [21])	(ГОСТ 10060 [26] с учетом ГОСТ 18124 [17])	ASTM C1185 [44] с учетом ASTM D8058 [21]
Водопроницаемость	ГОСТ 18124 [17]	ГОСТ 18124 [17]	–
Определение количества циклов стойкости к попеременному водонасыщению и высушиванию	–	(EN 12467 [15])	–

Примечания:

Символом «*» отмечены методы испытаний для образцов в исходном (не гидратированном) состоянии.

Скобками обозначены адаптации стандартных методов, описание которых приведено в рассмотренных литературных источниках.

Учитывая характер эксплуатации материала, также целесообразно контролировать следующие показатели (данные методы указаны ориентировочно и требуют экспериментальной проверки):

- горючесть – по ГОСТ 30244 [27];
- воспламеняемость – по ГОСТ 30402 [28];
- распространение пламени – по ГОСТ Р 51032 [29];
- дымообразующую способность – по ГОСТ 12.1.044 [30];
- токсичность продуктов горения – по ГОСТ 12.1.044 [30];

- удельную эффективную активность естественных радионуклидов – по ГОСТ 30108 [31];
- истираемость – по ГОСТ 13087 [32] или ASTM C1353 [33];
- устойчивость к воздействию щелочей, кислот, нефтепродуктов и пр. – по ГОСТ Р 58896 [34];
- прочность на растяжение – по ГОСТ 33067 [35] или ASTM D6768 [36], ASTM D4885 [37];
- прочность на прокол – по ГОСТ 33067 [35] или ASTM D5494 [38];
- устойчивость к попеременному водонасыщению и высушиванию – по EN 12467 [15].

Подготовку опытных образцов в общем виде рекомендуется осуществлять в соответствии с ASTM D8030/D8030M [20] с учетом СТО [2] и специфики запланированных испытаний.

Заключение

Маты цементные композитные являются инновационным и перспективным строительным материалом. В России отсутствуют государственные нормативные документы для матов цементных композитных. Для повышения их качества и доступности, а также для увеличения доли их применения в строительной отрасли требуется разработка нормативных документов, устанавливающих технические требования к материалу, его нормируемым показателям качества и методам испытаний по их контролю: ГОСТ Р «Маты цементные композитные. Общие технические условия» и ГОСТ Р «Маты цементные композитные. Методы испытаний». При их разработке могут быть использованы материалы из [2, 13, 19].

Анализ указанных производителями технических характеристик для реализуемых в России матов цементных композитных показал незначительные отличия их значений между собой (табл. 1). Однако при разработке соответствующего нормативного документа для определения минимальных требований к значениям нормируемых показателей материала требуется их экспериментальная проверка для разных типоразмеров и наименований материала.

По результатам анализа материалов [1–13, 19] составлен перечень основных нормируемых потребительских показателей качества для матов цементных композитных: толщина; плотность в сухом не затвердевшем состоянии; рабочее время до начала схватывания; набор прочности при изгибе через 24 часа гидратации при температуре +20 °С; плотность в затвердевшем состоянии; водопоглощение; прочность на изгиб при твердении в воздушно-сухом состоянии (продольное и поперечное направления); прочность на изгиб при твердении в насыщенном водой состоянии (продольное и поперечное направления); прочность при сжатии образцов из цементной составляющей полотна; марка по морозостойкости (с оценкой прочности на изгиб); водонепроницаемость. Обобщающие методы испытаний по контролю данных показателей приведены в [2, 13, 19] (принципиальные подходы к испытаниям показаны в табл. 2). Эти предложения и материалы рекомендуются к учету при разработке нормативных документов.

К значимым показателям качества также можно отнести горючесть, воспламеняемость, распространение пламени, дымообразующая способность, токсичность продуктов горения, удельная эффективная активность естественных радионуклидов, истираемость, прочность на растяжение и прокол, устойчивость к воздействию щелочей, кислот, нефтепродуктов и к попеременному водонасыщению и высушиванию (методы контроля данных показателей требуют адаптации и экспериментальной проверки).

Список литературы

1. Concrete Canvas Russia [Электронный ресурс] // United Concrete Canvas. URL: <https://uccr.su/material/> (дата обращения 17.01.2023).
2. СТО 02544849-001-2018. Полотно бетонное «CONCRETE CANVAS» («КОНКРИТ КЭНВАС»). Технические условия.
3. Бетонное полотно «ИННО БЕТОН 21» по ТУ 23.64.10-001-46353620-2021: технический каталог [Электронный ресурс] // ИННО БЕТОН 21. URL: <https://innobeton.ru/> (дата обращения: 14.02.2021).
4. Бетонное полотно «ТЕХПОЛИМЕР» по СТО 56910145-025-2017 [Электронный ресурс]. <https://www.texpolimer.ru/products/betonnoe-polotno/> (дата обращения: 14.02.2021).
5. Рекомендации по монтажу бетонного полотна «ТЕХПОЛИМЕР» (СТО 56910145-025-2017) [Электронный ресурс]. URL: <https://texpolimer.by/wp-content/uploads/2019/02/rekomend-beton-polotno.pdf> (дата обращения: 14.02.2021).
6. Геосинтетический цементирующий мат ФЛЕКСБЕТ: информационный буклет [Электронный ресурс] // ГК «МИАКОМ». URL: <http://miakom.ru/production/geokompozitnyy-tsementiruyushchiy-mat-fleksbet/> (дата обращения 17.01.2023).
7. Jongvivatsakul P., Ramdit T., Phong Ngo T., Likitlersuang S. Experimental investigation on mechanical properties of geosynthetic cementitious composite mat (GCCM). *Construction and Building Materials*. 2018, vol. 166, pp. 956–965. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.185>
8. Likitlersuang S., Kounyou K., Prasetyaningtiyas G.A. Performance of geosynthetic cementitious composite mat and vetiver on soil erosion control. *Journal of Mountain Science*. 2020, vol. 17, pp. 1410–1422. <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5926-5>
9. Ngo T.P., Likitlersuang S., Takahashi A. Performance of a geosynthetic cementitious composite mat for stabilising sandy slopes. *Geosynthetics International*. 2019, vol. 26(3), pp. 309–319. <https://doi.org/10.1680/jgein.19.00020>
10. Crawford W., Kujawski M. Geosynthetic Cementitious Composite Mats – Essential Characteristics and Properties. *IFAI Geosynthetics Conference proceedings*. 2019, pp. 432–441.
11. Сильченко В.Ф. Применение быстровозводимого бетонного покрытия для укрепления откосов каналов // *Экология и водное хозяйство*. 2021. № 1. С. 36–44. <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2021-3-1-36-44>
12. Горьков К.В. Инженерная защита территории и сооружений с использованием бетонного полотна «ТехПолимер» // *Гидротехника*. 2022. № 2. С. 71–73. https://doi.org/10.55326/22278400_2022_2_71
13. Разработка методик испытаний полотна бетонного на цементном вяжущем по ключевым потребительским показателям качества: Технический отчет. Москва: НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»; 2022.

14. ГОСТ Р 70090-2022. Материалы геосинтетические бентонитовые рулонные для гидроизоляции. Общие технические условия.

15. EN 12467:2013+A2:2018. Fibre-cement flat sheets – Product specification and test methods.

16. ГОСТ 8747-88. Изделия асбестоцементные листовые. Методы испытаний.

17. ГОСТ 18124-2012. Листы хризотилцементные плоские. Технические условия.

18. ГОСТ 30340-2012. Листы хризотилцементные волнистые. Технические условия.

19. ASTM D8364/D8364M-21. Standard Specification for Geosynthetic Cementitious Composite Mat (GCCM) Materials.

20. ASTM D8030/D8030M-16. Standard Practice for Sample Preparation for GCCM.

21. ASTM D8058-19. Standard Test Method for Determining the Flexural Strength of a Geosynthetic Cementitious Composite Mat (GCCM) Using the Three-Point Bending Test.

22. ASTM D8329-21. Standard Test Method for Determination of Water/Cementitious Materials Ratio for Geosynthetic Cementitious Composite Mats (GCCMs) and Measurement of the Compression Strength of the Cementitious Material Contained Within.

23. ASTM D8173-18. Standard Guide for Site Preparation, Layout, Installation, and Hydration of Geosynthetic Cementitious Composite Mats.

24. ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема.

25. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний.

26. ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости.

27. ГОСТ 30244-94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть.

28. ГОСТ 30402-96. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость.

29. ГОСТ Р 51032-97. Материалы строительные. Метод испытания на распространение пламени.

30. ГОСТ 12.1.044-2018. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

31. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов.

32. ГОСТ 13087-2018. Бетоны. Методы определения истираемости.

33. ASTM C1353/C1353M-20. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Dimension Stone Subjected to Foot Traffic Using a Rotary Platform Abraser.

34. ГОСТ Р 58896-2020. Бетоны химически стойкие. Методы испытаний.

35. ГОСТ 33067-2014 (EN 13256:2005, EN 13491:2006). Материалы геосинтетические для туннелей и подземных сооружений. Общие технические требования.

36. ASTM D6768/D6768M-20. Standard Test Method for Tensile Strength of Geosynthetic Clay Liners.

37. ASTM D4885-01(2018). Standard Test Method for Determining Performance Strength of Geomembranes by the Wide Strip Tensile Method.

38. ASTM D5494-93(2018). Standard Test Method for the Determination of Pyramid Puncture Resistance of Unprotected and Protected Geomembranes.

39. ГОСТ EN 12431-2011. Изделия теплоизоляционные, применяемые в строительстве в плавающих полах. Метод определения толщины.

40. ASTM D5199-12(2019). Standard Test Method for Measuring the Nominal Thickness of Geosynthetics.

41. ASTM D5993-18(2022). Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Geosynthetic Clay Liners.

42. ГОСТ 28570-2019. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций.

43. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

44. ASTM C1185-08(2016). Standard Test Methods for Sampling and Testing Non-Asbestos Fiber-Cement Flat Sheet, Roofing and Siding Shingles, and Clapboards.

References

1. Concrete Canvas Russia [Electronic resource]. United Concrete Canvas. URL: <https://uccr.su/material/> (accessed: 17.01.2023). (In Russian).

2. Standard of Organization 02544849-001-2018. Concrete mats "Concrete canvas". LLC "Concrete Canvas Russia". (In Russian).

3. Concrete mats "INNO CONCRETE 21" according to TC 23.64.10-001-46353620-2021: technical catalog [Electronic resource]. INNO CONCRETE 21. URL: <https://innobeton.ru/> (accessed: 14.02.2021). (In Russian).

4. Concrete mats "TECHPOLYMER" according to Standard of Organization 56910145-025-2017 [Electronic resource]. <https://www.texpolimer.ru/products/betonnoe-polotno/> (accessed: 14.02.2021). (In Russian).

5. Recommendations for the installation of the "TECHPOLYMER" concrete mats (Standard of Organization No. 56910145-025-2017). [Electronic resource]. URL: <https://texpolimer.by/wp-content/uploads/2019/02/rekomend-beton-polotno.pdf> (accessed: 14.02.2021). (In Russian).

6. Geosynthetic cementing mat FLEXBET: information booklet [Electronic resource]. MIACOM Group of Companies. URL: <http://miakom.ru/production/geokompozitnyy-tsementiruyushchiy-mat-fleksbet> (accessed: 17.01.2023). (In Russian).

7. Jongvivatsakul P., Ramdit T., Phong Ngo T., Likitlersuang S. Experimental investigation on mechanical properties of geosynthetic cementitious composite mat (GCCM). *Construction and Building Materials*. 2018, vol. 166, pp. 956–965. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.185>.

8. Likitlersuang S., Kounyou K., Prasetyaningtiyas G.A. Performance of geosynthetic cementitious composite mat and vetiver on soil erosion control. *Journal of Mountain Science*. 2020, vol. 17, pp. 1410–1422. <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5926-5>

9. Ngo T.P., Likitlersuang S., Takahashi A. Performance of a geosynthetic cementitious composite mat for stabilising sandy slopes. *Geosynthetics International*. 2019, vol. 26(3), pp. 309–319. <https://doi.org/10.1680/jgein.19.00020>
10. Crawford W., Kujawski M. Geosynthetic Cementitious Composite Mats – Essential Characteristics and Properties. *IFAI Geosynthetics Conference proceedings*. 2019, pp. 432–441.
11. Silchenko V.F. Application of prefabricated concrete lining for strengthening canal slopes. *Ecology and Water Management*. 2021, no. 1, pp. 36–44. (In Russian). <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2021-3-1-36-44>
12. Gorkov K.V. Engineering protection of territories and facilities using TechPolymer concrete sheet. *Hydro-technika*. 2022, no. 2, pp. 71–73. (In Russian). https://doi.org/10.55326/22278400_2022_2_71
13. Development of test methods for concrete mats on cement binder according to main consumer quality indicators: Technical Report. NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction. Moscow; 2022. (In Russian).
14. State Standard R 70090-2022. Geosynthetic bentonite roll waterproofing materials. General specifications. (In Russian).
15. EN 12467:2013+A2:2018. Fibre-cement flat sheets – Product specification and test methods.
16. State Standard 8747-88. Asbestos-cement sheet products. Test methods. (In Russian).
17. State Standard 18124-2012. Flat chrysotile cement sheets. Specifications. (In Russian).
18. State Standard 30340-2012. Corrugated chrysotile cement sheets. Specifications. (In Russian).
19. ASTM D8364/D8364M-21. Standard Specification for Geosynthetic Cementitious Composite Mat (GCCM) Materials.
20. ASTM D8030/D8030M-16. Standard Practice for Sample Preparation for GCCM.
21. ASTM D8058-19. Standard Test Method for Determining the Flexural Strength of a Geosynthetic Cementitious Composite Mat (GCCM) Using the Three-Point Bending Test.
22. ASTM D8329-21. Standard Test Method for Determination of Water/Cementitious Materials Ratio for Geosynthetic Cementitious Composite Mats (GCCMs) and Measurement of the Compression Strength of the Cementitious Material Contained Within.
23. ASTM D8173-18. Standard Guide for Site Preparation, Layout, Installation, and Hydration of Geosynthetic Cementitious Composite Mats.
24. State Standard 310.3-76. Cements. Methods for determination of standard consistency, time of setting and soundness. (In Russian).
25. State Standard 5802-86. Mortars. Test methods. (In Russian).
26. State Standard 10060-2012. Concretes. Methods for determination of frost-resistance. (In Russian).
27. State Standard 30244-94. Building materials. Methods for combustibility test. (In Russian).
28. State Standard 30402-96. Building materials. Ignitability test method. (In Russian).
29. State Standard R 51032-97. Building materials. Spread flame test method. (In Russian).
30. State Standard 12.1.044-2018. Occupational safety standards system. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indices and methods of their determination. (In Russian).
31. State Standard 30108-94. Building materials and elements. Determination of specific activity of natural radioactive nuclei. (In Russian).
32. State Standard 13087-2018. Concretes. Methods of abrasion test. (In Russian).
33. ASTM C1353/C1353M-20. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Dimension Stone Subjected to Foot Traffic Using a Rotary Platform Abraser.
34. State Standard R 58896-2020. Chemically resistant concretes. Test methods. (In Russian).
35. State Standard 33067-2014 (EN 13256:2005, EN 13491:2006). Geosynthetic materials for tunnels and underground structures. General technical requirements. (In Russian).
36. ASTM D6768/D6768M-20. Standard Test Method for Tensile Strength of Geosynthetic Clay Liners.
37. ASTM D4885-01(2018). Standard Test Method for Determining Performance Strength of Geomembranes by the Wide Strip Tensile Method.
38. ASTM D5494-93(2018). Standard Test Method for the Determination of Pyramid Puncture Resistance of Unprotected and Protected Geomembranes.
39. State Standard EN 12431-2011. Thermal insulating products used in building for floating floors. Method for determination of thickness. (In Russian).
40. ASTM D5199-12(2019). Standard Test Method for Measuring the Nominal Thickness of Geosynthetics.
41. ASTM D5993-18(2022). Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Geosynthetic Clay Liners.
42. State Standard 28570-2019. Concretes. Methods of strength determination on cores selected from structures. (In Russian).
43. State Standard 10180-2012. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens. (In Russian).
44. ASTM C1185-08(2016). Standard Test Methods for Sampling and Testing Non-Asbestos Fiber-Cement Flat Sheet, Roofing and Siding Shingles, and Clapboards.

