

Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]

ISSN 0585-430X (Print)

ISSN 2658-6991 (Online)

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

®

№ 11



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU WWW.JOURNAL-CM.RU НОЯБРЬ 2020 г. (786)

PROGRESS GROUP



ГЛОБАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ
ДЛЯ ИНДУСТРИИ СБОРНОГО
ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

www.progress-group.info

Реклама



Журналы издательства **СТРОЙМАТЕРИАЛЫ**



www.journal-cm.ru
ISSN 0585-430X (Print)
ISSN 2658-6991 (Online)

Индекс **70886**



www.journal-hc.ru
ISSN 0044-4472

Индекс **70283**



www.rifsm.ru
ISSN 0005-9889

Индекс **85502**

по объединенному каталогу



«Пресса России»

На электронную версию можно подписаться

- на сайтах журналов

<https://journal-hc.ru/index.php/ru/podpiska-2021>

<https://journal-cm.ru/index.php/ru/podpiska-2021>

и издательства **www.rifsm.ru** в разделе «Подписка» можно оформить подписку на электронную полнотекстовую версию журнала в формате *.pdf. Это позволит вам получать журнал еще до выхода из типографии и быть независимым от почтового ведомства России.

- на сайтах наших партнеров:

elibrary.ru

delpress.ru

www.ivis.ru

www.rucont.ru

Оформить подписку в редакции можно с любого месяца на любой период

Для этого необходимо составить заявку в произвольной форме с указанием названия организации, юридического и почтового адреса и отправить ее на e-mail: mail@rifsm.ru или rifsm@mail.ru

Уважаемые читатели!

Завершается 65-й год издания журнала «Строительные материалы»[®] – первого, с которым началась история нашего издательства в 1993 г. 2020 год для всех был трудным, и мы с тревогой ждем 2021 г. Но вне зависимости от развития эпидемической ситуации и социально-экономических сложностей, не остановится научная мысль, продолжится подготовка специалистов высшей квалификации, люди продолжат строить и созидать, а значит будут востребованы строительные материалы. Следовательно, и журналы издательства «Стройматериалы» будут необходимы для профессиональной деятельности.

Ограничения, вызванные мировой пандемией, не позволили редакции реализовать ряд юбилейных мероприятий, повидаться с вами лично на выставках и конференциях. Поэтому, мы хотим сделать вам небольшой подарок – специальное предложение на подписку.

Оставайтесь с нами!

Учредитель: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,
Адрес: 125319, г. Москва, ул. Черняховского,
д. 9, корп. 1, кв. 1
Издатель: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»
Адрес: 125319, г. Москва, ул. Черняховского,
д. 9, корп. 1, кв. 1
Свид. о регистрации ПИ № 77–1989
ISSN 0585-430X (Print) ISSN 2658-6991 (Online)
Входит в Перечень ВАК, РИНЦ,
Russian Science Citation Index
на платформе Web of Science
Адрес редакции: Россия, 127434, г. Москва,
Дмитровское ш., д. 9, стр. 3

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

№ 11

Основан в 1955 г.

(786) Ноябрь 2020 г.

Тел.: (499) 976-22-08, (499) 976-20-36 mail@rifsm.ru; www.rifsm.ru; www.journal-cm.ru

Материалы и технологии

Б.К. ДЖАМУЕВ

Повышение монолитности кладки из ячеисто-бетонных блоков путем применения

в качестве кладочного раствора пенополиуретанового клея 4

Новая линия циркуляции паллет для постоянного клиента (Информация) 10

В.Т. ЕРОФЕЕВ, АЛЬ ДУЛАЙМИ САЛМАН ДАВУД САЛМАН, А.П. ФЕДОРЦОВ, А.Д. БОГАТОВ, В.А. ФЕДОРЦОВ

Биологическая коррозия бетонов 13

Ю.Ф. ПАНЧЕНКО, Д.А. ПАНЧЕНКО, А.П. НИЗОВСКИХ, Э.Н. ХАФИЗОВА

Влияние длительного хранения силикатного кирпича в воде на его прочность 24

А.М. ИБРАГИМОВ, Л.Ю. ГНЕДИНА

Проектирование конструкции стенки доменной печи из эффективных материалов.

Часть 4. Примеры расчета 30

Грозненскому государственному нефтяному техническому университету

исполнилось 100 лет! (Информация) 35

Институт строительства, архитектуры и дизайна ГГНТУ (Информация) 38

«Гордость мусульман» – самая большая мечеть в Европе (Информация) 39

В.В. СТРОКОВА, В.В. НЕЛЮБОВА, М.Н. СИВАЛЬНЕВА, М.Д. РЫКУНОВА, Н.А. ШАПОВАЛОВ

Устойчивость вяжущих систем различного состава к действию плесневых грибов 41

Экологическое строительство

А.В. ДЕРБЕНЕВ, Д.М. ВАДИВАСОВ

Экологическая и климатическая декларации как инструменты экспорта

российских строительных материалов 47

Результаты научных исследований

Ю.А. БЕЛЕНЦОВ

Метод расчета строительных конструкций по уровню надежности 54

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.

Founder of the journal: «STROYMATERIALY»
Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,
Moscow, 125319, Russian Federation
Publisher: «STROYMATERIALY»
Advertising-Publishing Firm, OOO
Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,
Moscow, 125319, Russian Federation
Registration certificate PI № 77–1989
ISSN 0585-430X (Print) ISSN 2658-6991 (Online)
Included in the list of journals of the Higher
Attestation Commission (Russia), Russian Science
Citation Index on the platform Web of Science
Editorial address: 9/3 Dmitrovskoye Highway,
127434, Moscow, Russian Federation

Monthly scientific-technical and industrial journal

STROITEL'NYE MATERIALY®

№ 11

Founded in 1955 (786) November 2020

Tel.: (499) 976-22-08, (499) 976-20-36 mail@rifsm.ru; www.rifsm.ru; www.journal-cm.ru

Materials and technologies

B.K. DZHAMUEV

**Increasing the Monolithic Nature of Masonry Made of Cellular Concrete Blocks
by Using Polyurethane Foam Glue as a Masonry Mortar** 4

The new Line of Circulation of the Pallets for a Regular Customer (*Information*)..... 10

V.T. EROFEEV, AI-DULAIMI SALMAN DAVUD SALMAN, A.P. FEDORTSOV, A.D. BOGATOV, V.A. FEDORTSOV

Biological Corrosion of Concrete 13

Yu.F. PANCHENKO, D.A. PANCHENKO, A.P. NIZOVSKIKH, E.N. KHAFIZOVA

Effect of Long-Term Storage of Silicate Brick in Water on its Strength 24

A.M. IBRAGIMOV, L.Yu. GNEDINA

Design of the Blast Furnace Wall Structure Made of Efficient Materials.

Part 4. Calculation Examples 30

The Grozny State Oil Technical University Celebrates its 100th Anniversary! (*Information*)..... 35

Institute of Construction, Architecture and Design of Grozny State Oil University (*Information*) 38

"Pride of Muslims" – the Largest Mosque in Europe (*Information*) 39

V.V. STROKOVA, V.V. NELUBOVA, M.N. SIVAL'NEVA, M.D. RYKUNOVA, N.A. SHAPOVALOV

Resistance of Binding Systems of Various Compositions to the Action of Molds 41

Ecological construction

A.V. DERBENEV, D.M. VADIVASOV

Environmental and Climate Declarations as Tools for Exporting Russian Construction Materials 47

Results of scientific research

Yu.A. BELENTSOV

The Method of Calculation of Building Structures by Reliability Level 54

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.

Редакционный совет

Главный редактор:

ЮМАШЕВА Е.И.,
инженер-химик-технолог, почетный строитель России

Председатель редакционного совета:

РЕСИН В.И.,
д-р экон. наук, профессор, академик РААСН (Москва)

АЙЗЕНШТАДТ А.М.,
д-р хим. наук, профессор (Архангельск)

АСКАДСКИЙ А.А.,
д-р хим. наук, профессор (Москва)

БУРЬЯНОВ А.Ф.,
д-р техн. наук, директор Российской
гипсовой ассоциации (Москва)

ВАЙСБЕРГ Л.А.,
д-р техн. наук, профессор, академик РАН (Санкт-Петербург)

ВЕРЕЩАГИН В.И.,
д-р техн. наук, профессор (Томск)

ГОРИН В.М.,
канд. техн. наук, президент Союза производителей керамзита
и керамзитобетона (Самара)

ЕРОФЕЕВ В.Т.,
д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (Саранск)

КОРОЛЕВ Е.В.,
д-р техн. наук, профессор (Санкт-Петербург)

КРИВЕНКО П.В.,
д-р техн. наук, профессор (Украина)

ЛЕОНОВИЧ С.Н.,
д-р техн. наук, профессор (Беларусь)

ЛЕСОВИК В.С.,
д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН (Белгород)

МУРТАЗАЕВ С.-А.Ю.,
д-р техн. наук, профессор (Грозный)

НЕДОСЕКО И.В.,
д-р техн. наук (Уфа)

ПИЧУГИН А.П.,
д-р техн. наук, профессор (Новосибирск)

ПУХАРЕНКО Ю.В.,
д-р техн. наук, профессор,
член-корреспондент РААСН (Санкт-Петербург)

ТРАВУШ В.И.,
д-р техн. наук, академик РААСН (Москва)

ФЕДОСОВ С.В.,
д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (Иваново)

ФИШЕР Х.-Б.,
доктор-инженер (Германия)

ХОЗИН В.Г.,
д-р техн. наук, профессор (Казань)

ЧЕРНЫШОВ Е.М.,
д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (Воронеж)

ШЕБЛ С.М.,
д-р наук, профессор (Египет)

ШЛЕГЕЛЬ И.Ф.,
канд. техн. наук (Омск)

ШТАКЕЛЬБЕРГ Д.И.,
д-р техн. наук, профессор (Израиль)

ЯКОВЛЕВ Г.И.,
д-р техн. наук, профессор (Ижевск)

Ю ЖЯНГМЯО,
д-р философии (Китай, Гуанчжоу)

Editorial Board

Editor-in-chief

YUMASHEVA E.,
engineer-chemist-technologist, Honorary Builder of Russia

Chairman of Editorial Board

RESIN V.,
Doctor of Science (Economy), Professor (Moscow)

AYZENSHTADT A.,
Doctor of Sciences (Chemistry), Professor (Arkhangelsk)

ASKADSKIY A.,
Doctor of Science (Chemistry),
Professor (Moscow)

BURYANOV A.,
Doctor of Science (Engineering), Director of the Russian Association
of gypsum (Moscow)

VAYSBERG L.,
Doctor of Science (Engineering), Academician of RAS (St. Petersburg)

VERESHCHAGIN V.,
Doctor of Science (Engineering), Professor (Tomsk)

GORIN V.,
Candidate of Science (Engineering), President of the Union of Haydite
and Haydite Concrete Producers (Samara)

EROFEEV V.,
Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS
(Saratov)

KOROLEV E.,
Doctor of Science (Engineering), Professor (St. Petersburg)

KRIVENKO P.,
Doctor of Science (Engineering), Professor (Ukraine)

LEONOVICH S.,
Doctor of Science (Engineering), Professor (Belarus, Minsk)

LESOVIK V.,
Doctor of Science (Engineering), Corresponding Member of RAACS
(Belgorod)

MURTAZAEV S.-A.,
Doctor of Science (Engineering), Professor (Grozniy)

NEDOSEKO I.,
Doctor of Science (Engineering) (Ufa, Bashkortostan)

PICHUGIN A.,
Doctor of Science (Engineering), Professor, Member of the Russian
Academy of Natural Science (Novosibirsk)

PUKHARENKO Yu.,
Doctor of Science (Engineering), Professor (St. Petersburg)

TRAVUSH V.,
Doctor of Science (Engineering), academician of RAACS (Moscow)

FEDOSOV S.,
Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS
(Ivanovo)

FISHER H.-B.,
Doctor-Engineer (Germany, Weimar)

KHOZIN V.,
Doctor of Science (Engineering), Professor (Kazan)

CHERNYSHOV E.,
Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS
(Voronezh)

SHEBL S.M.,
Doctor of Science, Professor (Egypt)

SHLEGEL I.,
Candidate of Science (Engineering), OOO «INTA-Stroy» (Omsk)

SHTACKELBERG D.,
Doctor of Science (Engineering), Professor (Israel)

YAKOVLEV G.,
Doctor of Science (Engineering), Professor (Izhevsk)

YU JIANGMIAO,
PhD / Associate Professor (China, Guangzhou)

Б.К. ДЖАМУЕВ, канд. техн. наук (dbk-07@mail.ru)

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Повышение монолитности кладки из ячеисто-бетонных блоков путем применения в качестве кладочного раствора пенополиуретанового клея

Данное исследование является продолжением ранее опубликованной работы [1]. Представлены результаты экспериментального определения прочности нормального сцепления (при осевом растяжении) в кладке из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения классов по прочности при сжатии В1,5–В3,5 на цементных растворах и пенополиуретановых клеевых составах. Испытания проводились в лаборатории кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» НИУ МГСУ. Эксперимент проводился на образцах-кубах размером 150×150×150 мм, которые выпиливались из ячеисто-бетонных блоков, скрепленных (склеенных) между собой с помощью кладочных (связующих) составов. В ходе исследования выявлено, что при использовании в кладке из ячеисто-бетонных блоков классов по прочности при сжатии В1,5–В3,5 различных пенополиуретановых клеевых составов сопротивление осевому растяжению по неперевязанному сечению (нормальное сцепление) кладки повышается приблизительно на 9–25%. Также установлено, что характер разрушения образцов, выполненных на пенополиуретановых клеях (разрушение происходит по телу бетона), указывает на монолитность кладки. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что сопротивление осевому растяжению по неперевязанному сечению кладки зависит от прочности материала, из которого изготовлен блок, а не от прочности при сжатии используемого кладочного (связующего) раствора, как указано в табл. 11 СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции». Это фактор необходимо учитывать при расчетах кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения на пенополиуретановых составах.

Ключевые слова: кладка, испытание, ячеисто-бетонные блоки автоклавного твердения, кладочный раствор, пенополиуретановый клеевой состав, нормальное сцепление.

Для цитирования: Джамуев Б.К. Повышение монолитности кладки из ячеисто-бетонных блоков путем применения в качестве кладочного раствора пенополиуретанового клея // *Строительные материалы*. 2020. № 11. С. 4–9.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-4-9>

B.K. DZHAMUEV, Candidate of Sciences (Engineering) (dbk-07@mail.ru)

National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Increasing the Monolithic Nature of Masonry Made of Cellular Concrete Blocks by Using Polyurethane Foam Glue as a Masonry Mortar

This study is a continuation of previously published work [1]. The results of experimental determination of the strength of normal adhesion (under axial tension) in masonry made of autoclave-hardened cellular concrete blocks of compressive strength classes B1.5–B3.5 on cement mortars and polyurethane foam adhesives are presented. The tests were carried out in the laboratory of the Department "Reinforced Concrete and Stone Structures" of the Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). The experiment was carried out on samples-cubes with a size of 150×150×150 mm, which were cut out of cellular concrete blocks, fastened (glued) together using masonry (binding) compositions. In the course of the study, it was found that when using various polyurethane foam glue compositions in masonry made of cellular concrete blocks of compressive strength classes B1.5–B3.5, the resistance to axial stretching over an unbound section (normal adhesion) of the masonry increases by approximately 9–25%. It was also found that the nature of the destruction of samples made on polyurethane foam adhesives (destruction occurs along the body of concrete), indicates the monolithic nature of the masonry. The analysis of the results obtained makes it possible to conclude that the resistance to axial tension along the unbound section of the masonry depends on the strength of the material from which the block is made, and not on the compressive strength of the masonry (binder) mortar used, as indicated in table 11 of SP 15.13330.2012 "Stone and reinforced masonry structures". This factor must be taken into account when calculating masonry from autoclave-hardened cellular concrete blocks on polyurethane foam compositions.

Keywords: masonry, testing, autoclave-hardened cellular concrete blocks, masonry mortar, polyurethane foam adhesive composition, normal adhesion.

For citation: Dzhamev B.K. Increasing the monolithic nature of masonry made of cellular concrete blocks by using polyurethane foam glue as a masonry mortar. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 11, pp. 4–9. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-4-9>

В настоящее время на территории РФ при возведении стен зданий широко используется кладка из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения, которые изготавливаются в соответствии с требованиями ГОСТ 31360–2007 «Изделия стеновые неармированные из ячеистого бетона автоклавного твердения. Технические условия». Популярность такой кладки вызвана наличием ряда преимуществ по сравнению с кладкой из керамического кирпича: высокие теплоизоляционные свойства, высокая степень пожа-

робезопасности, относительно малый вес блоков, большой ассортимент размеров и форм, а также более легкий и точный процесс укладки. Ячеисто-бетонные блоки применяются прежде всего для возведения наружных и внутренних стен жилых домов, магазинов, офисных зданий. По конструктивному исполнению стены из этого материала могут быть как несущими (стены частных малоэтажных домов, коттеджей, магазинов), так и ненесущими (наружные стены и перегородки высотных жилых и офисных зданий). Поэтому

при проектировании стен из ячеисто-бетонных блоков необходимо руководствоваться требованиями СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции». В данном нормативе главенствующую роль среди показателей прочности кладки занимает расчетное сопротивление сжатию кладки R , характеризующее ее прочность при сжатии. Однако имеется не менее значимый показатель – расчетное сопротивление осевому растяжению R_t , которое характеризует ее прочность при осевом растяжении и играет важную роль в вопросе определения нормального сцепления растворной смеси с ячеисто-бетонными блоками и, как следствие этого, в определении монолитности кладки [2–5].

При возведении стен с использованием ячеисто-бетонных блоков в качестве связующего элемента (кладочного раствора) в настоящее время применяют разнообразные составы, как традиционные цементные растворы, так и современные полимерцементные растворы, а также и пенополиуретановые клеевые составы. Однако некоторые производители газобетонных блоков не рекомендуют при возведении стен использовать цементно-песчаные растворы, обосновывая это рядом недостатков такой кладки:

- значительная толщина шва (10–12 мм);
- продолжительный период подготовительных работ;
- значительная пыльность работ;
- наличие мокрых процессов на строительной площадке, вследствие чего усложняется проведение работ при отрицательной температуре;
- дополнительные теплопотери из-за наличия мостиков холода в месте швов кладки;
- неоднородность раствора, приводящая к возникновению в кладке помимо сжимающих усилий, растягивающих усилий при изгибе, в результате чего прочность кладки существенно снижается.

Всех этих недостатков кладки на цементном растворе, как показывают исследования различных авторов [6–8], можно избежать, используя в качестве кладочного раствора полимерцементные растворы или пенополиуретановые клеевые составы. Но остается вопрос, как замена широко распространенного цементно-песчаного кладочного раствора на полимерцементный или клеевой состав повлияет на монолитность кладки.

В дополнение к уже известным исследованиям А.А. Вишневого, А.В. Грановского, Г.И. Гринфельда, В.Н. Деркача и др. [9–16] в период с 2018 по 2019 г. в Лаборатории кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ» был проведен ряд испытаний с определением прочности нормального сцепления кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения выполненной на различных цементных и полимерцементных растворах, а также пенополиуретановых клеевых составах. Результаты сравнительного анализа прочности нормального сцепления кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения, выполнен-

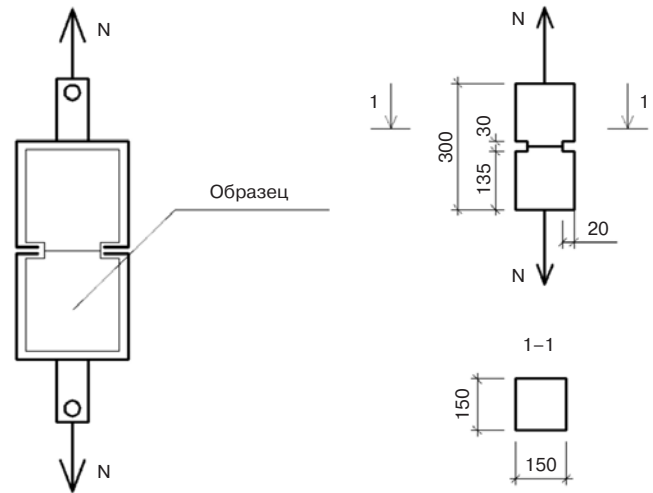


Рис. 1. Схема испытания опытных образцов на осевое растяжение [1]
Fig. 1. Axial tensile test design [1]

Рис. 2. Размеры опытных образцов для испытаний на осевое растяжение [1]
Fig. 2. Sizes of prototypes for axial tensile testing [1]

ной на различных цементных и полимерцементных растворах, опубликованы в статьях [1, 17, 18].

Нормальное сцепление в кладке определялось на опытных образцах в соответствии с требованиями ГОСТ 24992–2014 «Конструкции каменные. Методы определения прочности сцепления в каменной кладке» путем испытания их на осевое растяжение. Сущность метода заключается в определении характеристики удельной работы для разделения блока и раствора при действии осевого растягивающего усилия, направленного перпендикулярно плоскости их контакта (по неперевязанным швам). Для испытаний опытных образцов была применена соответствующая требованиям ГОСТ 28840–90 «Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования» электромеханическая универсальная испытательная машина WDW-300E с максимальной нагрузкой 300 кН и захватные приспособления. Схема испытания образцов на осевое растяжение представлена на рис. 1.

Опытный образец представляет собой два куба размерами 150×150×150 мм, выпиленные из ячеисто-бетонных блоков и скрепленные (склеенные) между собой в лаборатории с помощью цементного раствора либо пенополиуретанового клеевого состава (рис. 2). На каждом блоке были выпилены пазы размером 20×20 мм под захватное устройство. Перед нанесением связующих растворов все образцы были тщательно обеспылены. Склеенные опытные образцы в течение 28 сут выдерживались в нормальных тепловлажностных условиях под небольшим давлением (порядка 9–10 кг) для обеспечения лучшего сцепления связующего раствора с поверхностью ячеистого бетона.

В испытаниях были применены блоки различной прочности, соответствующей классам бетона В1,5, В2,5, В3,5. До испытаний на осевое растяжение

**Результаты испытаний опытных образцов на осевое растяжение
(нормальное сцепление)
Axial tensile test results of prototypes (normal adhesion)**

Кладочный раствор	Среднее значение временного сопротивления осевому растяжению $R_{t(ср)}^u$, кПа	Среднее значение расчетного сопротивления осевому растяжению $R_{t(ср)}$, кПа	Повышение прочности относительно серии № 1, %
Ячеисто-бетонный блок класса по прочности на сжатие В1,5			
Серия № 1	102,7	46,7	–
Серия № 2	104,3	47,4	1
Серия № 3	117,9	53,6	15
Серия № 4	114,3	52	11
Серия № 5	116	52,7	13
Серия № 6	112	50,9	9
Ячеисто-бетонный блок класса по прочности на сжатие В2,5			
Серия № 1	142,5	64,8	–
Серия № 2	146,4	66,5	3
Серия № 3	185,8	84,5	30
Серия № 4	172,3	78,3	21
Серия № 5	178,6	81,2	25
Серия № 6	156,5	71,1	10
Ячеисто-бетонный блок класса по прочности на сжатие В3,5			
Серия № 1	159,7	72,6	–
Серия № 2	164,3	74,7	3
Серия № 3	187,1	85	17
Серия № 4	199,5	90,7	25
Серия № 5	187,9	85,4	18
Серия № 6	174,5	79,3	9



Рис. 3. Образец из ячеистого бетона после испытания при сжатии
Fig. 3. Aerated concrete cubes samples after compression test

опытных образцов были проведены испытания на сжатие кубов из ячеистого бетона размером 150×150×150 мм с целью определения класса бетона по прочности на сжатие в соответствии с требованиями ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» (рис. 3), а также испытания кубов из цементных растворов размером 70,7×70,7×70,7 мм по методике ГОСТ 5802–86 «Растворы строительные. Методы испытаний» для определения их прочности (рис. 4). Эти испытания гарантировали применение в опытных образцах для испытаний на осевое растяжение кубов необходимого класса бетона (В1,5, В2,5, В3,5) и кладочного цементно-песчаного раствора с известным значением прочности при сжатии.

В качестве кладочного (связующего) раствора использованы следующие составы:

серия № 1 – цементно-песчаный раствор М200;
серия № 2 – цементно-песчаный раствор М300;
серия № 3 – пенополиуретановый клей «Тутан Professional»;

серия № 4 – пенополиуретановый клей «Техно-николь»;

серия № 5 – пенополиуретановый клей «Bonolit»;

серия № 6 – пенополиуретановый клей «KUDO».

Таким образом, в каждой серии было изготовлено по девять опытных образцов: три – на кубах из бетона

В1,5; три – на кубах из бетона В2,5; три – на кубах из бетона В3,5. В общей сложности в сравнительном анализе были использованы данные по результатам испытаний 54 образцов.

В эксперименте применялась схема жесткого захвата, в качестве которого допускается использовать опорные части испытательной машины, при условии, что эти части обеспечивают соосность передачи между ними (частями) растягивающего усилия. Для обеспечения соосности передачи усилия между захватами они были соединены с опорными устройствами испытательной машины через шарнир Гука. Концевой элемент устанавливался в опорном устройстве испытательной машины.

Перед каждой установкой нового образца в испытательную машину части бетона, оставшиеся от предыдущего испытания в захватах, удалялись. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принималось за разрушающую нагрузку, а предел прочности нормального сцепления кладки R_t^u (временное сопротивление осевому растяжению) определялся по формуле (1) ГОСТ 24992–2014:

$$R_t^u = \frac{F}{A},$$

где F – разрушающая нагрузка, Н; A – общая площадь отрыва, мм².



Рис. 4. Образец из кладочного раствора после испытания при сжатии
Fig. 4. Samples of cubes from masonry mortar after compression test



Рис. 5. Характер разрушения образцов, изготовленных на цементном растворе
Fig. 5. Character of destruction of samples made on cement mortar



Рис. 6. Характер разрушения образцов, изготовленных на пенополиуретановых клеях
Fig. 6. Character of destruction of samples made on polyurethane foam adhesives

Предел прочности нормального сцепления (при осевом растяжении) в кладке в каждой серии опытных образцов $R_{т(ср)}^u$ (среднее значение временного сопротивления осевому растяжению) определялся как среднее арифметическое значение всех испытанных образцов серии для одного вида бетона по прочности при сжатии, т. е. как среднее арифметическое результатов испытаний трех образцов.

Переход от среднего значения временного сопротивления осевому растяжению к среднему значению расчетного сопротивления осевому растяжению производился в соответствии с требованиями СП 15.13330.2012 [3] путем использования коэффициента $k=2.2$:

$$R_t = \frac{R_t^u}{k}$$

Выводы

Анализ результатов проведенных экспериментальных исследований определения прочности нормального сцепления (при осевом растяжении) в кладке из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения на различных цементных растворах и пенополиуретановых клеях (см. таблицу) позволяет сделать следующие выводы:

1. Образцы, изготовленные на цементных растворах марок М200 и М300, показали по результатам испытаний самые низкие значения сопротивления кладки при осевом растяжении. Характер их разрушения (все образцы разрушались по шву) показывает, что сцепление таких составов с материалом кладки недостаточно и не зависит от прочности кладочного раствора (рис. 5).

2. Использование раствора более высокой марки М300 приводит к увеличению прочности кладки осевому растяжению по неперевязанному сечению на

1–3%, что несущественно и находится в рамках погрешности измерений.

3. При использовании в кладке из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения классов по прочности при сжатии В1,5; В2,5 и В3,5 различных пенополиуретановых клеевых составов вместо цементных растворов марки М200 расчетное сопротивление осевому растяжению по неперевязанному сечению (нормальное сцепление) кладки повышается соответственно на 9–15% (В1,5), 10–30% (В2,5) и 9–25% (В3,5).

4. Прочность при осевом растяжении по неперевязанному сечению (нормальное сцепление) кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения класса В1,5, выполненной на цементных и клеевых составах, ниже нормируемого значения, представленного в табл. 11 СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции». Таким образом, использование в кладке из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения класса по прочности при сжатии В1,5 пенополиуретанового клея нецелесообразно.

5. Характер разрушения образцов, выполненных на пенополиуретановых клеях (разрушение происходило по телу бетона), указывает на монолитность кладки (рис. 6).

6. Характер разрушения образцов и анализ результатов испытаний позволяют сделать вывод, что сопротивление осевому растяжению по неперевязанному сечению (нормальное сцепление) кладки зависит от прочности осевому растяжению материала, из которого изготовлен блок, а не от прочности на сжатие используемого кладочного (связующего) раствора, как указано в табл. 11 СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции». Это фактор необходимо учитывать при расчетах кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения на пенополиуретановых составах.

Список литературы

1. Джамуев Б.К. Полимерцементные растворы в кладке из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения как один из методов повышения нормального сцепления // *Жилищное строительство*. 2019. № 11. С. 46–50.
2. Поляков С.В. Сцепление в кирпичной кладке. М.: Стройиздат, 1959. 84 с.
3. Измайлов Ю.В., Митин А.Р. Сцепление в кладке из легкобетонных блоков. Кишинев: ЦК КП Молдавии, 1971. 89 с.
4. Коноводченко В.И. и др. Эффективные способы повышения сцепления в кладке из силикатного кирпича // *Строительство и архитектура Узбекистана*. 1976. № 5. С. 11–14.
5. Деркач В.Н. Прочность нормального сцепления цементных растворов в каменной кладке // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. № 7. С. 6–13.
6. Горшков А.С., Ватин Н.И. Свойства стеновых конструкций из ячеисто-бетонных изделий автоклавного твердения на полиуретановом клее // *Инженерно-строительный журнал*. 2013. № 5. С. 5–18.
7. Горшков А.С., Мишин В.Е., Ватин Н.И. Повышение теплотехнической однородности стен из ячеисто-бетонных изделий за счет использования в кладке полиуретанового клея // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 57–64.
8. Глумов А. Кладка на полиуретановых составах: как устранить мостики холода // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2014. № 4. С. 30–31.
9. Грановский А.В., Джамуев Б.К. Испытания стеновых конструкций из ячеисто-бетонных блоков на сейсмические воздействия. *Современное производство автоклавного газобетона: Сборник докладов научно-практической конференции*. СПб., 2011. С. 104–108.
10. Грановский А.В., Джамуев Б.К., Вишневецкий А.А., Гринфельд Г.И. Экспериментальное определение нормального и касательного сцепления кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения на различных клеевых составах // *Строительные материалы*. 2015. № 8. С. 22–25.
11. Гринфельд Г.И., Харченко А.П. Сравнительные испытания фрагментов кладки из автоклавного газобетона с различным исполнением кладочного шва // *Жилищное строительство*. 2013. № 11. С. 30–34.
12. Деркач В.Н. Прочность и деформативность каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения на полиуретановых швах. Ч. 1. Прочность и деформативность при сжатии // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 29–32. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-748-5-29-32>
13. Деркач В.Н. Прочность и деформативность каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков

References

1. Dzhamuev B.K. Polymer cement mortars in masonry of cellular concrete blocks of autoclave hardening as one of the methods of increasing the normal adhesion. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 11, pp. 46–50. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-11-46-50>
2. Polyakov S.V. Stseplenie v kirpichnoi kladke [Clutch in masonry]. Moscow: Stroyizdat. 1959. 84 p.
3. Izmailov Yu.V., Mitin A.R. Stseplenie v kladke iz legkobetonnykh blokov [Clutch in masonry of light-weight concrete blocks.]. Kishinev: TsK KP Moldavii. 1971. 89 p.
4. Konovodchenko V.I. and other. Effective ways to increase adhesion in the masonry of silicate brick. *Stroitel'stvo i arkhitektura Uzbekistana*. 1976. No. 5, pp. 11–14. (In Russian).
5. Derkach V.N. Strength of normal adhesion of cement mortars in masonry. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No. 7, pp. 6–13.
6. Gorshkov A.S., Vatin N.I. Properties of wall constructions from cellular concrete products of autoclave hardening on polyurethane glue. *Magazine of Civil Engineering*. 2013. No. 5, pp. 5–19.
7. Gorshkov A. S., Mishin V. E., Vatin N. I. Increasing the thermal uniformity of walls made of cellular concrete products by using polyurethane glue in masonry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 5, pp. 57–64. (In Russian).
8. Glumov A. Laying on polyurethane structures: how to eliminate cold bridges. *Stroitel'nye materialy, oborudovaniye i tekhnologii XXI veka*. 2014. No. 4, pp. 30–31. (In Russian).
9. Granovsky A.V., Dzhamuev B.K. Tests of wall structures made of cellular concrete blocks for seismic effects. *Modern production of autoclaved aerated concrete: Collection of reports of a scientific and practical conference*. St. Petersburg. 2011, pp. 104–108. (In Russian).
10. Granovsky A.V., Dzhamuev B.K., Vishnevsky A.A., Grinfeld G.I. Experimental determination of normal and tangential adhesion of masonry from aerated concrete blocks of autoclave hardening on various adhesive compositions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 8, pp. 22–25. (In Russian).
11. Greenfeld G.I., Kharchenko A.P. Comparative tests of masonry fragments from autoclaved aerated concrete with various designs of masonry seam. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 11, pp. 30–34. (In Russian).
12. Derkach V.N. Strength and Deformability of Stone Masonry Made of Cellular Concrete Blocks of Autoclaved Hardening with Polyurethane Joints. Part 1. Strength and Deformability under Compression. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 29–32. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-748-5-29-32>.

- автоклавногo твердения на полиуретановых швах. Ч. 2. Прочность на растяжение при изгибе // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 30–33. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-750-7-30-33>
14. Деркач В.Н., Демчук И.Е. Прочность и деформативность каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавногo твердения на полиуретановых швах. Ч. 3. Прочность и деформативность при сдвиге // *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 32–35. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-751-8-32-35>
15. Lu S., Kasa M., Habian E. Innovation on masonry glued with on-site PU-adhesive. *8th International Masonry Conference 2010*. Dresden, 2010.
16. Graubohm M, Brameshuber W. Investigation on the gluing of masonry units with polyurethane adhesive. *8th International Masonry Conference 2010*. Dresden, 2010.
17. Лазэр И.И., Джамуев Б.К. Повышение монолитности кладки стен из ячеисто-бетонных блоков при использовании в швах полимерцементных растворов. *Сборник материалов семинара молодых ученых XXII Международной научной конференции «Строительство – формирование среды жизнедеятельности»*. Ташкент, 2019. С. 333–335.
18. Dzhamuev B.K. Comparative analysis of the strength of normal adhesion of a masonry from aerated concrete blocks of autoclave hardening, performed on various cement and polymer-cement mortars. *Journal of Physics Conference Series*. 1425:012040. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012040
13. Derkach V.N. Strength and deformability of stone masonry made of cellular concrete blocks of autoclave hardening with polyurethane joints. Part 2. Bending tensile strength. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2017. No. 7, pp. 30–33. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-750-7-30-33>.
14. Derkach V.N., Demchuk I.E. Strength and deformability of stone masonry made of cellular concrete blocks of autoclave hardening with polyurethane joints. Part 3. Strength and deformability at shear. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2017. No. 8, pp. 32–35. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-751-8-32-35>.
15. Lu S., Kasa M., Habian E. Innovation on masonry glued with on-site PU-adhesive. *8th International Masonry Conference 2010*. Dresden, 2010.
16. Graubohm M, Brameshuber W. Investigation on the gluing of masonry units with polyurethane adhesive. *8th International Masonry Conference 2010*. Dresden, 2010.
17. Lazar I.I., Dzhameuev B.K. The increase in the monolithicity of masonry walls made of cellular concrete blocks when using polymer-cement mortars in joints. *The collection of materials of the seminar for young scientists of the XXII International scientific conference «Construction – the formation of the living environment»*. Tashkent. 2019, pp. 333–335.
18. Dzhamuev B.K. Comparative analysis of the strength of normal adhesion of a masonry from aerated concrete blocks of autoclave hardening, performed on various cement and polymer-cement mortars. *Journal of Physics Conference Series*. 1425:012040. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012040

УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА



Славчева Г.С.

Системная диагностика качества строительных материалов: Учебное пособие

СПб.: Издательство «Лань», 2020. 240 с.