Информация об авторах / Information about the authors

Андрей Викторович Бучкин, канд. техн. наук, заместитель директора по производственной работе, заместитель заведующего лабораторией коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
Andrey V. Buchkin, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Director for Production Activities, Deputy Head of the Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

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

e-mail: konst_k@mail.ru

Konstantin L. Kudyakov✉, Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher at the Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

e-mail: konst_k@mail.ru

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

Sergey D. Epikhin, Engineer at the Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Graduate Student of the National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

Евгений Юрьевич Юрин, аспирант, старший научный сотрудник лаборатории коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Evgeniy Y. Yurin, Graduate Student, Senior Researcher at the Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

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

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

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



Ассоциация «Железобетон»

Отраслевая площадка федерального масштаба по бетону и железобетону

Совместное решение проблем производителей бетона и железобетона, в партнерстве с ведущими строительными компаниями отрасли, НИИ, ВУЗами с поддержкой инноваций и реконструкции предприятий бетона и сборного железобетона, аналитикой рынка бетона и железобетона, определению приоритетных задач отрасли и способов их решения.



**ИНН 7721262164, КПП 772101001,
ОГРН 1037721030390109428,
109428, Россия, г. Москва,
Рязанский проспект, д. 22, корпус 2
web: azhb.ru email: info@azhb.ru
тел.: +7 (499) 170-60-13**

В.А. РАХМАНОВ, В.И. МЕЛИХОВ✉, А.А. САФОНОВ
ООО «Институт ВНИИжелезобетон», ул. Плеханова, 7, г. Москва, 111141,
Российская Федерация

ИСПЫТАНИЯ НА ВЕТРОВЫЕ НАГРУЗКИ СТЕНОВОЙ КЛАДКИ ИЗ НЕГОРЮЧИХ ПОЛИСТИРОЛБЕТОННЫХ БЛОКОВ

Аннотация

Введение. Разработанные ООО «Институт ВНИИжелезобетон» блоки из негорючего полистиролбетона марки по плотности D300, класса по прочности на сжатие В1 с нормированной теплопроводностью $\lambda_0 = 0,078$ Вт/(м·°С) и морозостойкостью марки не ниже F75 были использованы в стеновой кладке толщиной 375 мм без специальной огнезащитной облицовки. Такая кладка успешно прошла стандартные огневые испытания на пожарную опасность и огнестойкость, показавшие возможность ее применения в наружных несущих энергосберегающих стенах многоэтажных зданий (до 25 этажей включительно высотой порядка 75 м).

Цель. Оценка прочностных и деформативных характеристик необлицованной негорючими материалами стеновой кладки из негорючих полистиролбетонных блоков плотностью D300 при расчетных ветровых нагрузках на высоте порядка 75 м.

Материалы и методы. Испытывались фрагменты необлицованной стеновой кладки толщиной 375 мм, высотой 2,7 м и шириной 1,2 м из смонтированных на растворе негорючих полистиролбетонных блоков с габаритными размерами 295 × 375 × 595 мм.

Методика проведения испытаний – по ГОСТ 8829-2018. **Результаты.** Разрушающая изгибающая нагрузка превысила расчетную в среднем в 4,1 раза при прогибе в середине фрагмента в 1,9 раза менее допустимого.

Разработана методика расчета прочности и деформативности кладки из полистиролбетонных блоков при ветровых нагрузках с учетом влияния горизонтальных и вертикальных кладочных швов, которую намечено отразить в Изм. № 1 СП 434.1325800.2018.

Выводы. Результаты испытаний на ветровую нагрузку показали, что для необлицованной кладки из негорючих полистиролбетонных блоков плотностью D300 толщиной 375 мм требования по прочности и деформативности обеспечиваются с существенным запасом.

Результаты испытаний на ветровые и огневые воздействия указанной блочной кладки делают возможным ее использование в несущих наружных стенах многоэтажных жилых энергоэффективных зданий высотой до 75 м фактически во всех регионах России.

Ключевые слова: полистиролбетон, негорючесть, плотность, прочность, наружные стены зданий, ветровая нагрузка

Для цитирования: Рахманов В.А., Мелихов В.И., Сафонов А.А. Испытания на ветровые нагрузки стеновой кладки из негорючих полистиролбетонных блоков // *Бетон и железобетон*. 2023. № 3 (617). С. 15–23. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-15-23](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-15-23)

Вклад авторов

Рахманов В.А. – научное руководство испытаниями и обобщением их результатов.

Мелихов В.И. – обобщение результатов испытаний, уточнение методик расчетов.

Сафонов А.А. – подготовка и проведение испытаний.

Финансирование

Исследование осуществлялось за счет средств ООО «Институт ВНИИжелезобетон».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 13.06.2023

Поступила после рецензирования 29.06.2023

Принята к публикации 06.07.2023

V.A. RAKHMANOV, V.I. MELIKHOV✉, A.A. SAFONOV
LLC “Institute VNIIZhelezobeton”, Plekhanova street, 7, Moscow, 111114,
Russian Federation

WIND LOADS TESTS OF EXTERNAL WALLS BLOCKS MASONRY OF NON–COMBUSTIBLE POLYSTYRENE CONCRETE

Abstract

Introduction. Blocks of non-combustible polystyrene concrete of D300 density grade, B1 compressive strength class with normalized thermal conductivity $\lambda_0 = 0,078 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$ and frost resistance grade not lower than F75, developed by LLC “Institute VNIIZhelezobeton”, were used in masonry with a thickness of 375 mm without special fire-proof lining. Such masonry successfully passed standard fire tests for fire hazard and fire resistance, which showed the possibility of its use in external non-bearing energy-saving walls of multi-storey buildings (up to 25 floors inclusive, about 75 m high).

Aim. Evaluation of the strength and deformation characteristics of non-combustible wall masonry made of non-combustible polystyrene concrete blocks with a density of D300 at design wind loads at a height of about 75 m.

Materials and methods. Fragments of uncoated wall masonry 375 mm thick, 2,7 m high and 1,2 m wide of noncombustible polystyrene concrete blocks mounted on a mortar with over-all dimensions of $295 \times 375 \times 595 \text{ mm}$ were tested.

The test procedure is in accordance with State Standard 8829-2018.

Results. The destructive bending load exceeded the calculated one by an average of 4,1 times, while the deflection in the middle of the fragment was 1,9 times less than the permissible one.

A methodology has been developed for calculating the strength and deformability of masonry of polystyrene concrete blocks under wind loads, taking into account the influence of horizontal and vertical masonry joints, which is scheduled to be reflected in Amendment No. 1 SP 434.1325800.2018.

Conclusions. The results of wind load tests showed that for unlined masonry made of non-combustible polystyrene concrete blocks with a density of D300 and a thickness of 375 mm, the requirements for strength and deformability are met with a significant margin.

The results of tests for wind and fire effects of the specified block masonry make it possible to use it in non-bearing external walls of multi-storey residential energy-efficient buildings up to 75 m high in virtually all regions of Russia.

Keywords: polystyrene concrete, non-combustibility, density, strength, external walls of buildings, wind load

For citation: Rakhmanov V.A., Melikhov V.I., Safonov A.A. Wind loads tests of external walls blocks masonry of non-combustible polystyrene concrete. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 3 (617), pp. 15–23. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-15-23](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-15-23)

Author contribution statements

Rakhmanov V.A. – science guide of tests and generalization of testing.

Melikhov V.I. – generalization of testing results, clarification of methodologies calculations.

Safonov A.A. – preparing and conducting of tests.

Funding

The study was carried out at the expense of LLC “Institute VNIIZhelezobeton”.

Conflict of interest

Authors declare no conflict of interest.

Received 13.06.2023

Revised 29.06.2023

Accepted 06.07.2023

В 1990-х годах на основе проведенных ООО «Институт ВНИИжелезобетон» НИОКР был создан и стандартизирован уникальный энергосберегающий теплоизоляционно-конструкционный материал – полистиролбетон (ПСБ) марок по средней плотности D150–D600, эффективно сочетающий положительные свойства вспененного полистирола, имеющего низкую теплопроводность, и ячеистого бетона, обладающего относительно высокой прочностью. Вопросы нормирования, изготовления и эффективного применения полистиролбетона подробно изложены в монографии [1].

В последние десятилетия ПСБ эффективно использовался в ограждающих конструкциях энергосберегающих жилых и общественных зданий, построенных в Центральном и других регионах РФ по разработанным ООО «Институт ВНИИжелезобетон» строительным системам «Юникон» и «Юникон-2», общая площадь зданий порядка 18 млн кв. м.

Однако более массовое и экономичное внедрение полистиролбетона сдерживалось тем, что согласно ГОСТ Р 51263-2012 «Полистиролбетон. Технические условия» ПСБ был нормирован как горючий материал группы Г1 (слабогорючий), поэтому при его использовании в наружных стенах средне- и многоэтажных зданиях он должен облицовываться негорючими материалами (кирпич, штукатурка, гипсоволокнистые листы и т. п.), что заметно повышает стоимость и трудоемкость возведения наружных стеновых конструкций.

Исследования, выполненные ООО «Институт ВНИИжелезобетон» в последние годы, позволили создать негорючий особо легкий теплоизоляционно-конструкционный полистиролбетон (ПСБ) марок по средней плотности не ниже D300 [2] с нормируемой прочностью, что было отражено в ГОСТ 33929-2016 «Полистиролбетон. Технические условия» [3], запатентовано [4] и рекомендовано для применения в ненесущих однослойных наружных стенах энергоэффективных зданий по инновационной системе «Юникон-3» [5]. Негорючий ПСБ марки по плотности D300 характеризуется минимальной теплопроводностью (в интервале марок D300–D600), классом прочности на сжатие B1 и марками по морозостойкости F75–F100.

Стандартные огневые испытания необлицованных негорючими материалами фрагментов стен из негорючих ПСБ блоков с указанными выше характеристиками, проведенные в 2021 г. ИЦ «Огнестойкость» по техническому заданию ООО «Институт ВНИИжелезобетон», показали класс конструктивной пожарной опасности K0(45) и предел огнестойкости EI 90, что дает возможность применения таких блоков в наружных ненесущих стенах многоэтажных жилых и общественных зданий высотой до 75 м (порядка 25 этажей).

Для подтверждения возможности применения необлицованного негорючего ПСБ в наружных стенах мно-

гоэтажных энергоэффективных зданий специалистами ООО «Институт ВНИИжелезобетон» были проведены испытания на изгибающие равномерно распределенные нагрузки, имитирующие максимальные ветровые воздействия на верхних этажах таких зданий.

Испытывались простенки (фрагменты) стен в виде однорядной кладки из негорючих ПСБ блоков плотностью D300. При этом решились задачи:

– определения и оценки прочностных и деформативных характеристик стеновой кладки из негорючих ПСБ блоков при расчетных ветровых воздействиях на высоте порядка 75 м;

– сравнения полученных прочностных и деформативных характеристик ПСБ блочных кладок с нормативными требованиями по прочности к аналогичным конструкциям (каменным кладкам) согласно СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции» [6] и по деформативности (прогибу) согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» [7];

– уточнения методики прочностных расчетов стен из необлицованных негорючих ПСБ блоков на ветровые воздействия, нормированной в СП 434.1325800.2018 «Конструкции ограждающие из полистиролбетона. Правила проектирования» [8], в части определения расчетных характеристик кладки из ПСБ блоков: сопротивления растяжению при изгибе и его деформаций.

Следует отметить, что испытания необлицованных однорядных стеновых кладок из негорючих ПСБ блоков на ветровые нагрузки (с проработкой методов их прочностного расчета) были проведены ООО «Институт ВНИИжелезобетон» впервые, тогда как выполненные в последние годы аналогичные исследования, например, АО «ЦНИИЭПжилица» [9] и ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко [10], относятся только к разработкам методов расчетов сопротивления ветровым нагрузкам многослойных наружных стен с негорючей кирпичной фасадной облицовкой.

Характеристики фрагментов стен

Прочностным испытаниям подвергались два фрагмента стеновой кладки из ПСБ блоков с номинальными габаритными размерами 295(ℓ) × 375(h) × 595(b) мм. ПСБ блоки имели марку по средней плотности D300, класс прочности на сжатие B1, марку по морозостойкости не ниже F75 и группу негорючести НГ по ГОСТ 30244-94 «Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть» [11].

По результатам испытаний выпиленных из блоков образцов-призм 10 × 10 × 10 см при их средней плотности 320 кг/м³ значения прочности ПСБ на растяжение при изгибе составили для блоков первого фрагмента $R_{bf1}^{ic} = 0,38$ МПа и для блоков второго фрагмента $R_{bf2}^{ic} = 0,43$ МПа.

Испытываемые фрагменты наружной стены имели габаритные размеры 2,7(L) × 0,375(h) × 1,2(B) м. Они представляли из себя (рис. 1) кладку из ПСБ блоков

и полублоков (распиленных пополам блоков) на «холодной» клеевой кладочной композиции плотностью в затвердевшем состоянии $\rho_{\text{ш}} \approx 1350 \text{ кг/м}^3$ с прочностью на сжатие марки М100 и морозостойкостью марки F75. Приведенное сопротивление теплопередаче фрагментов оценивалось на уровне $R_0 = 4,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Толщина кладочных швов составляла 3–5 мм. Все 8 горизонтальных швов ($N_{\text{гш}} = 8$) фрагмента были армированы стальной сварной сеткой из проволоки $d = 1 \text{ мм}$ с прямоугольной ячейкой $25 \times 25 \text{ мм}$. Фрагменты не имели специальной огнезащитной облицовки, но для облегчения фиксации трещин перед испытаниями производилась затирка известковой шпаклевкой вертикальной поверхности с одной стороны фрагмента. Этот слой шпаклевки толщиной 1–3 мм в расчетах не учитывался.

Схема и методика испытаний

Схема прочностных испытаний фрагментов стен на равномерно распределенные изгибающие нагрузки, имитирующие ветровые воздействия, была принята в виде четырех эквивалентных сосредоточенных нагрузок ($P/4$) с суммарной эквивалентной нагрузкой P , что показано на рис. 2. Прогиб в середи-

не пролета фиксировали прогибомером – индикатором часового типа (ИЧ) с точностью измерения 0,01 мм.

При испытаниях использовалась схема силового воздействия на фрагмент в его естественном вертикальном положении. При этом также имело место вертикальное нагружение фрагмента собственным весом, что соответствует реальным условиям силовых воздействий при эксплуатации здания с ненесущими наружными стенами.

Испытания проводились нагружением двух фрагментов по методике ГОСТ 8829-2018 «Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости» [12] с определением и фиксацией нагрузок, при которых появлялись трещины и происходило разрушение образца (фрагмента стены). При этом фиксировались места и величина раскрытия трещин, а также прогиба в середине высоты фрагмента.

Определение расчетной испытательной нагрузки и предельной деформации

Максимальная ветровая нагрузка рассчитывалась по методике СП 20.13330.2016 [7] для I ветрового района РФ.



Рис. 1. Фрагмент стены перед испытанием на ветровую нагрузку
Fig. 1. Fragment of the wall before testing on wind load

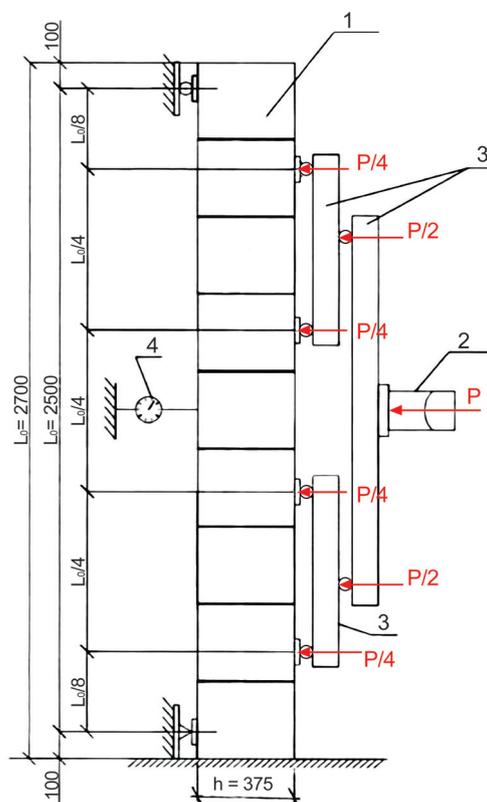


Рис. 2. Схема нагружения фрагмента стены:
1 – фрагмент стены из блочной ПСБ кладки; 2 – нагружающий гидроцилиндр и динамометр; 3 – нагружающая траверса; 4 – индикатор часового типа (прогибомер)

Fig. 2. Loading diagram of a wall fragment:
1 – a fragment of a wall made of polystyrene concrete block masonry; 2 – loading hydraulic cylinder and dynamometer; 3 – loading traverse; 4 – clock type indicator (deflection meter)

На основании такого расчета, выполненного в качестве примера ООО «Институт ВНИИЖелезобетон» в СТО 86549669-001-2012 «Руководство по проектированию и строительству энергоэффективных зданий с системой ограждающих конструкций «Юникон-2» из особо легкого полистиролбетона» [13] для построенного в г. Москве 25-этажного жилого здания шириной 30 м, с высотой этажа – 3 м и расчетным пролетом – 2,7 м, в середине наружной стены верхнего этажа максимальная односторонняя ветровая нагрузка (напор с учетом пульсации и при коэффициенте надежности $\gamma_f = 1,4$) составила $w_p = 61,8$ кгс/м².

Для фрагмента стены шириной $B = 1,2$ м линейная равномерно распределенная нагрузка равна:

$$q_{pv} = w_p \cdot B = 61,8 \cdot 1,2 = 74,16 \text{ кгс/м.}$$

Для испытываемых фрагментов высотой 2,7 м с расстоянием между опорами $L_0 = 2,5$ м максимальный расчетный момент от ветровой нагрузки составил:

$$M_{pv} = \frac{q_{pv} \cdot L_0^2}{8} = \frac{74,16 \cdot 2,5^2}{8} = 57,94 \text{ кгс} \cdot \text{м.}$$

Расчетные характеристики прочности и деформативности фрагментов стены из негорючих ПСБ блоков определялись с учетом рекомендаций СП 15.13330.2020 [6] и СП 434.1325800.2018 [8].

При проведении прочностных испытаний фрагментов проверялось выполнение соотношения:

$$M_{pv} \leq M_{pn} \leq M_{ft} \leq M_{fr}, \quad (1)$$

где M_{pn} – расчетный несущий изгибающий момент фрагмента стены;

M_{ft} – фактический изгибающий момент, при котором фрагмент начинал разрушаться (образовались трещины);

M_{fr} – фактический изгибающий момент, при котором фрагмент разрушился.

При расчетной ветровой нагрузке средний прогиб в середине расчетного пролета фрагмента ($L/2$) не должен превышать значений, нормированных в СП 20.13330.2016 (таблица Д.4, п. 2а) [7], для середины (по высоте) верхнего этажа многоэтажного здания с несущими наружными стенами из ПСБ блоков, упруго закрепляемыми к жесткому железобетонному каркасу (перекрытию или ригелю).

Согласно этим требованиям должно соблюдаться соотношение:

$$f_{и} \leq h_s/300, \quad (2)$$

где $f_{и}$ – предельно допустимое перемещение (прогиб) в мм;

h_s – высота в мм между осями смежных перекрытий или ригелей смежных этажей для многоэтажных зданий.

Для условий использования негорючих ПСБ блоков в ненесущих стенах многоэтажных жилых зданий высота простенка, подвергающегося ветровым воздействиям, была принята с учетом расстояния между полом и потолком одного этажа $h_s = 2,7 \text{ м} = 2700 \text{ мм}$, при котором:

$$f_{и} \leq 2700/300 = 9 \text{ мм.}$$

Результаты испытаний фрагментов стен на прочность и деформативность

Результаты испытаний фрагментов стен на прочность и деформативность при ветровых нагрузках представлены в табл. 1.

Испытания показали, что разрушение фрагментов происходило полностью или частично по четвертому снизу горизонтальному кладочному шву (под средним пятым рядом ПСБ блоков).

Анализ результатов прочностных испытаний фрагментов стен, приведенных в табл. 1, показывает, что:

- разрушающая нагрузка превысила расчетную для первого фрагмента в 3,4 раза, а для второго фрагмента в 4,8 раза, т. е. условие (1) соблюдается с существенным запасом (в среднем в 4,1 раза);

- прогиб в середине фрагментов при расчетной ветровой нагрузке был ниже нормируемого ($f_{и} = 9$ мм) также с существенным запасом (в среднем в 1,9 раза).

Результаты испытаний с полученными запасами по прочности дают основания предполагать, что блочная кладка толщиной 375 мм из негорючего ПСБ марки по плотности D300 (с требуемыми характеристиками пожарной безопасности и огнестойкости таких конструкций) может быть использована в ненесущих стенах для многоэтажных зданий высотой до 75 м включительно во всех ветровых регионах России по классификации СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» [14].

Таблица 1
Table 1

Результаты испытаний фрагментов стен на ветровые нагрузки
Results of wall fragments testing for wind loads

Вид нагрузок	Результаты испытаний							
	1-й фрагмент				2-й фрагмент			
	P_1 , кгс	q_1 , кгс/м	M_1 , кгс·м	Прогиб в середине фрагмента, $f_{и1}$, мм	P_2 , кгс	q_2 , кгс/м	M_2 , кгс·м	Прогиб в середине фрагмента, $f_{и2}$, мм
1. Расчетные ветровые	1590	74,16	57,94	0,45	1590	74,16	57,94	0,71
	100 %				100 %			
2. Фактические трещинообразующие	3600	144,0	93,7	0,89	8400	336,0	218,6	3,35
	162 %				377 %			
3. Фактические разрушающие	7600	322,0	197,7	4,5	10800	443,4	280,5	4,6
	341 %				484 %			

Уточнение методики определения расчетных прочностных характеристик ПСБ блочных кладок

В формуле (1) расчетный несущий изгибающий момент предложено определять по формуле:

$$M_{pn} = K_{\text{ш}} \bar{R}_{\text{btf}} W_{\text{к}}, \quad (3)$$

где $K_{\text{ш}}$ – понижающий коэффициент, учитывающий влияние кладочных швов при изгибе нагружаемого простенка;

\bar{R}_{btf} – приведенная расчетная прочность полистиролбетона на растяжение при изгибе;

$W_{\text{к}}$ – момент сопротивления ПСБ простенка (без кладочных швов).

Согласно рекомендациям СП 434.1325800.2018 [8] для определения приведенной расчетной прочности на растяжение при изгибе кладки из ПСБ с «холодными» клеевыми швами должен использоваться понижающий коэффициент $K = 0,85$ относительно нормируемых ГОСТ 33929-2016 [3] расчетных значений:

$$\bar{R}_{\text{btf}} = 0,85 R_{\text{btf}} \quad (4)$$

Для ПСБ блоков плотностью D300 расчетная прочность на растяжение при изгибе для предельных состояний первой группы (трещины не допускаются) принималась по данным ГОСТ 33929-2016 [3] равной $R_{\text{btf}} = 0,32$ МПа.

Момент сопротивления простенка без учета влияния швов рассчитывался по формуле для изгибаемого элемента прямоугольного сечения:

$$W_{\text{к}} = \frac{Bh^2}{6} \quad (5)$$

Для испытываемых фрагментов его величина, вычисленная по формуле (5) при $B = 120$ см и $h = 37,5$ см, составила $W_{\text{к}} = 28125$ см³.

Как видно из формулы (3), расчетный несущий изгибающий момент блочной кладки должен учитывать влияние горизонтальных и вертикальных кладочных швов. При этом вертикальные кладочные швы, являясь в стене при ветровом воздействии ребрами жесткости, повышают сопротивление кладки на растяжение при изгибе, тогда как горизонтальные кладочные швы в значительной мере снижают ее прочность.

$K_{\text{ш}}$ было предложено вычислить по формуле:

$$K_{\text{ш}} = K_{\text{вш}} \cdot K_{\text{гш}} = \frac{N_{\text{вш}} \ell}{L(1+N_{\text{гш}})^{-1}}, \quad (6)$$

где $K_{\text{вш}} = N_{\text{вш}} \ell / L$ – коэффициент влияния вертикальных кладочных швов;

$K_{\text{гш}} = (1+N_{\text{гш}})^{-1}$ – коэффициент влияния горизонтальных кладочных швов;

$N_{\text{вш}}$ и $N_{\text{гш}}$ – соответственно количество вертикальных и горизонтальных кладочных швов в простенке;

ℓ – высота вертикальных кладочных швов в пределах одного горизонтального ряда блоков, м;

L – высота испытываемых простенков, м.

Для испытанных фрагментов стен из блочной ПСБ кладки с параметрами: $N_{\text{вш}} = 13$, $N_{\text{гш}} = 8$, $\ell \approx 0,3$ м и $L = 2,7$ м при расчете по формуле (6) $K_{\text{ш}} = 0,16$.

Фактическую (по данным испытаний) прочность на растяжение при изгибе кладки из ПСБ блоков определяли по формуле:

$$R_{\text{btfk}}^{\phi} = \frac{M_{\text{фр}}}{W_{\text{к}}} \quad (7)$$

Сравнение расчетных ветровых, несущих прочностных характеристик простенков и разрушающих нагрузок приведено в табл. 2.

Как видно из данных табл. 2, условие (1) удовлетворяется:

$$M_{\text{рв}} = 57,94 \text{ кгс} \cdot \text{м} < M_{\text{рн}} = 112,5 \text{ кгс} \cdot \text{м} < M_{\text{фт}} = 156,2 \text{ кгс} \cdot \text{м} < M_{\text{фр}} = 239,2 \text{ кгс} \cdot \text{м}.$$

Нормируемую прочность на растяжение при изгибе кладки из ПСБ блоков D300 по неперевязанному сечению было предложено принять как среднюю для двух испытанных фрагментов равную $R_{\text{btfk}}^{\text{н}} \approx 0,09$ МПа.

Фактическая прочность на растяжение при изгибе кладки на растворе М100 по неперевязанному сечению из ПСБ негорючих блоков D300 ($R_{\text{btfk}}^{\phi} = 0,071 \div 0,102$ МПа) находилась на уровне приведенных нормированных значений кладки из ячеистобетонных блоков для аналогичных условий, равной:

$$R_{\text{btfk}}^{\phi} = 0,12(0,7 \div 0,8) = (0,084 \div 0,096) \text{ МПа},$$

Таблица 2
Table 2

Сводные прочностные характеристики блочных кладок из негорючего полистиролбетона плотностью D300
Pivot strength characteristics of block masonry made of non-combustible polystyrene concrete with a density of D300

№ фрагментов	Прочность на растяжение при изгибе, МПа			Изгибающие моменты для кладки, кгс·м			
	нормируемая по ГОСТ 33929-2016 [3], R_{btf}	фактическая по результатам испытаний		расчетный от ветровой нагрузки, $M_{\text{рв}}$	расчетные несущие, $M_{\text{рн}}$, формула (3)	фактические	
		R_{btf}^{ϕ}	$\bar{R}_{\text{btf}}^{\phi}$			R_{btfk}^{ϕ} , формула (7)	трещинообразующие, $M_{\text{фт}}$
1-й	0,32	0,38	0,32	57,94 (100 %)	104,91	93,7	197,7
2-й		0,43	0,37		120,09	218,6	280,6
средние	0,41	0,35	0,09		112,5 (194 %)	156,2 (269 %)	239,2 (413 %)

где 0,12 МПа – нормируемая прочность на растяжение при изгибе кладки на растворе М100 из сплошных блоков по неперевязанному сечению (табл. 6.11 СП 15.13330.2020 [6]);

0,7 и 0,8 – коэффициенты условий работы при изгибе блочной кладки соответственно из неавтоклавного и автоклавного ячеистых бетонов (п. 6.14 СП 15.13330.2020 [6]).

При этом блоки из ПСБ D300 характеризуются более высокой морозостойкостью и меньшей расчетной теплопроводностью по сравнению с ячеистобетонными блоками аналогичной плотности.

При полученных, казалось бы, невысоких значениях прочности на растяжение при изгибе блочной ПСБ кладки расчетная несущая способность фрагмента превышала расчетную ветровую нагрузку в среднем почти в 2 раза, а разрушающая нагрузка превышала расчетную несущую способность, принятую в качестве контрольной нагрузки, в среднем в 2,1 раза, что удовлетворяет требованию ГОСТ 8829-2018 [12] к коэффициенту безопасности – С (отношение разрушающей нагрузки к контрольной), максимальное значение которого при испытаниях бетонных конструкций должно быть не ниже $C = 1,8$.

Предложенную выше методику вычисления расчетной несущей способности простенков из блочной ПСБ кладки с учетом влияния кладочных швов намечено использовать при внесении изменений и дополнений в СП 434.1325800.2018 [8], разработка которого проводится в 2023 г. по плану Минстроя России.

Расчет по деформациям изгибаемой блочной ПСБ кладки

Расчет по деформациям фрагмента стены без облицовки, изгибаемого под действием ветровой нагрузки, предложено проводить с учетом расположения центра тяжести в середине изгибаемого горизонтального шва блочной кладки, армированного сеткой, и трещинообразования фрагмента по этому шву, с использованием формулы:

$$M_{рв} \leq M_{рт} = \bar{E}_b \cdot \varepsilon_n \cdot W_k, \tag{8}$$

где ε_n – предельная относительная деформация горизонтального кладочного клеевого шва, армированного

стальной сеткой, принимаемого по данным СТО 86549669-001-2012 [13] $\varepsilon_n = 1,0 \cdot 10^{-4}$;

\bar{E}_b – приведенный модуль упругости полистиролбетона, принимаемый с учетом нормативных значений E_b и рассчитываемый по формуле:

$$\bar{E}_b = 0,85E_b, \tag{9}$$

где 0,85 – понижающий коэффициент, принятый по рекомендациям СП 434.1325800.2018 [8] для расчета сопротивления ПСБ растяжению при изгибе.

Для ПСБ марки по плотности D300 класса прочности В1 согласно Изменению № 1 ГОСТ 33929-2016 [3] $E_b = 630$ МПа и $\bar{E}_b = 0,85 \cdot 630 = 525,3$ кгс/см².

При $\bar{E}_b = 525,3$ кгс/см², $\varepsilon_n = 1,0 \cdot 10^{-4}$ и $W_k = 28125$ см³ расчетный трещинообразующий изгибающий момент, вычисленный по формуле (8), составит $M_{рт} = 14774,9$ кгс·см = 147,7 кгс·м, неравенство (8) выполняется:

$$M_{рв} = 57,94 \text{ кгс} \cdot \text{м} < M_{рт} = 147,7 \text{ кгс} \cdot \text{м}$$

с запасом в $147,7/57,94 = 2,5$ раза.

Сравнение расчетных и испытательных нагрузок по трещинообразованию приведено в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что фактический изгибающий момент при трещинообразовании (начало развития трещин) в среднем выше расчетного момента ($M_{фт} = 156,2$ кгс·м > $M_{рт} = 147,7$ кгс·м), что свидетельствует о хорошей корреляции расчетных и фактических значений деформаций при трещинообразовании блочной кладки.

Приведенную выше методику оценки деформативности при трещинообразовании ПСБ блочной кладки намечено отразить в Изменении № 1 к СП 434.1325800.2018 [8].

Выводы

1. Результаты испытаний фрагментов (простенков) наружных ненесущих стен зданий из не облицованной кладки негорючих ПСБ блоков толщиной 375 мм, плотностью марки D300 и прочностью класса В1 на изгибающие нагрузки, имитирующие расчетные ветровые воздействия на верхних этажах многоэтажных зданий, показали, что несущая способность такой кладки по прочности и требования по деформативности обеспечиваются с существенным запасом.

Таблица 3
Table 3

Сводные деформативные характеристики фрагментов стен из негорючих ПСБ блоков D300
Pivot deformation characteristics of wall fragments of non-flammable polystyrene concrete blocks

№ фрагментов	Модуль упругости ПСБ, МПа · 10 ⁻³		Изгибающие моменты по трещинообразованию кладки из ПСБ блоков, кгс · м		Прогибы в середине фрагмента, мм			
	E _b , по Изм. № 1 ГОСТ 33929-2016 [3]	\bar{E}_b , по формуле (9)	расчетный, M _{рт} , по формуле (8)	фактические, M _{фт}	нормируемый, f _н , по СП 20.13330.2016 [7]	фактические		
						при расчетной ветровой нагрузке	при трещинообразовании	при разрушении фрагмента
1-й	0,63	0,54	147,7	93,7	9,0	0,45	0,89	4,5
2-й				218,6		0,71	3,35	4,6
среднее				156,2			0,58	2,12

2. Данные испытаний на ветровые нагрузки фрагментов стен толщиной 375 мм из негорючих ПСБ блоков с указанными размерами и характеристиками по плотности и прочности с учетом положительных результатов огневых испытаний конструкций делают возможным их использование по новой строительной системе «Юникон-3» в наружных несущих стенах, необлицованных негорючими материалами, для многоэтажных энергосберегающих зданий высотой до 75 м практически во всех ветровых регионах России.

3. Предложена методика расчета на ветровые нагрузки несущих стен из ПСБ блоков по прочности и деформациям с учетом влияния горизонтальных и вертикальных кладочных швов, которую намечено отразить в Изменении № 1 СП 434.1325800.2018 [8].