Представлена концепция диагностики качества строительных материалов как функциональных строительных композитов с заданными свойствами. Основные методы испытаний сгруппированы и охарактеризованы, исходя из функционального назначения строительных композитов. Данное пособие не является справочником с детальным описанием каждого метода для использования в качестве конкретного руководства при проведении испытаний, а представляет собой скорее путеводитель в мире строительных испытаний и диагностики качества, испытаний свойств строительных композитов с оценкой преимуществ, недостатков, границ применимости. Рассмотрены методы идентификации параметров состава и структуры строительных композитов. Рассмотрены вопросы организации испытаний, статистического анализа параметров технологического процесса и качества продукции как инструмента комплексной оценки качества строительных материалов и изделий. Представлены практические работы по основным разделам курса. Предназначено для бакалавров и магистрантов, обучающихся по направлению 08.04.01 «Строительство», аспирантов, обучающихся по направлению 08.06.01 «Техника и технология строительства».

По вопросу приобретения данной книги можно обратиться к автору

gslavcheva@yandex.ru

Новая линия циркуляции паллет для постоянного клиента

Компания *HTB Hoch- und Tiefbaustoffe GmbH & Co. KG* расширила свой завод в г. Кённерне (Саксония-Анхальт, Германия). В конце 2017 года предназначенное под снос здание сровняли с землей, а прилегающая территория была подготовлена для строительства новой линии циркуляции паллет для производства плит перекрытий и стеновых панелей фирмы *Ebawe Anlagentechnik* (одно из предприятий *Progress Group*). Строительство нового заводского цеха быстро обрело форму, и уже в мае 2019 г. линия была введена в эксплуатацию.

The new Line of Circulation of the Pallets for a Regular Customer

HTB Hoch- und Tiefbaustoffe GmbH & Co. KG has expanded its factory in *Kennern, Saxony-Anhalt (Germany)*. At the end of 2017, the building intended for demolition was razed to the ground, and the surrounding area was prepared for the construction of a new pallet circulation line for the production of floor slabs and wall panels of *Ebawe Anlagentechnik* (one of the companies of the *Progress Group*). Construction of the new factory shop quickly took shape, and the line was put into operation in May 2019.

История компании восходит к 1840 г., когда у подножия холма Заалеберг был основан завод по производству парового кирпича и цемента *U. Roth*. В 1957 году компания объединилась с *Otto Hoffmann KG* – заводом по производству сборных железобетонных изделий. В 1992 году компания была приватизирована, и сегодня она управляется под названием *HTB Hoch- und Tiefbaustoffe GmbH & Co. KG* директором Майклом Сейффартом и прокурисом Роландом Трошке. В настоящее время на заводе по производству сборного железобетона работают около 100 человек в производственных, транспортных, административных и технических отделах.

Производитель сборных ЖБИ из Саксонии-Анхальт поставляет своим клиентам стеновые панели и плиты перекрытия, специальные конструктивные элементы, железобетонные марши, подесты, колонны, ригели, элементы для строительства заправок, автомоечных мест, станций автоматической мойки, а также автомоечные камеры. Элементы проектируются и вычерчиваются с помощью современных программ САПР, что

гарантирует очень высокий уровень надежности планирования и качества элементов. Компания производит необходимые заполнители на близлежащем гравийном карьере. Продукция проходит постоянный контроль качества и одобрена для производства бетона, а также для гражданского, дорожного и гидротехнического строительства.

HTB GmbH & Co. KG уже имеет старую линию бывшей компании *Ebawe Maschinenbau GmbH*. Смонтированная в 1998 г. линия по производству филигранных/сборных перекрытий до недавнего времени еще работала, и лишь недавно было принято решение о ее продаже. В 2017 г. была произведена замена бетонораздатчика в старой линии на новую модель компании *Ebawe*.

Производитель сборных ЖБИ *HTB Hoch- und Tiefbaustoffe GmbH & Co. KG* ранее закупал двойные стеновые панели у внешних поставщиков. На новой производственной линии он теперь может производить как плиты перекрытия, так и двойные стеновые панели. Новый цех состоит из двух пролетов: в одном



В новой линии циркуляции паллет на заводе *HTB Hoch- und Tiefbaustoffe GmbH & Co. KG* в г. Кённерн поверхность паллет после распалубки оптимально очищается устройством чистки паллет

In the new pallet circulation line at the factory of *HTB Hoch- und Tiefbaustoffe GmbH & Co. KG* in the city of *Kennern*, the pallet surface is optimally cleaned by the pallet cleaning device after demoulding



Комбинированный робот укладки и снятия опалубки компании *progress Maschinen & Automation* работает с системой опалубки *Infinity Line®*, которая значительно снижает затраты по работе с опалубкой и позволяет изготавливать внешние кромки очень высокого качества

Progress Maschinen & Automation's combined formwork installation and removal robot works with the *Infinity Line®* formwork system, which significantly reduces the cost of working with the formwork and makes it possible to produce very high-quality external edges



Производство арматуры на новом заводе по производству двойных стеновых панелей и филигранных/сборных перекрытий в г. Кеннерн также максимально автоматизировано. Робот-укладчик Wire Center устанавливает на паллеты с опалубкой продольные и поперечные арматурные прутки, а также треугольные арматурные каркасы/фермы с помощью двух манипуляторов

находится новая линия циркуляции паллет, а во второй будет перенесено производство конструктивных бетонных элементов.

На новой производственной линии основное внимание было уделено автоматизации: в час можно производить четыре паллеты. На 37 паллетах размером 12,5×3,55 м можно изготавливать двойные стеновые панели и филигранные/сборные перекрытия по длине и высоте в пределах размера паллеты. Поставленная опалубочная система Infinity Line® предлагает различные преимущества при работе с опалубкой. Прямые края элемента могут быть сформированы без использования полистирола, если длина измеряется сантиметровым растром. Путем конфигурации различных длин опалубки заказчик может производить множество элементов различного размера без укладки элементов заполнения вручную. Не смотря на повышенное число опалубочных профилей различной длины, преимущества системы очевидны: значительное сокращение затрат на ручную работу с опалубкой и существенное улучшение качества конечной продукции. Кроме того, исключение полистирольных наполнителей из фасковых выемок означает возможность изготовления высококачественных внешних кромок.



Для уплотнения свежесобетонированных элементов на заводе НТВ используются установка горизонтального уплотнения и комбинированная установка уплотнения

To seal newly concreted elements, the НТВ plant uses a horizontal sealing unit and a combined sealing unit



Новый бетонораздатчик Ebaawe выполняет процесс бетонирования филигранных/сборных перекрытий и двойных стеновых элементов в полностью автоматическом режиме

The new Ebaawe concrete spreader performs the process of concreting filigree / precast floors and double wall elements in a fully automatic mode

Опалубка, приобретенная у компании Rates, устанавливается с помощью комбинированного робота укладки и снятия опалубки фирмы Progress Maschinen & Automation, которая также входит в группу компаний Progress Group. Складской робот управляет складированием и извлечением опалубочных профилей.

Арматура производится непосредственно и точно в срок в новом цехе: правильно-отрезная установка MSR используется для выпрямления арматурной стали с бухты и ее резки до необходимой длины. Проставки, хранящиеся в двух емкостях, автоматически подаются к пруткам. С помощью этой дополнительной автоматизации заказчик достигает высокой экономии в отношении проставок, которые в противном случае пришлось бы устанавливать вручную в больших количествах. Треугольные арматурные каркасы/фермы прикупаются, хранятся на активном складе и при производстве режутся с помощью установки для резки треугольных арматурных каркасов/ферм GTA в соответствии с изготавливаемыми элементами. С помощью двух манипуляторов робот-укладчик Wire Center устанавливает на паллетах с опалубкой полностью автоматически не только про-



Для производства двойных стеновых панелей затвердевшую первую скорлупу переворачивают и укладывают поверх свежесобетонированной второй скорлупы. Этот процесс осуществляется с помощью автоматического переворачивающего устройства

For the production of double wall panels, the hardened first shell is turned over and placed on top of the freshly concreted second shell. This process is carried out using an automatic turnover unit



Штабельный слеллаж вмещает 36 паллет и обслуживается подъемно-передаточной платформой

The rack stacker holds 36 pallets and is serviced by a hoisting-mobile platform



Производительность нового завода в г. Кённерн могла быть повышена на 100%. При том же количестве сотрудников производится теперь вдвое больше стеновых элементов и перекрытий

The productivity of the new Kennern factory could be increased by 100%. With the same number of employees, twice as many wall elements and floor slabs are now produced

дольные и поперечные арматурные прутки, но и треугольные арматурные каркасы/ферры.

Стеновые панели и плиты перекрытия бетонируются с помощью автоматического бетонораздатчика компании Ebaue Anlagentechnik. Для уплотнения свежего бетона НТВ Hoch- und Tiefbaustoffe GmbH & Co. KG имеет две уплотняющие установки: установка горизонтального уплотнения и комбинированная установка уплотнения с перемещением в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Штабельный стеллаж вмещает 36 паллет и обслуживается подъемно-передаточной платформой. Система отопления, встроенная в штабельный стеллаж, была поставлена фирмой CureTec Energietechnik. Среди остальных компонентов линии циркуляции паллет стоит отметить переворачивающее устройство для производства двойных стеновых панелей и кантователь для подъема стеновых элементов. Также предусмотрены установки для чистки паллет и опалубочных профилей и стационарное устройство для нанесения смазки, которое распыливает разделительное средство только в тех местах паллеты, которые предназначены для бетонирования.

В рамках строительства нового цеха также были приобретены БСУ компании Nisbau GmbH и линия адресной подачи бетона компании Kübat Förderanlagen.

Линия дополнена системой управления ebos® фирмы Progress Software Development (еще одно предприятие Progress Group). В дополнение к основному модулю были установлены различные блоки, например для печати производственных ведомостей и этикеток, а также необходимые подсистемы для

соответствующих установок. Graphical Performance Analyzer – запатентованный инструмент для анализа производственных процессов – позволяет воспроизводить весь процесс наподобие фильма, что упрощает выявление и устранение задержек и дефицитов.

Компания НТВ Hoch- und Tiefbaustoffe GmbH & Co. KG не только поддерживает давние деловые отношения с компаниями Ebaue и Progress, но и поставила перед собой цель укрепления региональной экономики. Таким образом, значительная часть инвестиций может быть направлена местным компаниям, которые продемонстрировали высокий уровень эффективности.

Компания НТВ с уверенностью смотрит в будущее. С помощью новой линии также можно изготавливать однослойные стеновые элементы толщиной 16 см. Производство фасадных элементов безупречного качества обеспечено – благодаря новому БСУ можно производить бетон из белого цемента и цветных заполнителей. В БСУ также предусмотрена возможность дозирования пластиковой и стальной фибры для повышения стабильности смеси и уменьшения трещинообразований в элементах. Свежебетонированные элементы проходят через камеру сушки, встроенную в линию циркуляции паллет, что обеспечивает стабильно высокий уровень качества элементов.

Управляющий директор Михаэль Зайффарт очень доволен новой линией циркуляции паллет: «Мы смогли увеличить нашу производительность на 100%, т. е. при том же количестве сотрудников производится теперь вдвое больше стеновых элементов и перекрытий».



EBAWE Anlagentechnik GmbH
Dübener Landstr. 58
04838 Eilenburg, Germany
T +49 3423 665 0
info@ebawe.de
www.ebawe.de



progress Maschinen & Automation AG
Julius-Durst-Str. 100
39042 Brixen, Italy
T +39 0472 979 100
info@progress-m.com
www.progress-m.com



Progress Software Development GmbH
Julius-Durst-Str. 100
39042 Brixen, Italy
T +39 0472 979 900
info@progress-psd.com
www.progress-psd.com

УДК 666.972 : 620.194.2

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-13-23>

В.Т. ЕРОФЕЕВ, д-р техн. наук (yerofeevvt@mail.ru),
 АЛЬ ДУЛАЙМИ САЛМАН ДАВУД САЛМАН, канд. техн. наук (salmoon-1985@mail.ru),
 А.П. ФЕДОРЦОВ, канд. техн. наук (fedorcovap@mail.ru),
 А.Д. БОГАТОВ, канд. техн. наук (bogatovad@list.ru)
 В.А. ФЕДОРЦОВ, инженер

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева
 (430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68)

Биологическая коррозия бетонов

Представлены результаты исследований по установлению причин, механизмов и особенностей биологической коррозии цементных бетонов. Установлено, что интенсивный рост микроорганизмов на поверхности и в порах бетона приводит к образованию коррозионно-активных биогенных веществ, и как следствие, уменьшению щелочности цементного камня с последующим его разложением. Рассмотрено влияние отдельных видов биогенных веществ на составляющие цементных бетонов (биогенные органические кислоты, биогенный углекислый газ, биогенная азотная кислота, биогенные сульфид водорода и серная кислота). Приводятся способы повышения биологического сопротивления бетонов, такие как: введение добавок, которые могут образовывать буферные системы, способные ослаблять воздействие на цементные бетоны кислот, продуцируемых микроорганизмами; обработка поверхности композитов веществами, способными отталкивать микроорганизмы и среды, необходимые для их жизнедеятельности; использование активных сред, способных формировать на поверхности материала плотные и инертные слои. Несмотря на имеющиеся способы повышения биологического сопротивления цементных бетонов, нельзя полностью гарантировать их сохранность от биокоррозии хотя бы потому, что микроорганизмы могут приспосабливаться к окружающей среде и приостанавливать действие защиты. В этой связи в работе предпринимается попытка оценки и прогнозирования биологического сопротивления материала.

Ключевые слова: биологическая коррозия, бетоны, биологическое сопротивление, биодеструкция.

Для цитирования: Ерофеев В.Т., Аль Дулайми Салман Давуд Салман, Федорцов А.П., Богатов А.Д., Федорцов В.А. Биологическая коррозия бетонов // *Строительные материалы*. 2020. № 11. С. 13–23. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-13-23>

V.T. EROFEEV, Doctor of Sciences (Engineering) (yerofeevvt@mail.ru),
 AI-DULAIMI SALMAN DAVUD SALMAN, Candidate of Sciences (Engineering) (salmoon-1985@mail.ru),
 A.P. FEDORTSOV, Candidate of Sciences (Engineering) (fedorcovap@mail.ru),
 A.D. BOGATOV, Candidate of Sciences (Engineering) (bogatovad@list.ru),
 V.A. FEDORTSOV, Engineer
 National Research Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevik Street, Saransk, 430005, Russian Federation)

Biological Corrosion of Concrete

The article considers the results of studies to determine the causes, mechanisms and features of biological corrosion of cement concrete. It has been found that the intensive growth of microorganisms on the surface and in the pores of concrete leads to the formation of corrosive biogenic substances and, as a result, the reduction of alkalinity of cement stone with its subsequent decomposition. The influence of certain types of biogenic substances on the components of cement concrete (biogenic organic acids, biogenic carbon dioxide, biogenic nitric acid, biogenic hydrogen sulphide and sulfuric acid) is considered. Methods for increasing the biological resistance of concrete are described, such as: adding additives that can form buffer systems capable of reducing the impact on cement concretes of acids produced by microorganisms; treating the surface of composites with substances capable of repelling microorganisms and environments necessary for their vital activity; use of active media capable of forming dense and inert layers on the surface of the material. Despite the available methods of increasing the biological resistance of cement concrete, it is not possible to fully guarantee their safety from biocorrosion, at least because microorganisms can adapt to the environment and suspend the effect of protection. In this regard, the work attempts to assess and predict the biological resistance of the material.

Keywords: biological corrosion, concrete, biological resistance, biodegradation.

For citation: Erofeev V.T., Al-Dulaimi Salman Davud Salman, Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A. Biological corrosion of concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 11, pp. 13–23. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-13-23>

Бетон относится к одним из эффективных строительных материалов, который веками применяется во всем мире. Как правило, в проектируемых средах эксплуатации бетонные изделия и железобетонные конструкции считаются долговечными. Тем не менее они могут разрушаться по разным причинам, включая отход от эксплуатационных ограничений материала, некачественное конструктивное исполнение и нарушение технологии производства строительных работ, а также возникшие суровые условия окружающей среды [1–10].

Многие архитектурные изделия и строительные конструкции во время эксплуатации подвергаются биоповреждениям при контакте с почвой, водой и стоками, а также продуктами питания, сельскохозяйственной продукцией и отходами. Биоповреждения относятся к нежелательным изменениям в материале, которые вызваны живыми организмами. Последние образуют специфические сообщества, которые разнообразными способами взаимодействуют с минеральными материалами и окружающей их средой. Это сложное явление возникает в сочетании

со многими деструктивными процессами физического и химического характера. По этой причине трудно разграничить степень ущерба, причиненного биотическими и абиотическими факторами [11–17]. В этой связи возникает необходимость анализа основных мест, причин, механизмов и особенностей биокоррозии цементных материалов с целью разработки способов повышения, оценки и прогнозирования их сопротивления биологически активным средам. Предлагаемая работа как раз и направлена на решение этих задач.

Коррозия бетона под влиянием биологических факторов чаще всего обнаруживается на фундаментах и стенах зданий, а также на таких строительных объектах, как плотины, портовые и прибрежные сооружения, мосты, гидроканалы, трубопроводы, градирни, силосохранилища и многие другие [18–23]. Этот тип разрушения бетона часто имеет место на объектах пищевой промышленности, в складских сооружениях, на скотобойнях, где обычно присутствуют в повышенных концентрациях различные микроорганизмы, включая бактерии, микроскопические грибы и водоросли [11, 23–25]. Они заселяются на поверхности материала и в его порах, капиллярах и микротрещинах и наносят конкретный ущерб, приводящий к эстетическим, функциональным или структурным проблемам.

Биологическое разрушение различных минеральных строительных материалов, включая бетон, происходит в основном из-за увеличения концентрации карбонатов и неорганических соединений серы, а также других химически агрессивных реагентов абиотической или биотической природы. Их взаимодействие с компонентами минеральных материалов играет важную роль в появлении и развитии коррозии.

Следует учитывать, что цементный бетон является гетерогенным материалом, который, как правило, состоит из гидратированного портландцемента, заполнителей (крупных и мелких), воды и добавок (по усмотрению). Две основные фазы бетона, т. е. заполнители (59–75% объема бетона) и цементный камень (25–40% объема бетона), проявляют совершенно разные физико-химические свойства. Тем не менее многие физические, химические и биологические факторы могут влиять на разрушение как цементного камня, так и заполнителей. Физические факторы могут быть внутреннего или внешнего происхождения. Подобное разрушение бетона происходит в основном из-за использования ненадлежащего состава бетонной смеси, отвердевания и эксплуатации бетона в несоответствующих требованиям условиях. Чаще всего на разрушение бетона среди многих физических факторов влияют мороз и высокая температура. Испарение воды из цементного теста приводит к образованию пор, куда проникает вода и такие агрессивные реагенты, как Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} и CO_3^{2-} . Кроме того, некоторые микроорганизмы, заселившись на поверхности бетона и в его порах, выделяют внеклеточные полимерные вещества,

Таблица 1
Table 1

Химические вещества, способствующие разрушению бетона
Chemicals contributing to concrete destruction

Ускоренное разрушение бетона	Замедленное разрушение бетона	
Хлорид алюминия	Сульфат алюминия*	Горчичное масло*
Бисульфит кальция	Бисульфат аммония	Хлорная кислота, 10%
Соляная кислота (любой концентрации)*	Нитрат аммония	Бихромат калия
Плавиковая кислота (любой концентрации)	Сульфат аммония*	Гидроксид калия (>25%)
Азотная кислота (любой концентрации)	Сульфид аммония	Рапсовое масло*
Серная кислота, 10–80%*	Сульфит аммония	Отходы мясопереработки ¹
Сернистая кислота	Аммонизированный суперфосфат	Бисульфат натрия
	Тиосульфат аммония	Бисульфит натрия
	Касторовое масло	Гидроксид натрия (>20%)
	Масло бобов какао*	Сульфитный раствор
	Какао-масло*	Серная кислота
	Кокосовое масло*	Дубильный раствор (если кислый)
	Хлопковое масло*	Растворы для рафинирования цинка ²
	Рыбный бульон ³	

Примечания:
 * Иногда используется в пищевой промышленности в качестве добавки к продуктам питания или напиткам.
¹ Может содержать различные смеси крови, жиров и масел, желчи и других пищеварительных соков, частично переваренную растительную массу, мочу и навоз с различными количествами воды.
² Обычно содержат сульфат цинка в растворе серной кислоты. Концентрация серной кислоты может быть низкой (около 6% в процессе «с низкой плотностью тока») или более высокой (примерно 22–28% в процессе «с высокой плотностью тока».)
³ Содержит угольную кислоту, рыбий жир, сероводород, метиламин, соленую воду, другие потенциально активные вещества.

которые изменяют пористость и водопроницаемость бетона. Там, где пористый бетон находится в контакте с водой или влажным грунтом, водная фаза распространяется на поверхность материала и различные ионы могут легко проникать в матрицу бетона. Многие химические вещества, включая кислоты, щелочи, газы, масла и жиры, сахара и многие другие, являются сильными коррозионно-активными веществами, которые вызывают химическую коррозию бетона (табл. 1).

Кислоты (органические и минеральные), соли (в основном сульфаты), сероводород, аммиак и двуокись углерода могут образовываться из заполнителей, воздуха, газообразных продуктов стораения, воды, противообледенительных средств и промышленных загрязнений. Эти вещества могут разрушать цементный камень, заполнитель или и то и другое.

Таблица 2
Table 2

Биогенные вещества и химические реакции, играющие важную роль в разрушении бетона при микробиологическом воздействии (по данным [14])
Biogenic substances and chemical reactions that play an important role in the destruction of concrete under microbiological effects (according to data [14])

Название биогенного вещества	Уравнение химической реакции с активными составляющими цементного камня
Биогенные органические кислоты	$\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})\text{COOH} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ молочная кислота $\text{Ca}[\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})\text{COO}]_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ лактат кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow$ уксусная кислота $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ ацетат кальция
Биогенный углекислый газ	$\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
Биогенная азотная кислота	$2\text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} 2\text{NO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+$ $2\text{NO}_2^- + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{Nitrobacter}} 2\text{NO}_3^-$ $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{HNO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
Биогенные сероводород и серная кислота	$\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ + 4\text{H}_2\text{SRB} \rightarrow \text{H}_2\text{S} \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$ SRB – бактерии, восстанавливающие сульфаты $\text{H}_2\text{S} + 2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{SOB}} \text{H}_2\text{SO}_4$ SOB – бактерии, окисляющие серу $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ гипс $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 3(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ гипс $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ этtringит

Замечено, что заполнители из природной гальки (гравия, ископаемых углей, песка) и заполнители из дробленых магматических пород (гранитов, базальтов) в целом не подвержены коррозии при химическом воздействии. Также хорошо известна стойкость к химической коррозии некоторых искусственных заполнителей (беспримесные топливные шлаки, керамзит). Дробленые природные известняковые породы и заполнители из доменного шлака в кислых средах подвержены коррозии. Такие среды также вызывают коррозию цементного камня. При этом любое изменение состава и структуры цементного бетона в сторону уменьшения его щелочности и повышению пористости будет способствовать в перспективе созданию благоприятных условий для жизнедеятельности микроорганизмов.

В результате гидратации цемента образуется гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, который взаимодействует с диоксидом углерода (CO_2) по уравнению:



Образующийся карбонат кальция CaCO_3 умеренно растворим, и его формирование обуславливает уплотнение цементного камня и увеличение прочности бетона при сжатии. Этот процесс, называемый карбонизацией бетона, считается благоприятным для свойств материала.

Вместе с тем образование карбонатов приводит к увеличению усадки бетона в процессе его отвердевания, тем самым способствуя растрескиванию материала. Кроме того, карбонизация бетона приводит к уменьшению его щелочности, а впоследствии к коррозии стальной арматуры и является одним из факторов поселения микроорганизмов. Гидроксид и карбонат кальция вступают во взаимодействие с различными химическими веществами, особенно с кислотами (как органическими, так и минеральными, в том числе и продуцируемыми микроорганизмами) и некоторыми солями. Присутствующие в бетоне алюминаты легко взаимодействуют с сульфатами. Продуктами этих реакций являются сильно гидратированные увеличенные в объеме соли, которые распространяются внутри бетона, тем самым ускоряя его растрескивание изнутри и доступ биологически активной среды.

В результате метаболической активности микроорганизмов в окружающую среду выделяются многие кислоты, а также сероводород и другие коррозионно-активные вещества (табл. 2).

Таким образом, интенсивный рост микроорганизмов на поверхности и в порах бетона приводит к образованию коррозионно-активных биогенных веществ [14–17] и, как следствие, уменьшению щелочности цементного камня с последующим его разложением. Микроорганизмы могут присутствовать на поверхности, в расколах и трещинах или внутри материала (во внутрипоровом пространстве). Их взаимодействие с материалом и окружающей его внешней средой может привести к биоразрушению. Влияние метаболизма микробов прежде всего имеет химическую природу, а в дальнейшем они могут оказывать воздействие на физические процессы. В процессы биоразрушения могут быть вовлечены все виды микроорганизмов (бактерии, водоросли, лишайники, дрожжи и грибы), где они могут действовать разрозненно или совокупно в комплексных взаимодействиях. Микроорганизмами, которые влияют на биоповреждение бетона, в основном являются бактерии и микроскопические грибы [18–23, 25]. Чрезвычайно сильными веществами, вызывающими коррозию по отношению к бетону, выступают некоторые биогенные органические кислоты (уксусная, молочная, масляная и т. п.) и двуокись углерода, которые вырабатываются многими различными микроорганизмами. Очень коррозионно-активными средами являются также биогенные минеральные кислоты, особенно азотная кислота, которую вырабатывают нитрифицирующие бактерии, и серная кислота, продуцируемая бактериями, окисляющими серу (SOB). Они окисляют также биогенный сульфид водорода (H_2S) – газ, который выделяется в окружающую среду бактериями, восстанавливающими сульфаты (SRB). Все эти химические вещества биологического происхождения легко вступают во взаимодействие

с компонентами бетона (табл. 2) и вызывают его разрушение [26].

Разрушение бетонной матрицы под воздействием биогенных коррозионно-активных веществ происходит более интенсивно по сравнению с однократным нанесением агрессивных веществ на поверхность бетона. Кроме того, трудно предсказать скорость разрушающего действия, поскольку различные микроорганизмы проявляют различные процессы метаболизма. Непрерывное производство микробных метаболитов в месте агрессивного воздействия значительно усиливает последнее. Таким образом, микроорганизмы действуют как первичные точечные источники непрерывного притока вызывающих коррозию веществ.

Рассмотрим влияние отдельных видов биогенных веществ на составляющие цементных бетонов.

Биогенные органические кислоты. Многие биогенные органические кислоты, которые разрушающе действуют на бетон, образуются из кислотосодержащих или кислотообразующих веществ, таких как силос, фруктовые соки, кислое молоко и отходы животноводства. Разрушение бетона под влиянием биогенных органических кислот происходит вследствие их взаимодействия с основными компонентами цементного теста, т. е. гидроксидом и карбонатом кальция. Первичный эффект воздействия кислоты любого типа на бетон заключается в растворении цементного камня. Ферментирующие микроорганизмы выделяют в окружающую среду много органических кислот, в том числе молочную, уксусную и масляную. Коррозионная активность этих кислот зависит от их типа и силы. Образованные соли: лактат, ацетат, бутират и др. растворимы в воде, поэтому удерживают влагу на поверхности бетона [15, 22]. Биологическое разрушение бетона под влиянием биогенных органических кислот в основном зависит от вида цемента и заполнителей [13, 16]. Кислотная коррозия поверхности бетона с известняками и доломитами в качестве заполнителей (в состав которых входят кальций и карбонаты кальция и магния соответственно) вызывает растворение заполнителей со скоростью, аналогичной скорости растворения цементного камня, что приводит к равномерному разрушению поверхности. Разрушение бетона с кремнистым гравием, гранитом или базальтом в качестве заполнителей, как правило, проявляется в выпячивании зерен заполнителя над бетонной матрицей. Поскольку первичные эффекты биоповреждения бетона появляются в результате воздействия кислоты, как правило, наблюдается высокая влажность и кислотность бетона (что выражается в снижении pH до значений ниже 5), а также одновременное снижение прочности материала при сжатии и изгибе [21, 27, 28].

Биогенный углекислый газ. Коррозионная активность некоторых вод и влажных грунтов может быть результатом наличия в них агрессивной двуокиси углерода CO_2 , которая может появляться (среди про-

чих причин) вследствие биохимических процессов жизнедеятельности многих микроорганизмов, присутствующих в этих средах. Чем ниже жесткость воды, тем выше ее коррозионная активность. Увеличение концентрации CO_2 в воде, проникающей в глубь грунта, обуславливает ее слабокислую реакцию вследствие образования угольной кислоты. Эта кислота реагирует с гидроксидом кальция с образованием водорастворимого бикарбоната кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, который легко вымывается из бетона. В уплотненных бетонах этот эффект незначителен даже при повышенных концентрациях CO_2 из-за более медленного поглощения воды по сравнению с обычным бетоном [23].

Биогенная азотная кислота. Присутствующий в водных средах биогенный аммиак способствует коррозии бетона, возникающей в результате воздействия биогенной азотной кислоты. Аммонифицирующие бактерии (уробактерии) разлагают мочевины до образования аммиака. Бактерии, принадлежащие к видам *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosospira* и *Nitrosolobus*, окисляют аммиак до азотистой кислоты, а затем бактерии вида *Nitrobacter* и *Nitrococcus* окисляют его до азотной кислоты. Эта кислота взаимодействует с соединениями кальция в составе затвердевшего цементного теста с образованием водорастворимого нитрата кальция, который легко вымывается из бетонной конструкции [29]. Доказано, что биогенная азотная кислота, вырабатываемая нитрифицирующими бактериями, вызывает сильную коррозию минеральных строительных материалов. Большие количества клеток нитрифицирующих бактерий обнаружены как на исторических зданиях из песчаника, так и на современных бетонных зданиях [19, 20].

Биогенные сульфид водорода и серная кислота. Биогенный сероводород (H_2S) представляет собой конечный продукт метаболизма восстанавливающих сульфаты бактерий (SRB), которые живут в анаэробных зонах почвы, загрязненных и сточных водах. Наличие H_2S и серной кислоты, как правило, является причиной коррозии бетона канализационных труб, где имеют место плохая вентиляция и небольшой поток сточных вод [23, 30]. Такие условия являются благоприятными для развития SRB в слизи, особенно в придонном слое. Метаболическая активность SRB приводит к продуцированию H_2S , который затем окисляется с помощью SOB (бактерий, окисляющих серу) до серной кислоты (рис. 1).

Биоразрушение бетона в основном происходит из-за метаболической активности окисляющих серу бактерий вида *Acidithiobacillus* и *Thiobacillus*, особенно бактерий вида *A. thiooxidans* (ранее именуемых *T. thiooxidans*). Эти бактерии были основной причиной разрушения канализационных каналов в Гамбурге [32]. Потери в массе бетонных образцов, обработанных жидкой солевой питательной средой, засеянной бактериями вида *A. thiooxidans*, были даже в 30 раз выше по сравнению с образцами, кото-

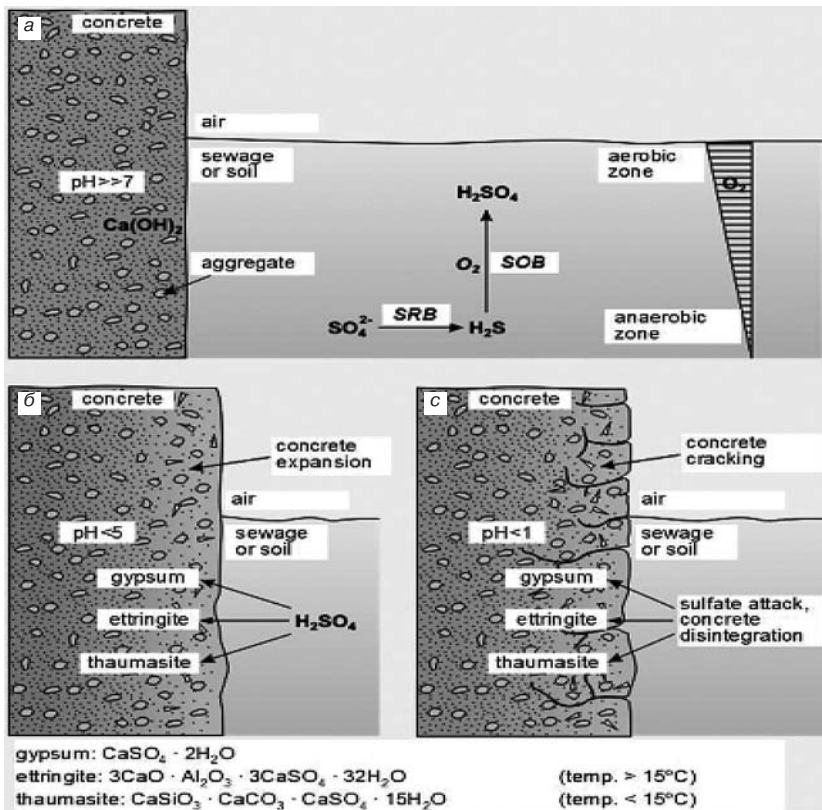


Рис. 1. Биоповреждение бетона под действием бактерий, восстанавливающих сульфаты (SRB), и бактерий, окисляющих серу (SOB) (изображение взято из [31], с изменением): а – concrete – бетон; air – воздух; sewage or soil – сточные воды или грунт; aggregate – заполнитель; aerobic zone – аэробная зона; anaerobic zone – анаэробная зона; б – concrete – бетон; concrete expansion – набухание бетона; air – воздух; sewage or soil – сточные воды или грунт; gypsum – гипс; ettringite – этtringит; thaumasite – томазит; в – concrete – бетон; concrete cracking – растрескивание бетона; air – воздух; sewage or soil – сточные воды или грунт; gypsum – гипс; ettringite – этtringит; thaumasite – томазит; sulfate attack, concrete disintegration (temp. < 15°C) – расщепление бетона (temp. < 15°C)

Fig. 1. Biodeterioration of concrete under the influence of sulfate-reducing bacteria (SRB) and sulfur-oxidizing bacteria (SOB) (image taken from [31], modified): а – concrete; air; sewage or soil; aggregate; aerobic zone; anaerobic zone; б – concrete; concrete expansion; air; sewage or soil; gypsum; ettringite; thaumasite; в – concrete; concrete cracking; air; sewage or soil; gypsum; ettringite; thaumasite; sulfate attack; concrete disintegration (temp. < 15°C)

рые одновременно обрабатывались стерильной средой. Кроме того, предел прочности при изгибе бетонных образцов также снижался более чем в три раза. Скорости коррозии бетона могут составлять 1,27–1,9 см/г. в зависимости от качества бетона.

История исследования кислотной и сульфатной коррозии бетона в результате воздействия биогенной серной кислоты берет начало в 1940-е гг. [26]. В первых сообщениях с упоминанием такого типа повреждения бетона описаны последствия микробиологической коррозии бетонного трубопровода самотечной канализации в странах с жарким климатом (Австралия, ЮАР). Тем не менее эта проблема появилась и в Скандинавских странах, несмотря на преобладающий там холодный климат. Warscheid и др. [33] установили, что тропический климат благоприятствует деструктивной активности вызывающих коррозию микроорганизмов, в то время как загрязнение воздуха способствует биоразрушению минеральных строительных материалов в зонах с умеренным климатом. В Германии в 1970-х и 1980-х гг. подтвердилось наличие биоповреждений многих бетонных

конструкций [32]. Существенное увеличение концентрации SOB (бактерий, окисляющих серу), главным образом вида *A. thiooxidans*, обычно является причиной сильной коррозии бетонных канализационных труб за счет значительного подкисления бетона, в котором pH внутрипорового раствора снижался до значения 1–2. При умеренной коррозии бетона значение pH равно 3–5. В не подвергшемся коррозии бетоне количество бактерий, окисляющих серу (SOB), как правило, ничтожно мало и pH > 7.