Список литературы

1. Рахманов В.А. Монография «Полистиролбетон системы «Юникон» – энергоэффективный материал XXI века». Москва: Изд. «Золотое сечение»; 2017. 512 с.
2. Рахманов В.А., Мелихов В.И., Капаев Г.И., Козловский А.И. Инновационная спецтехнология получения полистиролбетона нового поколения // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 2. С. 29–31.
3. ГОСТ 33929-2016. Полистиролбетон. Технические условия.
4. Патент № 2753832 RU Способ получения негорючего полистиролбетона. Рахманов В.А., Мелихов В.И., Капаев Г.И. Заявитель и патентообладатель ВНИИжелезобетон. Приоритет 10.08.2020 г. Опубликовано 23.08.2021 г. Бюл. № 24.
5. Рахманов В.А. Негорючий полистиролбетон и его строительно-технические свойства. *Сборник научных трудов РААСН*. 2022, том 2.
6. СП 15.13330.2020. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81*.
7. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.
8. СП 434.1325800.2018. Конструкции ограждающие из полистиролбетона. Правила проектирования.
9. Киреева Э.И., Валь Е.Г. К вопросу расчета трехслойных несущих наружных стен с облицовкой кирпичом на ветровые нагрузки // *Жилищное строительство*. 2016. № 4. С. 40–43.
10. Обозов В.И. Аналитический метод расчета простенков наружных многослойных стен на ветровую нагрузку // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2022. № 2 (301). С. 9–14.
11. ГОСТ 30244-94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть.
12. ГОСТ 8829-2018. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости (с Изменением № 1).

13. СТО 86549669-001-2012. Руководство по проектированию и строительству энергоэффективных зданий с системой ограждающих конструкций «Юникон-2» из особо легкого полистиролбетона.

14. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*.

References

1. Rakhmanov V.A. Monograph Polystyrene concrete of the Unicon system is an energy-efficient material of the 21st century. Moscow: Ed. Golden Section; 2017. 512 p. (In Russian).
2. Rakhmanov V.A., Melikhov V.I., Kapayev G.I., Kozlovskiy A.I. Special innovative technology for producing polystyrene concrete of new generation. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2017, no. 2, pp. 29–31. (In Russian).
3. State Standard 33929-2016. Concrete with polystyrene aggregates. Specifications. (In Russian).
4. Patent No. 2753832 RU Method for producing non-combustible polystyrene concrete. Rakhmanov V.A., Melikhov V.I., Kapayev G.I. Applicant and patent holder VNIIZhelezobeton. Priority 08.10.2020 Published 08.23.2021. Bull. No. 24. (In Russian).
5. Rakhmanov V.A. Non-combustible polystyrene concrete and its construction and technical properties. *Collection of scientific papers of the RAASN*. 2022, volume 2. (In Russian).
6. SP 15.13330.2020. Masonry and reinforced masonry structures. Updated version of SNiP II-22-81*. (In Russian).
7. SP 20.13330.2016. Loads and actions. Updated version of SNiP 2.01.07-85*. (In Russian).
8. SP 434.1325800.2018. Enclosing structures of buildings with the use of polystyrene concrete. Design requirements. (In Russian).
9. Kireeva E.I., Val E.G. To the problem of calculation of three-layered non-bearing external wall with brick facing for wind loads. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016, no. 4, pp. 40–43. (In Russian).
10. Obozov V.I. Analytical method for calculating the piers of external multilayer walls for wind load. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii* [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2022, no. 2 (301), pp. 9–14. (In Russian).
11. State Standard 30244-94. Building materials. Methods for combustibility test. (In Russian).
12. State Standard 8829-2018. Prefabricated construction concrete and reinforced concrete products. Load testing methods. Rules for assessment of strength, rigidity and crack resistance (with change No. 1). (In Russian).
13. STO 86549669-001-2012. Guidelines for the design and construction of energy-efficient buildings with a system of enclosing structures Unicon-2 made of extra light polystyrene concrete. (In Russian).

14. SP 131.13330.2020. Building climatology. Updated version of SNiP 23-01-99*. (In Russian).

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

Виктор Алексеевич Рахманов, член-корреспондент РААСН, профессор, председатель совета директоров ООО «Институт ВНИИжелезобетон», Москва
Viktor A. Rakhmanov, Corresponding Member of RAASN, Professor, Chairman of the Board of Directors, LLC "Institute VNIIZhelezobeton", Moscow

Владислав Иванович Мелихов✉, канд. техн. наук, заместитель генерального директора по науке ООО «Институт ВНИИжелезобетон», Москва

e-mail: V.Melikhov@vniizhbeton.ru

Vladislav I. Melikhov✉, Cand. Sci. (Engineering), Deputy General Director for Science, LLC "Institute VNIIZhelezobeton", Moscow

e-mail: V.Melikhov@vniizhbeton.ru

Александр Александрович Сафонов, инженер, руководитель ИЦ «НИЦстром» ООО «Институт ВНИИжелезобетон», Москва

Alexandr A. Safonov, Engineer, Head of Tests Center "NITSstrom", LLC "Institute VNIIZhelezobeton", Moscow

✉ 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.



ЭФФЕКТИВНЕЕ И ТЕХНОЛОГИЧНЕЕ: КАК РАЗВИВАЕТСЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ ДЛЯ БЕТОНА

В капиллярно-пористую структуру бетона легко проникает вода, и при изменении внешней температуры, особенно переходах через ноль, она постепенно разрушает материал. Деградационные процессы ускоряют различные активно-агрессивные примеси, содержащиеся в воде: щелочи, соли, сульфаты. Проектные и эксплуатирующие организации находятся в постоянном поиске новых эффективных материалов, обладающих не только повышенной прочностью, но и высокими гидроизолирующими свойствами.

СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Прогресс не стоит на месте: совершенствуются рецептуры материалов, подбираются новые химические соединения. Эффективным решением для обеспечения гидроизоляции бетонных конструкций является пропитка. Препятствуя проникновению влаги в поры и капилляры бетона, она в то же время оставляет поверхность материала паро- и воздухопроницаемой, то есть дышащей, сохраняющей естественный газообмен. Такая защита не меняет самой структуры бетона, не оказывает коррозионного воздействия на арматуру, не меняет внешнего вида и цвета поверхности бетонной конструкции. Она надежна и при этом незаметна.

В СТОРОНУ ЭФФЕКТИВНОСТИ

На российском рынке сегодня характеристики далеко не всех пропиток, заявленные производителями, подтверждены независимыми лабораториями. Получение подобных заключений – процесс достаточно ресурсоемкий. Однако лидеры рынка это делают. В качестве примера такого подхода можно привести заключение Санкт-Петербургского института «Ленаэропроект» на гидрофобизирующую пропитку «БРИТ» ПК-В от «Газпромнефть – Битумные материалы». Сфера применения этого продукта достаточно стандартна: обработка цементобетонных поверхно-

стей искусственных покрытий аэродромов и автомобильных дорог, зданий и сооружений. Так как это новая разработка, она обладает всеми современными характеристиками, такими как высокий уровень защиты при сохранении паро- и воздухопроницаемости материала, внешнего вида покрытий, повышение морозоустойчивости конструкций после обработки. Это эмульсия на основе кремнийорганических соединений, в характеристиках которой значится, что она разводится водой в соотношении 1:15. Судя по всему, это рыночный прецедент – сравнение с аналогами показывает, что сегодня максимально предлагается 1:12. «БРИТ» ПК-В необходимо разводить на месте применения пропитки, то есть налицо ресурс экономии транспортных расходов: для доставки самой пропитки, даже если предстоят масштабные работы, достаточно небольшого автомобиля. Новой защите после нанесения требуется всего 30 минут для начала полноценной работы.

РАЗВИТИЕ ПО СИСТЕМЕ

Пример новой пропитки «БРИТ» – это, по большому счету, демонстрация направления развития рынка защиты для бетонных конструкций. В «Газпромнефть – Битумные материалы» сообщили, что при разработке новой рецептуры было переработано и отсеяно более 30 сырьевых компонентов, испытан десяток новых веществ. Уже готовая пропитка успешно прошла опытно-промышленную эксплуатацию на авиационных объектах в Калининградской и Мурманской областях, а также в Краснодарском крае.

Современные технологии позволяют создавать продукцию, максимально эффективную в тех или иных условиях эксплуатации, а также с учетом климатических особенностей региона, что особенно актуально на фоне географического разнообразия России.

«Газпромнефть – Битумные материалы»
По всем интересующим вопросам можно обращаться
по телефону +7 (812) 493–25–66
и электронной почте bitum@gazprom-neft.ru

На правах рекламы

УДК 624.012.4:624.074.2

DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-25-31](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-25-31)Д.В. ПАСХИН^{1,✉}, Б.С. СОКОЛОВ¹, С.М. БАЕВ², А.С. БАЕВ²

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 ЗАО «Служба защиты сооружений», Кольская ул., д. 7, оф. 8, г. Москва, 129329, Российская Федерация

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ВОЗВЕДЕНИЕ КУПОЛОВ ХРАМА ВОЗНЕСЕНИЯ ГОСПОДНЯ В ГОРОДЕ ЭЛЕКТРОСТАЛИ

Аннотация

Введение. В статье приведены методика и результаты проектных расчетов, особенности технологии возведения куполов.

Цель: разработка проектных решений двух основных центральных (верхнего и нижнего) и четырех малых куполов строящегося храма Вознесения Господня в городе Электростали Московской области.

Материалы и методы. Проектом предусматривалось изготовление куполов в монолитном железобетоне с использованием технологии торкретирования бетона в проектом положении. Согласно проекту полная сборка арматурных каркасов выполнялась на монтажных стапелях вблизи здания. Готовые армокаркасы краном устанавливались в проектное положение и обтягивались стальной мелкоячеистой сеткой. Бетонирование куполов выполнялось послойным нанесением мелкозернистого бетона способом торкретирования.

Результаты. Выполнен комплекс работ по проектированию и возведению двух основных центральных (верхнего и нижнего) и четырех малых куполов строящегося храма Вознесения Господня в городе Электростали Московской области.

Выводы. Опыт выполнения комплекса работ по проектированию и возведению купольных конструкций с использованием технологии торкретирования показал рациональность принятых проектных и технологических решений и может быть эффективно использован при строительстве объектов с купольными покрытиями из монолитного железобетона.

Ключевые слова: купол, пространственная конструкция, железобетон, строительное проектирование, торкретирование

Для цитирования: Пасхин Д.В., Соколов Б.С., Баев С.М., Баев А.С. Проектирование и возведение куполов храма Вознесения Господня в городе Электростали // *Бетон и железобетон*. 2023. № 3 (617). С. 25–31. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-25-31](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-25-31)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 16.06.2023

Поступила после рецензирования 03.07.2023

Принята к публикации 06.07.2023

D.V. PASKHIN^{1,✉}, B.S. SOKOLOV¹, S.M. BAEV², A.S. BAEV²

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 CJSC Structures Protection Service, Kolskaya str., 7, of. 8, Moscow, 129329, Russian Federation

DESIGN AND CONSTRUCTION OF DOMES OF THE CHURCH OF THE ASCENSION OF THE LORD IN THE CITY OF ELEKTROSTAL

Abstract

Introduction. The article presents the methodology and results of design calculations and features of the technology of the construction of domes.

Aim. Development of design solutions for two main central (upper and lower) and four small domes of the Church of the Ascension of the Lord under construction in the city of Elektrostal, Moscow region.

Materials and methods. The project provided for the execution of domes in monolithic reinforced concrete using the technology of shotcrete in the design position. According to the project, the complete assembly of the reinforcement frames was carried out on the assembly moulds near the building. The finished frameworks were installed in the design position by a crane and were covered with a steel fine mesh. Concreting of domes was carried out by layer-by-layer application of fine-grained concrete by the method of shotcrete.

Results. A complex of works was carried out on the design and construction of two main central (upper and lower) and four small domes of the Church of the Ascension of the Lord under construction in the city of Elektrostal, Moscow region.

Conclusion. The experience of performing a complex of works on the design and construction of dome structures using shotcrete technology has shown the rationality of the design and technological solutions adopted and can be effectively used in the construction of objects with dome coverings made of monolithic reinforced concrete.

Keywords: dome, spatial structure, reinforcement concrete, structural design, shotcrete

For citation: Paskhin D.V., Sokolov B.S., Baev S.M., Baev A.S. Design and construction of domes of the Church of the Ascension of the Lord in the city of Elektrostal. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 3 (617), pp. 25–31. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-25-31](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-25-31)

Author contribution statements

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

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Received 16.06.2023

Revised 03.07.2023

Accepted 06.07.2023

Каноны традиционной храмовой архитектуры предполагают широкое использование во внешнем и внутреннем обликах здания покрытий с криволинейными очертаниями в виде куполов и сводов. Большие и малые купола, паруса, своды различного очертания – сегментные, сомкнутые или крестовые – являются неизменным атрибутом интерьеров таких зданий. Воплощение этих элементов архитектурного облика может достигаться разными способами. Исторически купола и своды выполнялись каменной кладкой и являлись несущим элементом в составе остова здания. В современной практике нередко используются декоративные элементы, закрепляемые на несущих каменных, железобетонных или стальных конструкциях стен и покрытиях здания. Однако более рациональным конструктивным решением является применение тонкостенных железобетонных пространственных конструкций, совмещающих несущую и ограждающую функции. Такие конструкции проектируют в сборном или монолитном исполнении [1]. Каждый из этих способов имеет свои достоинства, и выбор зачастую диктуется условиями производства работ при возведении здания.

При возведении храма Вознесения Господня в городе Электростали Московской области представители православной церковной общины обратились к специалистам НИИЖБ им. А.А. Гвоздева с просьбой разработать проектные решения двух основных центральных (верхнего и нижнего) и четырех малых куполов строящегося храма.

Принципиальное решение предусматривало выполнение конструкций куполов из монолитного железобетона. В ходе проработки и согласования технического задания был выбран вариант изготовления конструкций с применением технологии торкретирования бетона. Для консультационно-эксперт-

ной поддержки по вопросам учета в проекте особенностей данной технологии были привлечены специалисты ЗАО «Служба защиты сооружений», имеющие большой практический опыт изготовления разнообразных конструкций способом торкретирования.

Ко времени проектирования купольных конструкций остов здания был полностью возведен, при этом высота здания до отметки основания центрального купола составила более 35 м.

Купола храма функционально предназначены для восприятия, помимо собственного веса, нагрузок от веса облицовки, веса конструкции креста, а также снеговой и ветровой нагрузок. Верхний центральный купол имеет форму полусферы радиусом 6,67 м с площадкой для крепления креста радиусом 1,40 м в верхней части (рис. 1). Толщина основной части купола составляет 80 мм. Ближе к опорной зоне происходит плавное увеличение толщины оболочки купола, переходящей в опорное кольцо.

Нижний центральный купол главным образом предназначен для создания внутреннего интерьера и в качестве несущей конструкции воспринимает незначительные нагрузки от отделочных штукатурных слоев, матов утепления и люстры. Конструктивно он отличается от верхнего купола меньшей стрелой подъема (более пологий), наличием технологического проема и отсутствием площадки на вершине.

Основанием для обоих центральных куполов являются кирпичные стены опорного барабана.

Малые купола над восьмигранниками имеют диаметр около 5 м. Их отличительной особенностью является криволинейное опорное кольцо, чья конфигурация определена архитектурным решением. Толщина основной части купола по технологическим соображениям составляет также 80 мм.

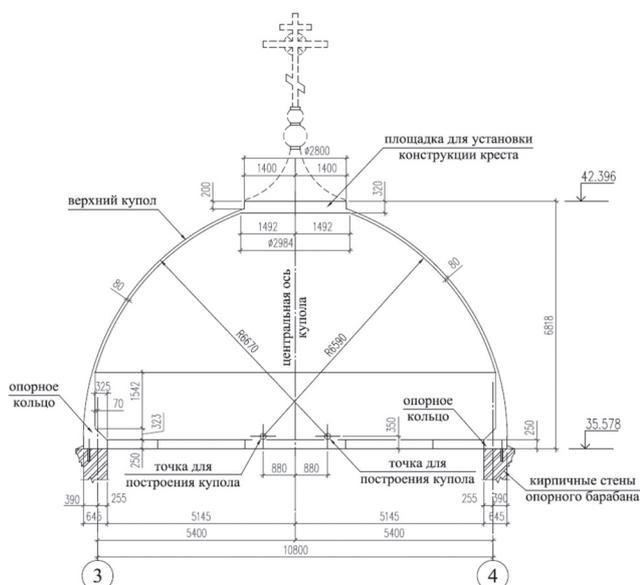


Рис. 1. Конструктивное решение верхнего центрального купола
Fig. 1. The design solution of the upper central dome

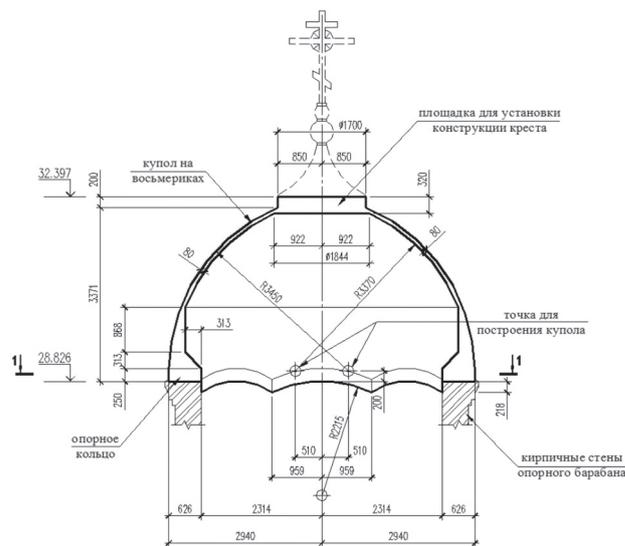


Рис. 2. Конструктивное решение малого купола над восьмигранником
Fig. 2. The constructive solution of the small dome over the octagon

При разработке проектных решений, с целью проверки предварительно назначенных параметров сечений и армирования оболочек и опорных колец куполов, были проведены серии расчетов, включающих в себя:

- проверку требований прочности, жесткости и устойчивости на стадии монтажа армокаркасов (проектом предусматривалась полная сборка армокаркаса на стапеле вблизи здания с последующим подъемом каркаса краном и установкой в проектное положение);

- проверку требований прочности, жесткости и устойчивости армокаркасов с поэтапной корректировкой расчетной модели при моделировании нескольких промежуточных стадий проведения работ по торкретированию;

- определение внутренних усилий и параметров армирования конструкций куполов в эксплуатационной стадии с учетом требований по прочности, устойчивости и трещиностойкости.

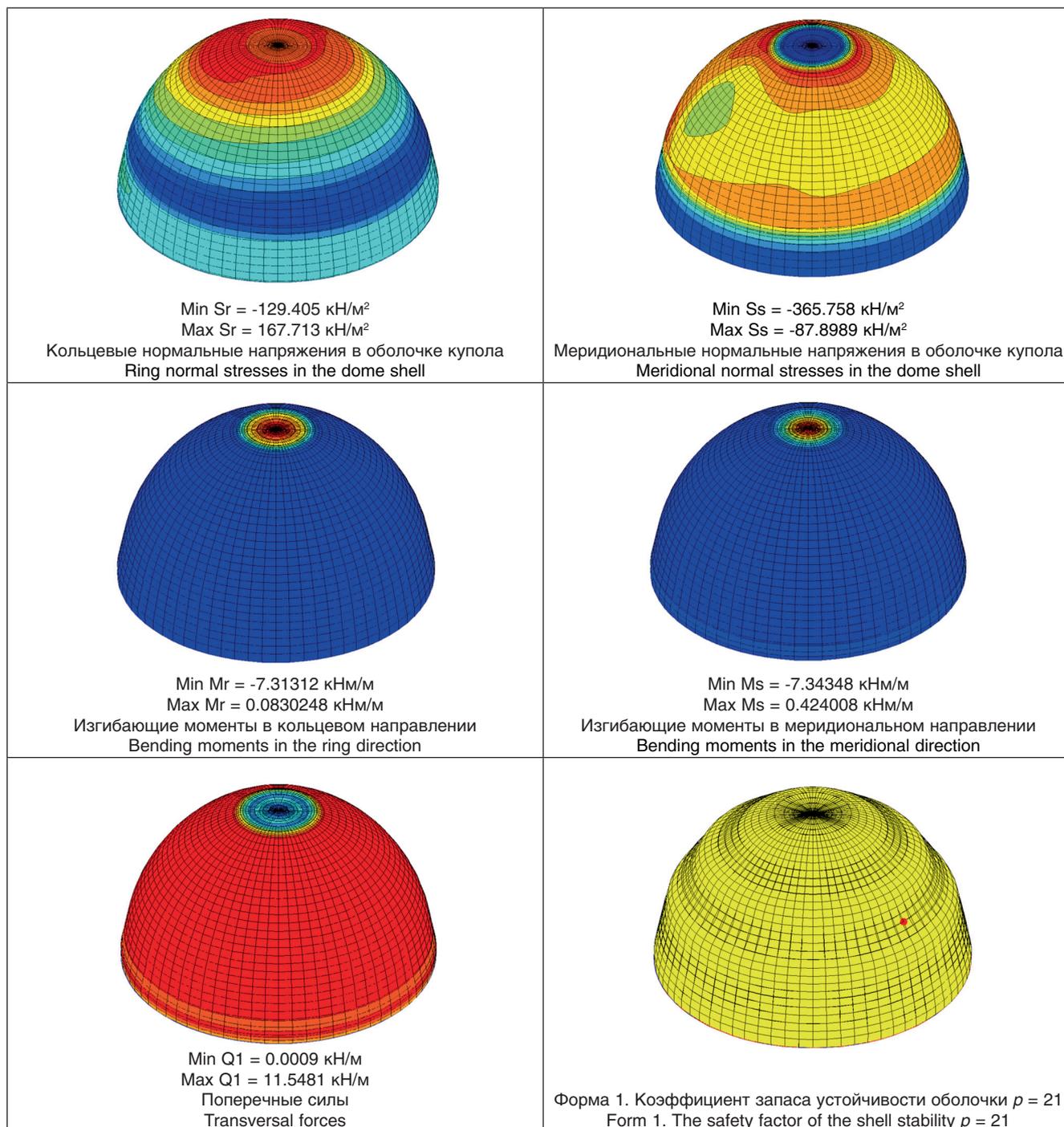


Рис. 3. Напряженное состояние оболочки верхнего центрального купола и 1-я форма потери устойчивости купола при полной расчетной нагрузке эксплуатационной стадии

Fig. 3. The stress state of the shell of the upper central dome and the 1st form of the loss of stability of the dome under full design load of the operational stage

Расчеты выполнены методом конечных элементов с использованием программного комплекса ING+. В расчетах устойчивости достаточно гибких армокаркасов в стадии монтажа учитывалась геометрическая нелинейность. Расчеты конструкций в эксплуатационной стадии работы выполнялись с учетом физической нелинейности. В ходе проектирования было выполнено исследование влияния на конструкции куполов температурного воздействия неравномерного нагрева вследствие солнечной радиации.

В соответствии с рекомендациями СП 387.1325800 [1] были выполнены расчетные проверки прочности куполов методом предельного равновесия.

По результатам комплекса расчетных проверок были сформулированы следующие выводы, послужившие основой для разработки проектной документации:

1. Напряженное состояние оболочек практически безмоментное, в связи с чем принято однослойное армирование оболочек куполов.

Растягивающие напряжения, возникающие в приконтурных зонах оболочек вследствие влияния краевого эффекта, не превышают нормативной прочности бетона на растяжение; таким образом, трещины не образуются, трещиностойкость оболочек обеспечена.

Касательные напряжения в опорных зонах свода незначительны и не требуют специального армирования.

Армирование оболочек назначается конструктивно, выше расчетных значений, по условиям обеспечения технологии изготовления методом торкретирования.

2. Требуемое по расчету армирование опорных элементов всех куполов и свода при действии эксплуатационных нагрузок незначительно, армирование опорных элементов назначается конструктивно.

3. Требования по обеспечению жесткости и устойчивости оболочек куполов при действии эксплуатационных нагрузок обеспечены.

4. Расчетное армирование утолщенных площадок в вершинах верхнего центрального купола и купола над восьмериком незначительное, назначается конструктивно.

5. Прочность элементов и общая устойчивость арматурных каркасов всех куполов в процессе монтажа обеспечена.

Непосредственное изготовление куполов проводили специалисты ЗАО «Служба защиты сооружений».

Технология производства работ для всех трех типов конструкций отличалась незначительно и заключалась в следующем:

- на арматурном дворике площадки строительства выполнялась сборка пространственных каркасов куполов из арматуры класса А500 диаметром 16 мм (кроме армокаркаса верхнего центрального купола, изготовление которого проводилось непосредственно по месту);

- далее каркас устанавливался в проектное положение на опорный барабан и закреплялся с помощью стержней-анкеров;

- затем каркас обтягивался стальной плетеной сеткой из проволоки диаметром 0,4 мм с ячейкой 2 × 2 мм. Сетка закреплялась в каждом пересечении стержней армокаркаса с помощью вязальной проволоки;

- далее производилось послойное торкретирование смеси мелкозернистого бетона класса В30 сухим методом [2]. Нанесение смеси проводилось горизонтальными полосами высотой 1–1,5 м по всей ширине поверхности снизу вверх. Минимальная толщина слоя торкретного покрытия составляла 5–7 мм. Средняя толщина слоя составляла 20–40 мм;



Рис. 4. Монтаж арматурных каркасов куполов
Fig. 4. Installation of dome reinforcement frames

– в процессе набора проектной прочности торкрет-бетонное покрытие постоянно дополнительно увлажнялось. Режим увлажнения назначался индивидуально для каждого типа конструкций в зависимости от температуры окружающего воздуха, наличия/отсутствия непосредственного воздействия солнечных лучей или сильного ветра. Кроме этого, помимо регулярного увлажнения, в процессе твердения торкрет-бетона поверхности куполов укрывались полиэтиленовой пленкой.

Помимо обеспечения специфических требований по поддержанию температурно-влажностного режима, сотрудники подрядной организации столкнулись еще с целым рядом сложных ситуаций при производстве работ.

Так, ввиду отсутствия возможности размещения технологического оборудования на кровле были задействованы мощные агрегаты, способные обеспечить подачу сухой смеси и воды на высоту более 40 м.

Повышенные требования предъявлялись не только к оборудованию, но и к качеству работ.

Основные специфичные сложности для подрядчика были связаны с обеспечением непростой геометрии конструкций переменной толщины и с постоянной необходимостью утилизации отходов при торкретировании с высоты 40 м без ущерба для ранее смонтированных конструкций.

Сложная работа на высоте в стесненных условиях при меняющихся погодных факторах потребовала обеспечения комплекса дополнительных мер безопасности и страховки персонала.

Работы по изготовлению куполов были выполнены в течение 30 рабочих дней (рис. 5, 6).

По причине недостатка финансовых средств возведение храма несколько раз приостанавливалось, но возобновлялось благодаря усилиям настоятелей и местной общины. В настоящее время основные строительные работы завершены, в храме ведутся работы по росписи внутренних помещений.

Опыт выполнения комплекса работ по проектированию и возведению купольных конструкций с использованием технологии торкретирования показал рациональность принятых проектных и технологических решений и может быть эффективно использован при строительстве объектов с купольными покрытиями из монолитного железобетона.

Список литературы

1. СП 387.1325800.2018. Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Правила проектирования.
2. Руководство по применению торкрет-бетона при возведении, ремонте и восстановлении строительных конструкций зданий и сооружений. Шифр М10.1/06. Москва: ОАО «ЦНИИПромзданий»; 2007. 48 с.

References

1. SP 387.1325800.2018. Spatial reinforced concrete structures of roofs and floors. Design requirements. (In Russian).
2. Rukovodstvo po primeneniyu torkret-betona pri vozvedenii, remonte i vosstanovlenii stroitelnykh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy. Shifr M10.1/06. Moskva: ОАО «TSNIIPromzdaniy»; 2007. 48 s. [Guidelines for the use of shotcrete in the construction, repair and restoration of building structures of buildings and structures. Code M10.1/06. Moscow: OJSC «TsNIIPromzdaniy»; 2007. 48 p.]. (In Russian).



Рис. 5. Общий вид куполов по окончании работ по торкретированию
Fig. 5. General view of the domes after the completion of the shotcrete work



Рис. 6. Малый купол
Fig. 6. The small dome

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

Дмитрий Владимирович Пасхин ✉, заместитель заведующего лабораторией тонкостенных и пространственных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: moo-shell@mail.ru
тел.: +7 (499) 174-74-45

Dmitry V. Paskhin ✉, Deputy 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) 174-74-45

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

Сергей Михайлович Баев, генеральный директор ЗАО «Служба защиты сооружений», Москва
e-mail: info@rostorkret.ru
тел.: +7 (499) 180-81-01

Sergei M. Baev, General Director, CJSC Structural Protection Service, Moscow
e-mail: info@rostorkret.ru
tel.: +7 (499) 180-81-01

Алексей Сергеевич Баев, главный инженер ЗАО «Служба защиты сооружений», Москва
e-mail: info@rostorkret.ru
тел.: +7 (499) 180-81-01

Aleksey S. Baev, Chief Engineer, CJSC Structural Protection Service, Moscow
e-mail: info@rostorkret.ru
tel.: +7 (499) 180-81-01

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



МИНИСТРОЙ
РОССИИ



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр



II Международный строительный конгресс

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

Сайт конгресса
forum-cstroy.ru



АПРЕЛЬ 2024

В.В. РЕМНЕВ^{1,✉}, Д.В. КУЗЕВАНОВ¹, А.В. РЕМНЕВ²

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 ОАО «26 Центральный научно-исследовательский институт» (ОАО «26 ЦНИИ»), Смоленский бульвар, д. 19, стр. 1, г. Москва, 119121, Российская Федерация

БЫСТРОВЗВОДИМЫЕ ЗДАНИЯ ИЗ БЛОК–МОДУЛЕЙ С НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКЕЙ

Аннотация

Введение. Строительная технология быстро-возводимых зданий, наряду с высоким качеством строительства, пользуется широким применением для всех видов зданий и сооружений.

Цель. Максимально обеспечить сохранность людей и оборудования после ударного воздействия. Это достигается за счет:

- 1) разработки конструктивного решения тонкостенной плиты-мембраны, способной получить значительные прогибы без обрушения;
- 2) технологии сборки пространственных блок-модулей из плит-мембран без применения сварки;
- 3) отработки технологических вопросов изготовления плит-мембран; сборки блок-модулей; замоноличивания стыков между блок-модулями.

Материалы и методы. При изготовлении плит-мембран использовался мелкозернистый бетон марки ВСМ В25 П2 F200 W4 с применением тонкодисперсной добавки (барит), армирование спиральное из пружинной проволоки $d = 1,6$ мм.

Результаты. Предлагаемое конструктивное решение обладает значительными запасами прочности и деформативности. Это обеспечивает сохранность людей и оборудования.

Выводы. Применение спирального армирования позволяет изготавливать тонкостенные конструкции

с дальнейшим возведением из них блок-модулей и после заполнения легким бетоном получать быстро-возводимые здания и сооружения, выдерживающие значительные нагрузки от воздействия внешних ударных сил.

Ключевые слова: спиральное армирование, мелкозернистый бетон, плиты-мембраны, блок-модули, ударное воздействие

Для цитирования: Ремнев В.В., Кузеванов Д.В., Ремнев А.В. Быстровозводимые здания из блок-модулей с несъемной опалубкой // *Бетон и железобетон*. 2023. № 3 (617). С. 32–37. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-32-37](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-32-37)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 14.04.2023

Поступила после рецензирования 27.04.2023

Принята к публикации 17.05.2023

V.V. REMNEV^{1,✉}, D.V. KUZEVANOV¹, A.V. REMNEV²

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 “26 Central Research Institute” (JSC “26 TsNII”), Smolensky boulevard, 19, bld. 1, Moscow, 119121, Russian Federation

PREFABRICATED BUILDINGS MADE OF BLOCK MODULES WITH NON-REMOVABLE FORMWORK

Abstract

Introduction. The construction technology of prefabricated buildings, along with the high quality of construction, is widely used for all types of buildings and structures.

Aim. To maximize the safety of people and equipment after impact. This is achieved by:

- 1) development of a design solution for a thin-walled plate-membrane capable of obtaining significant deflections without collapse;
- 2) technologies for assembling spatial block modules made of membrane plates without welding;
- 3) working out technological issues of manufacturing plates-membranes; assembly of block modules; sealing joints between block modules.

Materials and methods. In the manufacture of membrane plates, fine-grained concrete of the VSM B25 P2 F200 W4 brand was used with the use of a fine additive (barite), spiral reinforcement of spring wire $d = 1.6$ mm.

Results. The proposed design solution has significant reserves of strength and deformability. This ensures the safety of people and equipment.

Conclusions. The use of spiral reinforcement makes it possible to manufacture thin-walled structures with the further construction of block modules with them and, after filling with light concrete, to obtain prefabricated buildings and structures that can withstand significant loads by external shock forces.

Keywords: spiral reinforcement, fine-grained concrete, membrane plates, block modules, impact

For citation: Remnev V.V., Kuzevanov D.V., Remnev A.V. Prefabricated buildings made of block modules with non-removable formwork. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 3 (617), pp. 32–37. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-32-37](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-32-37)

Author contribution statement

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

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 14.04.2023

Revised 27.04.2023

Accepted 17.05.2023

В настоящее время особенно востребованы технологии быстровозводимых зданий [1–3]. В основу рассматриваемой технологии положено использование конверсионных технических решений, основанных на опыте строительства спецсооружений Минобороны, расчетные нагрузки на которые более чем в 10 раз превышают воздействия 9-балльных землетрясений. Эффективность и малая материалоемкость достигается за счет того, что несущие конструкции выполнены в виде «сэндвича», который сочетает малый вес с высокой несущей способностью.