Взаимозависимость между изменениями pH внутрипорового раствора и количеством бактерий вида *A. thiooxidans*, присутствующих в бетоне, указывает на биологическую природу этого подкисляющего эффекта. Тем не менее изменение значений pH не всегда отражает степень влияния бактерий на коррозию бетона из-за буферных свойств некоторых компонентов. В настоящее время общепризнано, что концентрация бактерий вида *A. thiooxidans* в поверхностном слое бетона может быть лучшим показателем интенсивности его биоповреждения. Ważny и Czajnik в 1963 г. сделали интересное открытие при осмотре бетонной экспериментальной штольни варшавского метро (по данным [28]). Неожиданно в корродированной бетонной матрице были обнаружены микроскопические

грибы вида *Coniophora puteana* и *Serpula lacrymans*, хотя эти микроорганизмы обычно ответственны за повреждение древесины. Дальнейшие лабораторные исследования (в течение шести месяцев) влияния этих грибов на образцы бетона, изготовленные из портландцемента марки 450, показали, что их влажность увеличилась до 18–25%, значение pH уменьшилось с 12 до 5–7 и на 5–20% снизилась прочность при изгибе. Прочность при изгибе одного образца, зараженного грибами вида *Serpula lacrymans*, уменьшилась даже на 80%. Эти данные подтверждают тезис, что микроскопические грибы могут сильно влиять на физические, химические и механические свойства бетона из-за их контакта с зараженной древесиной [28]. Эти наблюдения согласуются с данными, представленными в исследовании Раажапен и др. [27]. В ходе других экспериментов показана повышенная опасность для бетона со стороны грибов вида *Fusarium* и бактерий вида *Acidithiobacillus*, синергетическое действие которых приводит к высвобождению ионов кальция из структуры бетона и их комплексообразованию с внеклеточными полимера-

ми [22]. Очевидно, что под воздействием микроорганизмов цементные бетоны могут разрушаться и в этой связи необходимо предусматривать мероприятия по их защите.

Как правило, традиционные методы защиты бетонных конструкций от биоразрушений включают подбор состава бетонной смеси; нанесение покрытий распылением; покраску и грунтовку бетонной поверхности и облицовку. Обычно модификация бетонной смеси предполагает увеличение щелочности, поскольку скорость коррозии обратно пропорциональна щелочности бетона. Бетон, который предположительно будет подвержен биологической коррозии, должен иметь соотношение $V/C \leq 0,45$, глубину проникновения воды < 2 см и содержать специальные добавки, включая полипропилен или другие волокна, и биоциды [34]. Добавки можно приготовить в виде бактериостатических комбинированных систем, защищающих бетон в течение длительного времени [35–37]. Выбор биоцидов всегда должен зависеть от микроорганизмов, которые будут заселять бетонный камень [29]. Чаще рекомендуют одновременное использование биоцида и защитного покрытия, а также добавление биоцида в покрытие [38]. Можно отметить еще отдельные способы повышения биологического сопротивления бетонов [39]:

- введение добавок, которые могут образовывать буферные системы, способные ослаблять воздействие на цементные бетоны кислот, продуцируемых микроорганизмами;
- обработка поверхности композитов веществами, способными отталкивать микроорганизмы и среды, необходимые для их жизнедеятельности;
- использование активных сред, способных формировать на поверхности материала плотные и инертные слои.

Несмотря на имеющиеся способы повышения биологического сопротивления цементных бетонов, нельзя полностью гарантировать их сохранность от биокоррозии хотя бы потому, что микроорганизмы могут приспосабливаться к окружающей среде и приостанавливать действие защиты. В этой связи возникает необходимость оценки и прогнозирования биологического сопротивления материала.

Результаты исследования, приведенные в отечественной и зарубежной научной литературе, позволяют сделать вывод, что разрушение цементных бетонов при биокоррозии, как и при других видах коррозии, определяется в основном процессами массопереноса и химических реакций. В общем случае для оценки и прогнозирования сопротивления цементных композитов при действии биологически активных сред можно применить выражение [40, 41]:

$$R_{б.с.} = f(V_m, V_p, L, t), \quad (2)$$

где $R_{б.с.}$ – функция биологического сопротивления; V_m – скорость массопереноса микроорганизмов и

продуктов их жизнедеятельности; V_p – скорость химических взаимодействий составляющих материала и среды; L – характерный размер тела; t – время воздействия агрессивной среды.

Для определения функции необходимо выбрать наиболее характерный показатель биологического сопротивления и найти характер его изменения при действии различных факторов. Определяющим критерием, как показали наши исследования [40–43], является показатель прочности, выражающий непосредственную связь механических и физико-химических свойств материала. Для определения функции биологического сопротивления материала необходимо знать изменение его прочности за любой промежуток времени в результате физического и химического воздействия среды на его структуру, т. е. $\Delta\sigma(V_m, V_p, L, t)$. Определяя функцию как изменяемый во времени относительный показатель прочности, можем записать [39, 43, 44]:

$$R_{б.с.} = \frac{\sigma_t}{\sigma_0} = \frac{\sigma_0 \mp \Delta\sigma(V_m, V_p, L, t)}{\sigma_0} = 1 \mp \Delta_t^{\phi} \mp \Delta_t^x, \quad (3)$$

где σ_t – показатель прочности материала в момент времени t ; σ_0 – первоначальный показатель прочности; Δ_t^{ϕ} , Δ_t^x – изменение показателя сопротивления за время t в результате соответственно физического и химического воздействия среды.

Знак + в выражении (3) свидетельствует о том, что при действии агрессивной среды на материал могут временно протекать и упрочняющие его процессы.

Вклады Δ_t^{ϕ} и Δ_t^x и в изменении $R_{б.с.}$ будут определяться особенностями протекания процессов при действии на цементные материалы биологически активных сред. Действие физических факторов при биокоррозии цементных бетонов может приводить к обратимым или необратимым изменениям прочности. Поселение микроорганизмов на поверхности бетона часто в первое же время вызывает изменение структуры его поверхностного слоя, а соответственно и прочности материала. Очевидно, что для определения Δ_t^{ϕ} необходимо исследование закономерностей поселения органических систем и определение изменений в этой связи окружающей среды (структуры бетона) [40].

При наличии физически активных веществ в составе биологических жидких сред и в отсутствие химического взаимодействия или когда оно протекает с незначительной скоростью в прогнозируемый период, для определения функции сопротивления необходимо знать закономерность проникновения агрессивной среды (в том числе микроорганизмов) в структуру композита и определение в этой связи изменения показателя прочности. Установлено, что чем больше поглощение среды, тем больше снижение прочности [43]. Тогда при $\Delta_t^x=0$ применительно к неограниченной пластине, при граничном условии первого рода, выражение для функции сопротивления ($R_{б.с.}$) физическому воздействию среды будет иметь следующий вид:

$$R_{6.c.} = 1 - \Delta_{\max}^{\Phi} [1 - \sum_{n=1}^{\infty} B_n \exp(-\mu_n^2 F_0)], \quad (4)$$

где $\Delta_{\max}^{\Phi} = \alpha Q_{\max}$ – максимальное снижение относительной прочности под воздействием физически активных сред $B_n = \frac{8}{(2n-1)^2 \pi^2}$; $\mu_n = (2n-1) \frac{\pi}{2}$; $F_0 = \frac{Dt}{R^2}$ – критерий Фурье, D – коэффициент эффективной диффузии; $2R$ – толщина пластины; α – коэффициент пропорциональности, Q_{\max} – максимальное количество поглощенной агрессивной среды.

Поскольку проникновение всегда опережает химическое взаимодействие, и изменение прочности от физической активности среды будет происходить с опережением.

Решение задач массопереноса применительно к параллелепипеду и брусу, в большинстве случаев по форме соответствующим строительным изделиям и конструкциям, сводится к задаче для неограниченной пластины [45].

Поскольку снижение характеристики прочности в результате химических реакций вызвано разрывом химических связей, Δ_t^x в (3) можно определить как:

$$\Delta_t^x = \frac{n_t}{n_0}, \quad (5)$$

где n_t – количество разорванных связей в композите; $n_0 = C_k^0 V_0$ – первоначальное количество связей в композите, способных к разрыву; C_k^0 – первоначальная концентрация связей в композите, способных к разрыву; V_0 – объем элемента из композита.

Количество разорванных связей в композите при испытании материала после выдержки в агрессивной среде при сжатии можно определить из выражения:

$$n_t = \overline{C_k(t)} V_0, \quad (6)$$

где $\overline{C_k(t)} = \frac{1}{R} \int_0^R C_k(x,t)$ – средняя концентрация разорванных связей в материале в виде пластины в любой момент времени t ; $C_k(x,t)$ – концентрация разорванных связей в точке пластины x в любой момент времени t .

В свою очередь $C_k(x,t)$ находится из решения уравнения [39, 40]:

$$w_x = \frac{dC_k(x,t)}{dt} = k [C_k^0 - C_k(x,t)] C_A(x,t), \quad (7)$$

где w_x – скорость химической реакции; k – константа скорости распада химических связей; $C_A(x,t)$ – концентрация агрессивной среды в точке пластины x в любой момент времени t .

Решение уравнения (7) становится возможным, если известно распределение концентрационного поля внутри материала в любой момент времени. Для строительного материала в виде пластины $C_A(x,t)$ находится из решения II уравнения Фика:

$$D = \frac{d^2 C_A(x,t)}{dx^2} = \frac{d C_A(x,t)}{dt}. \quad (8)$$

Очевидно, что решение (8) зависит от начальных и граничных условий. При этом если начальные условия для облегчения решения задачи мы можем принять нулевыми, то граничные условия будут определяться закономерностью изменения на поверхности материала концентрации агрессивной среды. В большинстве случаев с достаточным для практики приближением оценки и прогнозирования сопротивления принимается на границе постоянная концентрация. При действии микроорганизмов это, как правило, случаи, когда имеет место быстрое их поселение и выделение продуктов метаболизма и можно принять, что концентрация агрессивной среды на поверхности материала с самого начала биоокоррозии является постоянной величиной, т. е. $C_A^I = \text{const}$. В этом случае концентрация $C_A(x,t)$ применительно к пластине на основании решения, приведенного в работе [45], определяется выражением:

$$C_A(x,t) = C_A^0 [1 - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos \mu_n \frac{x}{R} \exp(-\mu_n^2 F_0)], \quad (9)$$

где C_A^0 – равновесная концентрация агрессивной среды.

Для изделий (тел) формы параллелепипеда или бруса, как ранее уже было отмечено, решение сводится к подобной задаче для неограниченных пластин [45].

При действии микроорганизмов агрессивность среды может увеличиваться со временем. Если это время значительно, то возникает необходимость определения изменения концентрации среды на границе. Очевидно, что изменение агрессивной среды на поверхности материала (граничное условие) будет определяться развитием на ней микроорганизмов как органической системы и выражаться логической кривой (рис. 2).

В зависимости от соотношения скоростей массопереноса и химических реакций разрушение строительного композита под воздействием агрессивных сред может протекать в различных кинетических областях [39–41, 44]:

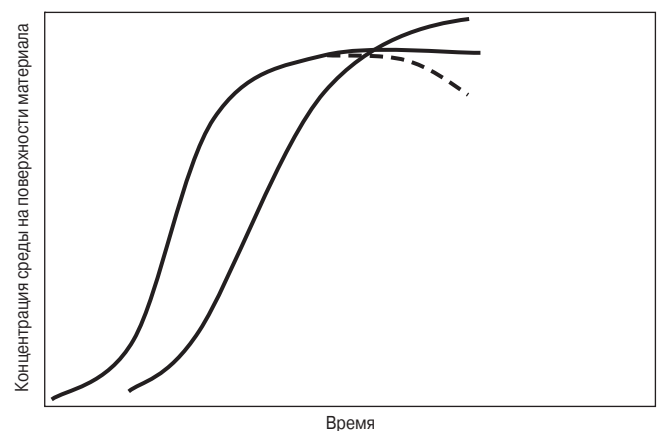


Рис. 2. Изменение концентрации агрессивной среды на поверхности материала в зависимости от длительности воздействия микроорганизмов

Fig. 2. Change in the concentration of aggressive medium on the surface of the material depending on the duration of action of microorganisms

1. Внутренняя кинетическая область. Реализуется в случаях проницаемых строительных композитов, когда агрессивные среды или микроорганизмы и их продукты жизнедеятельности ввиду большой пористости материала быстро насыщают весь объем материала.

2. Диффузионная кинетическая область. Реализуется в случаях, когда имеются условия, благоприятствующие большей скорости реакции, чем проникновения. Материал разрушается с поверхности с постепенным смещением зоны реакции в глубь изделия. Поверхностный слой не имеет связей, которые не подверглись бы коррозии.

3. Переходная кинетическая область. Реализуется в случаях, когда скорости проникновения среды и ее взаимодействия с составляющими материала сопоставимы между собой. В области композита, подвергнутого коррозии, в этом случае остаются еще неразорванные связи.

В первом случае с учетом неизменяемости концентрации агрессивной среды, т. е. $C_A(x,t) = \text{const}$, решение уравнения (7) относительно концентрации разорванных связей значительно упрощается. Для показателя сопротивления, определяемого протеканием химических реакций по всему объему изделия, без учета Δ_t^ϕ получим выражение [39–41]:

$$R_{б.с.} = 1 - \frac{\overline{C_k(t)}}{C_k^0} = 1 - \Delta_t^x = \exp(-K_{эф.}t), \quad (10)$$

где $K_{эф.} = kC_A(x,t)$ – эффективная константа скорости распада связей.

Во втором случае определяется глубина фронта проникновения реакции, для чего применяют известные решения диффузионного уравнения, которые сводятся к виду [40]:

$$x = A\sqrt{Dt}, \quad (11)$$

где x – координата фронта проникновения реакции; A – постоянная для данного материала и агрессивной среды величина.

При $D \approx \text{const}$ решение (11) принимает вид:

$$x = K_{пр.}\sqrt{t}, \quad (12)$$

где $K_{пр.} = A\sqrt{D}$ – константа проникновения среды.

Поскольку цементные бетоны имеют высокую химическую активность к продуктам, выделяемым микроорганизмами, в частности к растворам кислот, и разрушение протекает с поверхности, выражения (11) и (12) с достаточной степенью точности могут найти применение для оценки и прогнозирования показателя биологического сопротивления. Например, зная координату фронта проникновения реакции, можно оценить количество разорванных связей в материале в любой момент времени, а соответственно и его прочность. Очевидно, что в этом случае можно принять $\Delta_t^\phi = 0$.

Так, для функции биологического сопротивления изделия ($R_{б.с.}$) в виде прямоугольного параллелепипеда, боковая поверхность которого подвергнута разрушению под действием химических реакций, получим [39]:

$$R_{б.с.} = 1 - \Delta_t^x = 1 - \frac{K_{пр.}\sqrt{t}S_{пов}^\phi - 4hK_{пр.}^2t}{V_0}, \quad (13)$$

где $S_{пов}^\phi$ – площадь боковой поверхности изделия; h – высота изделия.

В промежуточной (переходной) области имеют место условия, когда скорости проникновения и химического взаимодействия сопоставимы между собой. Проникновение изначально опережает и физическое воздействие среды, требующее обязательного учета при прогнозировании. Для определения концентрации разорванных связей в точках пластины в любой момент времени t необходимо решить уравнение (7) при заданных начальных и граничных условиях, когда концентрация агрессивной среды $C_A(x,t)$ изменяется неравномерно по сечению и времени [39–41].

Таким образом, на основании обзора научной литературы, который включает научные труды отечественных и зарубежных исследователей, а также исследования авторов данной работы, можно сделать вывод, что биокоррозия цементных бетонов в общем виде определяется скоростями протекания физико-химических процессов и оценивается результатами решения уравнений массопереноса и химических реакций при соответствующих начальных и граничных условиях.

Разрушение от микробиологических факторов (РМФ) является процессом, возникающим в результате агрессивного воздействия биогенных веществ большой коррозионной активности, которые являются продуктами метаболизма размножающихся микроорганизмов [12, 40, 46]. Их интенсивный рост (экспоненциальный) обуславливает все большую и большую выработку ферментов, которые являются биокатализаторами всех метаболических процессов. Принимая во внимание, что микроорганизмы вызывают как появление, так и интенсификацию коррозионных процессов, а также тот факт, что эффективная защита любых конструкций от РМФ требует использования специальных антимикробных методов и/или биоцидов, целесообразно рассматривать биологическую коррозию как особый вид коррозии материалов.

Она имеет по сравнению с другими видами коррозии цементных бетонов следующие существенные отличия и особенности [11, 40, 47, 48]:

– повышение температуры обычной среды, как правило, вызывает ускорение химической реакции, а соответственно усиление разрушительных процессов, а при биокоррозии это может привести даже к прекращению разрушения материала, так как высокая температура убивает многие микроорганизмы,

которые являются источниками продуцирования агрессивных жидкостей;

– биокоррозия цементных бетонов может значительно уменьшиться при действии на них ультрафиолетовых и радиоактивных лучей в больших дозах, вибрации, ультразвука, а для известных видов коррозии эти факторы или не оказывают влияния, или оказывают противоположное действие;

– микроорганизмы могут создавать местные условия, например локально повышать температуру, влажность, что ускоряет коррозию бетона; обычная химически активная среда такими свойствами не обладает;

– микроорганизмы могут адаптироваться к окружающей среде и постоянно совершенствоваться с усилением агрессивного воздействия, что требует изменения защиты материала в отличие от действия на них обычных сред;

– микроорганизмы способны образовывать специальные формы – споры, цисты, склероции, которые могут оставаться долгое время невредимыми в жестких условиях эксплуатации, а затем, попадая в другие условия, они развиваются и приводят к разрушению материала, чего не происходит при действии других сред, которые окружают цементные бетоны.

Стоит заметить, что многие проблемы, связанные с разрушением материалов под воздействием биологических факторов, до сих пор не решены, несмотря на значительные достижения в изучении кинетики и механизмов биокоррозии. Таким образом, необходимо дальнейшее исследование процессов биоповреждений и методов защиты от них.

Список литературы / References

1. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. М.: Стройиздат, 1976. 205 с.
1. Alekseev S.N., Rosenthal N.K. Korrozionnaya stoykost' zhelezobetonnykh konstruksiy v agressivnoy promyshlennoy srede [Corrosion resistance of reinforced concrete structures in aggressive industrial environments]. Moscow: Stroyizdat. 1976. 205 p.
2. Алмазов В.О. Проектирование железобетонных конструкций по Еuronormам. М.: АСВ, 2011. 215 с.
2. Almazov V.O. Proyektirovaniye zhelezobetonnykh konstruksiy po Yevronormam [Design of reinforced concrete structures according to Euronorms]. Moscow: ASV, 2011. 215 p.
3. Бенин А.В., Семенов А.С., Семенов С.Г. Моделирование процессов разрушения железобетонных транспортных конструкций с учетом наполнения повреждений. *Бетон и железобетон – взгляд в будущее: Науч. тр. III Всерос. (II Междунар.) конф. по бетону и железобетону*. Москва, 12–16 мая 2014. В 7 т. Т. 4. С. 129–139.
3. Benin A.V., Semenov A.S., Semenov S.G. Modeling the processes of destruction of reinforced concrete transport structures taking into account the filling of damage. *Concrete and reinforced concrete – a look into the future: scientific works of the III All-Russian (II International) conference on concrete and reinforced concrete*. Moscow. May 12–16, 2014. Vol. 4, pp. 129–139. (In Russian).
4. Железобетонные изделия и конструкции: Науч.-техн. справ. / Под ред. Ю.В. Пухаренко, Ю.М. Баженова, В.Т. Ерофеева. СПб.: НПО «Профессионал», 2013. 1048 с.
4. Zhelezobetonnyye izdeliya i konstruksii: nauch.-tekhn. spravochnik / Pod red. Yu.V. Pukharenko, Yu.M. Bazhenova, V.T. Erofeeva [Reinforced concrete products and structures: scientific and technical reference book / Ed. by Yu.V. Pukharenko, Yu.M. Bazhenov, V.T. Erofeev]. Saint-Petersburg: NPO Professional. 2013. 1048 p.
5. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. М.: Стройиздат, 1976. 208 с.
5. Karpenko N.I. Teoriya deformirovaniya zhelezobetona s treshchinami [The theory of deformation of reinforced concrete with cracks]. Moscow: Stroyizdat. 1976. 208 p.
6. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
6. Moskvin V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N., Guzeev E.A. Korroziya betona i zhelezobetona, metody ikh zashchity [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection]. Moscow: Stroyizdat. 1980. 536 p.
7. Белов Н.Н., Дзюба П.В., Кабанцев О.В. Математическое моделирование процессов динамического разрушения бетона // *Механика твердого тела*. 2008. № 2. С. 124–133.
7. Belov N.N., Dzyuba P.V., Kabantsev O.V. Mathematical modeling of the processes of dynamic destruction of concrete. *Mekhanika tverdogo tela*. 2008. No. 2, pp. 124–133. (In Russian).
8. Овчинников И.И., Мигунов В.Н. Долговечность железобетонной балки в условиях хлоридной агрессии // *Строительные материалы*. 2012. № 8. С. 76–84.
8. Ovchinnikov I.I., Migunov V.N. Durability of reinforced concrete girders in conditions of chloride aggression. *Stroitel'nye Materialy* [Building Materials]. 2012. No. 8, pp. 76–84. (In Russian).
9. Розенталь Н.К., Чехний Г.В. Вопросы коррозионной стойкости бетона при воздействии биологически активных сред. *Бетон и железобетон – взгляд в будущее: Науч. тр. III Всерос. (II Междунар.) конф. по бетону и железобетону*. Москва, 12–16 мая 2014. Т. 3. С. 367–376.
9. Rosenthal N.K., Chekhny G.V. Issues of corrosion resistance of concrete when exposed to biological active environment. *Concrete and reinforced concrete – a look into the future: scientific works of the III All-*

- Russian (II International) conference on concrete and reinforced concrete*. Moscow. May 12–16, 2014. Vol. 3, pp. 367–376. (In Russian).
10. Степанова В.Ф., Фаликман В.Р. Современные проблемы обеспечения долговечности железобетонных конструкций. *Бетон и железобетон – взгляд в будущее: Науч. тр. III Всерос. (II Междунар.) конф. по бетону и железобетону*. Москва, 12–16 мая 2014. Т. 3. С. 275–289.
 10. Stepanova V.F., Falikman V.R. Modern problems of ensuring the durability of reinforced concrete structures. *Concrete and reinforced concrete – a look into the future: scientific works of the III All-Russian (II International) conference on concrete and reinforced concrete*. Moscow. May 12–16, 2014. Vol. 3, pp. 275–289. (In Russian).
 11. Соломатов В.И., Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф. и др. Биологическое сопротивление материалов. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. 196 с.
 11. Solomatov V.I., Erofeev V.T., Smirnov V.F. and other. *Biologicheskoye soprotivleniye materialov* [Biological resistance of materials]. Saransk: Publishing house of Mordovian University. 2001. 196 p.
 12. Sand W. Microbial corrosion and its inhibition. In: Rehm H.J. (Ed.), *Biotechnology*, Vol. 10, 2nd ed., Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2001. p. 267–316.
 13. PCA; Types and causes of concrete deterioration. Portland Cement Association, IS536, 2002; p. 1–16.
 14. Cwalina B., Dzierżewicz Z.; Korozja biologiczna konstrukcji żelbetowych (Biological corrosion of reinforced concrete constructions). *XXI Polish Conference “Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji”*, Szczyrk, T. 1, Wyd. PZITB, O/Gliwice, 2006; pp. 79–108 (In Polish).
 15. Sand W., Heitz E., Flemming H.C. Microbial mechanisms. *Microbially Influenced Corrosion of Materials*. Springer: Berlin, Heidelberg, 1996, pp. 15–25.
 16. De Belie N., Richardson M., Braam C.R., Svennerstedt B., Lenehan J.J., Sonck B.; Durability of building materials and components in the agricultural environment: Part I, The agricultural environment and timber structures. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 2000. Vol. 75, pp. 225–241.
 17. Mori T., Koga M., Hikosaka Y., Nonaka T., Mishina F., Sakai Y., Koizumi J.; Microbial corrosion of concrete sewer pipes, H₂S production from sediments and determination of corrosion rate. *Water Science and Technology*. 1991. Vol. 23, pp. 1275–1282. <https://doi.org/10.2166/wst.1991.0579>
 18. Herb S., Stair J.O., Ringelberg D.B., White D.C., Flemming H.C. Characterization of biofilms on corroded concrete surfaces in drinking water reservoirs. *Water Science and Technology*. 1995. Vol. 32, pp. 141–147.
 19. Kaltwasser H. Destruction of concrete by nitrification. *European Journal of Applied Microbiology*. 1976. No. 3, pp. 185–192. <https://doi.org/10.1007/BF01385433>
 20. Sand W., Bock E. Biodeterioration of mineral materials by microorganisms – biogenic sulfuric and nitric acid corrosion of concrete and natural stone. *Geomicrobiological Journal*. 1991. Vol. 9. Iss. 2–3, pp. 129–138. <https://doi.org/10.1080/01490459109385994>
 21. Davis J., Nica D., Shields K., Roberts D.J. Analysis of concrete from corroded sewer pipe. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 1998. Vol. 42, pp. 75–84.
 22. Gu J.D., Ford T.E., Berke N.S., Mitchell R. Biodeterioration of concrete by the fungus *Fusarium*. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 1998. Vol. 41, pp. 101–109.
 23. Fagerlund G.; Trwałość konstrukcji betonowych (Durability of concrete constructions). Arkady, Warszawa, 1997. (In Polish).
 24. *Biopovrezhdeniya v stroitel'stve* / Pod red. F.M. Ivanova, S.N. Gorshina [Biodamage in construction / Ed. by F.M. Ivanova, S.N. Gorshina]. Moscow: Stroyizdat. 1984. 320 p.
 25. Vincke E., Boon N., Verstraete W. Analysis of the microbial communities on corroded concrete sewer pipes – a case study. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2001. Vol. 57, pp. 776–785.
 26. Cwalina B. Korozja kamienia i betonu wzbudzona przez drobnoustroje (The stone and concrete corrosion influenced by microorganisms). *Ochrona przed Korozjq.* 2004. Vol. 1, pp. 17–23 (In Polish).
 27. Paajanen L., Ritschkoff A.C., Viitanen H. Effect of insulation materials on the biodeterioration of buildings. VTT Publication 791, VTT, Espoo (Finland), 1994.
 28. Ważny J., Oxley T.A., Becker G., Allsopp D. (Eds) The influence of wood-destroying fungi on concrete. *Biodeterioration*. Pitman Publ. Ltd.. London. 1980, pp. 59–62.
 29. Allan M.L. Evaluation of coatings and mortars for protection of concrete cooling tower structures from microbiologically influenced corrosion in geothermal power plants. Brookhaven National Laboratory Report BNL-66980. New York. 1999.
 30. Roberts D.J., Nica D., Zuo G., Davis J.L. Quantifying microbially induced deterioration of concrete: Initial studies. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2002. Vol. 49, pp. 227–234.
 31. Cwalina B., Dzierżewicz Z. Korozja biologiczna konstrukcji budowlanych zagłębionych w gruncie (Biological corrosion of building constructions hollow in the ground). *XVI Polish National Conference “Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji”*, Ustroń, T. 1, Wyd. PZITB, O/Krakow. 2001, pp. 27–42 (In Polish).
 32. Milde K., Sand W., Wolff W., Bock E. Thiobacilli of the corroded concrete walls of the Hamburg sewer system. *Journal of General Microbiology*. 1983. Vol. 129, pp. 1645–1648.
 33. Warscheid T., Becker T.W., Resende M.A.; Biodeterioration of stone: a comparison of tropical and moderate climate zones. In: *Biodegradation and*

- Biodeterioration in Latin America; 2nd LABS (Latin American Biodeterioration Symposium). Gramado, Brazil. MIRCEN, UNEP/UNESCO/ICRO, 1996, pp. 63–64.
34. Schmidt M., Hormann K., Hoffman F.J., Wagner E. Concrete with greater resistance to acid and to biogenic sulfuric acid corrosion. *Betonwerk+Fertigteil-Technik*. Iss. 4, 1997, pp. 2–8 (http://www.hca.com/gfx/download/HCA_Sonderdr_bsk_engl.pdf).
35. Carse A. The design of durable concrete structures in aggressive ground conditions. *In: Roads, Structures and Soils in Rural Queensland*. 2002, pp. 1–14. (www.euro-inox.org).
36. Shook W.E., Bell L.W. Corrosion control in concrete pipe and manholes. ConShield Technologies, Inc. 2001. (<http://www.conshield.com/corrosionControl.htm>).
37. Sinanen Zeomic Co., LTD. Antimicrobial concrete additive Zeomighty (http://www.zeomic.co.jp/english/05_01_zeomighty.html).
38. Videla H.A., Herrera L.K. Microbiologically influenced corrosion: looking to the future. *International Microbiology*. 2005. Vol. 8 (3), pp. 169–180.
39. Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Богатов А.Д., Федорцов В.А., Гусев Б.В. Оценка коррозии стеклощелочных композитов, прогнозирование их физико-химического сопротивления и способы его повышения // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2018. № 2 (374). С. 238–246.
39. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A., Gusev B.V. Evaluation of corrosion of glass-alkali composites, prediction of their physicochemical resistance and methods of its increase. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promishlennosti*. 2018. No. 2 (374), pp. 238–246. (In Russian).
40. Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Богатов А.Д., Федорцов В.А. Биокоррозия цементных бетонов, особенности ее развития, оценки и прогнозирования // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12–4. С. 708–716.
40. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A. Biocorrosion of cement concrete, features of its development, assessment and forecasting. *Fundamental'nyye issledovaniya*. 2014. No. 12–4, pp. 708–716. (In Russian).
41. Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Богатов А.Д., Федорцов В.А. Основы математического моделирования биокоррозии полимербетонов // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12–4. С. 701–707.
41. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A. Fundamentals of mathematical modeling of biocorrosion of polymer concretes. *Fundamental'nyye issledovaniya*. 2014. No. 12–4, pp. 701–707. (In Russian).
42. Федорцов А.П., Федорцов В.А. О потенциале свойства материала и его изменении // *Региональная архитектура и строительство*. 2013. № 3 (17). С. 39–45.
42. Fedortsov A.P., Fedortsov V.A. On the potential of material properties and its change. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2013. No. 3 (17), pp. 39–45. (In Russian).
43. Федорцов А.П. Физико-химическое сопротивление строительных композитов и способы его повышения: Монография. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. 464 с.
43. Fedortsov A.P. Fiziko-khimicheskoye soprotivleniye stroitel'nykh kompozitov i sposoby yego povysheniya: monografiya [Physicochemical resistance of building composites and ways to improve it: monograph]. Saransk: Publishing house of Mordovian University. 2015. 464 p.
44. Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Богатов А.Д., Федорцов В.А. Оценка и прогнозирование физико-химического сопротивления стеклощелочных композитов и методы его повышения // *Известия вузов. Строительство*. 2017. № 6 (702). С. 5–14.
44. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A. Assessment and prediction of physical and chemical resistance of glass-alkali composites and methods of its increase. *Izvestiya Vuzov. Stroitel'stvo*. 2017. No. 6 (702), pp. 5–14. (In Russian).
45. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 599 с.
45. Lykov A.V. Teoriya teploprovodnosti [Heat conduction theory]. Moscow: Visschaya shkola. 1967. 599 p.
46. Cwalina B., Zyska B. Mineralne materiały budowlane – kamień, beton, cegła, zaprawy budowlane, szkło. W: *Mikrobiologia Materiałów*. (Mineral building materials – stone, concrete, mortars, glass. In: *Microbiology of Materials*.) Zyska B., Żakowska Z. (Red.), Wyd. Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2005, pp. 377–412. (In Polish).
47. Защита от коррозии, старения и биоповреждения машин, оборудования и сооружений: Справочник. Т. 1. / Под ред. А.А. Герасименко. М.: Машиностроение, 1987. 688 с.
47. Zashchita ot korrozii, stareniya i biopovrezhdeniya mashin, oborudovaniya i sooruzheniy: spravochnik. T. 1. / Pod red. A.A. Gerasimenko. [Protection against corrosion, aging and biological damage to machines, equipment and structures: a reference book. T. 1. Ed. by A.A. Gerasimenko]. Moscow: Mashinostroenie. 1987. 688 p.
48. Защита от коррозии, старения и биоповреждения машин, оборудования и сооружений: Справочник. Т. 2. / Под ред. А.А. Герасименко. М.: Машиностроение, 1987. 784 с.
48. Zashchita ot korrozii, stareniya i biopovrezhdeniya mashin, oborudovaniya i sooruzheniy: spravochnik. T. 2. / Pod red. A.A. Gerasimenko. [Protection against corrosion, aging and biological damage to machines, equipment and structures: a reference book. T. 2. Ed. by A.A. Gerasimenko]. Moscow: Mashinostroenie. 1987.

Ю.Ф. ПАНЧЕНКО¹, канд. техн. наук (indyboot@list.ru), Д.А. ПАНЧЕНКО¹, инженер (indyboot@list.ru); А.П. НИЗОВСКИХ², инженер, директор по развитию; Э.Н. ХАФИЗОВА¹, канд. техн. наук

¹ Тюменский индустриальный университет (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38)

² ООО «Инвест-силикат-стройсервис» (625530, Тюменская область, Тюменский район, п. Винзили, ул. Вокзальная, 1)

Влияние длительного хранения силикатного кирпича в воде на его прочность

Представлены результаты исследования влияния длительного хранения в стационарных водных условиях силикатного кирпича на его прочность и фазовый состав. Актуальность исследований обусловлена тем, что распространено мнение, что силикатные материалы имеют низкую водостойкость, значительно ограничивающую область их применения. Установлено, что после девяти лет хранения в воде и последующего высушивания прочность силикатного кирпича практически равна первоначальной. Приведены данные о фазовом составе новообразований в свежем силикатном кирпиче разных периодов производства гидросиликатов кирпича, выдержанного в воде. Сравнение результатов рентгенографического и дифференциально-термического анализа образцов силикатного кирпича после девяти лет хранения в воде и образцов свежего кирпича показало, что в свежем образце преобладают высокоосновные гидросиликаты кальция, а в образце девятилетнего возраста гидросиликаты в основном представлены тоберморитом, при этом общее содержание CSH-фазы одинаковое. Содержание гидроксида кальция в свежем образце несколько выше, но это может быть обусловлено полнотой связывания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в конкретном образце, а не его вымыванием. О том, что активного вымывания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из силикатного кирпича в неподвижной воде не происходит, можно судить и по тому, что вода, в которой хранились образцы кирпича, при добавлении фенолфталеина в розовый цвет не окрашивается. Все это позволяет сделать вывод, что длительное нахождение силикатных изделий во влажных условиях, при отсутствии активного движения воды не оказывает особого влияния на процесс старения силикатного кирпича.

Ключевые слова: силикатный кирпич, водные условия, длительное хранение, прочность, рентгенографический анализ, дифференциально-термический анализ, гидросиликаты кальция.

Для цитирования: Панченко Ю.Ф., Панченко Д.А., Низовских А.П., Хафизова Э.Н. Влияние длительного хранения силикатного кирпича в воде на его прочность // *Строительные материалы*. 2020. № 11. С. 24–29.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-24-29>

Yu.F. PANCHENKO¹, Candidate of Sciences (Engineering) (indyboot@list.ru), D.A. PANCHENKO¹, Engineer (indyboot@list.ru); A.P. NIZOVSKIKH², Engineer (tex@isss.ru); E.N. KHAFIZOVA¹, Candidate of Sciences (Engineering)

¹ Industrial University of Tyumen (38, Volodarsky Street, Tyumen, 625000, Russian Federation)

² JSC "Invest-silicate-construction services" (1, Vokzalnaya Street, industrial settlement Vinzili, Tyumen region, 625530, Russian Federation)

Effect of Long-Term Storage of Silicate Brick in Water on its Strength

The article is devoted to the study of long-term storage of silicate brick in stationary water conditions on its strength and phase composition. The relevance of these studies is due to the fact that there are a lot of opinions that silicate materials have low water resistance which significantly limits their application range and reduces their popularity among builders. It has been found that after nine years storage in water and followed drying the silicate brick's strength is practically equal to the initial strength. The data on the phase composition of new-growth in silicate brick newly made in different production periods and the phase composition of silicate hydrates of bricks water conditioned are presented in the article. Comparison of the X-ray and differential thermal analyzes results of silicate bricks samples after 9 years of water conditioning and samples of newly made silicate bricks showed that highly basic calcium silicate hydrates predominate in a newly made sample, and in a 9-year-old sample silicate hydrates are mainly represented by tobermorite, while the total content of the CSH phase is the same. The content of calcium hydroxide in a newly made sample is higher but this may be due to the completeness of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ binding in a particular sample but not to its leaching. The fact that leaching of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ from silicate brick in still water does not occur also can be proved because the water of brick samples storage does not turn pink when phenolphthalein is added. These results allow us to conclude that long-term storage of silicate products in still water does not have any effect on the deterioration of silicate bricks.