При разработке предлагаемой технологии ставилась основная задача – максимально обеспечить сохранность людей и оборудования после ударного воздействия. Нами были использованы научные разработки, конструктивные приемы и нормативная база, применявшиеся при создании высокозащитных специальных сооружений Минобороны, рассчитанных на восприятие нагрузок ядерных взрывов. Аналогичные сооружения прошли в свое время всестороннюю проверку при натурных испытаниях, подтвердив способность воспринимать расчетные нагрузки, превышающие нагрузки 9-балльных землетрясений.

Задачи, решаемые в предлагаемой технологии, следующие:

- разработка конструкций тонкостенной плиты-мембраны, способной получать значительные прогибы без обрушения;
- сборка пространственных объемных блок-модулей из плит-мембран без применения сварки;
- отработка технологических вопросов изготовления плит-мембран, сборки блок-модулей, возведения из них зданий, замоноличивания пространства между блок-модулями легким бетоном.

В предлагаемом решении наружные плиты-мембраны (рис. 1), применяемые в качестве несъемной опалубки, изготовлены из мелкозернистого бетона марки 300 (БСМ В25 П2 F200 W4 по ГОСТ 7473 [4]) с использованием тонкодисперсной минеральной добавки барит и имеют приведенную толщину 26 мм (при ребрах высотой 50 мм и полках 15 мм). Это значительно меньше, чем нормативный слой штукатурки – 35 мм.



Рис. 1. Фрагмент здания из блок-модулей
Fig. 1. A fragment of a building made of block modules

Жесткий контур плиты-мембраны имеет спиральное армирование [5–6]. Это существенно повышает прочность и деформативность бетона, что особенно важно с учетом расположенных по контуру соединительных узлов. Рабочая арматура, как струны теннисной ракетки, выполнена из отдельных стержней $d = 3$ мм Вр-П. Эти стержни одновременно являются арматурой плиты мембраны и полок плиты между ребрами. Причем армирование осуществлено в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Анкеровка стержней не потребовала устройства отгибов, постановки шайб и т. д., так как она находится в зоне спирального армирования. Ребра армируются спиральной арматурой, которая в данном случае рассматривается как поперечная, и с продольными стержнями, являющимися рабочей арматурой, когда ребра находятся со стороны растянутой зоны. В стыковочных узлах поставлены петли из арматуры $d = 5$ мм А-1. Спирали выполнены из пружинной проволоки $d = 1,6$ мм. Вес арматуры плиты – 14 кг, объем БСМ (пескобетона) – 0,21 м³. Расход арматуры – 65 кг/м³, что является достаточно эффективным показателем. Тонкостенные ребристые плиты-мембраны могут быть квадратными или прямоугольными размером от 2,6 × 2,6 м до 3,4 × 3,4 м.

Отсутствие сварки существенно повышает надежность конструкции, поскольку применение сварки приводит к изменению структуры металла, ухудшению физико-механических свойств, а в отдельных случаях и к пережогу арматуры. Такое армирование оказалось возможным благодаря специальному технологическому приему, когда арматура укладывается не в форму, как обычно, а на специальную «вафельницу», с помощью которой выштамповываются ребра плиты-мембраны. Ребра повышают изгибную жесткость и устойчивость вертикальных стенок. Ребристая поверхность обеспечивает лучшее сцепление плит-мембран с легким бетоном при замоноличивании.

Следует учитывать, что при действии ударных сейсмических (и динамических) сил нагружение носит волновой характер и в отдельных точках его величина может существенно превышать расчетные значения. Поэтому очень важно, чтобы конструкция обладала значительными запасами прочности и деформативности. Причем в случаях, когда конструкция получает деформации, намного превышающие допустимые, и даже становится непригодной к дальнейшей эксплуатации, она не должна обрушаться. Это обеспечивает сохранность людей и оборудования. Такие требования и были обеспечены при разработке предлагаемых конструктивных решений. В связи с этим немаловажную роль в конструкции плиты-мембраны играет мелкозернистый бетон, используемый при их изготовлении.

Для оценки эффективности использования тонкодисперсной баритовой добавки в технологии бетонов и растворов проведено сравнение барита с натуральными пуццоланами, которые в настоящее время достаточно хорошо изучены. Важнейшим свойством пуццоланов является гидравлическая (пуццолановая) активность (способность химически связывать гидроксид кальция, выделяющийся в процессе гидратации цемента), которая в большинстве исследований была принята за критерий эффективности того или иного вида этих добавок. В настоящее время существуют различные методики определения пуццолановой активности, в некоторых из них критериями оценки являются способность тонкодисперсных добавок поглощать известь из ее насыщенного раствора [7, 8] и относительная прочность образцов на портландцементе с рассматриваемыми добавками [9]. Часть методик включена в стандарты, в которых предусматривается испытание добавок как в смеси с портландцементом, так и с известью. Введение минеральных добавок может оказывать благоприятное влияние на многие свойства цементного теста и формирование структуры цементного камня.

Влияние минеральных добавок на твердение портландцемента проявляется в замедлении сроков схватывания цементного теста. Что касается барита, то экспериментальные исследования, проведенные с портландцементом, показали, что на сроки схватывания цементного теста эта добавка существенного влияния не оказывает. Водопотребность цементного теста и растворов на их основе, выраженная нормальной плотностью (Н.Г.Ц.Т.) и повышением В/(Ц+Б), незначительна. Получены следующие результаты:

Н.Г.Ц.Т.:

- 1) Ц+ 0 % Б = 24,0 %;
- 2) Ц+ 10 % Б = 22,7 %;
- 3) Ц+ 20 % Б = 22,0 %;
- 4) Ц+ 30 % Б = 21,3 %;
- 5) Ц+ 40 % Б = 22,7 %.

Подробная информация о влиянии суперпластификатора на сроки схватывания и кинетику гидратации цементного теста с баритом в литературных источниках не встречается. Проведенные нами исследования показывают, что мелкозернистый бетон с баритом может содержать и повышенные дозировки нафталинформальдегидных суперпластификаторов без нежелательного эффекта замедления схватывания и потери прочности.

В ходе исследований нами отмечено, что увеличение дисперсности смешанного вяжущего происходит в основном за счет измельчения барита в процессе перемешивания мелкозернистой бетонной смеси как более «мягкого» компонента (твердость – 3,3). Гранулометрия смешанного цементно-баритового вяжущего представлена на рис. 2. Дифференциальное распределение частиц по размерам показывает, что баритовый наполнитель имеет значительное количество наноразмерных частиц (< 1 мкм), с которым активно взаимодействует пластификатор.

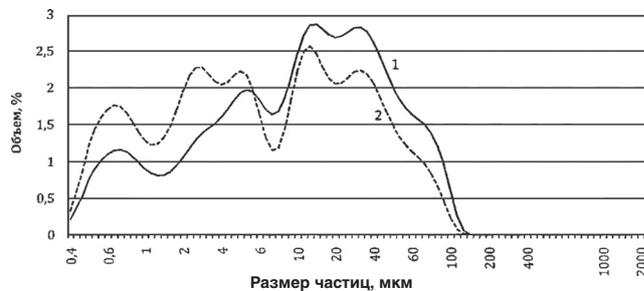


Рис. 2. Гранулометрический состав смешанного цементно-баритового вяжущего (ЦБВ): 1 – 20 % БН; 2 – 40 % БН (баритовый наполнитель)

Fig. 2. Granulometric composition of mixed cement-barite binder (CBB): 1 – 20 % of BF; 2 – 40 % of BF (barite filler)

Содержание тонкомолотого баритового наполнителя (БН) влияет на плотность ЦБВ вяжущего и камня, увеличивая ее примерно на 10 %. Например, введение 40 % барита в портландцемент повышает плотность до 3,4 г/см³.

Структура цементного камня и бетона в присутствии пуццолановых добавок имеет ряд особенностей. В отличие от обычного цементного камня, который характеризуется наличием макропор и микротрещин в зоне контакта с заполнителями, в исследуемом преобладают мелкие поры, а в контактной зоне меньше микротрещин, что способствует повышению прочности и долговечности мелкозернистого бетона [10].

Механизм, по которому происходит улучшение структуры пор в гидратированных пуццолановых цементах, еще не полностью раскрыт и изучен. Структура порового пространства цементного камня и раствора с баритом изучалась с применением методов водопоглощения, ртутной низкотемпературной калориметрии. На основании исследований выявлено, что увеличение дозировки барита приводит к получению более мелкопористой структуры.

Повышение плотности структуры гидратированного цементного камня на портландцементе с баритом может быть объяснено более мелкопористой структурой по сравнению с новообразованиями гидратирующегося портландцемента.

Исследования показали, что для цементного камня, в котором присутствует барит, при постоянном содержании воды снижается общая капиллярная пористость, диаметр капилляров значительно уменьшился (рис. 3).



Рис. 3. Распределение пор по размерам в цементном камне без (1) и с (2) баритовой добавкой

Fig. 3. Pore size distribution in cement stone without (1) and with (2) barite additive

Таблица 1
Table 1

Результаты испытаний смешанного ЦБВ с пластифицирующими добавками
Test results of mixed CBV with plasticizing additives

№ п/п	Содержание добавки кг/% от массы цемента			Вода, л	В/Ц	В/ЦБВ	Прочность (МПа) в возрасте (сут)					
	Барит	С-3	Таргет				3 суток		7 суток		28 суток	
							$R_{сж}$	R_u	$R_{сж}$	R_u	$R_{сж}$	R_u
1	–	–	–	280	0,54	0,54	11,3	3,9	25,6	4,7	49,1	5,6
2	52/10	–	–	281	0,54	0,49	13,1	4,2	27,3	4,9	51,4	5,9
3	104/20	–	–	281	0,54	0,45	13,9	4,3	26,9	4,8	51,9	6,3
4	156/30	–	–	281	0,54	0,42	13,5	4,1	28,1	5,1	52,7	5,8
5	208/40	–	–	281	0,54	0,39	14,2	3,9	27,5	4,6	50,1	6,1
6	–	5,2/1	–	213	0,41	0,41	21,6	4,9	32,7	5,2	52,2	6,4
7	52/10	5,2/1	–	213	0,41	0,37	22,3	5,1	35,6	5,5	53,4	6,2
8	104/20	5,2/1	–	213	0,41	0,34	24,4	4,8	34,9	5,9	55,4	6,9
9	156/30	5,2/1	–	213	0,41	0,32	25,1	5,8	37,3	6,2	57,9	7,4
10	208/40	5,2/1	–	213	0,41	0,29	26,2	6,1	37,1	6,1	58,9	8,9
11	–	–	2,6/0,5	202	0,39	0,39	23,4	5,7	36,1	6,4	56,3	7,3
12	52/10	–	2,6/0,5	203	0,39	0,35	25,3	5,5	38,2	6,6	58,8	7,9
13	104/20	–	2,6/0,5	203	0,39	0,33	26,7	5,9	37,4	7,1	63,9	8,3
14	156/30	–	2,6/0,5	203	0,39	0,30	26,4	6,1	39,6	6,9	62,8	8,5
15	208/40	–	2,6/0,5	203	0,39	0,29	27,4	6,3	38,5	7,3	62,1	8,2

Приложение: 1. Расход цемента постоянный – 520 кг.

2. Расход песка снижался на количество применяемой в составе тонкомолотой добавки барита.

Прочность смешанного ЦБВ определяли по ГОСТ 310.4 [11]. Соотношение между цементом и песком составляло 1:3. Из каждой серии испытывали, в определенные ГОСТ сроки, по 6 образцов и вычисляли среднее арифметическое полученных показателей. Результаты представлены в табл. 1.

Из приведенных данных следует:

1. Добавка барита существенно не влияет на водопотребность цементно-песчаного раствора.

2. Консистенция ЦБВ при увеличении расхода баритового наполнителя улучшается, раствор приобретает улучшенные вязкопластичные свойства.

3. Улучшение вязкопластических свойств раствора косвенно подтверждает химическую стойкость барита и нерастворимость его в воде.

4. Применение суперпластификатора С-3 или гиперпластификатора Таргет позволяет существенно снизить В/Ц, повысить пластичность раствора.

Металлические формы плит-мембран обеспечивают высокоточное (до 1 мм) изготовление стыковочных узлов, что существенно упрощает сборку из них пространственных блок-модулей, не требуя сложных сборочных ступеней со специальной системой рихтовки и многочисленными геодезическими замерами. Достаточно обеспечить при сборке проектное положение замковых выступов и пазов плит-мембран, чтобы собранные блок-модули соответствовали проектным размерам с отклонениями не более 5 мм, что значительно превышает точность изготовления объемных блоков по другим технологиям (до 20 мм).

Такое конструктивное решение особенно важно при сборке блок-модулей непосредственно на объекте, так как может производиться с обычных подмостей.

Следует особо отметить технологичность предлагаемого способа. Формовка плит-мембран может быть осуществлена непосредственно на объекте. При доставке форм для бетонирования на объект производство плит-мембран и строительство блок-модульных зданий может быть организовано из местных строительных материалов. Это позволит существенно снизить транспортные расходы.

Предлагаемые технические решения обеспечивают:

- снижение энергоемкости жилого дома не менее чем на 30–40 % по сравнению с эффективными отечественными аналогами;

- создание эффективных блок-модульных автономных систем жизнеобеспечения, тепло-, газо- и водоснабжения, что приводит к снижению числа наружных сетей;

- сравнительно низкую стоимость 1 м² общей площади жилого дома.

Список литературы

1. Вержбовский Г.Б. Малоэтажные быстровозводимые здания и сооружения из композитных материалов. Ростов-на-Дону: ООО «Изд-во Бара»; 2015. 280 с.

2. Мушинский А.Н., Зимин С.С. Строительство быстровозводимых зданий и сооружений // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. № 4 (31). С. 182–193. EDN: UISIEB

3. Плешивцев А.А. Технологические особенности монтажа трансформируемых малоэтажных зданий из сэндвич-панелей // *Строительство: наука и образование*. 2018. Т. 8. Вып. 1 (27). С. 15–25. DOI: <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2018.1.2>. EDN: XOJTPV

4. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия. 2012.

5. Астафьева М.А. Экспериментальные исследования внецентренно сжатых трубобетонных элементов квадратного сечения со спиральным армированием бетонного ядра // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2017. № 11 (999). С. 16–18. EDN: ZRVWPT

6. Астафьева М.А. Анализ существующих методов расчета трубобетонных колонн со спиральным армированием бетонного ядра // *Архитектура. Строительство. Образование*. 2016. № 2 (8). С. 66–73. EDN: XCLBUH

7. Степанова В.Ф., Курбатова И.И., Абрамкина В.Г., Харитонов Л.П. Определение и влияние гидравлической активности заполнителя на коррозию арматуры // *Бетон и железобетон*. 1989. № 8. С. 21–22.

8. Руководство по обеспечению сохранности арматуры в конструкциях из бетона на пористых заполнителях в агрессивных средах. М.: НИИЖБ; 1979. 29 с.

9. Гольфштейн Л.Я., Белохвостикова О.А., Гейдарова Л.С., Ермаков Г.Ф. Метод определения активности минеральных добавок в цементах // *Цемент*. 1998. № 12. С. 7–10.

10. Рамачандран В.С., Фельдман Р.Ф., Коллепарди М. и др. Добавки в бетон. М.: Стройиздат; 1988. 295 с.

11. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. 1983.

References

1. Verzhbovsky G.B. Low-rise prefabricated buildings and structures made of composite materials. Rostov-on-Don: LLC “Bara Publishing House”; 2015. 280 p. (In Russian).

2. Mushinskiy A.N., Zimin S.S. Construction of prefabricated buildings and structures. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015, no. 4 (31), pp. 182–193. (In Russian). EDN: UISIEB

3. Pleshivtsev A.A. Technological features of installation of transformable low-rise buildings made of sandwich panels. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2018, vol. 8, issue 1 (27), pp. 15–25. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2018.1.2>. EDN: XOJTPV

4. State Standard 7473-2010. Fresh concrete. Specifications. 2012. (In Russian).

5. Astafyeva M.A. Experimental research of eccentrically compressed concrete filled steel tube elements of square crosssection with spiral reinforcement of concrete core. *BCM: Bulletin of Construction Machinery*. 2017, no. 11 (999), pp. 16–18. (In Russian). EDN: ZRVWPT

6. Astafyeva M.A. Analysis of existing methods for calculating CFSTC with spiral reinforcement of concrete core. *Architecture. Construction. Education*. 2016, no. 2 (8), pp. 66–73. EDN: XCLBUH

7. Stepanova V.F., Kurbatova I.I., Abramkina V.G., Kharitonova L.P. Determination and influence of hydraulic filler activity on reinforcement corrosion. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1989, no. 8, pp. 21–22. (In Russian).