Keywords: silicate brick, water conditions, long-term storage, strength, X-ray analysis, differential thermal analysis, calcium silicate hydrate.

For citation: Panchenko Yu.F., Panchenko D.A., Nizovskikh A.P., Khafizova E.N. Effect of long-term storage of silicate brick in water on its strength. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 11, pp. 24–29. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-24-29>

Политика энергосбережения и повышения энергетической эффективности, проводимая в нашей стране, обуславливает спрос на строительные материалы, производимые с применением недорогого сырья по малозатратным технологиям. Перспективными с этой точки зрения являются силикатные строительные материалы. В качестве вяжущего в них используется известь, стоимость которой значительно ниже стоимости других видов вяжущих, а технологический песок с

модулем крупности менее 1,5 дешевле средне- и крупнозернистого в 5–6 раз. В сравнении с керамическими силикатные стеновые материалы можно считать менее энергоемкими, так как само производство кирпича не требует высокотемпературной обработки, а доля извести, получаемой обжигом относительно мала. Это не только позволяет экономить энергоресурсы, но и снижает экологическую нагрузку на окружающую среду.

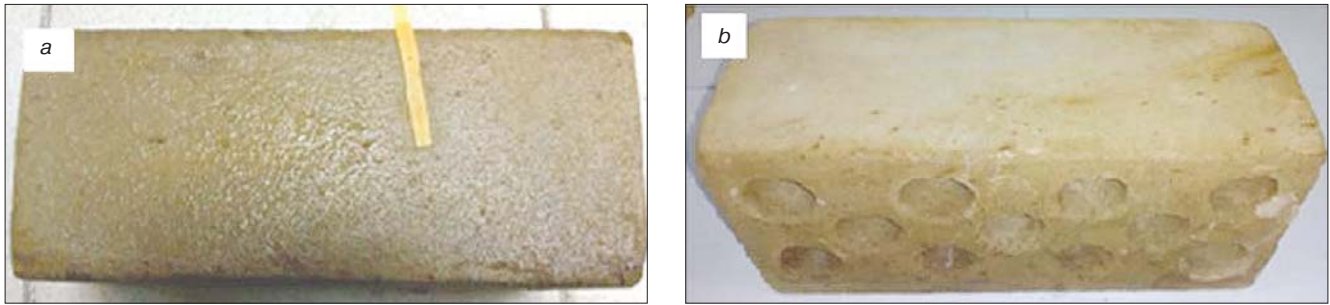


Рис. 1. Внешний вид кирпича силикатного после девяти лет хранения в воде: *a* – сразу после извлечения из воды; *b* – после высушивания
Fig. 1. The appearance of the brick is silicate after nine years of storage in water: *a* – immediately after extraction from the water; *b* – after drying

Однако существуют ограничения по применению силикатных материалов во влажных условиях. Так, СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22–81*» разрешает применение силикатного кирпича для наружных стен помещений с влажным режимом при условии нанесения на их внутренние поверхности пароизоляционного покрытия, но запрещает его использование для стен помещений с мокрым режимом, а также для наружных стен подвалов, цоколей, фундаментов.

Исследования ученых Б.Г. Скрамтаевым, И.А. Якубом и А.Т. Королевой, проведенные еще в 60-х гг. XX в., показали, что снижение прочности силикатного кирпича в водонасыщенном состоянии – это временное явление и после высушивания прочность его восстанавливается [1]. Снижение прочности связано с механическими процессами расклинивающего действия молекул воды и характеризуется коэффициентом размягчения. Ряд предприятий силикатной промышленности, в том числе и завод силикатных изделий ООО «Инвест-силикат-стройсервис» провели исследования по определению водостойкости силикатного кирпича, согласно которым коэффициент размягчения современных силикатных материалов составляет 0,89, что позволяет считать его водостойким материалом. Кроме того, воздействие попеременного увлажнения-высушивания в пределах 100 циклов также не приводит к снижению прочности силикатного кирпича [2]. Существуют исследования, согласно которым путем регулирования состава силикатной массы и режима автоклавной обработки удастся получить силикатные материалы с коэффициентом размягчения 0,95 [3].

Возникает вопрос о том, что происходит с силикатным кирпичом, когда он находится в увлажненном состоянии без постоянного воздействия статической нагрузки, и как он ведет себя, находясь под постоянным воздействием статической нагрузки во влажном состоянии. Поэтому исследования в направлении оценки влияния влажностного состояния на свойства силикатного кирпича являются актуальными.

На первоначальном этапе совместно с Тюменским индустриальным университетом специалисты

ООО «Инвест-силикат-стройсервис» провели эксперимент по оценке влияния длительного хранения силикатного кирпича в водных условиях на его свойства. Исследование было начато в 2010 г. Технологи предприятия поместили пять образцов кирпича силикатного утолщенного пустотелого лицевого желтого в контейнер с водой. С 2010 по 2019 г. вода в данном контейнере не менялась, осуществлялось добавление воды по мере ее испарения. Для эксперимента применялась вода из скважины, с характеристиками: минерализация по NaCl 255 мг/л; рН 7,37; жесткость 4,39 мг-экв/л; щелочность 3,2 мг-экв/л; содержание хлорид ионов 34,93 мг/л; ОН- отсутствует; железо 2,05 мг/л. Таким образом, применяемая вода является неагрессивной по химическому составу, но отличается повышенным содержанием железа.

После девяти лет водного хранения три образца были извлечены из воды, два оставлены для дальнейших исследований. Поверхность извлеченных из воды образцов кирпича была покрыта скользким налетом, однако после высыхания ни выкрашивания, ни шелушения поверхности не наблюдалось (рис. 1).

После высушивания в естественных условиях была определена прочность данных образцов при сжатии и выполнено сравнение полученных результатов с прочностью кирпича этой же партии, определенной в 2010 г. (табл. 1). Установлено, что прочность силикатного кирпича за девять лет водного хранения снизилась не более чем на 6%.

Таблица 1
Table 1

Сравнительная прочность образцов кирпича до и после хранения в воде
Comparative strength of brick samples before and after storage in water

№ образца	Прочность при сжатии, МПа	
	свежих образцов (2010 г.)	после 9 лет хранения в воде (2019 г.)
1	149	142
2	156	147
3	161	150
Среднее	155	146

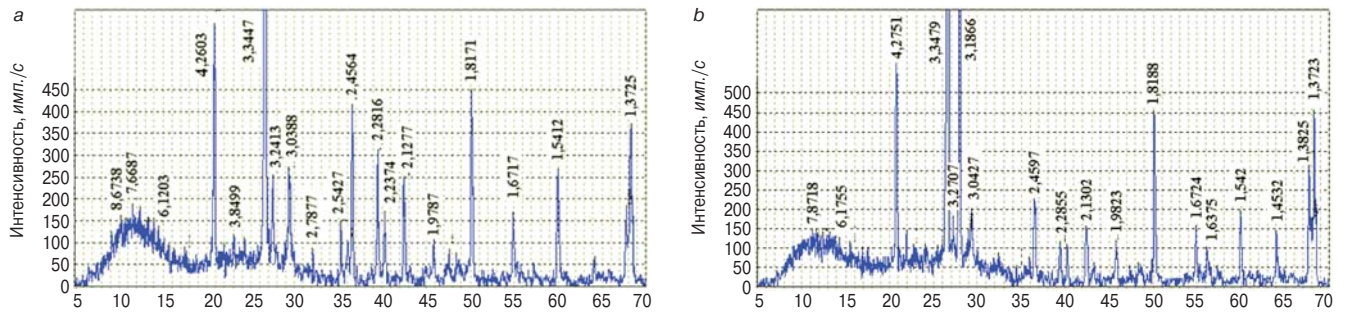


Рис. 2. Рентгенограмма образца силикатного кирпича: а – после 9 лет хранения в воде; б – свежего силикатного кирпича 2019 г. выпуска
 Fig. 2. X-ray pattern of a sample of silicate brick after: a – after 9 years of storage in water; b – fresh silicate brick 2019 release

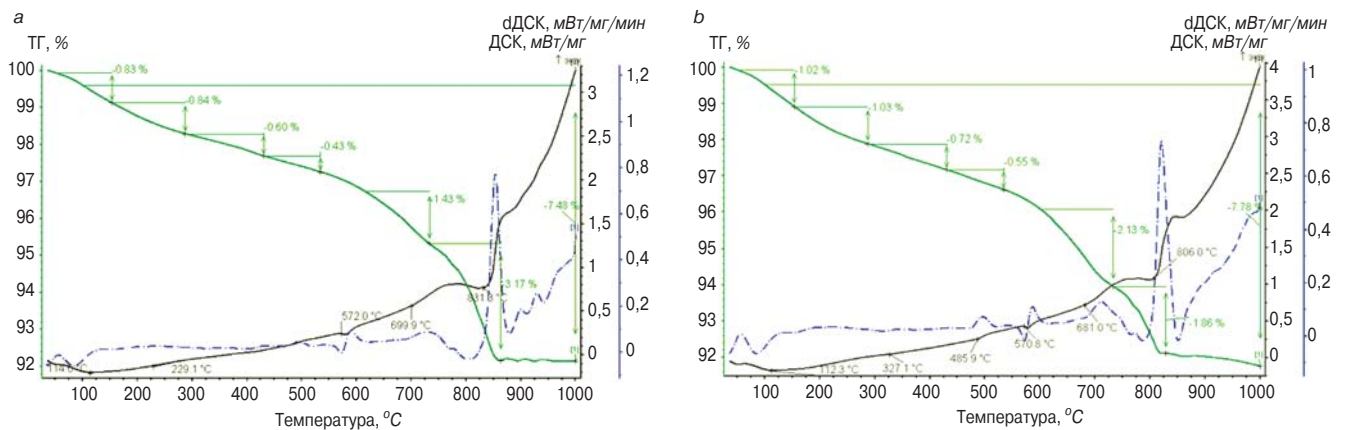


Рис. 3. Дифференциально-термический анализ образца силикатного кирпича: а – после 9 лет хранения в воде; б – свежего силикатного кирпича
 Fig. 3. Differential thermal analysis of silicate brick sample: a – after 9 years of storage in water; b – fresh silicate brick 2019 release

Исследования изменения прочности силикатных материалов после 2, 5, 10 и 20 лет нахождения во влажном грунте, проведенные в Германии [4], также подтверждают, что прочность кладки остается практически постоянной.

Сравнение результатов рентгенографического (рис. 2) и дифференциально-термического (рис. 3) анализа образцов силикатного кирпича после девяти лет хранения в воде и образцов свежего силикатного бетона показал, что в свежем образце преобладают высокоосновные гидросиликаты кальция (пики на рентгенограмме: d 6,14 (I 20); d 3,81 (I 20); d 3,22 (I 60); d 3,02 (I 100); d 2,79 (I 60); d 2,23 (I 80); d 2,12 (I 20); d 1,64 (I 20)), а в образце девятилетнего возраста гидросиликаты в основном представлены тоберморитом [5] (пики на рентгенограмме: d 4,23 (I 100); d 3,15 (I 75); d 3,06 (I 100); d 2,11 (I 75)), при этом общее содержание CSH-фазы одинаковое (табл. 2). Для исследования фазового состава свежего силикатного бетона использовался кирпич 2019 г. выпуска, так как, к сожалению, в 2010 г. такие исследования проведены не были. Однако результаты рентгенографического (рис. 4, а) и дифференциально-термического (рис. 4, б) анализа свежего силикатного бетона, проведенные в 2013 г., свидетельствуют, что состав новообразований силикатного бетона предприятия ООО «Инвест-силикат-стройсервис» достаточно стабилен.

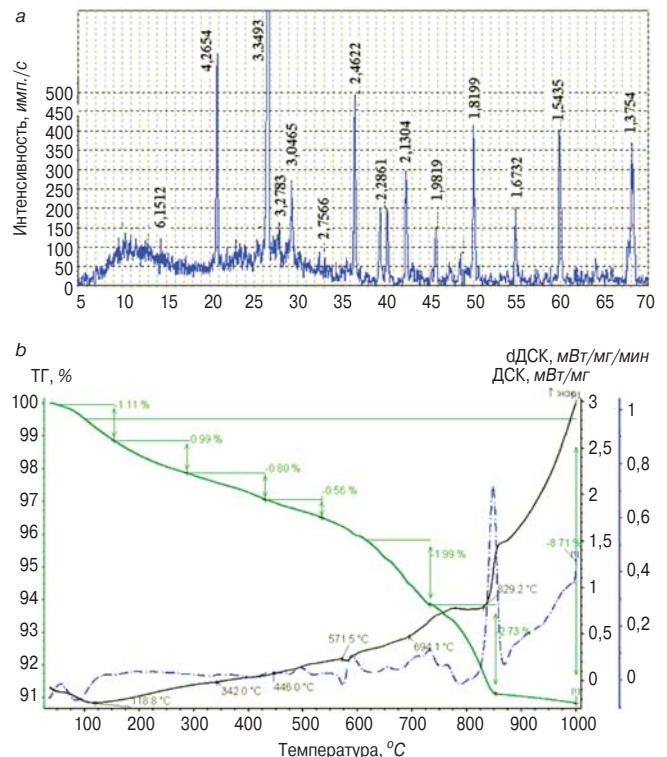


Рис. 4. Рентгенограмма (а) и дифференциально-термический анализ (б) образца свежего силикатного кирпича 2013 г. выпуска
 Fig. 4. X-ray pattern (a) and differential thermal analysis (b) of silicate brick sample silicate brick 2013 release

Таблица 2
Table 2Фазовый состав образцов силикатного кирпича
Phase composition of silicate brick samples

Наименование образца силикатного бетона	Потери при 430–530°C	Содержание гидроксида кальция, %	Потери при 150–300°C	Потери при 610–730°C	Сумма потерь при 150–300 и 610–730°C	Содержание CSH(II), %	Потери при 730–829°C	Содержание тоберморита, %	Общее содержание CSH, %
После 9 лет водного хранения	0,43	1,77	0,84	1,43	2,27	16,9	3,17	21,63	38,53
Свежий 2019 г.	0,55	2,26	1,03	2,13	3,16	23,52	1,86	12,69	36,21
Свежий 2013 г.	0,56	2,3	0,99	1,99	2,98	22,18	2,73	18,62	40,81

Содержание гидроксида кальция в свежем образце несколько выше, но это может быть обусловлено полной связывания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в конкретном образце, а не его вымыванием. О том, что активного вымывания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из силикатного бетона в неподвижной воде не происходит можно судить и по тому, что вода, в которой хранились образцы кирпича, при добавлении фенолфталеина в розовый цвет не окрашивается. Кроме того, поверхность силикатного кирпича также имела рН около 7, что может свидетельствовать о карбонизации поверхности, а наличие скользкого налета, вероятно, объясняется железистыми отложениями, так как применяемая вода имела высокое содержание железа.

Изучение фазового состава силикатного кирпича в возрасте 7, 28 и 180 сут [6] после автоклавной обработки показывает, что четко выраженные дифракционные максимумы низкоосновных гидросиликатов кальция появляются уже в возрасте 28 сут после автоклавирования. В образцах кирпича, отобранных из кладки домов 1970-х гг., постройки, также преобладают низкоосновные гидросиликаты наряду с кальцитом [7, 8]. По данным этих же исследований, снижение прочности силикатного кирпича за 50–70 лет эксплуатации незначительное. Все это позволяет сделать вывод, что длительное нахождение силикатных изделий во влажных условиях при отсутствии активного движения воды не оказывает существенного влияния на процесс старения силикатного кирпича. В силикатном бетоне

происходят процессы перекристаллизации высокоосновных гидросиликатов кальция в низкоосновные, что обусловлено не наличием водной среды, а временным фактором.

Результаты данных исследований и проведенных ранее [2] позволяют сделать вывод, что для внутренних несущих стен помещений с мокрым режимом можно использовать силикатные материалы.

В статье представлены результаты частного исследования, но без консолидированной работы нескольких заводов отрасли не удастся получить репрезентативные данные, которые нужны для отработки методики и внесения изменений в нормативные документы. Требуется массив данных различных изготовителей, выпуск продукции которых осуществляется в разных регионах страны с использованием отличающейся сырьевой базы, и более полные исследования по совместному влиянию водонасыщенного состояния, статической нагрузки и агрессивной среды на свойства силикатных материалов.

Силикатные материалы автоклавного твердения имеют сравнительно короткую историю. Исследования, проводимые российскими [9–15] и зарубежными учеными [16–19], показывают, что предел совершенствования их свойств еще не достигнут. Все это позволяет полагать, что жесткие ограничения по влажностному режиму эксплуатации силикатных изделий могут быть пересмотрены, так как силикатные изделия можно считать материалами нового поколения [20].

Список литературы

1. Скрамтаев Б.Г., Якуб И.А., Королева А.Т. О водо- и кислотостойкости силикатных материалов // *Строительные материалы*. 1963. № 12. С. 31–32.
2. Черепанов В.И., Некрасова Е.В., Черных Н.А., Панченко Ю.Ф. Водостойкость силикатного кирпича // *Строительные материалы*. 2013. № 9. С. 10–11.
3. Володченко А.А. Влияние режима гидротермальной обработки на свойства силикатных материа-

References

1. Skramtaev B.G., Jakub I.A., Koroleva A.T. About water and acid resistance of silicate materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 1963. No. 12, pp. 31–32. (In Russian).
2. Cherepanov V.I., Nekrasova E.V., Chernyh N.A., Panchenko Ju.F. Water resistance of silicate brick. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 9, pp. 10–11. (In Russian).
3. Volodchenko A.A. Influence of the hydrothermal treatment regime on the properties of silicate materi-

- лов // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 6–6. С. 1333–1337.
4. Ткачик П.П. Каменные конструкции из силикатных изделий. Проектирование, конструктивные решения, производство работ. Минск: Стринко, 2012. 376 с.
 5. Горшков В.С., Тимашев В.Г., Савельев. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1981. 335 с.
 6. Омарова С.Д. Твердение силикатного кирпича при автоклавной обработке // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2016. № 7–8. С. 27–29.
 7. Бабков В.В., Самофеев Н.С., Чуйкин А.Е. Силикатный кирпич в наружных стенах зданий: анализ состояния, прогноз долговечности и способы ее повышения // *Инженерно-строительный журнал*. 2011. № 8. С. 35–40.
 8. Решетникова К.В., Ращупкина М.А. Структурные исследования силикатного кирпича // *Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и техники глазами молодых ученых»*. 2016. С. 177–181.
 9. Решетникова К.В., Ращупкина М.А. Регулирование свойств силикатного кирпича введением тонкомолотых добавок // *В сборнике: Архитектура, строительство, транспорт. Материалы Международной научно-практической конференции к 85-летию ФГБОУ ВПО «СибАДИ»*. 2015. С. 545–549.
 10. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Перспективы расширения номенклатуры силикатных материалов автоклавного твердения // *Строительные материалы*. 2016. № 9. С. 34–37.
 11. Атакузиев Т.А., Джандуллаева М.С., Бекмуратова М.Г., Лутфуллаева Н.Б. Силикатный кирпич улучшенного качества с использованием твердых отходов содового производства // *Сборники конференций НИЦ Социосфера*. 2016. № 10. С. 162–166.
 12. Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н., Зигангараева С.Р. Силикатные стеновые материалы с использованием отсевов дробления изверженных горных пород // *Региональная архитектура и строительство*. 2016. № 3 (28). С. 38–44.
 13. Гончарова М.А., Ивашкин А.Н., Симбаев В.В. Разработка оптимальных составов силикатных бетонов с использованием местных сырьевых ресурсов // *Строительные материалы*. 2016. № 9. С. 6–8.
 14. Зимакова Г.А., Солонина В.А., Зелиг М.П., Орлов В.С. Роль алевропелитов в формировании свойств известково-силикатных материалов автоклавного твердения // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 4–9. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-4-9>
 15. Котляр В.Д., Козлов А.В., Животков О.И., Козлов Г.А. Силикатный кирпич на основе зольных микросфер и извести // *Строительные материалы. Fundamental'nye issledovanija*. 2013. No. 6–6, pp. 1333–1337. (In Russian).
 4. Tkachik P. P. Kamennye konstrukcii iz silikatnyh izdelij. Proektirovanie, konstruktivnye reshenija, proizvodstvo rabot. [Stone structures made of silicate products. Design, constructive solutions, work execution] Minsk: Strinko, 2012. 376 p.
 5. Gorshkov V.S., Timashev V.G., Savel'ev V.G. Metody fiziko-himicheskogo analiza vjazhushhih veshhestv. [Physical and chemical analysis methods of binders] Moscow: Vysshaja shkola. 1981. 335 p.
 6. Omarova S.D. Hardening of silicate bricks during autoclave curing. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka*. 2016. No. 7–8, pp. 27–29. (In Russian).
 7. Babkov V.V., Samofeev N.S., Chujkin A.E. Silicate brick in the outer walls of buildings: analysis of the state, forecast of durability and methods of its increase. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 8, pp. 35–40. (In Russian).
 8. Reshetnikova K.V., Rashhupkina M.A. Structural studies of silicate bricks. *Materials of the International scientific-practical conference "Actual problems of science and technology through the eyes of young scientists"* 2016, pp. 177–181. (In Russian).
 9. Reshetnikova K.V., Rashhupkina M.A. Regulation of the silicate bricks' properties by finely ground additives. *In the collection: Architecture, construction, transport materials of the International Scientific and Practical Conference to the 85th anniversary of "SibADI"*. 2015, pp. 545–549. (In Russian).
 10. Volodchenko A.N., Lesovik V.S. Prospects for expanding the range of autoclave-hardened silicate materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 9, pp. 34–37. (In Russian).
 11. Atakuziev T.A., Dzhandullaeva M.S., Bekmuratova M.G., Lutfullaeva N.B. Silicate brick of improved quality using solid waste of soda production. *Proceedings of conferences SIC Sociosphere*. 2016. No. 10, pp. 162–166. (In Russian).
 12. Kuznecova G.V., Morozova N.N., Zigangaraeva S.R. Silicate wall materials using screenings of igneous rocks crushing. *Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo*. 2016. No. 3 (28), pp. 38–44. (In Russian).
 13. Goncharova M.A., Ivashkin A.N., Simbaev V.V. Development of optimal silicate concretes compositions with local raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 9, pp. 6–8. (In Russian).
 14. Zimakova G.A., Solonina V.A., Zelig M.P., Orlov V.S. The role of aleuropelites in the formation of autoclaved lime-silicate materials' properties. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9, pp. 4–9. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-4-9> (In Russian).
 15. Kotljjar V.D., Kozlov A.V., Zhivotkov O.I., Kozlov G.A. Silicate brick based on ash microspheres and lime. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9, pp. 17–21. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-4-9>

- риалы. 2018. № 9. С. 17–21. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-17-21>
16. Tayfun Cicek, MehmetTannriverdi. Lime based steam autoclaved fly ash bricks // *Construction and Building Materials*. Vol. 21. Iss. 6. June 2007, pp. 1295–1300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.01.005>
 17. Sastry B.S.R. Investigations on Sand Lime Bricks- Part I // *Transactions of the Indian Ceramic Society*. Vol. 10. 1951. Iss. 1. 26 Aug 2014, pp. 62–67. DOI: https://doi.org/10.18720/MPM.4252019_4
 18. Dachowski R., Komisarczyk K. Determination of microstructure and phase composition of sand-lime brick after autoclaving process // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 161, pp. 747–753. DOI: https://doi.org/10.18720/MPM.4252019_4
 19. Zhiwei Zhang, Jueshi Qian, Chao You, Changhua Hu. Use of circulating fluidized bed combustion fly ash and slag in autoclaved brick // *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 35, pp. 109–116. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.762>
 20. Лесовик В.С. Строительные материалы. Настоящее и будущее // *Вестник МГСУ*. 2017. Т. 12. № 1 (100). С. 9–16. DOI: <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2017.1.9-16>
 - org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-17-21 (In Russian).
 16. Tayfun Cicek, MehmetTannriverdi. Lime based steam autoclaved fly ash bricks. *Construction and Building Materials*. Vol. 21. Iss. 6. June 2007, pp. 1295–1300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.01.005>
 17. Sastry B.S.R. Investigations on Sand Lime Bricks- Part I // *Transactions of the Indian Ceramic Society*. Vol. 10. 1951. Iss. 1. 26 Aug 2014, pp. 62–67. DOI: https://doi.org/10.18720/MPM.4252019_4
 18. Dachowski R., Komisarczyk K. Determination of microstructure and phase composition of sand-lime brick after autoclaving process. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 161, pp. 747–753. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.762>
 19. Zhiwei Zhang, Jueshi Qian, Chao You, Changhua Hu. Use of circulating fluidized bed combustion fly ash and slag in autoclaved brick. *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 35, pp. 109–116. DOI: <https://doi.org/10.14359/51686910>
 20. Lesovik V.S. Construction Materials. Present and future. *Vestnik MGSU*. 2017. Vol. 12. No. 1 (100), pp. 9–16. DOI: <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2017.1.9-16>



**Международная научно-техническая конференция по геотехнике
«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ
ГЕОТЕХНИКИ: ИЗЫСКАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ»
(GFAC 2021)**



г. Санкт-Петербург

27–29 октября 2021 г.

Основная тематика конференции:

- Специальные полевые и лабораторные методы исследования физико-механических характеристик грунтов;
- Теоретические и практические аспекты механики грунтов
- Модели грунтовых оснований и их применение в проектировании
- Геотехническое обоснование и научно-техническое сопровождение инженерных изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации оснований фундаментов, подземных и земляных сооружений;
- Численное моделирование системы: «основание-фундамент-здание» в программных комплексах;

- Новые перспективные конструктивно-технологические решения при строительстве оснований, фундаментов, подземных сооружений и высотных зданий;
- Новое строительство и реконструкция зданий и сооружений в плотной городской застройке и в условиях структурно-неустойчивых грунтов;
- Исследование свойств мерзлых и оттаивающих грунтов, конструкции фундаментов и методы строительства на них
- Геотехнический мониторинг при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений;
- Анализ причин развития аварийных ситуаций при проектировании и строительстве фундаментов зданий и сооружений.

Основные даты подачи заявок:
 Участие в качестве слушателя до 18 октября 2021 г.
 Выступление с докладом до 10 сентября 2021 г.
 Публикация в сборнике, издаваемом СПбГАСУ (индексация в РИНЦ) до 1 мая 2021 г.
 Публикация в сборнике, издаваемом Balkema, (индексация в SCOPUS и WEB OF SCIENCES) до 1 мая 2021 г.

Контактные данные секретариата конференции СПбГАСУ:
 Калач Филипп Николаевич – зам. научного секретаря конференции, моб. телефон: +7 (921) 847-92-93
 e-mail: GFAC-2021-SPBGASU@yandex.ru
 Адрес секретариата: 190005, Санкт-Петербург, 3-я Красноармейская ул., дом 7, СПбГАСУ, кафедра Геотехники

А.М. ИБРАГИМОВ, д-р техн. наук (igasu_alex@mail.ru), Л.Ю. ГНЕДИНА, канд. техн. наук

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Проектирование конструкции стенки доменной печи из эффективных материалов. Часть 4. Примеры расчета

Работа является частью цикла статей под общим названием «Проектирование конструкции стенки доменной печи из эффективных материалов» [1–3]. В части 1 «Постановка задачи и предпосылки расчета» рассмотрены типовые многослойные ограждающие конструкции доменной печи. Приведено описание слоев, входящих в состав этих конструкций. Основное внимание уделено футеровочному слою. Кратко описан процесс выплавки чугуна и температурные режимы в характерных слоях внутренней среды печи. На основе теории А.В. Лыкова проанализированы исходные уравнения, описывающие взаимосвязанный перенос теплоты и массы в твердом теле применительно к поставленной задаче адекватного описания процессов с целью дальнейшего рационального проектирования многослойной ограждающей конструкции доменной печи. Априори ограждение с математической точки зрения рассматривается как неограниченная пластина. В части 2 «Решение краевых задач теплопереноса» рассматриваются краевые задачи теплопереноса в отдельных слоях конструкции с различными граничными условиями, приводятся их решения, которые являются базовыми при разработке математической модели нестационарного процесса теплопереноса в многослойной ограждающей конструкции. В части 3 представлена математическая модель процесса теплопереноса в ограждении и алгоритм ее реализации. Предлагаемая математическая модель позволяет решить большое количество задач. В части 4 приведен ряд примеров расчета процесса теплопереноса в многослойном ограждении доменной печи. Полученные результаты коррелируются с результатами, полученными другими авторами, что позволяет сделать заключение о пригодности новой математической модели для решения задачи рационального проектирования ограждающей конструкции, а также моделировать ситуации, возникающие на любом временном интервале эксплуатации ограждения доменной печи.

Ключевые слова: теплоперенос, температурное поле, многослойные конструкции, футеровка печи.

Для цитирования: Ибрагимов А.М., Гнедина Л.Ю. Проектирование конструкции стенки доменной печи из эффективных материалов. Часть 4. Примеры расчета // *Строительные материалы*. 2020. № 11. С. 30–34. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-30-34>

A.M. IBRAGIMOV, Doctor of Sciences (Engineering) (igasu_alex@mail.ru), L.Yu. GNEDINA, Candidate of Sciences (Engineering) National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl'skoye Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Design of the Blast Furnace Wall Structure Made of Efficient Materials. Part 4. Calculation Examples

This work is part of a series of articles under the general title "The structural design of the blast furnace wall from efficient materials" [1–3]. In part 1, "Problem statement and calculation prerequisites", typical multilayer enclosing structures of a blast furnace are considered. The layers that make up these structures are described. The main attention is paid to the lining layer. The process of iron smelting and temperature conditions in the characteristic layers of the internal environment of the furnace is briefly described. Based on the theory of A.V. Lykov, the initial equations describing the interrelated transfer of heat and mass in a solid are analyzed in relation to the task – an adequate description of the processes for the purpose of further rational design of the multilayer enclosing structure of the blast furnace. A priori the enclosing structure is considered from a mathematical point of view as the unlimited plate. In part 2, "Solving boundary value problems of heat transfer", boundary value problems of heat transfer in individual layers of a structure with different boundary conditions are considered, their solutions, which are basic when developing a mathematical model of a non-stationary heat transfer process in a multi-layer enclosing structure, are given. Part 3 presents a mathematical model of the heat transfer process in the enclosing structure and an algorithm for its implementation. The proposed mathematical model makes it possible to solve a large number of problems. Part 4 presents a number of examples of calculating the heat transfer process in a multilayer blast furnace enclosing structure. The results obtained correlate with the results obtained by other authors, this makes it possible to conclude that the new mathematical model is suitable for solving the problem of rational design of the enclosing structure, as well as to simulate situations that occur at any time interval of operation of the blast furnace enclosure.

Keywords: heat transfer, temperature field, multilayer structures.

For citation: Ibragimov A.M., Gnedina L.Yu. Design of the blast furnace wall structure made of efficient materials. Part 4. Calculation examples. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 11, pp. 30–34. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-30-34>

Любая математическая модель процесса должна быть адекватна его физической природе, а также учитывать его специфические особенности. Эмпирический подход к решению той или иной проблемы, безусловно, имеет право на жизнь, однако достоинства математического моделирования в сочетании с экспериментальными методами позволяют создать инженерные методы расчета различных процессов, а общность основ протекания процессов теплопереноса в строительных материалах дает возможность сделать вывод об общности их структурных ха-

рактеристик, произвести анализ протекания конкретного процесса в конкретном строительном материале или конструкции и аппроксимировать полученные результаты на смежные материалы с учетом их специфических особенностей [4–9]. Именно общность протекания процессов требует единства подхода к решению задач строительной теплофизики. Специфические особенности моделируемого процесса обуславливают корректировку обобщенного математического описания и привязку его к конкретному материалу или конструкции [10–16]. Поэтому пред-

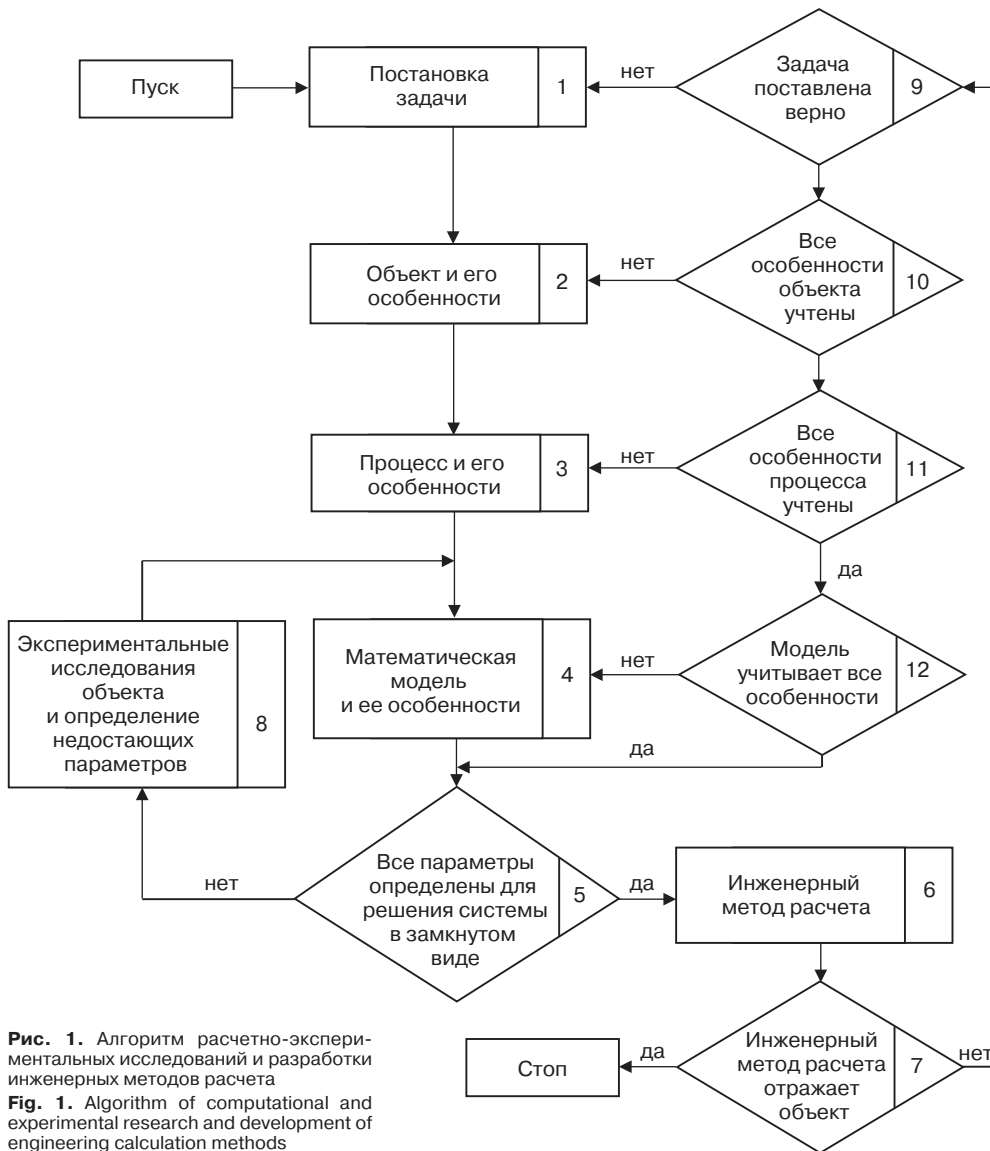


Рис. 1. Алгоритм расчетно-экспериментальных исследований и разработки инженерных методов расчета
Fig. 1. Algorithm of computational and experimental research and development of engineering calculation methods

ставляется целесообразным при расчетно-экспериментальных исследованиях и разработке инженерных методов расчета придерживаться следующего алгоритма: прежде всего необходима грамотная, всесторонняя и полноценная постановка задачи (рис. 1, блок 1), исходя из этого определяются: объект исследования, его характерные особенности (блок 2); физический процесс, протекающий в объекте, и его особенности (блок 3); математическое описание (модель) объекта и физического процесса (блок 4). При дальнейшем исследовании производят анализ особенностей объекта и моделируемого физического процесса, выявляют параметры (факторы), которые кардинально влияют на протекание процесса. Затем анализируют математическую модель и выявляют недостающую информацию для реализации этой модели (блок 5). Если информации для решения системы уравнений в замкнутом виде достаточно, то модель реализуют и получают инженерный метод расчета (ветвь «да» к блоку 6). Если информации недостаточно, то ее, как правило, можно получить эксперимен-

тальными методами, для чего идет возврат к объекту, чтобы провести экспериментальные исследования и определить недостающие параметры, позволяющие получить решение в замкнутом виде (ветвь «нет» к блоку 8). После этого вновь возвращаются к математической модели (блоки 4 и 5), разрабатывают алгоритм, блок-схему и программу расчета, т. е. инженерный метод расчета (блок 6). Анализируют методику расчета на предмет ее адекватности отражения объекта (блок 7). Если адекватность удовлетворительная, то задача считается решенной (ветвь «да» блока 7). Если наблюдаются существенные расхождения опытных и расчетных данных, то для уточнения расчетной методики путь решения поставленной задачи может быть пройден заново или частично.