8. Guidelines for ensuring the safety of reinforcement in concrete structures on porous aggregates at aggressive environment. Moscow: NIIZNB; 1979. 29 p. (In Russian).

9. Goldstein L.Ya., Belokhvostikova O.A., Heydarova L.S., Ermakov G.F. Method for determining the activity of mineral additives in cements. *Cement*. 1998, no. 12, pp. 7–10. (In Russian).

10. Ramachandran V.S., Feldman R.F., Kolleparadi M. et al. Additives in concrete. Moscow: Stroyizdat; 1988. 295 p. (In Russian).

11. State Standard 310.4-81. Cements. Methods of bending and compression strength determination. 1983. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Вячеслав Владимирович Ремнев ✉, д-р техн. наук, профессор, советник НИИЖБ им А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: rema5293362@yandex.ru

Vyacheslav V. Remnev ✉, Dr. Sci. (Engineering), professor, Advisor, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: rema5293362@yandex.ru

Дмитрий Владимирович Кузеванов, канд. техн. наук, директор НИИЖБ им А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Dmitry V. Kuzevanov, Cand. Sci. (Engineering), Director, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Андрей Вячеславович Ремнев, инженер, АО «26 ЦНИИ», Москва

Andrey V. Remnev, Engineer, JSC “26 Central Research Institute”, Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

А.И. САГАЙДАК^{1,✉}, Е.С. БОРОВКОВА²¹Научно-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

²Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
ул. Блохина, д. 29, г. Новополоцк, 212440, Республика Беларусь

ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИКО–ЭМИССИОННЫХ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Аннотация

Введение. Приведены основные результаты применения метода акустико-эмиссионных критериев для диагностики предразрушающего состояния железобетонных конструкций. В работе рассмотрена взаимосвязь зарождения и роста микротрещин в железобетонных балках с отклонениями инвариантных соотношений от устойчивых значений акустико-эмиссионных параметров.

Целью исследования является оценка возможности применения для диагностики железобетонных конструкций метода инвариантов; уточнение численных значений временного и амплитудного инвариантов, временных и амплитудных информационных параметров для железобетонных балок; определение связи инвариантов с масштабом разрушения в железобетонных конструкциях.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проводились на железобетонных балках, изготовленных из тяжелого бетона (класса прочности на сжатие В60, В90) и фибробетона (класса прочности на сжатие В30, В60). В процессе испытания балок проводились акустико-эмиссионные измерения, фиксировались размеры трещин.

Результаты. Результаты испытаний позволили установить численные значения временного и амплитудного инвариантных критериев, временного и амплитудного информационных параметров для железобетонных балок. Численные значения временного инварианта имеют значения близкие к единице, амплитудный инвариант имеет значение 0,1, а информационный параметр временных интервалов и амплитудный информационный параметр равны 0 на начальной стадии нагружения образцов.

Выводы. Исследования показали возможность количественной оценки размеров трещин (суммарной длины в зоне контроля) конструкции при помощи метода инвариантов. Наиболее информативным является временной и амплитудный инвариантные критерии.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, пуассоновское распределение, временной инвариант, амплитудный инвариант, информационный параметр, железобетон

Для цитирования: Сагайдак А.И., Боровкова Е.С. Применение акустико-эмиссионных критериев для исследования процессов деформирования и разрушения конструкций из железобетона // *Бетон и железобетон*. 2023. № 3 (617). С. 38–44. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-38-44](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-38-44)

Вклад авторов

Сагайдак А.И. – разработка программы исследований, обзор литературных данных, проведение эксперимента, обработка результатов экспериментальной работы, выводы по работе, оформление статьи.

Боровкова Е.С. – обработка результатов эксперимента, оформление статьи.

Финансирование

Работа выполнена за счет средств госбюджета.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 17.04.2023

Поступила после рецензирования 17.05.2023

Принята к публикации 25.05.2023

A.I. SAGAIK^{1,✉}, E.S. BOROVKOVA²

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

²Euphrosyne Polotskaya state university of Polotsk, Blokhin Street, 29, Novopolotsk, 212440, Republic of Belarus

APPLICATION OF ACOUSTIC EMISSION CRITERIA FOR THE STUDY OF DEFORMATION PROCESSES AND DESTRUCTION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Abstract

Introduction. The main results of the application of the method of acoustic emission criteria for the diagnosis of the pre-destructive state of reinforced concrete structures are presented. The paper considers the relationship between the origin and growth of microcracks in reinforced concrete beams with deviations of invariant ratios from stable values of acoustic emission parameters.

The aim of the research is evaluate the possibility of using the invariant method for the diagnosis of reinforced concrete structures. Refinement of numerical values of time and amplitude invariants, time and amplitude information parameters for reinforced concrete beams. Determination of the relationship of invariants with the scale of destruction in reinforced concrete structures.

Materials and methods. Experimental studies were carried out on reinforced concrete beams made of heavy concrete (compressive strength class B60, B90) and fiber concrete (compressive strength class B30, B60). In the process of testing the beams, acoustic emission measurements were carried out, the crack sizes were fixed.

Results. The test results allowed us to establish numerical values of time and amplitude invariant criteria, time and amplitude information parameters for reinforced concrete beams. The numerical values of the time invariant have values close to 1, the amplitude invariant has a value of 0,1, and the information parameter of the time intervals and the amplitude information parameter are equal to 0 at the initial stage of loading the samples.

Conclusions. Studies have shown the possibility of quantifying the size of cracks (the total length in the control zone) of the structure using the invariant method. The most informative are the time and amplitude invariant criteria.

Keywords: acoustic emission, Poisson distribution, time invariant, amplitude invariant, information parameter, reinforced concrete

For citation: Sagaidak A.I., Borovkova E.S. Application of acoustic emission criteria for the study of deformation processes and destruction of reinforced concrete structures. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 3 (617), pp. 38–44. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-38-44](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-38-44)

Author contribution statement

Sagaidak A.I. – development of a research program, review of literature data, conducting an experiment, processing the results of experimental work, conclusions on the work, design of the article.

Borovkova E.S. – processing of experimental results, design of the article.

Funding

The work was carried out at the expense of the state budget.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 17.04.2023

Revised 17.05.2023

Accepted 25.05.2023

Введение

Акустико-эмиссионный метод контроля основан на регистрации акустических сигналов, вызванных перестройкой внутренней структуры материала при силовых, температурных или коррозионных процессах. Современная акустико-эмиссионная аппаратура обеспечивает одновременную регистрацию и обработку параметров сигналов акустической эмиссии (АЭ) по нескольким независимым каналам с высокой частотой оцифровки, которая составляет несколько десятков тысяч измерений в секунду.

Высокая чувствительность АЭ метода к динамике процессов, протекающих в материале конструкции при изменении напряженно-деформированного состояния, делает его незаменимым при диагностике состояния объекта.

Авторами [1–4] был предложен подход, заключающийся в том, что связь регистрируемых сигналов АЭ с физическим процессом разрушения определяется по отклонению от устойчивых (инвариантных) параметров исследования в металлах, композиционных материалах. Показано, что на начальных стадиях деформирования (до образования трещин) временной поток АЭ событий является стационарным и описывается пуассоновским законом распределения.

В этом случае стандартное отклонение временного потока АЭ событий $S_{\Delta t}$ равно их среднему значению $\bar{\Delta t}$. Для временного пуассоновского потока справедливо соотношение (1), которое имеет устойчивое (инвариантное) значение, равное единице [1]:

$$I_{I\Delta t} = \frac{S_{\Delta t}}{\bar{\Delta t}} = 1, \tag{1}$$

где $I_{I\Delta t}$ – временной инвариант;
 $S_{\Delta t}$ – стандартное отклонение;
 $\bar{\Delta t}$ – среднее значение интервалов времени между соседними импульсами АЭ.

Как только в материале конструкции образуются дефект или трещины, инвариант $I_{I\Delta t}$ принимает численное значение, отличное от единицы [1, 2, 7]. Тогда появление отклонений регистрируемых значений этих соотношений от их инвариантных значений может служить критерием перехода на следующую стадию деформации или разрушения.

Помимо временного инварианта (1), часто используется амплитудный инвариант, который вычисляется по (2)

$$I_{IA} = \frac{S_A}{A} \tag{2}$$

где S_A и A – соответственно стандартное отклонение и среднее значение амплитуды сигнала АЭ.

Для количественного описания степени отклонения введен информационный параметр временных интервалов следования $i_{I\Delta t}$, вычисляемый по формуле (3), и амплитудный информационный параметр i_{IA} , вычисляемый по формуле (4), [1, 7]:

$$i_{I\Delta t} = |\bar{\Delta t} - S_{\Delta t}| / \sqrt{\bar{\Delta t}}, \tag{3}$$

$$i_{IA} = |I_{IA} - I_{IA}^*| / I_{IA}^*, \tag{4}$$

где I_{IA}^* – устойчивое значение амплитудного инварианта.

Исследования в металлах показали, что значение временного инварианта $I_{\Delta t}$ при образовании трещины увеличивается и становится не равным единице. Значение амплитудного инварианта при образовании трещин I_A уменьшается и становится не равным 0,8 [2]. Численные значения инвариантов и информационных параметров для железобетонных конструкций носят противоречивый характер, исследования инвариантов для конструкций из бетона и железобетона практически не проводились.

Развиваемый метод в последнее время получил название метода инвариантов и все более широко используется в качестве метода диагностики состояния конструкционных материалов [1–4].

Цели и задачи исследований

Целью исследований является создание нового метода диагностики состояния железобетонных конструкций методом АЭ при помощи метода инвариантов. Задачами исследований являются:

- оценка возможности применения для диагностики конструкций модели пуассоновского потока и метода инвариантов для исследования процессов деформирования и разрушения железобетонных конструкций;
- экспериментально определить численные значения инвариантов и информационных параметров моделей пуассоновского потока при испытании конструкций из железобетона;
- установить связь инвариантов с размерами трещин в железобетонных конструкциях.

Экспериментальные исследования

Для оценки информативности параметров метода инвариантов с кинетикой внутренних процессов в материале конструкции в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева были проведены экспериментальные исследования на железобетонных балках, изготовленных из тяжелого бетона. Балки № 1 и № 3 изготавливались из фибробетона класса по прочности на сжатие В60 и В30, балки № 2 и № 4 изготавливались из тяжелого бетона класса по прочности В60 и В90. Размеры балок: длина – 2200 мм, высота – 290 мм, ширина – 160 мм. Железобетонные балки армировались арматурными каркасами. Применялась арматура А500С различного диаметра, которая расположена в нижней и верхней частях балок. Шаг поперечной арматуры в балке составлял 100 и 200 мм. Бетонирование проводилось в металлических формах.

Испытательное оборудование

В качестве нагружающей машины использовали систему INSTRON 8802. Нагрузка прикладывалась к центральной части балки. Для уменьшения влияния трения нагружающего устройства о поверхность бетона использовалась прокладка из войлока.



Рис. 1. Нагружающее устройство INSTRON 8802 с установленной балкой
Fig. 1. INSTRON 8802 loading device with a beam installed

Акустико-эмиссионные измерения выполнялись с использованием цифровой АЭ системы серии A-Line 32D. АЭ система представляет собой десятиканальную систему сбора и обработки акустико-эмиссионной информации. Преобразователи АЭ крепились на две боковые и верхнюю поверхности балки при помощи магнитных прижимов, которые устанавливали на предварительно закрепленные металлические пластины. Для регистрации сигналов использовались преобразователи АЭ частотным диапазоном 30–300 кГц. На рис. 1 показано испытательное оборудование и восьмиканальный акустико-эмиссионный прибор (на переднем плане).

Нагрузка к балкам прикладывалась поэтапно ступенями (долями), каждая из которых не превышала 5–10 % контрольной нагрузки по образованию трещин.

На этапе приложения нагрузки и выдержки под нагрузкой регистрировались сигналы АЭ, фиксировался прогиб балки, на этапах выдержки измерялась длина и ширина раскрытия трещин. В том случае если существующая трещина на последующем этапе приложения нагрузки «проросла», фиксировалась и измерялась и эта величина. Для каждого этапа длины всех трещин суммировались. Для анализа использовался самый активный канал АЭ прибора.

Обсуждение результатов

В качестве примера на рис. 2 и 3 представлены два этапа испытания железобетонной балки № 4. Анализируется начальный этап нагружения, на котором не было зафиксировано образование видимых трещин (рис. 2), и этап нагружения, на котором в балке образовалось наибольшее количество трещин (рис. 3). Анализ распределений показывает, что на этапе без видимых трещин сигналы АЭ группируются около кривой 2, описываемой зависимостью (5). Из этого следует, что распределение временных интер-

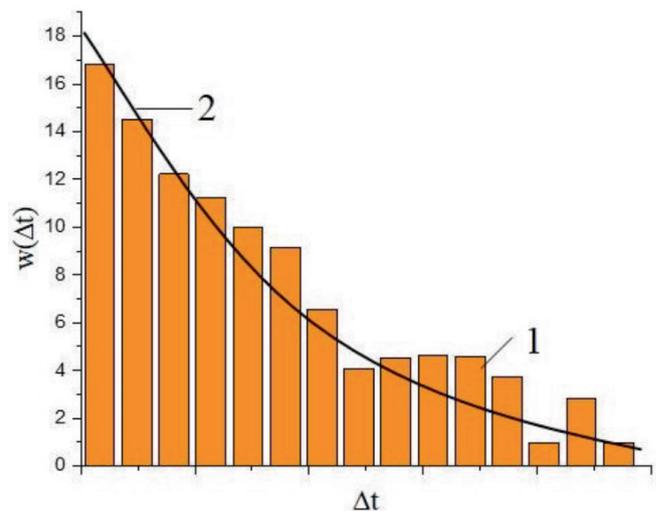


Рис. 2. Гистограммы плотностей распределения временных интервалов следования АЭ при нагружении железобетонной балки № 4 нагрузкой 15 кН: 1 – экспериментальные значения; 2 – функция, аппроксимирующая пуассоновский поток; объем выборки – 123 импульса; ширина канала $dt = 1,62$ мс
Fig. 2. Histograms of the distribution densities of the AE time intervals when loading reinforced concrete beam No. 4 with a load of 15 kN: 1 – experimental values; 2 – function approximating the Poisson flow; sample size – 123 pulses; channel width $dt = 1.62$ ms

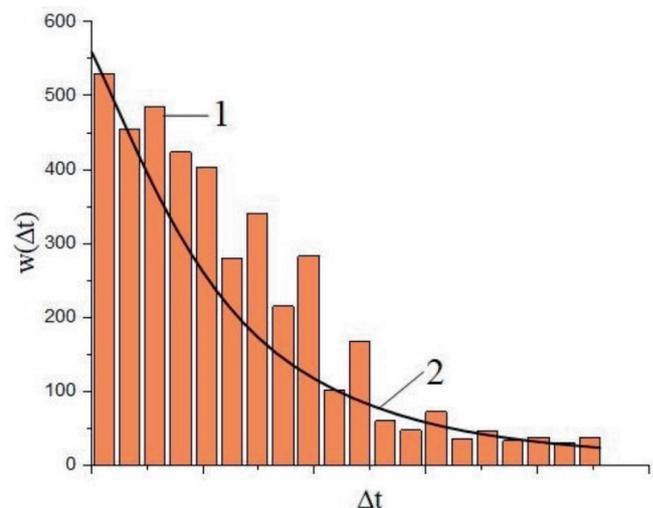


Рис. 3. Гистограммы плотностей распределения временных интервалов следования АЭ при нагружении железобетонной балки № 4 нагрузкой 60 кН: 1 – экспериментальные значения; 2 – функция, аппроксимирующая пуассоновский поток; объем выборки – 4360 импульсов; ширина канала $dt = 460$ мс
Fig. 3. Histograms of the distribution densities of the AE time intervals when loading reinforced concrete beam No. 4 with a load of 60 kN: 1 – experimental values; 2 – function approximating the Poisson flow; sample size – 4360 pulses; channel width $dt = 460$ ms

валов следования АЭ событий практически подчиняется пуассоновскому закону (1).

На рис. 2 и 3 приведены гистограммы плотности распределения временных интервалов следования потока АЭ событий, описанных зависимостью (1), и функция пуассоновского закона распределения, вычисленная по зависимости (3):

$$w(\Delta t) = N \cdot \exp(-N \cdot \Delta t), \quad (5)$$

где $w(\Delta t)$ – функция пуассоновского распределения;
 N – акустико-эмиссионные события;
 Δt – временной интервал.

На рис. 4 приведены результаты зависимости инвариантных соотношений для железобетонных балок от нагружения.

Результаты испытаний железобетонных балок позволили установить численные значения, временного и амплитудного инвариантных критериев, временных и амплитудных информационных параметров. Численные значения временного инвариантного критерия имеют значения, близкие к единице, амплитудный инвариантный критерий имеет значение 0,1, а информационный параметр временных интервалов и амплитудный информационный параметр на ранних стадиях нагружения образцов равны 0.