В качестве примера рассмотрим ограждающие конструкции доменной печи, представленные на рис. 2 и 3.

Условия задач

Требуется найти распределение температуры по толщине ограждающей конструкции доменной

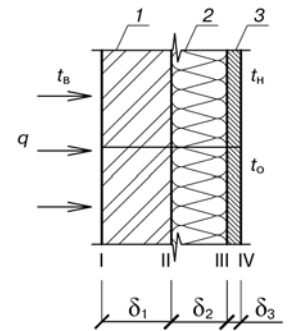


Рис. 2. Схема слоистого ограждения доменной печи: 1 – футеровочный слой; 2 – теплоизолирующий слой; 3 – кожух
Fig. 2. Scheme of layered blast furnace enclosure: 1 – lining layer; 2 – heat insulating layer; 3 – casing

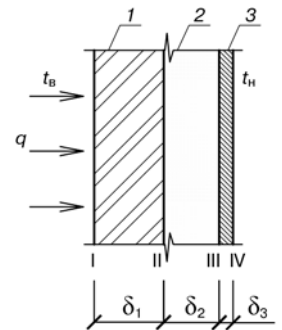


Рис. 3. Схема слоистого ограждения доменной печи: 1 – футеровочный слой; 2 – охлаждающий слой; 3 – кожух
Fig. 3. Scheme of a layered blast furnace enclosure: 1 – lining layer; 2 – cooling layer; 3 – casing

печи в районе зоны распара в момент первого выпуска чугуна в конце раздувочного периода (через время $\tau=24$ ч), т. е. в пиковый момент нагрева всех слоев ограждающей конструкции доменной печи.

Исходные данные:

Агрегат – доменная печь объемом 3300 м^3 ;

Место расчета – распар.

1-й слой: футеровка двухслойная, толщиной $\delta_1=262$ мм. Тип применяемого огнеупора – шамот ШПД-41: плотность $\gamma_1=1900 \text{ кг/м}^3$; удельная изохорная теплоемкость $C_1=287 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$; коэффициент теплопроводности $\lambda_1=2,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$.

2-й слой (рис. 2): утеплитель – минеральная вата (прошивные маты): общая толщина $\delta_2=223$ мм; плотность $\gamma_2=840 \text{ кг/м}^3$; удельная изохорная теплоемкость $C_2=1122 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$; коэффициент теплопроводности $\lambda_2=0,064 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$.

2-й слой (рис. 3): плитовые холодильники с циркуляцией воды: общая толщина $\delta_2=160$ мм; плотность $\gamma_2=1000 \text{ кг/м}^3$; удельная изохорная теплоемкость $C_2=4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$; коэффициент теплопроводности $\lambda_2=0,68 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$; рабочая температура воды $t_p=25^\circ\text{C}$.

3-й слой: кожух – низколегированная сталь толщиной $\delta_3=50$ мм; плотность $\gamma_3=7850 \text{ кг/м}^3$; удельная изохорная теплоемкость $C_3=482 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$; коэффициент теплопроводности $\lambda_3=58 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$.

Параметры внутренней среды:

– температура $t_b=1000^\circ\text{C}$;

– коэффициент теплоотдачи поверхности $\alpha_b=87 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$.

Параметры наружной (внешней) среды:

– температура $t_n=1000^\circ\text{C}$;

– коэффициент теплоотдачи поверхности $\alpha_n=23 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$.

Результаты расчета для задачи рис. 2.

Начальные и граничные условия.

Коэффициент теплообмена внутренней среды $87 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°K)}$;

температура внутренней среды $t=1000^\circ\text{C}$;

коэффициент теплообмена внешней среды $23 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°K)}$;

температура внешней среды $t=45^\circ\text{C}$;

температура слоев начальная $t=25^\circ\text{C}$;

время нагрева = 2 сут;

толщина слоя $N_1=0,26$ м;

коэффициент теплопроводности слоя

$N_1=0,06 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°K)}$;

удельная изохорная теплоемкость слоя

$N_1=287 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°K)}$;

плотность слоя $N_1=1900 \text{ кг/м}^3$;

толщина слоя $N_2=0,22$ м;

коэффициент теплопроводности слоя

$N_2=0,06 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°K)}$;

удельная изохорная теплоемкость слоя

$N_2=1122 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°K)}$;

плотность слоя $N_2=840 \text{ кг/м}^3$;

толщина слоя $N_3=0,05$ м;

коэффициент теплопроводности слоя

$N_3=58 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°K)}$;

удельная изохорная теплоемкость слоя

$N_3=482 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°K)}$;

плотность слоя $N_3=7850 \text{ кг/м}^3$.

Граничная температура стационарного процесса.

Левая гр.: 997 ; 1-й–2-й слой: $965,92$; 2-й–3-й слой:

$56,57$; правая гр.: $56,35$.

Распределение температуры: 1-й слой (шаг $0,026$ м):

$t(0)=996,01$; $t(0,03)=991,88$; $t(0,05)=987,75$;

$t(0,08)=983,63$; $t(0,1)=979,52$; $t(0,13)=975,42$;

$t(0,16)=971,33$; $t(0,18)=967,25$; $t(0,21)=963,19$;

$t(0,24)=959,15$; $t(0,26)=955,14$.

Распределение температуры: 2-й слой (шаг $0,022$ м):

$t(0)=955,14$; $t(0,02)=838,67$; $t(0,04)=725,45$;

$t(0,07)=617,44$; $t(0,09)=516,13$; $t(0,11)=422,43$;

$t(0,13)=336,54$; $t(0,16)=258$; $t(0,18)=185,7$;

$t(0,2)=118$; $t(0,22)=52,86$.

Распределение температуры: 3-й слой (шаг $0,005$):

$t(0,00)=52,86$; $t(0,01)=52,85$; $t(0,01)=52,83$;

$t(0,02)=52,82$; $t(0,02)=52,8$; $t(0,03)=52,78$;

$t(0,03)=52,772$; $t(0,04)=52,75$; $t(0,04)=52,74$;

$t(0,05)=52,72$; $t(0,05)=52,71$.

Примечания:

– результаты получены как для стационарного (установившегося), так и для нестационарного процесса теплопереноса в ограждающей конструкции доменной печи, расположенного в самой широкой ее части (распар);

– исходные данные задачи приняты по studbooks.net/1454913/tovarovedenie/raschet_razmerov_futerovki. Результаты решения для стационарного процесса практически совпадают, однако расчет по предлагаемой методике позволяет рассматривать распределение температуры при нестационарных процессах и в любой момент времени.

Результаты расчета для задачи рис. 3.

Начальные и граничные условия.

Коэффициент теплообмена внутренней среды $87 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°K)}$;

температура внутренней среды $t=1000^\circ\text{C}$;

коэффициент теплообмена внешней среды $23 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°K)}$;

температура внешней среды $t=45^\circ\text{C}$;

температура слоев начальная $t=25^\circ\text{C}$;

время нагрева = 2 сут;

толщина слоя $N_1=0,26$ м;

коэффициент теплопроводности слоя

$N_1=0,68 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°K)}$;

удельная изохорная теплоемкость слоя

$N_1=287 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°K)}$;

плотность слоя $N_1=1900 \text{ кг/м}^3$;

толщина слоя $N_2=0,16$ м;

коэффициент теплопроводности слоя

$N_2=0,68 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°K)}$;

удельная изохорная теплоемкость слоя

$N_2=4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°K)}$;

плотность слоя $N_2=1000 \text{ кг/м}^3$;

толщина слоя $N_3=0,05$ м;
 коэффициент теплопроводности слоя
 $N_3=58$ Вт/(м·°K);
 удельная изохорная теплоемкость слоя
 $N_3=482$ Дж/(кг·°K);
 плотность слоя $N_3=7850$ кг/м³.

Граничная температура стационарного процесса.
 Левая гр.: 973,24; 1-й–2-й слои: 696; 2-й–3-й слои:
 148,23; правая гр.: 146,22.

Распределение температуры: 1-й слой (шаг 0,026 м):
 $t(0,00)=972,3$; $t(0,03)=943,61$; $t(0,05)=914,92$;
 $t(0,08)=886,24$; $t(0,10)=857,58$; $t(0,13)=828,93$;
 $t(0,16)=800,3$; $t(0,18)=771,7$; $t(0,21)=743,13$;
 $t(0,24)=714,59$; $t(0,26)=686,08$.

Распределение температуры: 2-й слой (шаг 0,016 м):
 $t(0)=686,08$; $t(0,02)=629,95$; $t(0,03)=574,21$;
 $t(0,05)=518,90$; $t(0,06)=464,02$; $t(0,08)=409,59$;
 $t(0,1)=355,59$; $t(0,11)=302$; $t(0,13)=248,77$;
 $t(0,14)=195,85$; $t(0,16)=143,18$.

Распределение температуры: 3-й слой (шаг 0,005 м):
 $t(0)=143,18$; $t(0,01)=142,99$; $t(0,01)=142,8$;
 $t(0,02)=142,61$; $t(0,02)=142,41$; $t(0,03)=142,22$;
 $t(0,03)=142,03$; $t(0,04)=141,84$; $t(0,04)=141,65$;
 $t(0,05)=141,46$; $t(0,05)=141,26$.

Если увеличить толщину охлаждающего слоя до
 320 мм, то граничная температура стационарного
 процесса: левая гр.: 982,99; 1-й–2-й слои: 806,81;
 2–3 слои: 110,6; правая гр.: 109,32.

Если увеличить толщину охлаждающего слоя до
 480 мм, то граничная температура стационарного
 процесса: левая гр.: 987,1; 1-й–2-й слои: 853,39;
 2-й–3-й слои: 60,92; правая гр.: 59,95.

Если увеличить толщину охлаждающего слоя до
 640 мм, то граничная температура стационарного
 процесса: левая гр.: 989,87; 1-й–2-й слои: 884,9;
 2-й–3-й слои: 55,35; правая гр.: 54,59.

Список литературы

- Ибрагимов А.М., Липенина А.В. Проектирование конструкции стенки доменной печи из эффективных материалов. Часть 1. Постановка задачи и предпосылки расчета // *Строительные материалы*. 2018. № 3. С. 70–74. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-757-3-70-74>
- Ибрагимов А.М., Липенина А.В., Гнедина Л.Ю. Проектирование конструкции стенки доменной печи из эффективных материалов. Часть 2. Решение краевых задач теплопереноса // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 73–76. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-759-5-73-76>
- Федосов С.В., Ибрагимов А.М., Гнедина Л.Ю. Проектирование конструкции стенки доменной печи из эффективных материалов. Часть 3. Математическая модель процесса теплопереноса // *Строительные материалы*. 2018. № 12. С. 71–75. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-71-75>
- Федосов С.В. Аналитическое описание теплового переноса в процессе сушки дисперсных материалов при наличии термодиффузии и внутреннего

Для наглядности результаты сведены в таблицу.

Толщина 2-го слоя, мм	Граничная температура стационарного процесса, °С			
	Левая граница	Стык 1-го–2-го слоев	Стык 2-го–3-го слоев	Правая граница
160	973,2	696	148,2	146,2
320	983	806,8	110,6	109,3
480	987,1	853,4	60,9	59,9
640	989,8	884,9	55,3	54,6

Выводы

Анализ данных таблицы позволяет заключить, что чем толще (мощнее) охлаждающий слой:

– тем более равномерно прогревается футеровка (слой 2);

– тем меньше температурные напряжения в материале футеровочного слоя, вызываемые неравномерным нагревом, а это увеличивает срок службы футеровки;

– меньше теплопотери;

– ниже температура на внешней поверхности кожуха (слой 3), что соответствует санитарным нормам и исключает возникновение ожоговых травм у обслуживающего персонала.

Экономический анализ авторами не проводился, однако представляется целесообразным увеличение единовременных затрат на устройство холодильника (слой 2) и тем самым снижение эксплуатационных расходов, связанных с ремонтом футеровочного слоя.

Полученные результаты коррелируются с результатами, полученными другими авторами. Это позволяет заключить, что новая предлагаемая математическая модель решает задачи рационального проектирования ограждающей конструкции, а также моделирует ситуации, возникающие на любом временном интервале эксплуатации ограждения доменной печи.

References

- Ibragimov A.M., Lipenina A.V. Design of the blast furnace wall structure made of efficient materials. Part 1. Statement of a problem and calculation prerequisites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 3, pp. 70–74. DOI: <http://10.31659/0585-430X-2018-757-3-70-74> (In Russian).
- Ibragimov A.M., Lipenina A.V., Gnedina L.Yu. Design of the blast furnace wall structure made of efficient materials. Part 2. Solution of boundary problems of heat transfer. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 73–76. DOI: <https://doi.org/doi.org/10.31659/0585-430X-2018-759-5-73-76> (In Russian).
- Fedosov S.V., Ibragimov A.M., Gnedina L.Yu. Design of the blast furnace wall structure made of efficient materials. Part 3. Mathematical model of heat transfer process. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 12, pp. 71–75. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-71-75> (In Russian).
- Fedosov S.V. Analytical description of heat and moisture transport in the process of drying dispersed materials in the presence of thermal diffusion and internal

- испарения влаги // *Журнал прикладной химии*. 1986. Т. 59. № 3. С. 2033–2038.
5. Федосов С.В., Кисельников В.Н. Теплообмен в сферической частице при конвективной сушке во взвешенном состоянии // *Известия вузов. Химия и химическая технология*. 1985. Т. 28. № 2. С. 14–15.
 6. Федосов С.В., Зайцев В.А., Шмелев А.Л. Расчет температурных полей в цилиндрическом реакторе с неравномерно распределенным источником теплоты. *Состояние и перспективы развития электро-технологии. Тезисы докладов всесоюзной научно-технической конференции*. Иваново. 1987. С. 28.
 7. Федосов С.В., Кисельников В.Н., Шертаев Т.У. Применение методов теории теплопроводности для моделирования процессов конвективной сушки. Алма-Ата: Гылым, 1992. 168 с.
 8. Федосов С.В., Гнедина Л.Ю. Нестационарный теплообмен в многослойной ограждающей конструкции. *Проблемы строительной теплофизики систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях: Сборник докладов IV научно-практической конференции*. 27–29 апреля 1999. Москва, НИИСФ. С. 343–348.
 9. Чизильский Э. Вентилируемые конструкции наружных стен // *Жилищное строительство*. 1996. № 10. С. 25–27.
 10. Шмелев А.Л., Федосов С.В., Зайцев В.А., Сокольский А.И., Кисельников В.Н. Моделирование нестационарного теплообмена в реакторе гидролиза цианосодержащих полимеров. Ивановский химико-технологический институт. Черкасы, 1988. 10 с. Деп. в НИИТЭХИМ. N1076–XII88.
 11. Шмелев А.Л. Непрерывный способ получения водорастворимых полимеров на основе полиакрилонитрила с высоким содержанием основного вещества. Дис. ... канд. техн. наук. Иваново, 1998.
 12. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория переноса энергии и вещества. Минск: Изд. АН БССР, 1959. 330 с.
 13. Федосов С.В., Ибрагимов А.М., Гнедина Л.Ю., Гушин А.В. Математическая модель нестационарного теплообмена в многослойной ограждающей конструкции. *Доклады XII российско-польского семинара «Теоретические основы строительства»*. Варшава, 2003. С. 253–261.
 14. Большакова Н.В. Энерго- и ресурсосбережение в высокотемпературных печах с фальшкоужом // *Известия МГТУ (МАМИ)*. 2013. № 3 (17). Т. 2. С. 79–85.
 15. Чудновский А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. М.: Физматгиз, 1962. 456 с.
 16. Федосов С.В., Ибрагимов А.М., Гнедина Л.Ю., Игнатьев С.А. Расчет толщины теплоизоляционного (среднего) слоя трехслойных стеновых панелей (стена 2). Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 4977. Государственный координаторский центр информационных технологий. Отраслевой фонд алгоритмов и программ. М., 2005.
- evaporation of moisture. *Zhurnal prikladnoy khimii*. 1986. Vol. 59. No. 3, pp. 2033–2038. (In Russian).
5. Fedosov S.V., Kisel'nikov V.N. Heat transfer in a spherical particle with convective drying in a suspended state. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*. 1985. Vol. 28. No. 2, pp. 14–15. (In Russian).
 6. Fedosov S.V., Zaitsev V.A., Shmelev A.L. Calculation of temperature fields in a cylindrical reactor with an unevenly distributed heat source. *The state and prospects for the development of electrical technology. Abstracts of reports of the all-Union scientific and technical conference*. Ivanovo. 1987, p. 28. (In Russian).
 7. Fedosov S.V., Kisel'nikov V.N., Shertayev T.U. Primeneniye metodov teorii teploprovodnosti dlya modelirovaniya protsessov konvektivnoy sushki [Application of the methods of the theory of heat conductivity for modeling the processes of convective drying]. Alma-Ata: Gylym. 1992. 168 p.
 8. Fedosov S.V., Gnedina L.Yu. Non-stationary heat transfer in a multilayered enclosing structure. *Problems of construction thermophysics of microclimate and energy-saving systems in buildings: Collection of reports of IV scientific-practical conference*. Moscow. April 27–29, 1999, pp. 343–348. (In Russian).
 9. Chizil'skiy E. Ventilated structures of external walls. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 1996. No. 10, pp. 25–27. (In Russian).
 10. Shmelev A.L., Fedosov S.V., Zaitsev V.A., Sokol'skiy A.I., Kisel'nikov V.N. Modelirovanie nestatsionarnogo teploperenosa v reaktore gidroliza tsiansoderzhashchikh polimerov [Modeling of non-stationary heat transfer in the reactor of hydrolysis of cyanide-containing polymers]. Ivanovo Chemical Technology Institute. 1988. Dep. In the NIITEKhim. N1076–XII88.
 11. Shmelev A.L. A continuous method for producing watersoluble polymers based on polyacrylonitrile with a high content of the basic substance. Cand. Diss. (Engineering). Ivanovo. 1998. (In Russian).
 12. Lykov A.V., Mikhaylov Yu.A. Teoriya perenosa energii i veshchestva [Theory of energy and matter transfer]. Minsk: AN BSSR Publishing. 1959. 330 p.
 13. Fedosov S.V., Ibragimov A.M., Gnedina L.Yu., Gushchin A.V. Mathematical model of non-stationary heat transfer in a multilayered enclosing structure. *Reports of the XII Russian-Polish seminar "Theoretical Foundations of Construction"*. Warsaw: 2003, pp. 253–261. (In Russian).
 14. Bol'shakova N.V. Energy and resource saving in high-temperature furnaces with a false casing. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2013. No. 3 (17). Vol. 2, pp. 79–85. (In Russian).
 15. Chudnovsky A.F. Teplofizicheskiye kharakteristiki dispersnykh materialov. [Thermophysical characteristics of dispersed materials]. Moscow: Fizmatgiz. 1962. 456 p.
 16. Fedosov S.V., Ibragimov A.M., Gnedina L.Yu., Ignatiev S.A. Calculation of the thickness of the heat-insulating (middle) layer of three-layer wall panels (wall 2). Certificate of industry registration of development No. 4977. State Coordinating Center for Information Technologies. Industry fund of algorithms and programs. Moscow. 2005. (In Russian).



Грозненскому государственному нефтяному техническому университету исполнилось 100 лет!

The Grozny State Oil Technical University Celebrates its 100th Anniversary!

По приглашению нашего давнего партнера – Грозненского государственного нефтяного технического университета и лично ректора, д-ра техн. наук Магомеда Шаваловича Минцаева, мы имели честь побывать в столице Чеченской Республики городе Грозном и принять участие в торжествах, посвященных 100-летию университета.

Судьба ГГНТУ неотделима от судьбы Чеченской Республики и ее народа. И в годы благополучия, и в лихолетье он был главной кузницей кадров для одной из важнейших отраслей экономики – нефтегазовой. Многие выпускники Грозненского нефтяного института снискали мировое признание, среди них академик, вице-президент АН СССР М.Д. Миллионщиков, академик АН СССР А.А. Дородницын и другие известные ученые. Министры нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности СССР В.С. Федоров и академик РАН С.Н. Хаджиев, министры нефтяной промышленности Н.А. Мальцев и Л.Д. Чурилов также выпускники ГНИ.

В ГГНТУ чтут память своих выпускников – Героев Советского Союза Ш.С. Абрамова, В.Н. Гайдукова, В.Т. Малиновского, Р.Б. Сулейманова, М.Я. Узуева, С.Г. Чепелюка и многих других, удостоенных высоких боевых наград за проявленную храбрость на фронтах Великой Отечественной войны.

Практически полностью разрушенный во время последней войны и воссозданный при активной поддержке первого Президента Чеченской Республики, Героя России Ахмат-Хаджи Абдулхамидовича Кадырова и Главы Чеченской Республики, Героя России Рамзана Ахматовича Кадырова сегодняшний ГГНТУ – храм науки с самыми современными научными и учебными лабораториями, высококвалифицированным профессорско-преподавательским составом, ведущим подготовку специалистов по важнейшим для экономики республики и страны направлениям.

Помним о прошлом

Грозненский нефтяной институт создавался буквально на дымящихся руинах, оставленных на Кавказе гражданской войной. На западе, севере и востоке еще гроыхали сражения, а в Грозном начали восстанавливать нефтяные промыслы. К 1920 г. из 831 скважины, пригодной к эксплуатации, действовало 80, а из шести нефтеперегонных заводов не работал ни один. Кроме того, покидая Грозный, владельцы промыслов и заводов уничтожили и увезли с собой всю геологическую и технологическую документацию.

Катастрофически не хватало профессиональных кадров, ведь в начале прошлого века в нефтяной отрасли в Грозном работали в основном иностранные специалисты и инженеры. После революции большинство из них покинули страну.

Организацией нового учебного заведения занимался отдел технических курсов при Центральном нефтяном управлении (ЦНУ), и вечером 1 августа 1920 г. 265 человек сели за парты Грозненского нефтяного техникума. Почему вечером? Первыми студентами были работники нефтезаводов и промыслов, которые имели возможность учиться только после работы.





Учиться было сложно, не было специальных лабораторий, учебного химического оборудования, даже библиотеку ученики собирали сами по брошенным домам бывших инженеров, оставивших, уезжая из Советской России, книги и бесценную техническую литературу.

В техникуме было создано восемь средних отделений, на которых готовили техников, и два высших отделения для подготовки инженеров по горно-нефтяной и нефтехимической специальностям. Обучение самым тесным образом пересекалось с производством – в преподавании участвовали лучшие специалисты нефтяных предприятий.

Решение о преобразовании Грозненского нефтяного техникума в Нефтяной практический институт было принято 19 апреля 1922 г. Так началась история вуза, имя которого стало синонимом качества подготовки специалистов и авторитетности научных разработок.

Его особенностью стала неразрывная связь науки и практики – близость вуза к заводам и промыслам позволяла студентам видеть и понимать будущую профессию, получать вместе с необходимыми знаниями бесценный опыт. Многие из первых выпускников вуза практически сразу оказывались на ключевых должностях, становясь технической элитой, которой предстояло сформировать облик молодой советской промышленности.

Для Грозного Нефтяной практический институт стал настоящим центром научно-технической мысли, например техническая библиотека включала более 5 тыс. томов научной литературы, создавались лаборатории и тематические кабинеты, приобретались новые приборы и учебные пособия. В 1924 г. были выделены средства на строительство собственного трехэтажного учебно-лабораторного корпуса института.

В 1929 г. в Нефтяном институте было два факультета: горно-промысловый и нефтехимический. Затем год от года происходило расширение специальностей подготовки.

В первые же месяцы Великой Отечественной войны большинство студентов и некоторые преподаватели были призваны или ушли добровольцами на фронт, в институте остались в основном девушки. Занятия в институте не прерывались до осени 1942 г., когда институт получил приказ эвакуироваться в узбекский город Коканд. В сентябре 1942-го пульмановские вагоны и теплушки двинулись на восток. А пока институт был в пути, немецкие самолеты бомбили город. Грозный горел – ночью было светло, как днем...

После окончания войны трудовой подвиг Грозненского нефтяного института был высоко оценен советским правительством – 27 ноября 1945 г. институт был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

В послевоенные годы начался стремительный рост. В институте создавались собственные научные школы, его преподаватели становились авторами фундаментальных трудов в области нефтегазовой геологии и газовых скважин, нефтепереработки и нефтехимии, теплофизики, строительства. Институт получил всесоюзную известность, а в 1960–1980 гг. авторитет Грозненского нефтяного безоговорочно признали не только в СССР, но и за рубежом. К середине 1980-х гг. потенциал института позволял вести подготовку практически по всем специальностям технологического цикла нефтегазового производства.

В 1973 г. Грозненскому нефтяному было присвоено имя его выдающегося выпускника – Михаила Дмитриевича Миллионщикова, Героя Социалистического Труда, академика и вице-президента Академии наук СССР.

Верилось, что все испытания остались в прошлом. Однако наступили 1990-е, и в Чеченскую Республику снова пришла война. Период с 1991 по 2000 г. стал для Грозненского нефтяного самым драматическим периодом, перед которым иной раз меркли даже лишения Великой Отечественной войны.

Во время боевых действий в Грозном были уничтожены учебные корпуса, научные лаборатории, общежития. Казалось, что уже ничего не вернуть. Но руководство Чеченской Республики взяло курс на восстановление по всем направлениям – была поставлена цель не только заново отстроить разрушенные города, но и вдохнуть в них полноценную духовную, культурную и научную жизнь. Грозненскому нефтяному предстояло снова стать одним из центров этой жизни, постепенно возвращая себе звание одного из ведущих вузов страны.

Думаем о настоящем

Усилиями первого Президента Чеченской Республики Ахмат-Хаджи Кадырова и продолжателя его дела, нынешнего Главы республики Рамзана Ахматовича Кадырова с помощью Министерства образования и науки РФ цель возрождения Грозненского нефтяного как центра научно-технической мысли была достигнута. Большая заслуга в восстановлении и развитии вуза принадлежит всему коллективу и Хасану

Элимсултановичу Таймасханову, возглавившему вуз в 2008 г. Заслуженной победой возрожденного вуза стало присвоение ему в феврале 2011 г. статуса университета – с этого времени он носит название Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова.

В сентябре 2018 г. пост ректора занял молодой талантливый ученый, опытный организатор научно-образовательного процесса д-р техн. наук Магомед Шавалович Минцаев.

Впервые в истории вузов Чеченской Республики Грозненский нефтяной выиграл 14 грантов на проведение научно-исследовательских работ в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России». Более того, он стал одним из трех вузов Северо-Кавказского округа, выигравших крупный грант по развитию инновационной структуры вуза.

Грозненский государственный нефтяной технический университет давно перестал быть исключительно отраслевым вузом, молодые люди получают востребованные в современном мире специальности: электропривод и автоматика, государственное муниципальное управление, налоги и налогообложение, автомобили и автомобильное хозяйство, таможенное дело, геодезия и земельный кадастр, строительство уникальных зданий и сооружений и др.

Студенты и преподаватели с уважением и гордостью говорят «наш нефтяной» – так, как могли бы сказать «наш дом»...

Моделируем будущее

Торжественные мероприятия, посвященные 100-летию Грозненского государственного нефтяного технического университета, включали ряд важных событий для будущего вуза.

В открытии мемориальной доски на историческом здании университета в честь академика М.Д. Миллионщикова принял участие его внук, тоже крупный ученый, доктор физ.-мат. наук Дмитрий Владимирович Миллионщиков.

Затем гости посетили Мемориальный комплекс Славы имени А.-Х.А. Кадырова и Национальный музей Чеченской Республики.

Торжественное мероприятие состоялось во Дворце культуры имени Дагуна Омаева. В нем приняли участие Глава Чеченской Республики Р.А. Кадыров, министр науки и высшего образования РФ В.Н. Фальков и президент РАН А.М. Сергеев, коллеги из вузов минерально-сырьевого комплекса, представители нефтегазодобывающих компаний.

Глава Чеченской Республики Р.А. Кадыров передал ректору ГГНТУ М.Ш. Минцаеву для музея университета утраченный в период военных действий орден Трудового Красного Знамени 1945 г.

Также были вручены различные награды Чеченской Республики и Министерства науки и высшего образования лучшим преподавателям вуза.

Министр науки и высшего образования РФ В.Н. Фальков в своем выступлении отметил, что Грозненский университет является одним из лучших вузов страны, выпускники которого в разные годы своим трудом и делами доказали, что получили достойное образование.

Благодаря правильной позиции руководства республики в последние десятилетия уделяется огромное внимание развитию образования, науки и культуры. Есть прекрасная материально-техническая база, студенты отправляются на стажировки, сюда приезжают исследователи и преподаватели из других регионов.

Буквально перед началом торжественного заседания Глава Чеченской Республики Р.А. Кадыров и президент РАН А.М. Сергеев подписали соглашение о сотрудничестве. По словам А.М. Сергеева, это открывает большие возможности для развития научно-технологической сферы России. Ведь университет в 1995 г. оказался в центре военных событий и сильно пострадал: преподаватели разъехались, студентов не было, инфраструктура разрушена. Поэтому фактически, несмотря на то что отмечается 100-летие, это совсем новый университет.

Также высокие гости ознакомились со студенческими проектами, реализуемыми на площадке парка высоких технологий HighPark, и посетили Центр профессионального обучения, созданный на базе университета при участии НК «Роснефть».

Богатые традиции и уникальный опыт поколений, мудрость и знания ветеранов органически сочетаются с талантом молодых и креативных специалистов. Это сотрудничество дает возможность реализовывать инновационные и амбициозные проекты и стать научным и интеллектуальным центром мирового уровня, где успешно сочетаются образовательный процесс и научно-исследовательская деятельность.

Поздравляем коллег Грозненского государственного нефтяного технического университета со знаменательной датой – 100-летием вуза. Желаем успехов и процветания. Пусть все сбудется!



Институт строительства, архитектуры и дизайна ГГНТУ

Institute of Construction, Architecture and Design of Grozny State Oil University



Реликвия строительного факультета. Учебник, простреленный, но чудом выживший в огне последней войны. Приходя в библиотеку института, каждый первокурсник считает честью поддержать ее в руках



На кафедре «Строительные конструкции» с директором ИСАиД канд. техн. наук С.А. Алиевым (справа) и заведующим кафедрой, д-ром техн. наук Х.Н. Мажиевым



Руководитель НТЦ КП «Современные строительные материалы и технологии», канд. техн. наук М.Ш. Саламанова показывает образцы материалов, разработанных на основе промышленных отходов



Доцент кафедры «Архитектура», член Союза художников России, Ф.Х. Даудова демонстрирует работы студентов



Сотрудники НТЦ КП «Современные строительные материалы и технологии»



С преподавателями кафедры «Архитектура»

Важной задачей поездки в Чеченскую Республику на празднование 100-летия Грозненского государственного нефтяного технического университета для редакции была встреча с сотрудниками Института строительства, архитектуры и дизайна. Благодаря совместной работе с членом редакционного совета, д-ром техн. наук, профессором Сайд-Альви Юсуповичем Муртазаевым у нас сложились прочные творческие отношения с коллегами, и конечно, хотелось познакомиться лично.

Подготовка инженерных кадров по строительным специальностям в Грозненском нефтяном институте началась с 1950 г., когда на нефтемеханическом факультете было открыто строительное отделение. В 1957 г. на базе отделения был создан строительный факультет, который функционировал 62 года и в 2019 г. был преобразован в Институт строительства, архитектуры и дизайна (ИСАиД). Возглавляет институт канд. техн. наук, доцент С.А. Алиев.

В настоящее время в состав института входит пять выпускающих кафедр (технология строительного производства; строительные конструкции; экспертиза, управление недвижимостью и теплогазоснабжение; геодезия и земельный кадастр; архитектура и дизайн), осуществляющих подготовку высококвалифицированных специалистов по всем направлениям строительного цикла. На штатной основе в институте работают 52 преподавателя, из них 9 докторов наук, 11 профессоров, 26 кандидатов наук и доцентов.

После реорганизации строительного отделения нефтемеханического факультета в обособленный факультет была образована кафедра «Промышленное и гражданское строительство». С 1957 по 1972 г. кафедрой заведовал проф. З.С. Беркович.

В 1973 г. из ее состава выделилась кафедра «Строительное производство», первым заведующим которого стал известный ученый в области строительного производства и материаловедения, д-р техн. наук, профессор Г.А. Айрапетов.

В 2005 г. кафедры «Строительное производство» и «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» были реорганизованы путем слияния в кафедру «Технология строительного производства». До настоящего времени ею заведует д-р техн. наук, профессор С.-А.Ю. Муртазаев.

В разные годы на кафедре работали известные преподаватели: Г.А. Айрапетов, Б.И. Черный, В.В. Меркун, И.Я. Харченко, А.И. Панченко, Л.Л. Аксенова, Г.В. Несветаев, Н.С. Курносина, Р.Х. Марзаганов, Д.К.-С. Батаев, А.В. Коллеганов, М.М. Малороев и др.

Кафедра «Строительные конструкции» основана в 1960 г. и изначально называлась «Инженерные конструкции». Первым заведующим кафедрой был канд. техн. наук Б.И. Черный.

С 1996 г. кафедрой заведует заслуженный деятель науки Чеченской Республики, почетный работник высшего профессионального образования РФ, почетный строитель Юга России и Северного Кавказа, д-р техн. наук, профессор Х.Н. Мажиев.

Разработки кафедры широко использовались при строительстве многих объектов жилищного, гражданского и промышленного назначения.

Сегодня кафедра располагает самыми современными лицензионными программными средствами по проектированию и расчету зданий и сооружений. Преподаватели прошли обучение на курсах пользователей этими программными средствами в ведущих научно-исследовательских и проектных организациях страны.

Кафедра «Архитектура» была создана в 1993 г. Со дня основания кафедрой руководит доцент Ш.А. Насуханов – первый в республике кандидат архитектуры.

У истоков формирования кафедры стояли такие педагоги, как старшие преподаватели Х.К. Махмудова – выпускница художественно-графического отделения ЧИГПИ, Д.Б. Багаев – выпускник кафедры архитектуры Волгоградского инженерно-строительного института. Из двадцати двух преподавателей девять являются членами Союза архитекторов РФ. Доцент кафедры Ф.Х. Даудова – член Союза художников России, заслуженный художник Чеченской Республики.

Основные научные направления кафедры составляют градостроительные вопросы расселения городов и других населенных пунктов, а также архитектурно-планировочной организации территории городов, проектирования жилых и общественных зданий и реставрации памятников истории и культуры Чеченской Республики. С помощью BIM технологий разрабатываются проекты в рамках курсового и дипломного проектирования.

Кроме того, на базе института функционируют исследовательские центры, среди них НТЦ КП «Современные строительные материалы и технологии».

«Гордость мусульман» — самая большая мечеть в Европе

«Pride of Muslims» — the Largest Mosque in Europe

Город Шали находится всего в 36 км южнее Грозного; как и большинство населенных пунктов Чеченской Республики, он имеет долгую и трудную историю. Считается, что селение на реке Джалка появилось еще в XIV в. Однако известно, что на месте современного Шали находилось древнее городище, предположительно еще с I века до н. э.