Некоторые отличия от представленных выше численных значений временного и амплитудного инвариантных критериев связаны с начальной нагрузкой и неоднородностью структуры бетона. Временной и амплитудный информационные параметры менее чувствительны к неоднородности структуры бетона, и, как правило, на начальных этапах приложения усилия равны нулю.

Образование трещин приводит к тому, что временной инвариант принимает численные значения, не равные единице, и условие $I_{It} = \frac{S \Delta t}{\Delta t} \neq 1$ характеризует стадию образования видимых трещин в бетонной конструкции. Численные значения амплитудного инварианта, не равные 0,1, и условие $I_{IA} = \frac{S A}{A} \neq 0,1$ характеризуют стадию образования трещины в железобетонной конструкции.

Связь инвариантов с размером разрушения в железобетонных конструкциях

Ранее [6] было показано, что образование и развитие трещин в железобетонной конструкции приводит к отклонению от пуассоновской модели следования временного потока сигналов АЭ. Было установлено, что численные значения временного инвариантного критерия коррелируют с размером трещин. Коэффициент

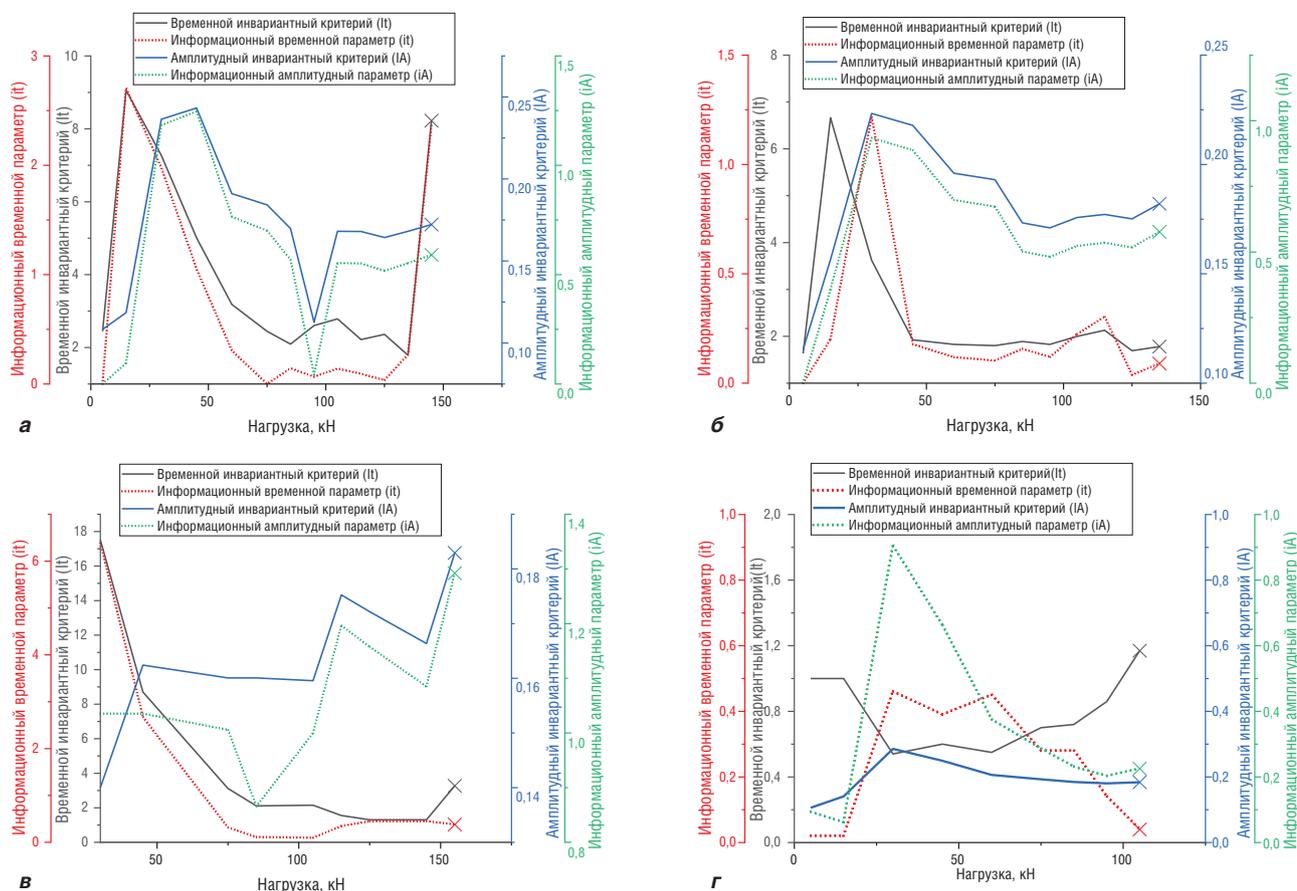


Рис. 4. Зависимость временного и амплитудного инвариантных критериев, временных и амплитудных информационных параметров от приложенной нагрузки железобетонных образцов: а – балка № 1; б – балка № 2; в – балка № 3; г – балка № 4; X – обозначено разрушение образца

Fig. 4. Dependence of the time and amplitude invariant criterion, time and amplitude information parameters on the applied load of reinforced concrete samples: а – beam No. 1; б – beam No. 2; в – beam No. 3; г – beam No. 4; X – indicates the destruction of the sample

корреляции между временным инвариантным критерием и размерами трещин составляет 0,83.

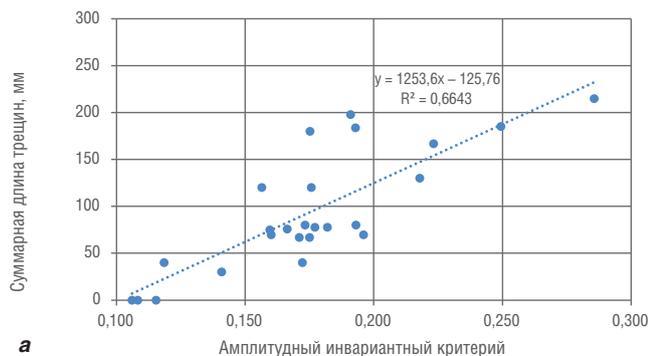
На рис. 5 приведены единые градуированные зависимости между суммарным размером трещины в балках и инвариантными критериями для четырех балок.

Исследования показали принципиальную возможность количественной оценки размеров трещин (суммарной длины в зоне контроля) конструкции при помощи метода инвариантов. Наиболее информативными являются временной и амплитудный инвариантные критерии.

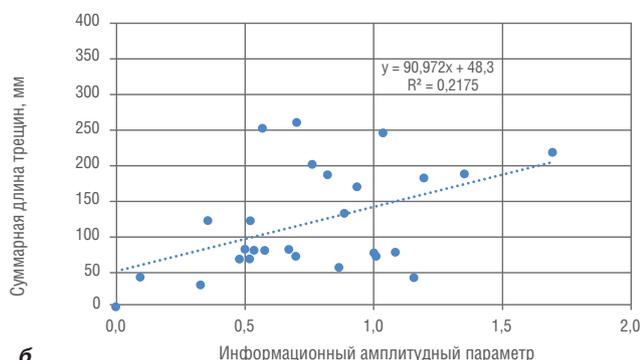
Основные выводы

1. Результаты испытаний позволили установить численные значения временного и амплитудного инвариантных критериев, временного и амплитудного информационных параметров для железобетонных балок. Численные значения, временного инварианта имеют значения, близкие к единице, амплитудный инвариант имеет значение 0,1, а информационный параметр временных интервалов и амплитудный информационный параметр равны 0 на начальной стадии нагружения образцов.

2. Образование трещин приводит к тому, что временной инвариант принимает численные значения, не равные единице, и условие $I_{II} = \frac{S_{\Delta t}}{\Delta t} \neq 1$ характеризует стадию образования видимых трещин в бетонной конструкции.



а



б

Рис. 5. Зависимости между суммарным размером трещины в балках и амплитудным инвариантным критерием (а), информационным амплитудным параметром (б)

Fig. 5. The relationship between the total size of the crack in the beams and the amplitude invariant criterion (a), the information amplitude parameter (б)

3. Численные значения амплитудного инварианта, не равные 0,1, и условие $I_{IA} = \frac{S_A}{A} \neq 0,1$ характеризуют стадию образования трещины в железобетонной конструкции.

4. При образовании трещин, сколов бетона значения инвариантов изменяются. Это связано с высокой чувствительностью метода АЭ к развитию повреждений.

5. Исследования показали возможность количественной оценки размеров трещин (суммарной длины в зоне контроля) конструкции при помощи метода инвариантов. Наиболее информативными являются временной и амплитудный инвариантные критерии.

Список литературы

1. Буйло С.И. Физико-механические, статистические и химические аспекты акустико-эмиссионной диагностики: монография / С.И. Буйло; Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета; 2017. 184 с. ISBN 978-5-9275-2369-6

2. Буйло С.И. Об информативности метода инвариантов сигналов акустической эмиссии в задачах диагностики предразрушающего состояния материалов // *Дефектоскопия*. 2018. № 4. С. 18–23. EDN: YWENVN

3. Буйло С.И. Физико-механические, химические и статистические аспекты акустической эмиссии // *Известия Алтайского государственного университета*. 2019. № 1 (105). С. 11–21. DOI: [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2019\)1-01](https://doi.org/10.14258/izvasu(2019)1-01). EDN: YZEBDV

4. Кондранин Е.А. Определение прочностных характеристик конструкций на основе инвариантов амплитуд акустической эмиссии // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2009. № 2 (91). С. 14–19. EDN: KNPFAV

5. Пат. RU2417369C2. Способ определения предельного состояния строительных конструкций. Сагайдак А.И., заявл. 29.06.2009; опубл. 27.04.2011.

6. Сагайдак А.И. Состояние и перспективы использования метода акустической эмиссии в современном строительстве. Бетон и железобетон – взгляд в будущее. Научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону: В семи томах. 2014. Т. 2. С. 427–438. EDN: UBXDMZ

7. Иванов В.И. Акустико-эмиссионная диагностика [Текст]: [справочник] / В.И. Иванов, В.А. Барат. – Москва: Спектр; 2017. 368 с.: ил., табл.; 24 см.; ISBN 978-5-4442-0126-8

8. Sagaidak A.I., Elizarov S.V. New possibilities of acoustic emission method for research of adhesion between concrete and steel bars of different profile. *Word Conference on Acoustic Emission*. Beijing, 2011, pp. 464–469.

9. Сагайдак А.И. Использование метода акустической эмиссии для контроля прочности бетона // *Бетон и железобетон*. 2000. № 4. С. 24–25. EDN: ZVIXVB

10. Shen G., Zhang J., Wu Zh. Advances in Acoustic Emission Technology. *Proceedings of the World Conference on Acoustic Emission*. Guangzhou, China, 2019, pp. 41–53.

11. Panel Discussion. Status of AE Standards: ASTM. 62nd Acoustic Emission Working Group Virtual Meeting. 2020.

12. Mark F.C. Overview of Current and Developing ASTM Acoustic Emission (AE) Standards. *Journal of Acoustic Emission*. 2010, no. 28, pp. 229–233.

13. Spanner J.C. Sr. An Overview of Acoustic Emission Codes and Standards. *Journal of Acoustic Emission*. 1987, no. 6, pp. 121–124. <https://www.ndt.net/article/jae/papers/06-121.pdf>. (Date of access 01.09.2021).

14. Digiulio C., Herve C. New Edition of GEA Guideline for Acoustic Emission Testing of Pressure Equipments. *Proceedings of the 33rd Conference of the European Working Group on Acoustic Emission*. Senlis, France, 2018, p. 8.

15. Tomoki Shiotani, Satoshi Osawa, Yoshikazu Kobayashi, Shohci Momoki. Application of 3D AE Tomography for Triaxial Tests of Rocky Specimens. *31 Conference of the European Working Group on Acoustic Emission (EWGAE)*. Pp. 1–9.

References

1. Builo S.I. Physico-mechanical, statistical and chemical aspects of acoustic emission diagnostics. *Rostov-on-Don, Taganrog: SFU Publishing House*; 2017. 184 p. ISBN 978-5-9275-2369-6 (In Russian).

2. Builo S.I. On the information value of the method of invariants of acoustic-emission signals in the diagnostics of pre-failure state in materials. *Russian Journal of Non-destructive Testing*. 2018, no. 4 (54), pp. 237–242. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1134/S1061830918040034>. EDN: YBYEKD

3. Builo S.I. Physico-mechanical, chemical and statistical aspects of acoustic emission. *Izvestiya of Altai State University*. 2019, no. 1 (105), pp. 11–21. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2019\)1-01](https://doi.org/10.14258/izvasu(2019)1-01). EDN: YZEBDV

4. Kondranin Ye.A. Definition of the strengthen characteristics of the constructions in terms of the amplitude invariants of the acoustic emission. *Izvestiya SFedU. Engineering sciences*. 2009, no. 2 (91), pp. 14–19. (In Russian). EDN: KNPFAB

5. Pat. RU2417369C2. Method for determining the limit state of building structures. Sagaidak A.I., declared on 29.06.2009; published on 27.04.2011. (In Russian).

6. Sagaidak A.I. The state and prospects of using the acoustic emission method in modern construction. Concrete and reinforced concrete – a look into the future. Scientific papers of the III All-Russian (II International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete: 2017. 184 p. In seven volumes. 2014, vol. 3, pp. 427–438. (In Russian). EDN: UBXDMZ

7. Ivanov V.I., Barat V.A. Acoustic emission diagnostics. Moscow: Spektr; 2017. 368 p. ISBN 978-5-4442-0126-8. (In Russian).

8. Sagaidak A.I., Elizarov S.V. New possibilities of acoustic emission method for research of adhesion between concrete and steel bars of different profile. *Word Conference on Acoustic Emission*. Beijing, 2011, Moscow: Spektr; 2017. 368 p. pp. 464–469.

9. Sagaidak A.I. Using the acoustic emission method to control the strength of concrete. *Beton i Zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]*. 2000, no. 4, pp. 24–25. (In Russian). EDN: ZVIXVB

10. Shen G., Zhang J., Wu Zh. Advances in Acoustic Emission Technology. *Proceedings of the World Conference on Acoustic Emission*. Guangzhou, China, 2019, pp. 41–53.

11. Panel Discussion. Status of AE Standards: ASTM. 62nd Acoustic Emission Working Group Virtual Meeting. 2020.

12. Mark F.C. Overview of Current and Developing ASTM Acoustic Emission (AE) Standards. *Journal of Acoustic Emission*. 2010, no. 28, pp. 229–233.

13. Spanner J.C. Sr. An Overview of Acoustic Emission Codes and Standards. *Journal of Acoustic Emission*. 1987, no. 6, pp. 121–124. <https://www.ndt.net/article/jae/papers/06-121.pdf>. (Date of access 01.09.2021).

14. Digiulio C., Herve C. New Edition of GEA Guideline for Acoustic Emission Testing of Pressure Equipments. *Proceedings of the 33rd Conference of the European Working Group on Acoustic Emission*. Senlis, France, 2018, p. 8.

15. Tomoki Shiotani, Satoshi Osawa, Yoshikazu Kobayashi, Shohci Momoki. Application of 3D AE Tomography for Triaxial Tests of Rocky Specimens. *31 Conference of the European Working Group on Acoustic Emission (EWGAE)*. Pp. 1–9.

Информация об авторах / Information about the authors

Александр Иванович Сагайдак✉, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник центра № 20 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва e-mail: sagaidak-niizhb@mail.ru

Alexandr I. Sagaidak✉, Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher of the Center No. 20, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow e-mail: sagaidak-niizhb@mail.ru

Евгения Сергеевна Боровкова, физик, старший преподаватель Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой, Новополоцк e-mail: e.borovkova@psu.by

Evgeniya S. Borovkova, Physicist, Senior Lecturer at the Euphrosyne Polotsk State University, Novopolotsk e-mail: e.borovkova@psu.by

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Научно-технический журнал
Бетон и железобетон
Вып. 3 (617) 2023

Редактор выпуска Починина Н.Е.
Компьютерная верстка Болдырев В.
Дата выхода в свет 31.07.2023
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



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

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ

ИЗЫСКАНИЯ

СТРОИТЕЛЬСТВО

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

УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР

АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



ниц строительство
научно-исследовательский центр



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



Набор в аспирантуру и докторантуру АО «НИЦ «Строительство» проводится по направлению 08.06.01 «Техника и технология строительства» по направлениям:

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

ФОРМЫ ПОДГОТОВКИ ДИССЕРТАЦИИ В АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



Обучение в аспирантуре,
докторантуре

Прикрепление для
подготовки диссертации без
освоения образовательных
программ



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

Защита диссертаций проводится по следующим научным специальностям:

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

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