Сейчас Шали известен во всем мире благодаря прежде всего самой большой мечети в Европе, открытой 23 августа 2019 г., — мечети «Гордость мусульман» пророка Мухаммеда. Благодаря этой достопримечательности в городе день от дня увеличивается поток туристов и паломников. И конечно, гостеприимные хозяева не могли не привезти сюда участников празднования 100-летия Грозненского государственного нефтяного технического университета.

Сказать, что мечеть в Шали самая большая в Европе, самая красивая, самая величественная, — это ничего не сказать. Она ослепительна в прямом и переносном смысле.

Авторский коллектив, проектировавший мечеть, возглавлял известный узбекский архитектор Абдукахар Турдиев. Жемчужина исламской архитектуры — мечеть Пророка Мухаммеда — гармонично сочетает элементы арабского, персидского, среднеазиатского и византийского стилей. Ее вместимость около 30 тыс. человек, а с учетом прилегающей территории одновременно могут возносить молитву Всевышнему более 100 тыс. верующих.

Строительство мечети было начато в декабре 2012 г., торжественное открытие состоялось 23 августа 2019 г., в день рождения Ахмат-Хаджи Абдулхамидовича Кадырова, безмерно почитаемого в Чеченской Республике.

Мечеть обрамляет парк с двенадцатью фонтанами, где высажено более 2 тыс. деревьев двадцати разновидностей, 145 тыс. кустарников и цветов, из которых 18 тыс. роз.

Поскольку приглашение на торжества мы получили как редакция журнала «Строительные материалы» по представлению строительного института ГГНТУ и лично Сайд-Альви Юсуповича Муртазаева, проректора по стратегическому развитию и инвестиционной деятельности, члена редакционного совета, уместно будет сказать несколько слов о конструкциях и материалах, использованных при строительстве мечети.

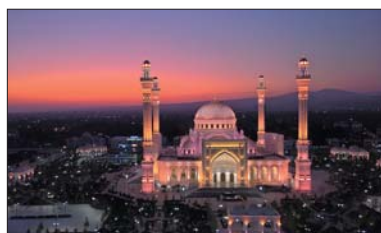
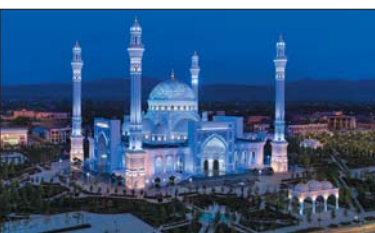
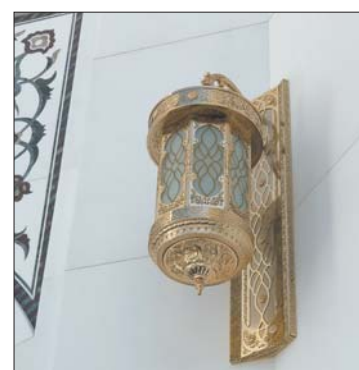
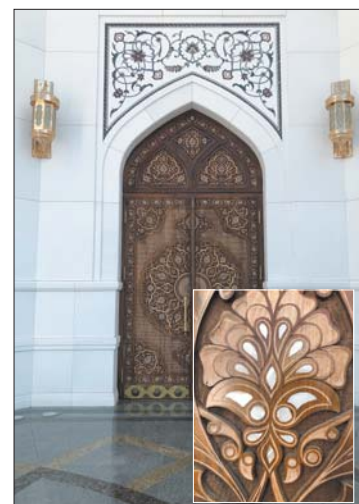
Основание мечети представляет собой монолитную железобетонную плиту площадью 1000 м². Основной объем двухэтажный с цокольным этажом. По углам здания расположены четыре отдельно стоящих минарета высотой 63 м. На восьми несущих 12-метровых колоннах, соединенных железобетонными арками, установлен шестиметровый железобетонный барабан диаметром 24 м. На него установлен центральный купол из металлоконструкций, общая высота которого составляет 41 м. В перекрытии главного молельного зала также участвуют еще четыре полукупола и четыре малых купола.

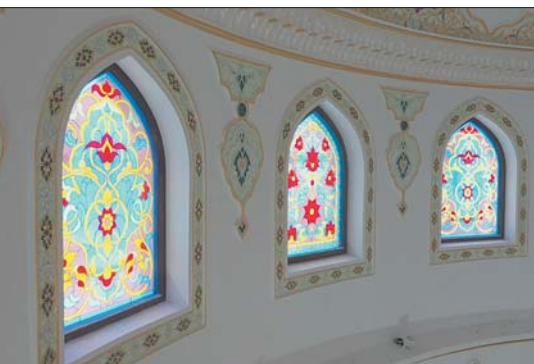
С внутренней стороны купол окрашен гипсовым подвесным потолком, богато отделанным золотом и цветной росписью. Сверху купол покрыт тепло- и гидроизоляционными материалами, покрытие — стеклокомпозит, здесь он впервые применен в кровельных работах. У основания с внешней стороны купол украшен национальным чеченским орнаментом, покрытым сусальным золотом. Венчает главный купол шестиметровый позолоченный полумесяц.

Для отделки мечети было использовано более 6,5 тыс. т белоснежного мрамора с греческого острова Тасос, расположенного в северной части Эгейского моря. Структура этого камня такова, что, преломляя и отражая солнечный свет, он сияет ослепительной белизной. При отделке внешних и внутренних стен мечети мраморными плитами применяли так называемый сухой монтаж, когда элементы подгоняются настолько точно, что стыков практически не видно и создается впечатление цельного полотна.

Пол молельного зала украшает лазоревый, как небо, ковер площадью 8 тыс. м² с плотностью плетения более 1,2 млн узлов на квадратный метр, выполненный турецкими мастерами из шерсти новозеландских овец.

Зал освещают 403 люстры и светильника, на создание которых ушло около 2 млн кристаллов Swarovsky. Металлические части люстр цельнолитые. Они сделаны из латуни и покрыты золотом высшей





пробы. Общий вес люстр составляет около 18 т, а число светодиодных ламп в люстрах и светильниках достигает 400 тыс. Металлические детали всех люстр украшены чеченским национальным орнаментом.

Большая люстра, расположенная в основном куполе мечети, напоминает тюльпан. Ее нежные лепестки обращены вверх, острие каждого из них украшено арабской вязью. По задумке авторов, форма люстры напоминает руки, возведенные в молитве к небу. Отсюда и название главной люстры мечети – Два, что означает молитва. Диаметр большой люстры составляет более 5 м, а высота почти 8 м, масса – 2,5 т.

Двустворчатые двери ручной работы вмонтированы в три портала. Каждая дверь весит 300 кг, высота 5 м, ширина около 3 м. Двери выполнены из массива ореха и дуба, инкрустированы латуной и перламутром. Нижняя часть отделана узорчатым латунным литьем. Причудливый рисунок, нанесенный резчиками по дереву, превратил поверхность дверей в художественное полотно, на котором расцветает и тянется удивительное по красоте растение. Кувшин, из которого оно растет, богато украшен орнаментом. По задумке узбекского художника, кувшин – это олицетворение ислама, а ветви растения символизируют науку, благоденствие, развитие всего человечества. Двери Шалинской мечети изготовлены в Узбекистане и по стилю и исполнению напоминают входные группы знаменитых мавзолеев Бухары и Самарканда.

Разноцветные витражные окна мечети создают иллюзию удивительной легкости и воздушности всего сооружения. Лучи солнца заставляют цветное стекло сиять таинственным и ярким нежным светом. Мечеть украшена 106 внешними окнами, расположенными ярусами. Основной купол венчает 24 витража высотой 2 м и шириной чуть более метра. 28 окон размещено вокруг полукуполов и еще 32 окна – в сферах малых куполов.

На первом этаже мечети расположены 32 внутренних витражных окна высотой 7,5 м. Витражи мечети представляют собой традиционный флористический орнамент, называемый в мусульманской архитектуре и живописи ислими. В сочетании с геометрическим узором гирих картины из стекла создают математически выверенный и в то же время высокохудожественный рисунок. Дизайн витражей для Шалинской мечети изготовлен по специальному заказу московскими мастерами.

Одним из элементов, придающих уникальность и неповторимый вид внутреннему убранству мечети «Гордость мусульман», является декоративная гипсовая лепнина. В общей сложности на отделку мечети было использовано около 200 т гипса. Купол украшен сложным геометрическим узором ироки – иракским мукарнасом, что переводится с арабского как сталактиты. По периметру круга купол украшен семидесятью двумя восьмиугольными звездами, венчает его 112-я сура Корана «Аль-Ихлас», написанная сусальным золотом на ярко-бордовом фоне.

Помимо основного купола и полукуполов, россыпью лепнины, украшенной позолотой и специальными красками на силиконовой основе, отделаны и сводчатые стены мечети. Мастера выбрали для этого растительный декор.

По периметру Шалинской мечети расположено четыре специальных места для совершения обряда омовения. Каждое рассчитано на несколько сотен человек, а одно из них даже оборудовано специальным лифтом и всеми другими необходимыми условиями для людей с ограниченными физическими возможностями. Места для омовения по своему дизайну органично вписались в общий архитектурный ансамбль.

Архитектурное освещение выполнено специалистами итальянской компании GRIVEN, на сайте которой подробно описан проект не только освещения, но и самой мечети (<http://griven-russia.com/object.php?id=281>). Следует отметить, что архитектурное освещение мечети само по себе является высоким искусством и предметом гордости. Часто гостей привозят в Шали именно в вечернее время.

Источник и объем финансирования строительства мечети «Гордость мусульман» Пророка Мухаммеда не является публичной информацией. Да это и не важно.

В одном из блогов, обсуждающих строительство мечети, встретилось очень верное высказывание: «Лучше собраться в мечети на молитву, чем в горах для войны».

А мечеть Пророка Мухаммеда так прекрасна, что вызывает только самые светлые мысли и возвышенные чувства.

Фото Е.И. Юмашевой
и с сайта <http://griven-russia.com>

В.В. СТРОКОВА, д-р техн. наук (vvstrokova@gmail.com),
 В.В. НЕЛЮБОВА, канд. техн. наук (nelubova@list.ru), М.Н. СИВАЛЬНЕВА, канд. техн. наук (549041@mail.ru),
 М.Д. РЫКУНОВА, инженер (аспирант) (tumashova93@mail.ru), Н.А. ШАПОВАЛОВ, д-р техн. наук
 Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46)

Устойчивость вяжущих систем различного состава к действию плесневых грибов

Динамичное развитие урбанизации способствует увеличению выбросов промышленных отходов, что является причиной нарушения экосистемного равновесия и приводит к развитию биологической коррозии строительных материалов, связанной с продуктами жизнедеятельности микроорганизмов. В связи с этим обуславливается необходимость оценки стойкости композитов для прогнозирования долговечности строительных конструкций в условиях биологического воздействия микроорганизмов. Исследовались вяжущие системы различного состава: бесцементные наноструктурированные вяжущие (НВ) на основе кварцевого песка и гранодиорита, гипс, портландцемент и глиноземистый цемент. Проведена оценка токсичности связующих путем биотестирования на живых организмах – ветвистоусых рачках *Daphnia Magna* – по критериям интенсивности их роста и жизнеспособности. В результате обоснована высокая экобезопасность НВ, представлено ранжирование изученных вяжущих по степени увеличения их токсичности к тест-объектам. Грибостойкость оценивали по способности роста и размножения на исследуемых образцах плесневых грибов. Установлено, что наиболее активными в плане освоения вяжущих оказались представители рода *Aspergillus*, интенсивность развития которых во всех вариантах не снижалась ниже 3 баллов. Особенно уязвимы оказались гипс и НВ, где степень обрастания неоднократно достигала 5 баллов. Даже изначально биостойкий цемент после процесса состаривания в разной степени терял свою устойчивость. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости повышения стойкости композитов различного назначения в условиях протекания биокоррозии на стадии проектирования и актуализации нормативных документов, включив испытания на грибостойкость в перечень обязательных.

Ключевые слова: вяжущие системы, биотестирование, токсичность, грибостойкость, фунгицидность.

Работа выполнена в рамках Стипендии Президента Российской Федерации СП-2116.2018.1.

Для цитирования: Строкова В.В., Нелюбова В.В., Сивальнева М.Н., Рыкунова М.Д., Шаповалов Н.А. Устойчивость вяжущих систем различного состава к действию плесневых грибов // *Строительные материалы*. 2020. № 11. С. 41–46. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-41-46>

V.V. STROKOVA, Doctor of Sciences (Engineering) (vvstrokova@gmail.com), V.V. NELUBOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (nelubova@list.ru), M.N. SIVAL'NEVA, Candidate of Sciences (Engineering) (549041@mail.ru), M.D. RYKUNOVA, Engineer (graduate student) (tumashova93@mail.ru), N.A. SHAPOVALOV, Doctor of Sciences (Engineering)
 Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46, Kostyukova Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

Resistance of Binding Systems of Various Compositions to the Action of Molds

The dynamic development of urbanization contributes to an increase in emissions of industrial waste, which is the cause dysfunction of the ecosystem balance and leads to the development of biological corrosion on building materials associated with the products of the vital activity of microorganisms. In this regard, it is necessary to assess the resistance of composites to predict the durability of building structures under conditions of biological influence of microorganisms. Binder systems of various compositions were studied: cementless nanostructured binders (NB) based on quartz sand and granodiorite, gypsum, Portland cement and alumina cement. The toxicity of binders was assessed by biotesting on living organisms – cladocerans *Daphnia Magna* – according to the criteria of the intensity of their growth and viability. As a result, the high environmental safety of NB is substantiated, and the ranking of the studied binders according to the degree of increase in their toxicity to test objects is presented. Fungal resistance was assessed by the ability of molds for growing and reproduction on the studied samples. It was found that the most active in terms of the development of binders were representatives of the genus *Aspergillus*, the intensity of growing of which in all variants did not decrease below 3 points. Gypsum and NB were especially vulnerable, where the degree of fouling repeatedly reached 5 points. Even the initially biostable cement, after the aging process, lost its stability at different extent. The obtained results indicate the need to increase the resistance of composites for various purposes under conditions of biocorrosion at the stage of design and updating of regulatory documents, including tests for fungal resistance in the list of mandatory.

Keywords: binding systems, biotesting, toxicity, fungal resistance, fungicidity.

The work was performed under the Scholarship of the President of the Russian Federation SP-2116.2018.1.

For citation: Strokov V.V., Nelyubova V.V., Sival'neva M.N., Rykunova M.D., Shapovalov N.A. Resistance of binding systems of various compositions to the action of molds. *Stroitel'nyye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 11, pp. 41–46. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-41-46>

Урбанизация и строительство новых объектов городской инфраструктуры влекут за собой активное развитие строительной отрасли и увеличение объемов производства, и, как следствие, увеличивается количество выбросов промышленных отходов.

Данная тенденция является причиной нарушения экосистемного равновесия, восстановить которое естественным образом не представляется возможным. К числу наиболее вредных воздействий на строительные материалы относится биологическая кор-

розия, связанная с продуктами жизнедеятельности микроорганизмов. Опасность данной коррозии исходит из того, что результатом ее действия является деградация всех структурных элементов здания независимо от условий их эксплуатации. К наиболее опасным микроорганизмам относят мицелиальные грибы, последствия процесса жизнедеятельности которых ведут к нарушению целостности микроструктуры материала, снижению эксплуатационного периода конструкций и сооружений, ухудшению эстетических свойств и развитию инфекционных заболеваний у человека. К настоящему времени накоплен существенный объем эмпирических данных по стойкости минеральных и органических вяжущих различного состава по отношению к основным агентам микробиологической коррозии [1–9]. Тем не менее вопросы защиты строительных конструкций и пролонгации их жизнеспособности в условиях воздействия биокоррозии все еще открыты.

Объектом изучения являлись наноструктурированные вяжущие (НВ) – продукты атермального синтеза широкого комплекса силикатных и алюмосиликатных пород природного и техногенного происхождения. В настоящее время коллективом ученых Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова разработаны и успешно апробированы технологии получения НВ на основе кварцевого песка, перлита, гранита, гранодиорита и предложены составы строительных композитов на их основе [10–13]. Данный компонент может применяться как в качестве основного вяжущего вещества, так и в качестве модификатора. Технология получения НВ заключается в измельчении материалов в мокрой среде при одностадийной или многостадийной загрузке в зависимости от применяемого сырья. Завершающей стадией механоактивации, как правило, является модифицирование системы комплексом добавок. Следует отметить, что данные вяжущие отличаются повышенной экологичностью и ранее уже была проведена оценка их фитотоксичности, которая показала низкую степень токсичности НВ по отношению к тест-культурам растительного происхождения вне зависимости от типа применяемого сырья. Это дает основание считать данные вяжущие и материалы на их основе биопозитивными и экологически безопасными по отношению к среде жизнедеятельности человека [14, 15].

Для проведения сравнительного анализа, помимо бесцементных наноструктурированных вяжущих на основе кварцевого песка (НВк) и гранодиорита (НВг), исследовались образцы портландцемента (ПЦ) и гипса (Г).

При комплексном изучении токсичности материалов проведено биотестирование на живых организмах. В качестве тест-объектов были выбраны представители животных – ветвистоусые рачки *Daphnia Magna*. Из анализируемых функций были выбраны следующие показатели: интенсивность роста и жизнеспособность (табл. 1). Биотестирование проводили

кратковременным методом в соответствии с ФР.1.39.2007.03222 «Биологические методы контроля. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний».

Минимальным воздействием характеризуется НВ на основе кварцевого песка: летальность особей в данном случае равна нулю независимо от степени разбавления начального раствора.

Сходные показатели демонстрирует НВ на основе гранодиорита: к концу теста летальность составляет около 30%, что в два раза меньше по сравнению, например, с гипсовым вяжущим. Разбавление раствора не меняет показателей летальности дафний в случае НВ на гранодиорите и снижает летальность до 50% в случае гипсового раствора.

Портландцемент характеризуется высокой степенью токсичности по отношению к живым организмам: независимо от степени разбавления полная летальность тест-объектов отмечается уже на вторые сутки.

В результате произведенной оценки биопозитивности вяжущих различного состава обоснована высокая экобезопасность наноструктурированных вяжущих, обусловленная использованием природного «чистого» сырья максимальной степени очистки без использования химических добавок-реактивов. Полученные фактические данные позволили проранжировать изученные вяжущие по степени увеличения их токсичности по отношению к тест-объектам животного происхождения в следующей последовательности: НВ_к→НВ_г→Гипс→ПЦ. Тем не менее все обозначенные в работе виды связующих могут быть использованы для возведения зданий и сооружений

Таблица 1
Table 1
Выживаемость тест-объектов (дафний) в зависимости от вида вяжущего и разбавления раствора
Survival rate of test objects (daphnia) depending on the type of binder and dilution of the solution

Вид вяжущего	Количество особей, выживших после экспозиции в растворе (ч), шт.				
	1	14	24	48	96
Разбавление 1/1					
Портландцемент	6	3	1	–	–
Гипс	6	5	4	3	2
НВ на основе кварцевого песка	6	6	6	6	6
НВ на основе гранодиорита	6	6	6	4	4
Разбавление 1/3					
Портландцемент	6	5	4	–	–
Гипс	6	6	6	5	3
НВ на основе кварцевого песка	6	6	6	6	6
НВ на основе гранодиорита	6	6	6	4	4

при обеспечении требуемых показателей экологической и биологической безопасности.

На следующем этапе проведена оценка устойчивости данных связующих по отношению к действию плесневых грибов как наиболее агрессивных микробиоценозов: в случае композиции деструкторов на поверхности конструкций именно грибы будут в большей степени способствовать быстрому разрушению материалов, поскольку их функционирование в объеме или на поверхности композитов связано не только с химическим воздействием, но и с механическим расклинивающим действием в поровом пространстве. В связи с этим предлагаемые к использованию вяжущие были проанализированы на предмет их грибостойкости и/или фунгицидности.

Оценку стойкости вяжущих по отношению к действию плесневых грибов оценивали по способности роста и размножения на их поверхности тест-культур, относящихся в том числе к видам микроорганизмов, заселяющих поверхности стен и полов помещений животноводческих комплексов и ферм Белгородской области, полученных ранее методом смывов в работе [16]. Идентифицированные в ходе исследований тест-культуры плесневых грибов были выделены в чистые культуры на плотных питательных средах, инкубированы соответствующим образом для сохранения спороношения. Остальные штаммы плесневых грибов были получены из лаборатории биохимии грибов Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН. Таким образом, в данной работе использовалось шесть штаммов грибов, а именно: *Aspergillus niger van Tieghem*; *Aspergillus terreus Thorn*; *Penicillium cyclopium Westlmg*; *Penicillium purpureum*; *Chaetomium globosum Kunze*; *Paecilomyces varioti Bainier*.

Испытание на грибостойкость вяжущих проводили в соответствии с методом 3 ГОСТ 9.048–89, суть

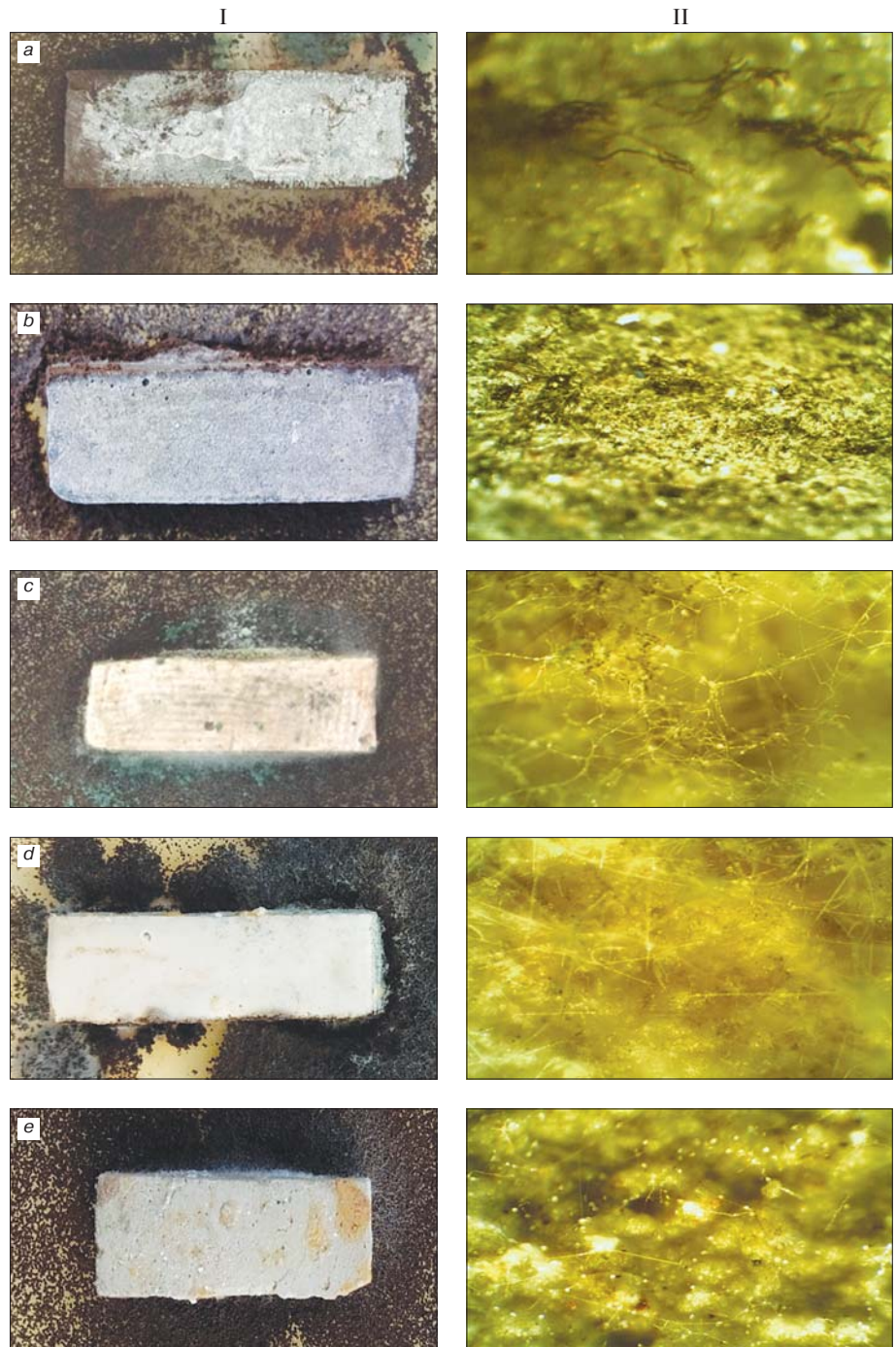


Рис. 1. Рост грибов *Aspergillus niger* на поверхности образцов камня различных вяжущих: I – общий вид; II – съемка микробиологическим микроскопом ($\times 60$ крат); а – портландцемент; б – глиноземистый цемент; в – гипс; д – НВ на основе кварца; е – НВ на основе гранодиорита

Fig. 1. Growth of *Aspergillus niger* fungi on the surface of stone samples of various binders: I – general view; II – imaging with a microbiological microscope ($\times 60$ times); а – Portland cement; б – alumina cement; в – gypsum; д – NB based on quartz; е – NB based on granodiorite

которого заключается в выявлении степени обрастания грибами поверхности модельных образцов вяжущих материалов, которую оценивали по пятибалльной шкале (0–5 баллов).

Для изучения грибостойкости вяжущих формовались образцы-балочки размером $1 \times 1 \times 3$ см. Суспензию спор грибов подготавливали в соответствии с ГОСТом. При проведении процедуры биотестирования в качестве твердой питательной среды

Таблица 2
Table 2

Интенсивность развития микроскопических грибов на поверхности вяжущих систем
Intensity of development of microscopic fungi on the surface of binding systems

Вяжущее	Обрастаемость, баллы					
	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus terreus</i>	<i>Penicillium cyclopium</i>	<i>Penicillium purpureu</i>	<i>Paecilomyces variotii</i>	<i>Chaetomium globosum</i>
ПЦ	4	3	2	3	2	2
ГЦ	4	4	4	3	3	3
Гипс	5	5	4	5	4	5
НВ _к	3	5	4	2	3	3
НВ _г	3	4	3	2	4	3

была использована среда Чапека–Докса, которую в количестве 15 мл помещали в стерилизованные чашки Петри. В качестве контроля выступали чашки Петри с высевными спорами без исследуемых материалов.

Согласно предварительным данным, использование свежих образцов цементного камня (возраст 28 сут) для проведения исследований не дает результатов: по окончании времени экспозиции на поверхности материалов не было замечено существенных изменений, а также невозможно идентифицировать мицелий грибов под микроскопом. В этой связи для исключения влияния щелочности материалов, обеспечивающей их временную биостойкость на начальных этапах эксплуатации, образцы были искусственно состарены с помощью экстрактора Сокслета. Данная методика, заключающаяся в вымывании с поверхности и объема образцов водорастворимых щелочных соединений, производилась по ГОСТ Р 56782–2015 «Композиты полимерные. Препреги. Определение содержания компонентов препрега экстракцией по Сокслету» с целью минимизации их воздействия в части формирования временного фунгистатического эффекта материалов в процессе роста культур грибов.

При исследовании на грибостойкость к исследуемым системам был добавлен глиноземистый цемент (ГЦ), оценку биопозитивности которого в работе не производили, что связано со спецификой его применения: глиноземистый цемент используется преимущественно в подземных и морских объектах, требующих высокой сульфатостойкости. Многолетним опытом его применения доказана низкая токсичность по отношению к объектам окружающей среды.

Все виды тестируемых вяжущих веществ продемонстрировали свою неустойчивость к воздействию большинства используемых микроскопических грибов (табл. 2).

Наиболее активными в плане освоения вяжущих оказались представители рода *Aspergillus*, интенсивность развития которых во всех вариантах не снижалась ниже 3 баллов (см. рисунок). Особенно уязвимы к такой биологической атаке гипсовые и наноструктурированные вяжущие, где степень обрастания неоднократно достигала 5 баллов. Даже изначально биостойкий цемент в разной степени терял свою

устойчивость после вымывания значительной части щелочного компонента: степень обрастания варьировала от 0 до 4 баллов. Тем не менее визуальная оценка интенсивности роста грибов показала некоторые различия.

Согласно полученным данным, искусственное состаривание образцов цементного камня способствует его освоению некоторыми микроскопическими грибами. На поверхности материала заметно развитие только гриба *Aspergillus niger* (интенсивность развития – 4 балла). Однако отсутствует явное разрастание грибов *Chaetomium globosum*, *Paecilomyces variotii* и *Penicillium cyclopium*. Интенсивность развития *Penicillium purpureum* и *Aspergillus terreus* составила 3 балла (мицелий и споры не видны невооруженным глазом, но четко просматриваются под микроскопом).

С одной стороны, пористая структура цементного камня способствует вовлечению микроорганизмов в коррозионные процессы, с другой – щелочность среды препятствует ее освоению грибами. Вероятно, в вариантах, где наблюдалось отсутствие роста, имела место остаточная щелочность, препятствующая развитию грибов. Однако, как показали результаты, длительная отмывка цементных образцов сделала их более уязвимыми к воздействию грибов рода *Aspergillus* и *Penicillium*.

Именно для этих грибов характерно накопление различных органических кислот в процессе метаболизма (уксусной, лимонной, молочной, глюконовой, муравьиной и др.). Данные кислоты нейтрализуют среду и, взаимодействуя с силикатами цементного камня, образуют растворимые комплексные соединения, вымываемые в процессе их эксплуатации, способствуя деградации конструкции в целом.

В отличие от портландцемента глиноземистый цемент получают из шлака (расплава) или клинкера, содержащего преимущественно низкоосновные алюминаты кальция. Пористость глиноземистого камня в 1,5 раза меньше пористости портландцементного. Такие цементы характеризуются высокой водонепроницаемостью, морозостойкостью, жаростойкостью, устойчивостью к сульфатной коррозии, но подвергаются коррозии в щелочной среде.

В связи с представленной характеристикой цемента, ориентированной в целом на устойчивость матери-

ала к процессам коррозии, результаты биотестирования представляются несколько противоречивыми, так как микроскопические исследования свидетельствовали о развитии мицелия всех используемых грибов на поверхности изделий. Ввиду большого объема графического материала для примера приводятся данные только для *Aspergillus niger* как наиболее агрессивной культуры с максимальной степенью деградационного эффекта (рис. 1). Невооруженным глазом выявлен интенсивный рост грибов рода *Aspergillus* (интенсивность развития гриба 4 балла), а также *Penicillium cyclopium*, тогда как рост *Chaetomium globosum*, *Penicillium purpureum* и *Paecilomyces variotii* на поверхности образцов был едва заметен и соответствовал 3 баллам. Предположительно причиной явилось наличие загрязнений на поверхности образцов, обеспечившее развитие грибов на стадии освоения материалов.

В случае гипсового камня даже невооруженным глазом заметен рост всех используемых грибов на поверхности в виде отдельных и слившихся колоний с хорошо развитым воздушным мицелием, местами спорообразующим. В данном случае интенсивность развития грибов родов *Aspergillus* и *Penicillium* не менее 4 баллов (4–5 баллов), так же как и *Chaetomium globosum* и *Paecilomyces variotii*.

Как известно, коррозионное разрушение гипсового камня обусловлено возникновением растягивающего напряжения в стенках пор материала за счет образования органических солей кальция, являющихся продуктами взаимодействия метаболитов грибов (органических кислот) с сульфатом кальция. Пористая структура гипса и его низкая плотность способствуют равномерному распределению метаболитов грибов по всему объему изделия. Процессу освоения поверхности гипса грибами способствует значение pH поровой жидкости в интервале pH=6–8, что определяет низкую грибостойкость таких вяжущих, так как способствует интенсивному протеканию химических реакций.

Список литературы

1. Ерофеев В.Т., Родин А.И., Сураева Е.Н., Богатов А.Д., Казначеев С.В. Бицидный портландцемент // *Строительство и реконструкция*. 2016. № 1 (63). С. 83–90.
2. Сураева Е.Н., Ерофеев В.Т., Королев Е.В. Исследование биостойких сухих строительных смесей, модифицированных нанотрубками углерода // *Вестник МГСУ*. 2015. № 4. С. 104–114.
3. Ерофеев В.Т., Казначеев С.В., Богатов А.Д., Спирин В.А., Светлов Д.А., Богатова С.Н. Исследование стойкости цементных композитов, модифицированных бицидными препаратами на основе гуанидина, в модельной среде мицелиальных грибов // *Интернет-Вестник ВолгГАСУ*. 2012. Вып. 1 (20). С. 31.
4. Строганов В.Ф., Сагадеев Е.В. Биоповреждение строительных материалов // *Строительные материалы*. 2015. № 5. С. 5–9.

Обоснованная биопозитивность наноструктурированных вяжущих различного состава имеет обратную сторону, так как с учетом реальных загрязнений среды наблюдается биодеградация материалов и веществ. Подтверждением этого оказались результаты биотестирования двух видов НВ с использованием кварца и гранодиорита. Реакция микроскопических грибов на новый материал неоднозначна. Как видно, степень развития на поверхности НВ силикатного состава грибов одних видов достаточно высока и оценивается в 4–5 баллов для *Penicillium cyclopium* и *Aspergillus terreus* соответственно, а для других видов тех же родов – ниже: *Aspergillus niger* и *Penicillium purpureum* – в 3 и 2 балла соответственно. Интенсивность роста гриба *Paecilomyces variotii* соответствовала по окончании эксперимента 3 баллам.

Алюмосиликатное НВ также оказалось неустойчивым к действию микроскопических грибов: во всех случаях отмечался рост культур. Интенсивность роста *Aspergillus terreus* и *Paecilomyces variotii* соответствовала 4 баллам; *Aspergillus niger*, *Penicillium cyclopium*, *Chaetomium globosum* – 3 баллам, *Penicillium purpureum* – 2 баллам.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о необходимости повышения стойкости композитов различного назначения в условиях протекания биокоррозии на стадии проектирования, основным способом которого является применение биоактивных препаратов.

Принимая во внимание увеличение числа новых строительных материалов на отечественном и зарубежном рынке, а также учитывая данные специалистов-микологов относительно увеличения количества заболеваний, вызванных микроскопическими грибами, считаем необходимым актуализировать нормативные документы и включить испытания строительных материалов и конструкций, вводимых в эксплуатацию, на грибостойкость в перечень обязательных.

References

1. Erofeev V.T., Rodin A.I., Suraeva E.N., Bogatov A.D., Kaznacheev S.V. Biocidal portland cement. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2016. No. 1 (63), pp. 83–90. (In Russian).
2. Suraeva E.N., Erofeev V.T., Korolev E.V. Investigation of bioresistant dry building mixes modified by carbon nanotubes. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 4, pp. 104–114. (In Russian).
3. Erofeev V.T., Kaznacheev S.V., Bogatov A.D., Spirin V.A., Svetlov D.A., Bogatova S.N. Research of the concrete composites resistance modified by guanidine based biocidal preparations in the model environment of filamentous fungi. *Internet-Vestnik VolgGASU*. 2012. Iss. 1 (20), pp. 31. (In Russian).
4. Stroganov V.F., Sagadeev E.V. Biodamage building materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 5, pp. 5–9. (In Russian).

5. Строганов В.Ф., Сагадеев Е.В., Бойчук В.А., Стоянов О.В., Мухаметова А.М. Полимерные защитные покрытия от биокоррозии // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. Т. 17. № 18. С. 149–154.
6. Залепкина С.А., Смирнов В.Ф., Борисов А.В., Мацулевич Ж.В., Смирнова О.Н., Артемьева М.М. Бактерицидная и фунгицидная активность Se(S), N-содержащих соединений и их влияние на скорость роста микромицетов – деструкторов промышленных материалов // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 10. С. 25–30.
7. Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Строкова В.В. Оценка биопозитивности геополлимерных вяжущих на основе низкокальциевой золы-уноса // *Строительные материалы*. 2012. № 9. С. 84–85.
8. Гришина А.Н., Королев Е.В. Химический состав биоцидного модификатора на силикатной основе // *Вестник МГСУ*. 2016. № 11. С. 58–67. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.11.59-67.
9. Гришина А.Н., Королев Е.В. Прочность гипсового камня, содержащего биоцидный модификатор // *Евразийский Союз Ученых (ЕСУ)*. 2016. № 30. С. 21–24.
10. Сивальнева М.Н., Нелубова В.В., Кобзев В.А. Эволюция бесцементных наноструктурированных вяжущих различной топогенетической принадлежности // *Строительство и техногенная безопасность*. 2019. № 14 (66). С. 73–83.
11. Жерновский И.В., Осадчая М.С., Череватова А.В., Строкова В.В. Алюмосиликатное наноструктурированное вяжущее на основе гранитного сырья // *Строительные материалы*. 2014. № 1–2. С. 38–41.
12. Череватова А.В., Жерновская И.В., Алехин Д.А., Кожухова М.И., Кожухова Н.И., Яковлев Е.А. Теоретические аспекты создания композиционного наноструктурированного гипсового вяжущего повышенной жаростойкости // *Строительные материалы и изделия*. 2019. Т. 2. № 4. С. 5–13.
13. Кобзев В.А., Сивальнева М.Н., Нелубова В.В. Высококонцентрированная алюмосиликатная вяжущая суспензия из гранодиорита // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2018. № 1. С. 12–18. DOI: 10.12737/article_5a5dbd2cae9c28.43666650.
14. Strokov V.V., Nelubova V.V., Sivalneva M.N., Kobzev V.A. Phytotoxicity analysis of different compositions of nanostructured binder // *Key Engineering Materials*. 2017. Vol. 761, pp. 189. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.761.189.
15. Строкова В.В., Нелубова В.В., Рыкунова М.Д., Данакин Д.Н. Токсичность связующих как элемента городской экосистемы // *Строительство и техногенная безопасность*. 2018. № 12 (64). С. 167–178.
16. Strokov V.V., Goncharova E.N., Nelubova V.V., Rykunova M.D. Biocoenosis of construction objects of live stockbreeding complexes with due account for industrial profile // *Advances in Engineering Research*. 2018. Vol. 151, pp. 601–605. DOI: <https://doi.org/10.2991/agrosmart-18.2018.112>.
5. Stroganov V.F., Sagadeev E.V., Boichuk V.A., Stoyanov O.V., Moukhametova A.M. Polymer protective coatings against biocorrosion. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2014. Vol. 17. No. 18, pp. 149–154. (In Russian).
6. Zalepkina S.A., Smirnov V.F., Borisov A.V., Matsulevich Z.V., Smirnova O.N., Artemeva M.M. Bactericidal and fungicidal activities of Se(S), N-containing heterocyclic compounds and their influence on growth rate of micromycete – industrial material decomposers. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2015. No. 10, pp. 25–30. (In Russian).
7. Kozhukhova N.I., Zhernovskii I.V., Strokova V.V. Assessment of the bio-positivity of geopolymer binders based on low-calcium fly ash. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2012. No. 9, pp. 84–85. (In Russian).
8. Grishina A.N., Korolev E.V. Chemical composition of silica-based biocidal modifier. *Vestnik MGSU*. 2016. No. 11, pp. 58–67. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.11.59-67 (In Russian).
9. Grishina A.N., Korolev E.V. Strength of gypsum stone containing biocidal modifier. *Evrasiiskii Soyuz Uchenykh (ESU)*. 2016. No. 30, pp. 21–24. (In Russian).
10. Sivalneva M.N., Nelubova V.V., Kobzev V.A. Evolution of zero-cement nanostructured binders of different topogenetic belonging. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2019. No. 14 (66), pp. 73–83. (In Russian).
11. Zhernovskii I.V., Osadchaya M.S., Cherevatova A.V., Strokova V.V. Aluminosilicate nanostructured binder based on granite raw materials. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2014. No. 1–2, pp. 38–41. (In Russian).
12. Cherevatova A.V., Zhernovskaya I.V., Alehin D.A., Kozhukhova M.I., Kozhukhova N.I., Yakovlev E.A. Theoretical aspects of development of composite nanostructured gypsum binder characterized by increased heat resistance. *Stroitel'nye materialy i izdeliya*. 2019. Vol. 2. No. 4, pp. 5–13. (In Russian).
13. Kobzev V.A., Sivalneva M.N., Nelubova V.V. highly-concentrated aluminosilicate binder suspension from granodiorite. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2018. No. 1, pp. 12–18. DOI: 10.12737/article_5a5dbd2cae9c28.43666650 (In Russian).
14. Strokov V.V., Nelubova V.V., Sivalneva M.N., Kobzev V.A. Phytotoxicity analysis of different compositions of nanostructured binder. *Key Engineering Materials*. 2017. Vol. 761, pp. 189. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.761.189
15. Strokov V.V., Nelyubova V.V., Rykunova M.D., Danakin D.N. Toxicity of binders as an element of the urban ecosystems. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2018. No. 12 (64), pp. 167–178. (In Russian).
16. Strokov V.V., Goncharova E.N., Nelubova V.V., Rykunova M.D. Biocoenosis of construction objects of live stockbreeding complexes with due account for industrial profile. *Advances in Engineering Research*. 2018. Vol. 151, pp. 601–605. DOI: <https://doi.org/10.2991/agrosmart-18.2018.112>.

УДК 691:332.142.6

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-47-53>

А.В. ДЕРБЕНЕВ, инженер (a.derbenev@ciscenter.org),
 Д.М. ВАДИВАСОВ, инженер-эколог (d.vadivasov@ciscenter.org)

Ассоциация «Некоммерческое партнерство «Координационно-информационный центр государств-участников СНГ по сближению регуляторных практик» (Ассоциация «НП КИЦ СНГ») (115093, г. Москва, ул. Люсиновская, 36, стр. 1)

Экологическая и климатическая декларации как инструменты экспорта российских строительных материалов

Защита окружающей среды, вопросы изменения климата, охрана биоразнообразия планеты становятся первоочередными задачами в современном обществе. Природоохранные соглашения при всей своей значимости и необходимости, в том числе для достижения целей устойчивого развития, налагают на продукцию и производителей этой продукции дополнительные ограничения. Эти ограничения могут быть использованы странами для формирования барьеров при импорте строительных материалов. Страны, ратифицировавшие природоохранные соглашения, тем или иным образом могут ограничивать импорт продукции, не соответствующей экологическим требованиям или критериям. Описаны международные инструменты экологического менеджмента, в частности экологические и климатические декларации, которые могут выступать инструментами для решения проблемы возможных ограничений и барьеров при экспорте строительных материалов, произведенных в Российской Федерации.

Ключевые слова: строительные материалы, экспорт, импорт, экология, энергоэффективность, ресурсоэффективность, природоохранные соглашения, экологическая декларация, климатическая декларация, жизненный цикл.

Для цитирования: Дербенев А.В., Вадивасов Д.М. Экологическая и климатическая декларации как инструменты экспорта российских строительных материалов // *Строительные материалы*. 2020. № 11. С. 47–53.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-47-53>

A.V. DERBENEV, Engineer (a.derbenev@ciscenter.org), D.M. VADIVASOV, Engineer-Ecologist (d.vadivasov@ciscenter.org)
 Association "Non-profit Partnership "Coordination and Information Center of the CIS Member States on the Convergence of Regulatory Practices" (Association "NP KITS SNG") (36, bldg. 1, Lyusinovskaya Street, Moscow, 115093, Russian Federation)

Environmental and Climate Declarations as Tools for Exporting Russian Construction Materials

Environmental protection, climate change, and the protection of the planet's biodiversity are becoming top priorities in modern society. Environmental agreements, while important and necessary, including for achieving sustainable development goals, impose additional restrictions on products and producers of these products. These restrictions can be used by countries to create barriers to the import of construction materials. Countries that have ratified environmental agreements may restrict the import of products that do not meet environmental requirements or criteria in one way or another. International environmental management tools are described, in particular environmental and climate declarations, which can serve as tools for solving the problem of possible restrictions and barriers in the export of construction materials produced in the Russian Federation.

Keywords: construction materials, export, import, ecology, energy efficiency, resource efficiency, environmental agreements, environmental declaration, climate declaration, life cycle.

For citation: Derbenev A.V., Vadivasov D.M. Environmental and climate declarations as tools for exporting russian construction materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 11, pp. 47–53. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-47-53>

В настоящее время мировым трендом является ориентация общества и компаний на стратегию устойчивого развития, предполагающую в том числе производство товаров и услуг, оказывающих минимальное воздействие на окружающую среду и человека. Это отражено в целях Стратегического подхода к международному регулированию химических веществ (<https://www.who.int/ipcs/saicm/saicm/ru>) и Целях устойчивого развития ООН (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/>).

На рынках, в частности внешних, востребованы строительные материалы, которые оказывают меньшее воздействие на окружающую среду, могут быть переработаны и может быть осуществлено управление продукцией на каждом этапе жизненного цикла. Многие компании в мире сталкиваются с необходимостью внедрения новых подходов при обращении и управлении продукцией, способствующих повышению энергоэффективности, ресурсоэффективности

и технологическим прорывам в промышленности, а также созданию благоприятных условий для бизнеса.

Страны Европы, ориентирующиеся на экологически чистое и экономически устойчивое будущее, находятся на финальной стадии разработки законодательства для последующего получения объективной и достоверной информации об экологических характеристиках используемой на своей территории продукции [1–3]. Так, например, правительственные учреждения Швеции намереваются ввести требование об обязательном наличии климатической декларации на строительные материалы, используемые при строительстве зданий. Данное требование вступит в силу 1 января 2022 г. на территории всех стран Северной Европы, и впоследствии охват законодательства будет расширяться. Для реализации мер, необходимых для достижения этого эффективным и действенным образом, Национальный совет по жилищному строительству и планированию будет полу-

чать по 10 млн шведских крон в год до 2022 г. (<https://www.government.se/press-releases/2019/09/climate-declaration-when-constructing-buildings/>).

Климатическая декларация описывает выбросы парниковых газов, выраженные в эквиваленте CO₂, в течение жизненного цикла продукта. Этот показатель часто называют «углеродным следом». Он основан на результатах, полученных в ходе оценки жизненного цикла продукции в рамках разработки *экологической декларации* в соответствии с ISO 14025. На данный момент в Российской Федерации существует единственное представительство шведской системы The International EPD System, регистрирующей экологические декларации. Получить экологическую декларацию и разработать на ее основе климатическую можно уже сейчас (https://ciscenter.org/news/novye_trebovaniya_dlya_eksporta_stroitelnykh_materialov/).

Министр финансовых рынков и жилищного строительства Швеции П. Болунд считает, что любому человеку, вкладывающему средства в строительство дома, должно быть легко узнать, какое влияние на климат оказал процесс строительства. Климатические декларации — это действенный способ предоставить индивидуальным, государственным покупателям и другим заинтересованным сторонам больше информации, а также принести пользу тем, кто инвестирует в устойчивые решения в строительной отрасли.

По данным Национального совета по жилищному хозяйству, строительству и планированию Швеции, на строительный сектор приходится около 20% национальных выбросов парниковых газов. Поэтому правительство реализует долгосрочные инициативы по снижению воздействия строительного сектора на климат. Декларации о климате являются частью сдвига в сторону уменьшения воздействия зданий на климат с точки зрения жизненного цикла. В июне 2019 г. правительство Швеции поручило Национальному совету начать подготовительную работу для содействия введению требований к климатическим декларациям и представить четкий план дальнейшей разработки климатических деклараций. План призван представить отрасли долгосрочные правила и варианты планирования для перехода к устойчивому строительству. В долгосрочной перспективе можно будет использовать климатические декларации для установления минимальных требований, основанных на перспективе жизненного цикла.

Целью введения требований к отчетности в виде климатических деклараций является содействие переходу к более устойчивому строительству с меньшим воздействием на климат. Чтобы снизить порог для введения этого требования и создать надлежащие условия для его выполнения соответствующими участниками, необходимо принять определенные меры. К ним относятся разработка национальной базы данных, содержащей климатические данные, и принятие мер по продвижению тщательно продуманных спецификаций требований с точки зрения жизненного цикла.

Известно, что основным сегментом экспорта строительных материалов в РФ является категория, включающая множество минералов, экспорт стекла, изделий из камня, гипса, цемента, хризотилового асбеста, слюды или аналогичных материалов, керамических строительных изделий — самые существенные сегменты экспорта российской строительной продукции (<https://russian-trade.com/reports-and-reviews/2020-02/vneshnyaya-torgovlya-rossii-v-2019-godu/>). Отметим, что страны Северной Европы уже не один год занимают первые строчки топ-20 стран — экспортеров строительной продукции из России. Поиск инструментов экологического менеджмента, способных подготовить российских производителей строительных материалов к новым международным требованиям экспорта, является серьезной и актуальной задачей.

Инструменты экологического менеджмента

Для того чтобы приступить к выбору и описанию различных инструментов экологического менеджмента, реализованных на практике, был проведен анализ теоретического материала и международных рекомендаций.

Системы экологической сертификации/маркировки продукции в соответствии со стандартами ISO серии 14020 классифицируются по следующим типам, которые характеризуются следующими принципами:

- тип I (ISO 14024:2000) — экологический сертификат: добровольная, основанная на разнообразных критериях программа третьей стороны, в рамках которой выдаются лицензии, разрешающие использование экологической маркировки товаров с указанием общей экологической предпочтительности товара внутри конкретной категории, основываясь на особенностях его жизненного цикла (ГОСТ Р ИСО 14024—2000 «Этикетки и декларации экологические. Экологическая маркировка типа I. Принципы и процедуры»);
- тип II (ISO 14021:2000) — самодекларируемое производителем экологическое заявление: информационные экологические свойства продукции присваиваются производителем самостоятельно (ГОСТ Р ИСО 14021—2000 «Этикетки и декларации экологические. Самодекларируемые экологические заявления (экологическая маркировка по типу II)»);
- тип III (ISO 14025:2012) — экологические и климатические декларации: добровольные программы, предоставляющие количественные экологические данные о товаре согласно заданным категориям параметров, установленных квалифицированной третьей стороной на основе оценки жизненного цикла продукции, достоверность которых проверяется квалифицированной третьей стороной (ГОСТ Р ИСО 14025—2012 «Экологические декларации типа III. Принципы и процедуры»).

Основываясь на принципах поиска инструмента для поддержки экспорта российских строительных материалов, а также на поставленной при написании данной статьи задаче, в ходе анализа существующих систем сертификации продукции и экологической маркировки мы

Критерии оценки	Экологическая маркировка типа I (ГОСТ Р ИСО 14024–2000)	Экологическая маркировка типа III (ГОСТ Р ИСО 14025–2012)
Исходные данные	Критерии определяются заранее независимой организацией-эмитентом. Заявитель предоставляет документацию, подтверждающую соответствие производителя установленным критериям	Критерии идентичны и универсальны. Основой является оценка жизненного цикла, которая определяет «экологический след» продукта
Сопоставимость данных	Недостаточная сопоставимость, поскольку каждой организации-эмитенту разрешается определять свои собственные критерии и методы испытаний Из-за большого количества различных маркировок практически невозможно получить все сертификаты, доступные для одного продукта с целью сопоставления данных	Хорошая сопоставимость данных, все декларации рассматриваются в одном разрезе
Выездные проверки	В зависимости от программы оценки могут также включать инспекции на месте, отбор проб и лабораторные испытания	Выездные проверки отсутствуют. Информация и способ ее отображения определяются заранее операторами программы, которые организуют независимую проверку информации о продукте до ее публикации
Применимость исследований ко всей товарной линейке	Необходимо исследовать каждый отдельно взятый вид продукции отдельными испытаниями. Если будет принято решение по конкретной этикетке, это может серьезно ограничить доступный ассортимент продукции даже на ранних этапах планирования	Применимость исследований продукции одного типа ко всей товарной линейке исследуемой продукции
Стоимость и сроки	Временные и денежные затраты гораздо выше предлагаемых III типом	Временные и денежные затраты значительно ниже предлагаемых I типом

Рис. 1. Сравнение систем экологической сертификации и маркировки продукции I и III типов
Fig. 1. Comparison of environmental certification and labeling systems type I and type III

не будем рассматривать системы, которые базируются на принципах самодекларирования соответствия без проведения независимой оценки соответствия третьей стороной. Поэтому системы, относящиеся ко II типу программ экологической маркировки, а также рекомендации стандарта ГОСТ Р ИСО 14021–2000 «Этикетки и декларации экологические. Самодекларируемые экологические заявления (экологическая маркировка по типу II)» по построению такого типа программ исключаются из данного анализа.

Для того чтобы приступить к выбору систем, проанализированы основополагающие международные стандарты и проведено сравнение их рекомендаций (рис. 1).

При сопоставлении основополагающих стандартов по I и III типам экомаркировки были сделаны следующие выводы:

- программы отличаются по распределению ответственности за заявленные данные, в I типе несет ответственность орган по сертификации, в III – сам заявитель;
- оба стандарта допускают рассмотрение не всех аспектов и не всех этапов с предоставлением обоснования;
- если исследовать вопрос о необходимости проведения испытаний в рамках подтверждения соответствия, то в I типе это обязательно, в III не обязательно (т. е. в I типе, если независимый верификатор считает, что предоставленных данных или подтверждающих материалов недостаточно, он может запросить проведение испытаний дополнительно);
- правила групп однородной продукции, в I типе согласно стандарту в правилах указывают значения и параметры (которые характеризуют то или иное воздействие), а также прописывают методы испытаний,

которыми подтверждается соответствие этим значениям, т. е. если продукция не соответствует необходимым диапазонам значений исследуемых параметров, придется улучшать эти характеристики продукции путем технических, технологических модернизаций процесса производства; в III типе попадания в регламентированный системой определенный диапазон значений не требуется, необходимо просто отразить значение, характеризующее экологическое воздействие, которое реально относится к продукции.

Таким образом, по очевидным причинам, связанным с сопоставимостью результатов (рис. 1), минимальной нагрузкой на российскую промышленность, а также, последними веяниями в свете новых европейских требований обязательного наличия климатических деклараций на строительные материалы, наиболее релевантным, но не менее эффективным инструментом поддержки экспорта является именно III тип: экологические и климатические декларации в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО 14025–2012 «Экологические декларации типа III. Принципы и процедуры».

Экологические и климатические декларации

Экологические и климатические декларации, разработанные в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО 14025–2012 «Экологические декларации типа III. Принципы и процедуры», в современном обществе рассматриваются и используются производителями продукции как добровольный инструмент для повышения конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках. По своей сути это результаты одного и того же исследования, связанного с оценкой жизненного цикла продукции, только с различными расчетными показателями оценки воздей-

ствия продукции на окружающую среду и здоровье человека. Если климатическая декларация включает только данные о выбросах парниковых газов, выраженные в расчете потенциала глобального потепления, то экологическая декларация в дополнение к этому рассматривает также потенциалы эвтрофикации почвы, разрушения озонового слоя, использование возобновляемых и невозобновляемых источников энергии и многое другое. Так или иначе, исследовательской основой каждого из этих инструментов является исследование, связанное с проведением оценки жизненного цикла продукции (ОЖЦ) [4].

Выбор данных, необходимых для включения в исследование по оценке жизненного цикла продукции, обосновывается историческими целями проведения таких исследований. Оценка жизненного цикла (ОЖЦ) в первую очередь направлена на максимально полную оценку воздействия всех этапов жизненного цикла продукции на окружающую среду и здоровье человека. В связи с этим в рамках исследования проводится комплексный анализ всех этапов жизненного цикла продукции: добыча сырья, его транспортировка, переработка, процессы производства исследуемой продукции и транспортировка этой продукции, ее использование, превращение в отход или вторичный продукт и его окончательное размещение в окружающей среде или утилизация, на предмет ресурс- и энергопотребления, типичных и нетипичных выбросов, сбросов и образующихся отходов. Все потребляемые сырьевые и энергетические ресурсы, вспомогательные продукты и другие физические потоки относят к входным потокам. Образующиеся выбросы, сбросы, отходы, побочные продукты относят к выходным потокам. Важно понимать, что в конечном итоге оценка воздействия продукции на окружающую среду должна быть нормализована и рассчитана на функциональную единицу (1 м³; 1 м²; 1 шт. и т. д.), выбор которой должен обосновываться целями исследования и наиболее типичным способом применения готовой продукции. Например, для древесно-волоконистых или минераловатных теплоизоляционных плит функциональной единицей может быть 1 м² или 1 м³ готовой продукции.

За определением цели и области исследования, а также проведением инвентаризационного анализа, т. е. анализа жизненного цикла на предмет количественного определения всех входных и выходных потоков, следует оценка воздействия жизненного цикла по категориям воздействия на окружающую среду. Для разных видов продукции, будь то строительные материалы, удобрения, пластики, химическая продукция и т. п., существуют свои категории воздействия на окружающую среду [5], Towards a methodology for life cycle impact assessment. Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1996. На рис. 2 схематично показан пример отнесения тех или иных видов воздействия на окружающую среду к определенным категориям воздействия на основе одного из руководств по ОЖЦ [6].

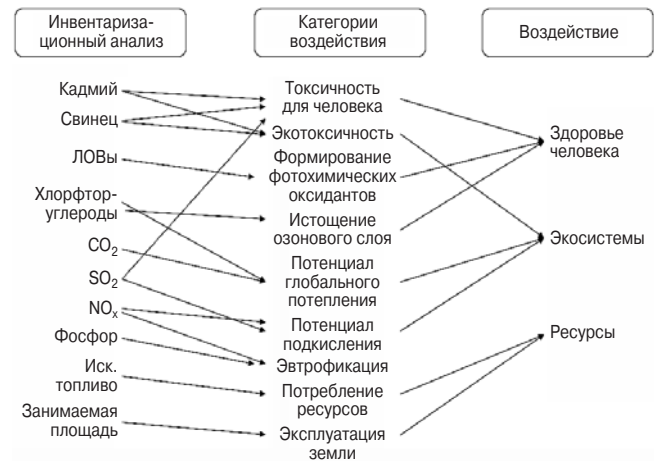


Рис. 2. Отнесение выходных потоков к определенным категориям воздействия

Fig. 2. Assigning output streams to specific impact categories

Категории воздействия для тех или иных групп товаров разработаны международными группами экспертов и закреплены в международных стандартах, регламентирующих проведение оценки воздействия товаров и услуг на окружающую среду, а также проведение оценки жизненного цикла и разработки экологических деклараций типа III в частности. Так, на сегодняшний день существует несколько стандартов по оценке «устойчивости» зданий и строительных материалов в контексте устойчивого развития, и в частности по проведению оценки жизненного цикла и формированию экологических деклараций III типа. Многие из них разработаны с учетом стандартов ISO серий 14040 и 14044 [7–10]. Основные стандарты следующие: EN 15978, Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation methods (Устойчивое развитие в строительстве. Оценка экологической эффективности зданий. Метод вычисления); EN 15804, Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products (Устойчивое развитие в строительстве. Экологическая декларация продукции. Правила категории продукции); EN 15643-1, Sustainability of construction works – Sustainability assessment of buildings – Part 1: General framework (Устойчивое развитие в строительстве. Часть 1. Основные принципы); EN 15643-2, Sustainability of construction works – Assessment of buildings – Part 2: Framework for the assessment of environmental performance (Устойчивое развитие в строительстве. Часть 2. Принципы оценки экологических показателей); EN 15942, Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Communication formats: business to business (Устойчивость строительных работ. Декларации об экологических характеристиках продукта. Формат связи бизнес-бизнес).

В каждой международной системе регистрации экологических деклараций III типа (EPD International systems) существуют свои стандарты – правила групп однородной продукции (PCR – product category

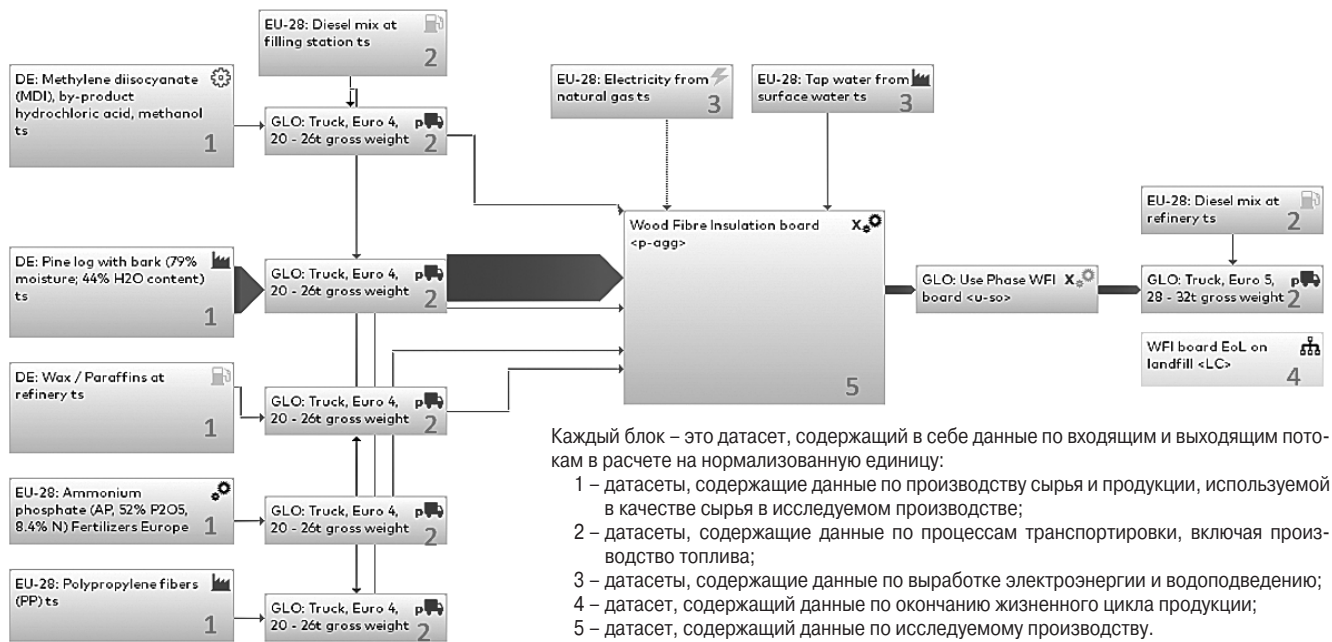


Рис. 3. Модель жизненного цикла, составленная в ПО "GaBi"
 Fig. 3. Life cycle model compiled in the "GaBi" software

rules), на основании которых должна разрабатываться любая экологическая декларация III типа. Такие стандарты, в свою очередь основанные на международных стандартах EN, например EN 15804 и др.), разрабатываются для каждой группы продукции по отдельности (EPD International: Product category rules (PCR), Construction products, version 1.0, 2019; General Programme Instructions for the International EPD® System EPD International, 2017; Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), Product Category Rules for Building-Related Products and Services, Part A: Calculation Rules for the Life Cycle Assessment and Requirements on the Project Report. Version 1.8, 2019; Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), Product Category Rules for Building-Related Products and Services, Part B: Wood based panels. Version 1.7. 2019).

Международный стандарт ISO 14040:2006 «Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework» (идентичный российский стандарт – ГОСТ Р ИСО 14040–2010 «Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура»), помимо описания принципов и структуры самой процедуры оценки жизненного цикла, в главе 6 содержит и рекомендации по тому, что должно быть включено в отчет и какая информация должна быть в нем отображена. Главным образом включение в отчет описания тех или иных стадий исследования, инвентаризационного анализа, методов отбора данных, методов оценки воздействия на окружающую среду и т. д. определяется целью исследования и предполагаемой аудиторией, которой планируется передать результаты исследования [11].

Общие принципы и требования, предъявляемые к документированию результатов учета экологических данных в течение жизненного цикла продукции или предприятия, прописаны в международном

стандарте ISO/TS 14048:2002 «Environmental management – Life cycle assessment – Data documentation format» (российский идентичный стандарт – ГОСТ Р ИСО/ТС 14048–2009 «Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Формат документирования данных»).

Формат отчета, в зависимости от целей исследования и конечной аудитории, которой будут переданы результаты исследования, может иметь свободную форму документирования данных и результатов исследования при условии, что соблюдены основные принципы и структура отчета согласно ГОСТ Р ИСО 14040. Некоторые международные системы EPD могут устанавливать свои требования к формату отчета и формату предоставления данных. Как правило, эти требования отображаются в одной из части стандартов правил групп однородной продукции – PCR.

Формат представления результатов воздействия жизненного цикла продукции непосредственно в экологических декларациях III типа также устанавливается международными стандартами и стандартами международных систем EPD. Важно отметить, что все количественные данные по воздействию на окружающую среду (количество выбросов, сбросов, образующихся отходов, энерго- и ресурсопотребление) отображаются в виде эквивалентов по категориям воздействия. Так, вклад продукции в потенциал глобального потепления обычно оценивают в кг CO₂ экв., эвтрофикации пресной воды – в кг PO₄ экв., абиотического истощения неископаемых ресурсов – в кг Sb экв. и т. д.

Полное исследование оценки воздействия жизненного цикла продукции, здания, услуги на окружающую среду – трудоемкий процесс. С развитием и появлением все большего количества исследований

PARAMETERS	UNIT	TOTAL A1-A3	A4	A5	TOTAL B1- B7	C1	C2	C3	C4	D*
1 Global warming potential (GWP)	kg CO ₂ eq.	0.77	0.0668	0.0914	0	0	0.00175	0	0.00927	-0.0389
2 Depletion potential of the stratospheric ozone layer (ODP)	kg CFC 11 eq.	8.01E-013	1.1E-017	1.84E-011	0	0	2.88E-019	0	9.38E-015	-4.9E-015
3 Acidification potential (AP)	kg SO ₂ eq.	0.00381	5.39E-005	8.9E-005	0	0	1.57E-006	0	5.49E-005	-5.72E-005
4 Eutrophication potential (EP)	kg PO ₄ ³⁻ eq.	0.000403	1.23E-005	1.03E-005	0	0	3.61E-007	0	7.48E-006	-6.71E-006
5 Formation potential of tropospheric ozone (POCP)	kg C ₂ H ₄ eq.	0.000222	9.09E-006	5.55E-006	0	0	-8.24E-009	0	4.32E-006	-5.34E-006
6 Abiotic depletion potential – Elements	kg Sb eq.	3.34E-005	5.12E-009	6.83E-007	0	0	1.34E-010	0	3.32E-009	-7.93E-009
7 Abiotic depletion potential – Fossil resources	MJ, net calorific value	11.5	0.9	0.284	0	0	0.0236	0	0.12	-0.719

Рис. 4. Результат ОВЖЦ продукции по категориям воздействия: 1 – потенциал глобального потепления (выраженный в кг CO₂ экв.); 2 – потенциал истощения озонового слоя (кг CFC11 экв.); 3 – потенциал подкисления (кг SO₂ экв.); 4 – потенциал эвтрофикации (кг PO₄³⁻ экв.); 5 – потенциал образования тропосферного озона (кг C₂H₄ экв.); 6 – потенциал абиотического истощения – элементы (кг Sb экв.); 7 – потенциал абиотического истощения – ископаемые ресурсы (МДж, чистая теплотворная способность)

Fig. 4. Results of Life Cycle Impact Assessment: 1 – global warming potential (expressed in kg CO₂ eq.); 2 – ozone depletion potential (kg CFC11 eq.); 3 – acidification potential (kg SO₂ eq.); 4 – eutrophication potential (kg PO₄³⁻ eq.); 5 – potential formation of tropospheric ozone (kg C₂H₄ eq.); 6 – abiotic depletion potential-elements (kg Sb eq.); 7 – abiotic depletion potential-fossil resources (MJ, net calorific value)

ОЖЦ стали появляться первые специализированные продукты программного обеспечения. Первое широко используемое коммерческое программное обеспечение (ПО) для оценки жизненного цикла «GaVi» разработано и выпущено немецкой компанией в 1989 г. В 1990 г. компанией из Нидерландов выпущено ПО «SimaPro» [12–13]. В настоящее время разработано довольно большое количество подобных ПО, ориентированных как на академическую среду, так и для автоматизации бизнес-процессов в рамках ОЖЦ. На рис. 3 приведен пример составленной в «GaVi» модели жизненного цикла продукции (древесно-волокнистые теплоизоляционные плиты), исследуемой экспертами в рамках одной из работ по оценке жизненного цикла.

Главным образом ОЖЦ проводится для того, чтобы оценить воздействие продукции на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла. Это значит, что производители исследуемой продукции должны иметь количественную характеристику воздействия не только используемого сырья и ресурсов по своей цепочке поставок, но и для стадий транспортировки продукции, эксплуатации, транспортировки и окончательного размещения в окружающей среде или утилизации [13]. В экологической декларации результат оценки воздействия жизненного цикла (ОВЖЦ) продукции по категориям воздействия отображается в виде таблицы. На рис. 4 приведен пример такой таблицы с результатами ОВЖЦ минеральной ваты компании «KNAUF Insulation», которая имеет уже зарегистрированную декларацию в международной системе экологических деклараций (<https://www.knaufinsulation.com/downloads/environmental-product-declarations-epd>, дата обращения 29.10.2020).

Решить вопрос недостатка информации позволяют специализированные базы данных, которые создаются группами экспертов либо для отдельно взятой отрасли промышленности, либо для определенного производства.

Выводы

Информирование об экологическом воздействии товаров и услуг становится потребностью современного общества и рынка. Данная информация используется в различных сферах рыночной деятельности, в том числе в государственных и частных закупках, например в государствах ЕС. Чтобы отвечать возрастающим требованиям рынка, компаниям приходится все чаще предоставлять объективную и достоверную информацию об экологических характеристиках своей продукции для того, чтобы потребитель мог сделать правильный обоснованный выбор и в полной мере использовать имеющуюся информацию о продукции в своей деятельности. Это непосредственным образом отражается на производителях и поставщиках российского сектора строительных материалов.

Вопросы повышения конкурентоспособности товаров отрасли строительных материалов, в том числе экспортируемых за рубеж, за счет улучшения качественных и экологических характеристик; увеличения объема торговли в регионе за счет перехода на новые модели производства и потребления; укрепления благосостояния населения являются одними из приоритетных задач для Российской Федерации.

Производители могут использовать экологическую и климатическую декларации в качестве инструмента для того, чтобы продемонстрировать: их продукция оказывает меньшее воздействие на здоровье человека и окружающую среду; производственные процессы данной продукции были усовершенствованы.

Преимущества, которых достигают производители, зарегистрировавшие экологическую и климатическую декларации, для достижения интенсификации торговли, безопасности использования строительных материалов и повышения эффективности процессов производства, так или иначе перекликаются с государственными стратегическими целями и задачами.

Как правило, производителю или поставщику строительных материалов, предполагающему экспортировать свою продукцию за рубеж, необходимо иметь на руках достоверную документацию, подтверждающую, что экспортируемая продукция обладает экологическими и качественными характеристиками, соответствующими требованиям государства-импортера, и, возможно, по некоторым параметрам превосходит аналогичную продукцию, поступающую на рынок государства-импортера.

Экологическая и климатическая декларация в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО 14025–2012 «Экологические декларации типа III. Принципы и процедуры» подлежит регистрации в одной из международных систем. Международная система, как правило, охватывает несколько государств, активно торгующих между собой, а также в рамках международной системы принимаются общие критерии по экологическим и качественным характеристикам продукции, что обеспечивает гармонизацию требований к экологическим и качественным характеристикам на территории государств, охватываемых системой, и гарантирует единый подход к информированию потребителей о продукции. Получение экологической декларации международного образца, например при регистрации в одной из известнейших международных систем экологических деклараций The International EPD System (<https://www.environdec.com>), существующей на рынке более 20 лет и признанной более чем в 40 странах мира, поможет экспортерам избежать необходимости несколько раз проходить процедуры подтверждения соответствия. Это гарантирует устранение нетарифных барьеров и укрепление торговли между странами.

В практике ведущих государств экологическая декларация выступает в качестве инструмента экологической политики, ориентированного на развитие рынка и направленного на поощрение разработки товаров с улучшенными экологическими параметрами.

Для того чтобы производители были заинтересованы раскрывать информацию об экологических характеристиках своей продукции и подтверждать соответствие заявленным характеристикам, как правило, развивают системы государственной поддержки в виде государственных субсидий и получения преимущества в рамках госзакупок.

Желание соответствовать лидерам рынка в том или ином сегменте уже имеющих экологическую декларацию на свою продукцию стимулирует многих производителей улучшать экологические и качественные показатели своей продукции или оптимизировать те или иные процессы производства со снижением объемов выбросов и сбросов, с минимальным расходом сырья, энергии, воды, с заменой опасных реагентов на более безопасные аналоги.

Таким образом, основываясь на зарубежном опыте, есть основание полагать, что экологические и климатические декларации международного образца позволят отечественным производителям и постав-

щикам строительных материалов перейти на новые подходы, способствующие повышению энергоэффективности и технологическим прорывам в процессе производства, а также созданию благоприятных условий для бизнеса; расширить рынки и повысить конкурентоспособность отечественных производителей на зарубежных рынках.

Список литературы / References

1. Lin D. et al. Ecological footprint accounting for countries: updates and results of the national footprint accounts, 2012–2018. *Resources*. 2018. Vol. 7. No. 3. 58 p.
2. Marmul L., Krukovskaya E. Certification of agrarian enterprises-producers of organic products in order to enter European markets. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2018. Vol. 4. No. 4, pp. 209–216.
3. Prieto-Sandoval V. et al. Challenges for Eco labeling growth: lessons from the EU Ecolabel in Spain. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2019, pp. 1–12.
4. Strazza C. et al. Using environmental product declaration as source of data for life cycle assessment: a case study. *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 112, pp. 333–342.
5. Hauschild M.Z. et al. Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2013. Vol. 18. No. 3, pp. 683–697.
6. Esnouf A. et al. A tool to guide the selection of impact categories for LCA studies by using the representativeness index. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 658, pp. 768–776.
7. Ingrao C. et al. How can life cycle thinking support sustainability of buildings? Investigating life cycle assessment applications for energy efficiency and environmental performance. *Journal of cleaner production*. 2018. Vol. 201, pp. 556–569.
8. Gundes S. The use of life cycle techniques in the assessment of sustainability. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2016. Vol. 216, pp. 916–922.
9. Evangelista P.P.A. et al. Environmental performance analysis of residential buildings in Brazil using life cycle assessment (LCA). *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 169, pp. 748–761.
10. Najjar M.K. et al. Life cycle assessment methodology integrated with BIM as a decision-making tool at early-stages of building design. *International Journal of Construction Management*. 2019. DOI: 10.1080/15623599.2019.1637098
11. Curran M.A. (ed.). Goal and scope definition in life cycle assessment. Springer, 2016.
12. Hauschild M.Z., Rosenbaum R.K. & Olsen S.I. (Eds.), Life Cycle Assessment. Theory and Practice. Springer International Publishing AG. 2018. 1216 p.
13. Francart N. et al. Requirements set by Swedish municipalities to promote construction with low climate change impact. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 208, pp. 117–131.

Ю.А. БЕЛЕНЦОВ, д-р техн. наук (belents@mail.ru)

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9)

Метод расчета строительных конструкций по уровню надежности

Проведен анализ проблемы расчета несущей способности конструкций с учетом гарантированного уровня надежности и безотказности. На основании работ Н.Н. Стрелецкого, А.Р. Ржаницына и др. устанавливаются узкие места, не позволяющие проектировать конструкции с гарантированным уровнем надежности и безотказности, несмотря на введение понятия «класс по прочности» и существующей теории надежности. По показателю безотказности предлагается схема нормирования надежности проектируемых строительных конструкций и взаимосвязывается с оценкой качества возводимых конструкций. Вводят гарантированные с заданной вероятностью безотказной работы показатели качества конструкции, не связанные с прочностью: геометрические размеры, модуль деформации и упругости, с учетом вариативности свойств и технологии. Определяются соответствующие коэффициенты запаса, обеспечивающие требуемую вероятность безотказной работы. Развивается схема расчета проектирования конструкций с требуемым уровнем надежности в процессе проектирования, возведения и эксплуатации конструкций с учетом полноты и достоверности информации по результатам контроля качества – в процессе эксплуатации с учетом снижения физико-механических и других свойств конструкций.

Ключевые слова: надежность конструкций, метод расчета по уровню надежности, расчет несущей способности.

Для цитирования: Беленцов Ю.А. Метод расчета строительных конструкций по уровню надежности // *Строительные материалы*. 2020. № 11. С. 54–59. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-54-59>

Yu.A. BELENTSOV, Doctor of Sciences (Engineering) (belents@mail.ru)

Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I (9, Moskovsky Avenue, 190031, Saint Petersburg, Russian Federation)

The Method of Calculation of Building Structures by Reliability Level

The analysis of the problem of calculating the bearing capacity of structures, taking into account the guaranteed level of reliability and failure-free operation, was carried out. On the basis of the works of N. N. Streletsky, A. R. Rzhanyts and others, “bottlenecks” are established that do not make it possible to design structures with a guaranteed level of reliability and failure-free operation, despite the introduction of the concept of strength class and the existing reliability theory. According to the failure-free operation indicator, a scheme for normalizing the reliability of designed building structures is proposed and is interrelated with the assessment of the quality of structures being built. Guaranteed design quality indicators with a set probability of failure-free operation that are not related to strength are introduced: geometric dimensions, modulus of deformation and elasticity, taking into account the variability of properties and technology. The corresponding reserve coefficients ensuring the required probability of failure-free operation are determined. The scheme for calculating the design of structures with the required level of reliability is developed in the process of design, construction and operation of structures, taking into account the completeness and reliability of information on the results of quality control, during operation, taking into account the reduction of physical, mechanical and other properties of structures.

Keywords: reliability of structures, calculation method by the level of reliability, calculation of bearing capacity.

For citation: Belentsov Yu.A. The method of calculation of building structures by reliability level. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 11, pp. 54–59. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-54-59>

В соответствии с современными нормативными документами при расчете конструкций следует ориентироваться на риск и обеспечение требуемого уровня надежности за счет использования коэффициента надежности (reliability element), с помощью которого достигается требуемый уровень надежности [1]. Например, в еврокодах в основу положена концепция управляемой надежности и долговечности [2, 3]. В евро нормах вероятностные методы определения коэффициентов надежности подразделяются на два основных класса:

- полностью вероятностные методы (уровень III),
- методы надежности первого порядка (FORM) (уровень II) [3].

Метод предельных состояний является в настоящее время наиболее достоверным [4]. Его суть в расчете по различным предельным состояниям с множеством коэффициентов надежности, учитывающих различные внешние и внутренние факторы. Результат описывается детерминированной величиной K_n , ко-

торую В.В. Болотин назвал условным коэффициентом запаса, не являющейся случайной величиной, а выражающей «классическое условие прочности» [4]:

$$K_n = R_n / Q_n, \quad (1)$$

где R_n – прочность; Q_n – нагрузочный эффект.

Методология (методика) исследования

Основной проблемой метода предельных состояний и частных коэффициентов надежности является невозможность прогнозировать вероятность отказа конструкции или иной показатель, гарантирующий уровень надежности [5]. Отсутствует взаимосвязь между проектными решениями, принятыми по вероятностной схеме, и физическими параметрами конструкции кроме контроля класса прочности. Например, нет однозначной схемы оценки параметра зависимости напряжений и деформаций при контроле качества изготовленного материала или конструкции.

В расчете несущей способности по методу предельных состояний участвуют как случайные величины с гарантированной вероятностью 95%, например класс, так и детерминированные, на которые не распространяется понятие «достоверность и вероятность разрушения». Поэтому метод предельных состояний, несмотря на множество достоинств, не может реализовать полностью понятие «надежность конструкции» и является полувероятностным [4].

При этом следует учитывать, что надежность должна обеспечиваться во всем периоде жизненного цикла конструкции (триада надежности). Поскольку надежность закладывается при проектировании, оценивается и обеспечивается в процессе строительства, поддерживается в процессе эксплуатации [6]. Контроль качества далеко не всегда обеспечивает высокий уровень точности и достоверности измерительных и контрольных операций [7]. Результатом совершенствования методов расчета конструкций должна стать возможность гарантировать уровень надежности. Это направление заложено в работах А.Р. Ржаницына, где уровень надежности оценивается с учетом коэффициента запаса по несущей способности [8]. Необходимо сравнивать гарантированную несущую способность с внутренними усилиями, определенными с требуемой достоверностью, исходя из гарантированных показателей внешней нагрузки [9]. При нормировании показателей для определения коэффициентов надежности метода используют нормальный закон распределения случайных величин нагрузочного эффекта и несущей способности. В евро нормах используются различные вариации нормального распределения [1]. Практическая реализация должна разделяться на несколько этапов вне зависимости от вида материала.

Метод расчета строительных конструкций по уровню надежности является развитием метода предельных состояний или частных коэффициентов надежности [10].

Исходя из сказанного для перехода на вероятностные методы проектирования необходимо, чтобы в расчете учитывались физические параметры конструкции, материала и нагрузки с учетом случайного характера и вариативности величины. Геометрические размеры, модуль упругости и деформаций, нагрузки должны приниматься как случайные величины с гарантированной достоверностью 95%; с достоверностью 0,95 точность расчетных моделей и методов, коэффициентов условий работы и запасов прочности величин, у которых отсутствует физическая составляющая [11].

Метод расчета строительных конструкций по уровню надежности развивался в работах Ржаницына, Знаменского, Краснощекова [8, 9, 10, 12]. Для расчета по заданному уровню надежности требуется нормирование характеристик безопасности β и соответствующих вероятностей безотказной работы P_R в зависимости от класса ответственности сооружения или предельных состояний [10]. Например, при определении несущей способности конструкции по

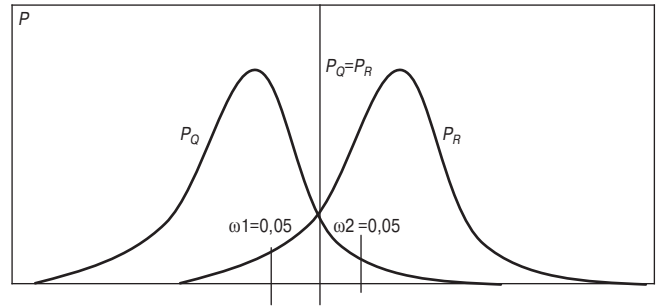


Рис. 1. Графическое представление показателя гарантии неразрушимости по Н.С. Стрелецкому [1]

Fig. 1. Graphical representation of the index of indestructibility guarantee according to N.S. Streletsky [1]

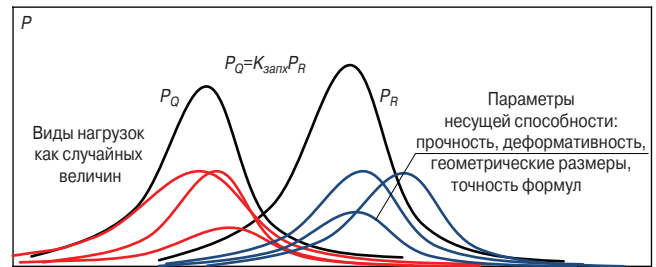


Рис. 2. Сравнение несущей способности и нагрузочного эффекта как суммирующего набора случайных факторов: нагрузок, прочности, геометрических размеров и др.

Fig. 2. Comparison of the bearing capacity and the load effect, as summing up a set of random factors: loads, strength, geometric dimensions, etc.

классу материала по прочности при соответствующем НДС необходимо обеспечить определение не только геометрических показателей конструкции с гарантированной вероятностью, но и определение внутренних усилий и коэффициентов, учитывающих условия работы. Встает вопрос о характере распределения плотности вероятностей случайных величин. В евро нормах приняты нормальные распределения величин, что, с одной стороны, снижает точность, с другой — значительно упрощает схему расчетов. Причем в работах по уровню надежности в теоретической части рассматривается несущая способность конструкции и сравнивается с нагрузочным эффектом, как представлено на рис. 1.

В соответствии с предложенной схемой при гарантированной величине несущей способности и нагрузочного эффекта с вероятностью 0,95 вероятность разрушения будет определяться с достоверностью 0,9. Причем и несущая способность и нагрузочный эффект будут определяться сложением случайных величин, участвующих в расчете, но тоже распределенных по нормальному закону.

Существующие методы позволяют условно оценить надежность и проектировать конструкции с заданным уровнем. Конструкции, запроектированные по различным нормам из разных материалов, будут отличаться по надежности [4]. Однако практически не учитывается культура производства, хотя она отражается через коэффициент вариации свойств материала. При одинаковом коэффициенте вариации нагрузочного эффекта v_Q и коэффициенте вариации прочностных свойств, например, бетона $v_R=0,2$ вероятность отказа в 2,5 раза выше, чем при $v_R=0,135$ [4]. В евро-

нормах декларируется унификация конструкций с точки зрения одинакового уровня надежности [3].

Сущность предлагаемого метода заключается в том, что в процессе расчета по предельным состояниям используются величины с гарантированной вероятностью 95%, например, класс по прочности, геометрические размеры, модуль деформации, класс арматуры, размеры и схема установки арматуры, допустимые дефекты и деформации и др.

Схема определения основных расчетных показателей и контроль в процессе возведения и эксплуатации разбиваются на несколько этапов.

1. Определение основных показателей механических свойств материалов, участвующих в расчетах конструкций, с гарантированной вероятностью 95%. К ним можно отнести класс прочности (B), класс по модулю упругости и деформаций (E_0 и E), класс по образованию трещин (B_{Rser}) и др.

Этот этап частично реализован по прочности с использованием понятия класса. Особенностью этого этапа является учет коэффициента запаса $K_{зап}$, зависящего от коэффициентов вариации v_R , v_E , v_Q , свойств материала, нагрузочного эффекта, требуемого уровня надежности P_f и достоверности $P=0,95$. Вариативность нагрузок v_Q на первом этапе может быть принята как при определении класса бетона.

Для класса прочности B с учетом вариативности:

$$B = R(1-t_v), \quad (2)$$

где B – гарантированная величина прочности с достоверностью 0,95; R – средняя прочность по результатам испытания; t – коэффициент Стьюдента; v – коэффициент вариации прочностных свойств.

Переход от фактической прочности к расчетной осуществляется с помощью $K_{зап}$, зависящего от характеристики безопасности [4, 10, 13]:

$$\beta = (\beta_R^2 + \beta_Q^2)^{1/2}, \text{ или } \beta = \frac{\bar{R} - \bar{Q}}{\sqrt{S_R^2 + S_Q^2}},$$

$$\text{или } \beta = \frac{K_{зап} - 1}{\sqrt{(v_R^2 K_{зап} + v_Q^2)}}; \quad (3)$$

$$P_f = \frac{1}{2} - \Phi(\beta) = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\beta \exp(-\frac{x^2}{2}) dx,$$

$$\text{или } P_f = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\beta^2 - 1}{\beta^3} \exp(-\frac{\beta^2}{2}), \quad (4)$$

где P_f – вероятность отказа, разрушения материала; β_R , β_Q – индексы надежности по несущей способности и нагрузке; \bar{R} , \bar{Q} – значения прочности, деформативности и нагрузочного эффекта; S_R , S_Q – среднеквадратические отклонения прочностных свойств материала и нагрузок, v_R ; v_Q – коэффициенты вариации прочностных свойств материала и нагрузок.

Для класса трещиностойкости по предложенной схеме определяется и закладывается в проект величина, которая затем контролируется по результатам испытаний реального материала.

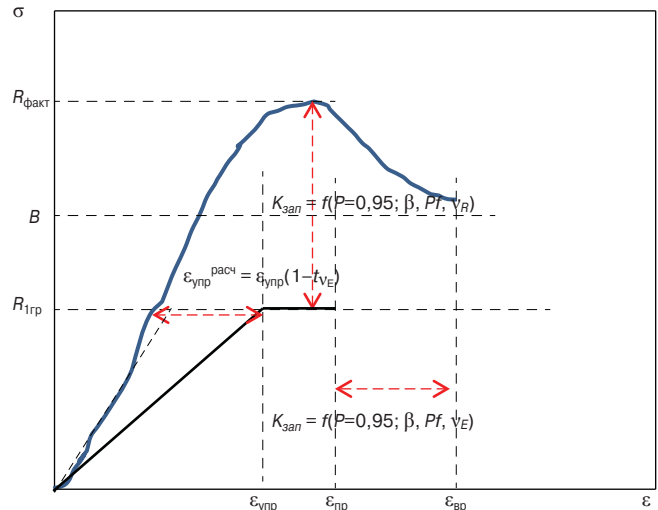


Рис. 3. Связь расчетных и фактических показателей модуля упругости и деформаций

Fig. 3. The relationship between the calculated and actual indicators of the modulus of elasticity and deformation

Связь расчетных и фактических показателей деформативности представлена на рис. 3.

$K_{зап}$ по прочности пропорционален $K_{зап}$ по деформативности с учетом различия коэффициентов вариаций. Применение подобного подхода обосновано при строительстве значимых и требующих высокого уровня надежности объектов и должно контролироваться в процессе строительства и эксплуатации. Механические свойства компенсируют изменчивость структуры материала, нагрузок, точности размеров и прочего с достоверностью менее 100% с помощью коэффициента запаса и доверительного интервала. Причем контролируется с вероятностью 95% только нижняя граница доверительного интервала.

Необходимо учитывать реальные свойства материалов и конструкций, что позволит добиться одинаковой вероятности безотказной работы конструкций из разных материалов, поскольку индекс надежности β зависит от вариативности прочности и нагрузки, а у конструкционных материалов допустимые коэффициенты вариации меняются (бетон $v_R=0,13$; древесина $0,13-0,2$; сталь $0,07$; кирпичная кладка $0,38$ [14]).

Поэтому возможно создание систем контроля повышенной точности для механических свойств материалов в конструкциях за счет использования контроля по двум показателям с разной неопределенностью (погрешностью) измерения показателей качества (например, прочность и деформация бетона).

2. Определение геометрических размеров. В европейских нормах определение геометрических размеров возможно с учетом уровня надежности, рис. 4 [3].

Однако в результате мы рассчитываем несущую способность по номинальному размеру, причем нормы точности конструкций не соответствуют заявленным показателям. Например, для сборного железобетона допуск геометрических размеров с нулевой привязкой к номинальному размеру, а для монолитного бетона – с плюсовой привязкой при разных допусках на конструкцию [15, 16].

При расчете несущей способности геометрические размеры сечения определяют: площадь, момент сопротивления, статический момент инерции и т. п., что непосредственно влияет на точность расчета. При определении уровня надежности для прямоугольных сечений определяющими будут высота и ширина сечения. Гарантированным показателем геометрического размера будет величина, которая отличается от фактически измеренной по результатам контроля на величину вариативности с учетом доверительной вероятности P , количества измерений n , коэффициента Стьюдента и коэффициента вариаций v . Предполагается нормальный характер распределения величин.

Показатели геометрических размеров должны закладываться и контролироваться с учетом коэффициента вариации $v_{г.р.}$. В результате необходимо назначить точность геометрических размеров с учетом разброса и точности измерения. С учетом существующих допусков принимается $v_{г.р.}=0,02$ исходя из требуемой точности изготовления для строительных конструкций ($t=2,01$ и принимается для двустороннего интервала достоверности при $P=0,95$ и $n=\infty$).

$$a_{расч} = a_{ном} \sqrt[2]{1-tv_{г.р.}} = a_{ном} \sqrt[2]{1-2,01 \cdot 0,02}. \quad (5)$$

Необходимо отметить, что двусторонний интервал достоверности при оценке геометрических размеров принимается не только из соображений надежности, но и собираемости конструкций и опалубки [17, 18].

3. Нормирование нагрузок и расчет внутренних усилий с гарантированной вероятностью. Вероятностные показатели внутренних усилий с гарантированной достоверностью 95% должны определяться как суммирование отдельных величин от различных внешних нагрузок.

Предполагается, что отдельные виды нагрузок – случайные процессы, изменяющиеся во времени, соответственно внутренние усилия (нагрузочный эффект) тоже случайные величины с учетом геометрических параметров, как рассмотрено выше. Необходимо приводить функцию распределения для различных видов внешних нагрузок к нормальному, с различными показателями моментов, характеризующих кривую распределения и математическое ожидание, для нормального распределения, где параметр μ – математическое ожидание (среднее значение), медиана и мода распределения; параметр S – среднеквадратическое отклонение; σ^2 – дисперсия распределения. В общем виде распределение описывается зависимостью:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}. \quad (6)$$

Выражение описывает каждую из функций случайной величины нагрузки, дает итоговую величину нагрузочного эффекта, распределенную по нормальному закону с требуемой достоверностью 0,95. Основы практической реализации для различных видов нагрузок приведены в литературе [3, 9, 19].

4. Необходимо оценить неопределенность (точность) расчетных моделей и формул и учитывать нестабильность расчетных формул и коэффициентов ра-

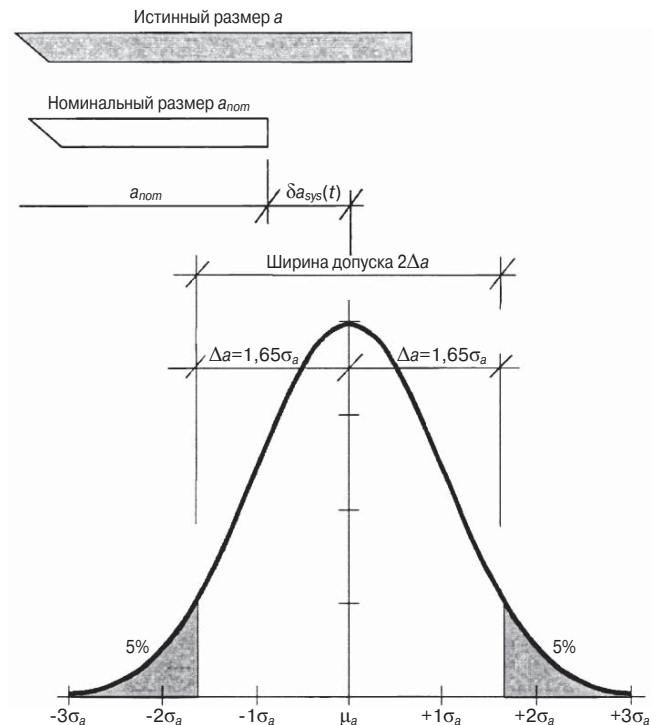


Рис. 4. Характеристики геометрического размера a_p : $a_p = a_{ном} + \delta a_{sys}(t) + k_p \sigma_a$, где коэффициент k_p зависит от вероятности p и заданного типа распределения [3]

Fig. 4. Characteristics of the geometric dimension a_p : $a_p = a_{ном} + \delta a_{sys}(t) + k_p \sigma_a$ where the coefficient k_p depends on the probability p and the given type of distribution [3]

боты с соответствующим коэффициентом вариации для каждого вида предельного состояния конструкций. При проектировании и контроле качества в процессе возведения и эксплуатации допустимо ориентироваться на пробные конструкции или натурные испытания. Коэффициент вариации расчетных формул в условиях ограниченной (неполной) статистической информации $v_{форм}=10\%$ определен на основании сравнения экспериментальной несущей способности конструкций из разных материалов с расчетной величиной с учетом реальной прочности материала на основании исследований с 1930-х гг. по настоящее время:

$$x_{расч} = x_{ном} \sqrt[2]{1-tv_{форм}} = x_{ном} \sqrt[2]{1-1,64 \cdot 0,1}. \quad (7)$$

Такой подход к обеспечению надежности строительных конструкций позволяет связать уровень надежности с требованиями и параметрами контроля качества.

Расчет коэффициента запаса прочности, деформативности и других механических свойств задает индекс надежности и вероятность безотказной работы конструкции по основным предельным состояниям. Остальные характеристики (геометрические размеры, момент сопротивления, площадь и пр.) включаются в расчет с гарантированной вероятностью 0,95 с учетом вариативности свойств. В расчете по уровню надежности количество измерений и испытаний принимается близким к бесконечности. Коэффициенты запаса надежности по нагрузочному эффекту обеспечивают учет условий работы с учетом вариативности свойств, за счет чего достигается требуемый уровень надежности при переходе на вероятностный метод расчета.

Схема расчета:

1. Расчет по первой группе предельных состояний:

– по прочности с вероятностью P_f при $P=0,95$, $n=\infty$:

$$N \leq Q \text{ или } R_{1гр} \geq \sigma = \frac{N, M, Q}{F, W, S}, \quad (8)$$

где N – несущая способность:

$$N = f(R_{1гр}; F, W, S); \quad (9)$$

$$R_{1гр} = f(B, K_{зап}, \nu_R, \gamma_m); \quad (10)$$

где F, W, S – площадь, момент сопротивления и статический момент, рассчитываемый как для определяющей величины с учетом вариативности геометрических размеров сечения ($\nu_b; \nu_h = \nu_{гр}$).

$$F, W, S = f(b, h; \nu_b; \nu_h); \quad (11)$$

$$Q = F(N, M, Q);$$

$$Q = Pl, \nu_{Pi}; Pt, \nu_{Pt}; Ps, \nu_{Ps}; S, \nu_S; W, \nu_W; L, H, F, \quad (12);$$

где Pl – длительные; P_t – кратковременные; P_s – особые; S – снеговые; W – ветровые нагрузки; L, H, F – пролет, высота конструкции, площадь ограждения, рассчитываемые как для значимых величин;

– по устойчивости:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi F} + \frac{M}{\xi W} \leq R_{1гр}, \quad (13)$$

где $\varphi, \xi = f(\lambda)$ – коэффициенты продольного изгиба, зависящие от гибкости элемента.

При расчете других форм устойчивости, например плоской формы деформирования изгибаемых элементов, логика сохраняется.

2. Расчет по второй группе предельных состояний:

– по прогибам и деформациям (с $P=0,95$ и P_f); P_f определит β , и $K_{зап}$:

$$f = F(P, W, S, \nu_P, \nu_W, \nu_S; \nu_h; F_{пов}, L, \nu_{гр}; E, E_0; J) \leq f_{доп}; \quad (14)$$

– по деформациям:

$$\varepsilon = F(P, W, S, \nu_P, \nu_W, \nu_S; \nu_h; F, L, \nu_{гр}; E, E_0) \leq \varepsilon_{доп}; \quad (15)$$

в случае определения крена, неравномерности осадки и т. п. логика сохраняется;

– по образованию трещин:

Список литературы

- ГОСТ Р ИСО 2394–2016 Конструкции строительные. Основные принципы надежности. М.: Стандартинформ, 2016. 61 с.
- Лантух-Лященко А.И. Концепция надежности в еврокоде // *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2014. № 6. С. 79–88.
- НСР ЕН 1990–2011 ЕВРОКОД 0: Основы проектирования сооружений. М., 2011. 144 с.
- Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. М.: АСВ, 1998. 304 с.
- Райзер В.Д. Теория надежности сооружений. М.: АСВ, 2010. 382 с.

$$N = F(P, W, S, \nu_P, \nu_W, \nu_S; \nu_h; F_{пов}, L, \nu_{гр0}) \leq N_{cre} = F(B, R_{сер}, \nu_R; L, F, \nu_{гр}); \quad (16)$$

$$M = F(P, W, S, \nu_P, \nu_W, \nu_S; \nu_h; F_{пов}, L, W, \nu_{гр}) \leq M_{cre} = F(B, R_{сер}, \nu_R; L, W, \nu_{гр}); \quad (17)$$

– по раскрытию трещин [20]:

$$a_{cre} = F(\sigma_S, E_S, \nu_S, K_{зап}, S; b, h, \nu_{гр}; d_S, \nu_{гр}, S); \quad (18)$$

– по закрытию трещин [20]:

$$a_{cre} = F(\sigma_S, \nu_S, K_{зап}, S; R_{s, сер}). \quad (19)$$

Результаты и обсуждение

В результате конструкции, проектируемые из разных материалов, будут обладать одинаковым уровнем надежности при расчете по разным нормативным документам исходя из их функциональной нагрузки. Возможность связать параметры контроля качества с уровнем надежности в процессе эксплуатации конструкции, например за счет снижения расчетного поперечного сечения или прочности в процессе коррозии или иных процессов. Оценивается резерв несущей способности при различных видах напряженно-деформированного состояния и групп предельных состояний как превышение несущей способности над нагрузочным эффектом.

Среди недостатков предложенного метода можно выделить неопределенность и недостаточность статистических исходных данных для проектирования, а также усложнение схемы расчета и расчетных моделей.

Выводы

В зависимости от требуемой функциональной нагрузки проектируемых конструкций зданий и сооружений можно создавать требуемый уровень надежности. Например, для ответственных конструкций соответствующий запас позволит обеспечить требуемую вероятность неразрушимости при любых видах НДС и предельных состояний. Увеличение затрат на обеспечение надежности возводимых конструкций незначительно отразится на общей стоимости строительства, но позволит снизить существенные затраты в процессе эксплуатации (за счет снижения количества брака, снижения риска разрушения и аварий, потерь на ремонт и обслуживание).

References

- GOST R ISO 2394–2016. Building structures. Basic principles of reliability. Moscow: Standardinform. 2016. 61 p. (In Russian).
- Lantukh-Lyashchenko A.I. The concept of reliability in the Eurocode. *Mosti ta tuneli: teoriya, doslidzhennya, praktika*. 2014. No. 6, pp. 79–88. (In Russian).
- NSR EN 1990–2011 EUROCODE 0: Fundamentals of the design of structures. Moscow. 2011. 144 s.
- Rayzer V.D. Teoriya nadezhnosti v stroitel'nom proyektirovanii [Reliability theory in construction design]. Moscow: ASV. 1998. 304 p.
- Rayzer V.D. Teoriya nadezhnosti sooruzheniy [The theory of the reliability of structures]. Moscow: ASV. 2010. 382 p.

6. Ефремов И.В., Рахимова Н.Н. Надежность технических систем и техногенный риск. Оренбург: ОГУ, 2013. 163 с.
7. Belentsov Yu.A., Smirnova O.M. Influence of acceptable defects on decrease of reliability level of reinforced concrete structures. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. 2018. Vol. 9. Iss. 11, pp. 2999–3005.
8. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.: Стройиздат, 1978. 239 с.
9. Краснощеков Ю.В. Учет изменчивости постоянных нагрузок при расчете конструкций зданий и сооружений // *Вестник СибАДИ*. 2018. Т. 15. № 1 (59). С. 88–97.
10. Краснощеков Ю.В., Заполева М.Ю. Вероятностное проектирование конструкций по заданному уровню надежности // *Вестник СибАДИ*. 2015. № 1 (41). С. 68–73.
11. Усаковский С.Б. Оценка надежности конструкций с учетом неточности расчетного метода и неполноты исходной информации. Прикладные задачи на основе этой модели: *Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво*. 2015. Вип. 1 (43). С. 73–80.
12. Знаменский Е.М., Сухов Ю.Д. О расчете конструкций с заданным уровнем надежности // *Строительная механика и расчет сооружений*. 1987. № 2. С. 7–9.
13. Беленцов Ю.А., Харитонов А.М. Определение коэффициента запаса при оценке качества кирпичных конструкций // *Вестник гражданских инженеров*. 2016. № 4 (57). С. 105–110.
14. Егоров В.В., Беленцов Ю.А., Абу-Хасан М.С., Куправа Л.Р. Расчет предельного коэффициента вариации кладки при расчете статистических показателей оценки прочности и уровня надежности конструкций, возводимых из кирпичной кладки // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2020. № 1 (1025). С. 60–63.
15. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция. М.: АО «Кодекс». 198 с.
16. ГОСТ 13015–2012 Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. М.: Стандартиформ. 2019.
17. ГОСТ 21778–81 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Основные положения. М.: Издательство стандартов, 1989.
18. ГОСТ Р ИСО 2859-1–2007 Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 1. Планы выборочного контроля последовательных партий на основе приемлемого уровня качества. М.: Стандартиформ, 2020.
19. Краснощеков Ю.В., Заполева М.Ю. Расчетные значения ветровой нагрузки с заданной обеспеченностью // *Вестник СибАДИ*. 2015. № 2 (42). С. 64–67.
20. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01–2003. М.: АО «Кодекс», 2012.
6. Yefremov I.V., Rakhimova N.N. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogenny risk [Reliability of technical systems and technogenic risk]. Orenburg: OGU. 2013. 163 p.
7. Belentsov Yu.A., Smirnova O.M. Influence of acceptable defects on decrease of reliability level of reinforced concrete structures. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. 2018. Vol. 9. Iss. 11, pp. 2999–3005.
8. Rzhantsyn A.R. Teoriya rascheta stroitel'nykh konstruktсий na nadezhnost' [The theory of calculating building structures for reliability]. Moscow: Stroyizdat. 1978. 239 p.
9. Krasnoshchekov Yu.V. Taking into account the variability of constant loads when calculating the structures of buildings and structures. *Vestnik SibADI*. 2018. Vol. 15. No. 1 (59), pp. 88–97. (In Russian).
10. Krasnoshchekov Yu.V., Zapoleva M.Yu. Probabilistic design of structures for a given level of reliability. *Vestnik SibADI*. 2015. No. 1 (41), pp. 68–73. (In Russian).
11. Usakovsky S.B. Reliability assessment of constructions including inaccuracy of computational method and incompleteness of baseline information. Application tasks on the basis of this model. *Zbirnik naukovikh prats'.* Seriya: galuzeve mashinobuduvannya, budivnitstvo. 2015. No. 1 (43), pp. 73–80. (In Russian).
12. Znamenskiy E.M., Sukhov Yu.D. On the calculation of structures with a given level of reliability. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*. 1987. No. 2, pp. 7–9. (In Russian).
13. Belentsov Yu.A., Kharitonov A.M. Determination of the safety factor in assessing the quality of brick structures. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2016. No. 4 (57), pp. 105–110. (In Russian).
14. Egorov V.V., Belentsov Yu.A., Abu-Khasan M.S., Kuprava L.R. Calculation of the limiting coefficient of variation of masonry when calculating statistical indicators for assessing the strength and level of reliability of structures erected from brickwork. *BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki*. 2020. No. 1 (1025), pp. 60–63. (In Russian).
15. Set of rules 70.13330.2012 Bearing and enclosing structures. Updated edition. Moscow: JSC "Codex". 198 p. (In Russian).
16. GOST 13015–2012 Concrete and reinforced concrete products for construction. General technical requirements. Rules for acceptance, labeling, transportation and storage. Moscow: Standartinform. 2019. (In Russian).
17. GOST 21778–81 System for ensuring the accuracy of geometric parameters in construction. Basic provisions. Moscow: Standards Publishing House. 1989. (In Russian).
18. GOST R ISO 2859-1–2007 Statistical methods. Sampling procedures on an alternative basis. Part 1. Plans for the sampling of consecutive lots based on an acceptable level of quality. Moscow: Standartinform. 2020. (In Russian).
19. Krasnoshchekov Yu.V., Zapoleva M. Yu. Estimated values of wind load with a given provision. *Vestnik SibADI*. 2015. No. 2 (42), pp. 64–67. (In Russian).
20. Set of rules 63.13330.2012 Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. Updated edition of SNiP 52-01–2003. Moscow: JSC "Codex". 2012.

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



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

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

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

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

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

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

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

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

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

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

ВНИМАНИЕ! С 1 января 2020 г. изменены требования к оформлению статей. Обязательно ознакомьтесь с требованиями на сайте издательства в разделе «Авторам»!

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc или *.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.cdr, *.ai, *.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

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

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

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства
<http://rifsm.ru/page/7/>

или журнала <http://journal-cm.ru/index.php/ru/avtoram>

Where Innovations Thrive



CERAMICS
CHINA
2021

**The 35th Edition of China Int'l Exhibition for
Ceramics Technology, Equipment & Product**

June 22-25, 2021

Area A, Canton Fair Complex, Guangzhou



China Ceramic
Industrial Association



UNIFAIR
EXHIBITION SERVICE

Tel: 0086 – 20 – 8327 6369 / 6389

Facebook: @Ceramics China

Web: www.ceramicschina.com.cn

Email: ceramicschina@unifair.com

Twitter: @ceramics_china

18 ДЕКАБРЯ / 2020

VII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«ОПОРЫ И ФУНДАМЕНТЫ ДЛЯ ВЛ: ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА»

Место проведения:

МОСКВА

ВВЦ (ВДНХ), Павильон 57

в рамках международного форума
«Электрические сети»

Организатор конференции



INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

Генеральный спонсор



Официальная поддержка



Генеральные информационные партнеры



www.fc-union.com, info@fc-union.com

тел.: +7 (495) 66-55-014, моб.: +7 925 575-78-10